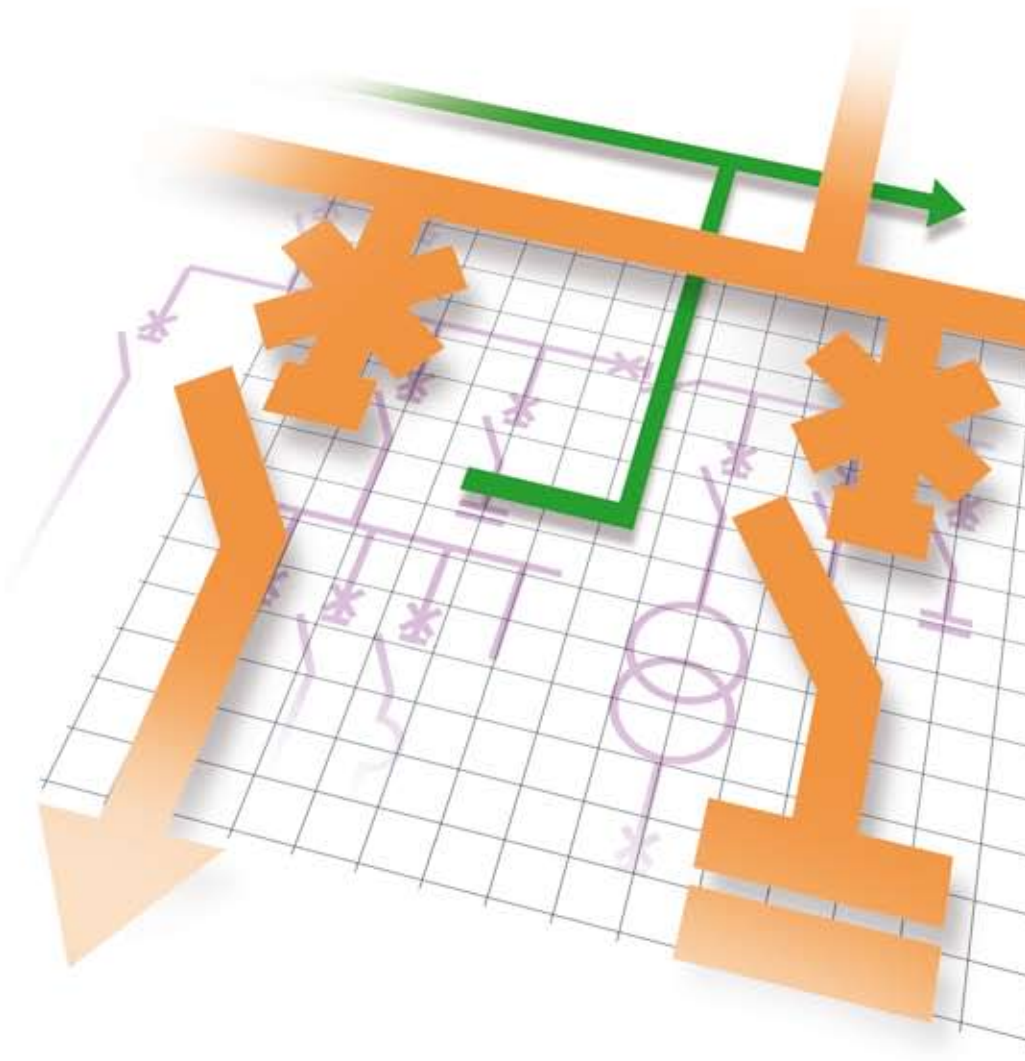
Ръководство за електрически уредби

Съгласно стандартите на IEC



Schneider Electric

Това Ръководство е предназначено за електроинженери, които се занимават с проектиране, монтаж, контрол и експлоатация на електрически уредби, съгласно стандартите на Международната електротехническа комисия (IEC).
„Кое техническо решение гарантира, че ще бъдат спазени всички технически правила по техника на безопасност?". Този въпрос е основен принцип при подготовката на този документ.
Международният стандарт IEC 60364 „Електрически уредби в сгради" определя подробно правилата, които трябва да се спазват, за да се осигури безопасност и да се предвидят работните характеристики за всички типови електрически уредби. Тъй като стандартът трябва да бъде подробен и да бъде приложим за всички типове продукти и технически решения във всички страни по света, текстът на правилата на IEC е сложен и не е представен във вид, подходящ за използване. Следователно, стандартът не може да бъде разглеждан като работен документ, а само като справочен документ.
Целта на настоящето Ръководство е да осигури ясно практическо и последователно обяснение при пълно изучаване на една електрическа уредба, съгласно IEC 60364 и други приложими IEC стандарти. В първата глава (A) се представя използваната методология. Всяка глава разглежда един от осемте етапи на изучаване. Последните глави са посветени на специфични захранващи източници, товари и места със специално предназначение. Особено внимание е отделено на въпроса за електромагнитната съвместимост. Той е разгледан възоснова на големия практически опит при решаване на проблеми, свързани с електромагнитната съвместимост.
Това техническо Ръководство е предназначено за квалифицирани потребители като им предоставя указания за изучаване на електрически уредби в индустриалния, обществения или битовия сектор. Schneider Electric не носи отговорност за последствията, които могат да възникнат от използването на този материал от неквалифициран персонал.
Целта на това Ръководство е да съдейства за въвеждането на международните стандарти за проектанти и фирми изпълнители. Във всички случаи оригиналният текст на международните или местните стандарти и нормативни документи са доминиращи.
Това ново издание е публикувано, като са взети под внимание промените в техниката, стандартите и правилата и в частност стандартът IEC 60364.

Настоящото Ръководство е изготвено от инженери на Schneider Electric с голям опит в технологиите на изпълнение на електрически уредби, познаващи отлично проблемите и изискванията на клиентите, както и изискванията на стандарт IEC 60364 и други приложими IEC стандарти.

Надяваме се, че Вие, потребителят, ще оцените това Ръководство като действително полезно.

Шнайдер Електрик България ЕООД

Предговор

Компанията Schneider Electric S.A. започва своята дейност в България в края на осемдесетте години на миналия век. През 1998 г. Schneider Electric основава свое дъщерно дружество в София – Шнайдер Електрик България ЕООД след сливане на марките Merlin Gerin и Telemecanique през 1993 г. в едно търговско представителство. За много кратко време продуктите на Schneider Electric заеха съществен пазарен дял в различни сегменти на българската енергетика, строителство и индустрия. От друга страна редица университети, професионални гимназии и др. започнаха да включват в своите учебни програми въпроси, отнасящи се до конструкцията и използването на различни продуктови гами. Успешното усвояване на знания, отнасящи се до проектиране на електрически уредби средно и ниско напрежение, използващи апарати на Schneider Electric, би се облекчило в голяма степен от наличието на достъп до оригинална фирмена литература. Това е и целта на настоящия превод на Electrical Installation Guide – осигуряване на значителна по обем информация за модерни технически решения, технологии и подходи, използвани в електрически уредби на проектанти, конструктори, инженери по експлоатация, специалисти по електробезопасност и др. Още повече, че през 2007 г. компанията откри нов завод за производство на комутационна апаратура край гр. Пловдив, което предполага следващо разширяване на пазарните позиции.
Направен е опит за максимално съгласуване на термините и определенията, дадени в IEC стандартите, българските нормативни документи и термините, придобили гражданственост. На редица места са дадени допълнителни пояснения чрез позоваване на хармонизирани български стандарти и документи. Съставен е списък на най-често използваните съкращения на английски език, както и кратък терминологичен речник.
Съществена помощ при превода и редактирането на книгата е получена от колеги от Шнайдер Електрик България ЕООД, на които авторът на превода изказва сърдечна благодарност. Същата е адресирана и към д-р инж. Ивайло Стоянов за положените усилия и труд при окончателното редактиране и предпечатната подготовка на настоящето Ръководство.

доц. д-р инж. Николай Михайлов
Превод и техническа редакция на настоящето Ръководство

СПИСЪК НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

AC (Alternative Current) – променлив ток
ASP (Active Service Page) - отворена среда за разработване на динамични и мощни Web-базирани приложения
CB (Circuit Breaker) – автоматичен прекъсвач
CBN (Common Bonding Network) – обща мрежа на еквипотенциални съединения
CDM (Clean Development Mechanism) – механизъм за чисто развитие
CDSt () – програмируемо реле за време
CPS (Control and Protective Switching Device) – устройство за управление и контрол
CT (Current Transformer) – токов трансформатор)
DC (Direct Current) – постоянен ток
ELV (Extra Low Voltage) – свръхниско напрежение
EMC (Electromagnetic Compatibility) – електромагнитна съвместимост
EMI (Electromagnetic Interference) – електромагнитни смущения
EMNP (Electromagnetic Nuclear Pulses) - електромагнитни импулси от ядрен взрив
ESD (Electrostatic Discharge) – електростатичен разряд
FELV (Functional Extra-Low Voltage) – функционално свръхниско напрежение
FFT (Fast Fourier Transform) – бързо преобразуване на Фурие
GFP (Ground Fault Protection) – защита срещу земно съединение
HF (High Frequency) – висока честота
HRC (High Rupturing Capacity) fuse – предпазител с голяма изключвателна мощност
HV (High Voltage) – високо напрежение (ВН)
HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) – отопление, вентилация и климатизация
IBN (Isolated Bonding Network) – изолирана мрежа на еквипотенциални съединения
Icu – максимална изключвателна възможност
ID (ID Number) - идентификационен номер
IEC (International Electrotechnical Commission) – международна електротехническа комисия
IEPF - Protection of External Installations Against Lightning - защита на външни уредби срещу мълния
Im - настройка по ток на изключване при късо съединение (магнитно реле или реле с голямо времезакъснение)
IMD (Insulation Monitoring Device) – реле за контрол на изолацията
In – номинален ток
Ir - настройка по ток на изключване при претоварване (топлинно реле или реле с малко времезакъснение)
IS (Index Service) – индекс на техническо обслужване
IT (Information Technology) информационна технология
I∆n – обявен остатъчен задействащ ток
LAN (Local Area Network) - местна електрическа мрежа
LED (Light Emitting Diodes) – светлоизлъчващи диоди (светодиоди)
LV (Low Voltage) – ниско напрежение (НН)
MCB (Miniature Circuit-Breakers) – миниатюрни автоматични прекъсвачи
MCC (Motor Control Centre) – табло за управление на електродвигател
MCCB (Moulded Case Circuit-Breaker) – автоматичен прекъсвач в лят корпус
MGDB (Main General Distribution Board) – главно разпределително табло
MLVS (Main LV Switchboard) – главно разпределително табло НН
MTBF (Mean Time Between Failure) – средната стойност на времето между откази
MTTR (Mean Time to Repair) – средна стойност на времето за ремонт
MV (Medium Voltage) – средно напрежение (СН)
PC (Personal Computer) - персонален компютър
PEC (Parallel Earthing Conductor) – паралелен заземяващ проводник
PELV (Protection by Extra Low Voltage) – предпазно свръхниско напрежение
PEN (Protective Earth and Neutral) conductor – защитен неутрален проводник
PF (Power Factor) - фактор на мощността
PIM or CIM (permanent or continuous insulation monitor) – постоянен контрол на изолацията
PLC – програмируем логически контролер
PME (Protective Multiple Earthing) – многократно защитно заземяване
PTC (Positive Temperature Coefficient of Resistor) – резистор с положителен температурен коефициент на съпротивление (позистор)
PTTA (Partially Type-Tested Assemblies) – частично типово изпитани комутационни устройства
RC (Reinforced Concrete) –железобетон
RCBO (Residual and Overcurrent Circuit Breaker) - дефектнотокова защита с вградена защита срещу свръхток
RCCB (Residual Current Circuit Breaker) - дефектнотокова защита без вградена защита срещу свръхток
RCD (Residual Current Device) – дефектнотокова защита
RMS (Root Mean Square) – ефективна стойност
ROI (Return on Investment) – възвръщане на инвестиция
SA (Surge Arrestor) – ограничител на пренапрежение
SAIDI (System Average Interruption Duration Index) – индекс на средната продължителност на прекъсванията на електроснабдяването
SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – система за диспечерски контрол и събиране на данни
SCPD (Short Circuit Protective Device) – устройство за защита от къси съединения
SCPD (Short Circuit Protective Device) – устройство за защита срещу късо съединение
SEA (System Earthing Arrangement) – система на заземяване
SELV (Safety Extra-Low Voltage) – безопасно свръхниско напрежение
SPD (Surge Protective Device) – ограничител на пренапрежение
STD (Short Time Delay) – малко времезакъснение
TCO (Total Cost of Ownership) – обща стойност на собствеността
THD (Total Harmonic Distortion) - общ коефициент на хармонични изкривявания
TTA (Type-Tested Assemblies) – типово изпитани комплектни комутационни устройства
UPS (Uninterruptible Power Supply) - непрекъсваемо захранване
VT (Voltage Transformer) – напреженов трансформатор
КРУ – комплексна разпределителна уредба

КРАТЪК ТЕРМИНОЛОГИЧЕН РЕЧНИК

A
Ad hoc - специален
Apparent power – пълна/привидна мощност
Application regulation -
Architecture – начин на изграждане/конфигурация/структура
Architecture Design – система за проектиране
Automatic Transfer Switch – автоматично включване на резерва (АВР)
Availability of Electrical Power – осигуреност на електроснабдяването
Available Power – разполагаема мощност
AVR – автоматичният регулатор на напрежение (АРН)

B
Back Up Time – време за резервно захранване
Back-up - резервиране
Barycenter – център на електрически товари
Bare cable – неизолиран (гол) проводник
Bonding – връзка/съединение/проводник за изравняване на потенциалите
Breaking Capacity – разривна мощност
Brown-Out – намаляване на осветеността
Browser – програма за навигация и преглеждане на информация (например, файл)
Busbar – шина
Busbar Trunking System – изолиран шинопровод
Busway - шинопровод
By-pass = паралелно съединение

C
Cable Thermal Withstand – термична устойчивост на кабела
Cable-way – кабелна линия
Cabling – кабелна мрежа
Cardew – искрова междина
Cartridge Fuse – патронен предпазител
Challenge Entity -
Commissioning – пусково-наладъчна дейност
Common Mode Impedance – пълно съпротивление
Common Mode Impedance Coupling – галванична връзка
Compartment –интегриран функционален блок (отделение)
Compatibility (EMC) – електромагнитна съвместимост
Conduit – кабелен канал
Consumer service connection – включване на потребител
Crest Factor – пик-фактор (коефициент на амплитуда)
Cross-talk – смущение

D
Demand – потребление/товар
Derating – отклонение от норми
Derating coefficient – коефициент за намаляване на натоварването (отчитащ температурата на околната среда)
Dimmer switch – светлинен регулатор
Disconnecting switch – заземяващ разединител; мощностен разединител
Disconnector/Circuit Breaker – прекъсвач-разединител
Discontactor - пускател
Discrimination - селективност
Distribution Pillar– разпределителна колона
Distribution transformer – трансформатор за разпределителна мрежа./разпределителен трансформатор
Distributor – разпределителна магистрала/кутия
Diversity Factor – коефициент на неедновременост на товара
Double-Ended Configuration – захранване от два независими източника
Downtime costs - разходи, дължащи се на престой
Draft Design Stage – предпроектно предложение (ескизен проект)

E
Earth electrode – заземител/заземяващ електрод/заземление
Earth Fault Loop Current – ток на земно съединение
Earth(ing) switch – заземяващ разединител
Electric shock – поражение от електрически ток/електрически удар
Electromagnetic Caging – екраниращa решетка
Enclosure – обвивка/ кожух / корпус
End user – краен потребител (крайно потребление)
Energizing of – подаване напрежение на
Energy Service – енергийна услуга
Entity – самостоятелна компания, юридическо лице
Equipment Power Cord - шнур
Equipotential Bonding Network – система за изравняване на потенциали
Existing load level (kVA demand) – ниво на товар/товар
Exposed conductive part - достъпни токопроводими части

F
Fault – Повреда, неизправност, късо съединение
Fault current – ток на земно съединение/ ток на късо съединение / ток на повреда
Feeder – захранваща линия
Fitting Time – време за монтаж
Fuse – стопяем предпазител
Fuse Isolator – разединител-предпазител
Fuse Link – стопяема вложка
Fusegear – мощностен разединител със стопяем предпазител

G
Gate Values – гранични стойности
Gateway – мрежов шлюз
Gaz Fill Spark Gap – въздушна дъгогасителна камера
Ground Reference Point – земя (в съответствие с термините и определенията в Наредба №3)

H
Harmonics - хармонични съставящи
I
Immersion heater – бързовар
Impact level – ударно ниво
Incandescent lamp – лампа с нажежаема жичка
Inrush Current – максимален/пусков ток
Inrush Power – максимална мощност
Insulation Monitoring Device (IMD) – реле за контрол на изолацията
Interconnected Switchboard – междинно табло
Isolated link –
Isolated switch – разединител
Isolating Transformer – разделителен трансформатор
Isolation - разединяване

J
Jumper – съединителен проводник

L
Ladder – скара
Leakage Capacitance – капацитет на изолация
Lightning – мълния, мълниев разряд
Lightning Conductor – мълниеотвод
Line Management – ръководен персонал
Link – връзка, съединение
Live-busbars and cables – шини и кабели под напрежение
Load Shedding – намаляване на товара
Load-break disconnecting switch - мощностен разединител
Load-break switch – товарен прекъсвач
Loaded Conductor – работен проводник
Loop - контур
Low Pressure Mercury – живачни лампи с ниско налягане
Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – комплектни комутационни устройства за ниско напрежение
Luminosity - светимост
Luminous efficacy – светлинно отдаване
Luminous Flux – светлинен поток
LV distribution mains – разпределителна мрежа НН
LV metering – измерване на страна НН
LV network – мрежа НН
LV Power Distribution – електроразпределителна мрежа НН
LV Surge Arester – нисковолтов ограничител на пренапрежение
LV utility distribution network – електроразпределителна мрежа НН

M
Main MV/LV distribution – основна разпределителна мрежа СрН/НН
Mains – електрическа мрежа
Modular compartmented panel – комплектно разпределително устройство
Multinational – международна корпорация
MV off-circuit tapping switch – стъпален превключвател на напрежението СрН
MV Switchboard – комплектно разпределително устройство СрН
MV switchgear panel – комутационна апаратура СрН
MV=MV network – мрежа средно напрежение
Normally Open Link – нормално отворен прекъсвач
Nuisance Tripping – смущения при изключване

O
Oil immersed distribution transformers – маслени разпределителни трансформатори
On-site Work – работа на строителен обект

Overcurent - свръхток
Overhead line – електропроводна линия

P
Peak power – максимална (върхова) мощност
Performance – работна характеристика
Plug-in type terminals - щепселните съединители
Post-mounted MV/LV Station – мачтов трансформатор
Power Demand – електропотребление/потребявана мощност/
Power factor – фактор на мощността/ $\cos\varphi$
Power factor lagging – фактор на мощността при активно-индуктивен товар
Power Supply Utility – доставчик на електрическа енергия
Prefabricated Bustrunking – предварително изработени модулни шинопроводи
Prospective Current – очакван (проспектен) ток
Prospective Fault-Current – очакван (проспектен) ток на късо съединение
Protected Outgoer – защитавана изходна верига
Public LV distribution network – разпределителна мрежа НН с общо предназначение
Pure Direct Current – постоянен ток, получен от акумулатори, батерии и т.н., а не от изправители.
Pushbutton – бутонен изключвател
Pylon – стълб на електропровод

R
RCD – дефектнотокова защита
Redundancy - резервиране
Reverse Real Power – защита срещу обратна мощност
Ring main – пръстеновидна магистрала
Ring main service – пръстеновидна захранваща система/мрежа

S
Scalability – степен на унификация/модулност
Self-Inductance - индуктивност
Server – обслужваща станция
Service connection – включване
Service Reliability – надеждност на електроснабдяване
Shedable Switchboard – цехово разпределително табло
Stakeholder – лице или организация, проявяващи интерес от определена дейност
Stand by – резерв/ резервен
Storage-Type Space Heater – радиатор
Storage-Type Water Heaters – бойлер
Stray Current – паразитен ток
Surge Arrester – ограничител на напрежение
Surges – искра, вълна, импулс
Switch – товаров прекъсвач
Switchboard – разпределително табло
Switch-Fuse – товаров прекъсвач със стопяеми предпазители
Switchgear – комутационна апаратура

T
Tertiary Industry – сфера на услуги
Thermal Overload Relay – реле за термична защита
Tray - скара
Trunk - магистрала

U
Upstream Terminal – входни клеми
Utility – захранваща мрежа
Utility Cost – стойност на енергия
Utility Supply System – система за електроснабдяване

V
Voltage Surge - пренапрежение

Основни правила за проектиране на електрически уредби A

Свързване към разпределителна мрежа средно напрежение B

Включване към електроразпределителна мрежа ниско напрежение C

Ръководство за избор на структура на електрически уредби СрН и НН D

Електроразпределение ниско напрежение E

Защита срещу поражения от електрически ток F

Оразмеряване и защита на проводници G

Комутационна апаратура ниско напрежение: предназначение и избор H

Защита от пренапрежения в електрически уредби НН J

Енергийна ефективност при разпределение на електрическата енергия K

Подобряване фактора на мощността и филтрация на хармониците L

Ограничаване въздействието на хармониците M

Характеристики на специфични захранващи източници и товари N

Жилищни и други специални помещения P

Препоръки за осигуряване на електромагнитна съвместимост Q

Съдържание

A — Основни правила за проектиране на електрически уредби

1 Методология	A2
2 Правила и нормативни документи	A4
3 Инсталирани мощности - характеристики	A10
4 Електрически товари на уредба	A15

B — Свързване към разпределителна мрежа средно напрежение

1 Електроснабдяване при средно напрежение	B2
2 Ред за монтаж на нова подстанция	B14
3 Видове защита	B16
4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежение	B22
5 Собствена подстанция с измерване на страна СрН	B32
6 Подстанции СрН/НН	B37

C — Включване към електроразпределителна мрежа ниско напрежение

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение	C2
2 Тарифи и измерване	C16

D — Ръководство за избор на структура на електрически уредби СрН и НН

1 Препоръки за потребителя	D3
2 Опростен процес за проектиране на структурата на електрически уредби	D4
3 Характеристики на електрическите уредби	D7
4 Технологични характеристики	D11
5 Критерии за оценка на структурата на електрически уредби	D13
6 Основни принципи при избор на структурата на електрически уредби	D15
7 Подробен избор на структурата на електрически уредби	D19
8 Избор на обзавеждане	D25
9 Препоръки за оптимизация на структурата на електрически уредби	D26
10 Речник	D29
11 Програмен продукт ID-Spec	D30

E — Електроразпределение НН

1 Схеми за заземяване	E2
2 Електрическа уредба	E15
3 Външни въздействия (IEC 60364-5-51)	E25

F — Защита срещу поражения от електрически ток

1 Общи сведения	F2
2 Защита срещу директен допир	F4
3 Защита при индиректен допир	F6
4 Защита на имущество и материални ценности при пробив в изолацията	F17
5 Изпълнение на схема TT	F19
6 Изпълнение на схема TN	F23
7 Изпълнение на схема IT	F29
8 Дефектнотокови защити (RCD)	F36

Съдържание

G — **Оразмеряване и защита на проводници**

1 Общи положения	G2
2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини	G7
3 Определяне пада на напрежение	G20
4 Ток на късо съединение	G24
5 Частни случаи на къси съединения	G30
6 Защитен заземяващ проводник	G37
7 Неутрален проводник	G42
8 Работен пример за изчисляване на кабели	G46

H — **Комутационна апаратура ниско напрежение: предназначение и избор**

1 Основни функции на комутационна апаратура НН	H2
2 Комутационна апаратура	H5
3 Избор на комутационна апаратура	H10
4 Автоматичен прекъсвач	H11

J — **Защита от пренапрежения в електрически уредби НН**

1 Общи положения	J2
2 Защитни устройства срещу пренапрежения	J6
3 Защита срещу пренапрежения в електрически уредби НН	J11
4 Избор на защитно устройство	J15

K — **Енергийна ефективност при разпределение на електрическата енергия**

1 Увод	K2
2 Електрическа енергия и енергийна ефективност	K3
3 Производство и управление на електрическата енергия	K5
4 Електрически измервания и информационни технологии	K10
5 Комуникационна и информационна системи	K16

L — **Подобряване фактора на мощността и филтрация на хармониците**

1 Реактивна енергия и фактор на мощността	L2
2 Защо трябва да се подобрява факторът на мощността?	L5
3 Как да се подобри фактора на мощността?	L7
4 Къде да се монтират кондензаторите за коригиране на фактора на мощността?	L10
5 Как да се определи оптималното ниво на компенсация?	L12
6 Компенсация на клемите на трансформатора	L15
7 Повишаване фактора на мощността на асинхронни електродвигатели	L18
8 Пример на уредба преди и след компенсация на фактора на мощността	L20
9 Влияние на хармониците	L21
10 Изпълнение на кондензаторни батерии	L24

M — **Ограничаване въздействието на хармониците**

1 Проблем: Защо е необходимо да се откриват и отстраняват хармониците?	M2
2 Стандарти	M3
3 Общи положения	M4
4 Основни ефекти от хармониците в електрическите уредби	M6
5 Основни показатели на хармониците и принципи за измерване	M11
6 Измерване на показатели	M14
7 Устройства за откриване	M16
8 Решения за намаляване на хармоници	M17

Съдържание

N **Характеристики на специфични захранващи източници и товари**

1	Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги	N2
2	Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)	N11
3	Защита на трансформатори НН/НН	N24
4	Осветителни вериги	N27
5	Асинхронни двигатели	N42

P **Жилищни и други специални помещения**

1	Жилищни и други подобни помещения	P2
2	Бани и душове	P8
3	Препоръки, отнасящи се за специални уредби и помещения	P12

Q **Препоръки за осигуряване на електромагнитна съвместимост**

1	Схеми за разпределение на електрическата енергия	Q2
2	Принципи и структура на схемите за заземяване	Q3
3	Конструктивно изпълнение	Q5
4	Механизми за електромагнитна връзка и мерки за противодействие	Q14
5	Препоръки при изграждане на електрически инсталации	Q20

Глава A
Основни правила за проектиране на електрически уредби

Съдържание

1 Методология A2

2 Правила и нормативни документи A4

2.1 Определяне нивата на напрежение A4
2.2 Наредби A5
2.3 Стандарти A5
2.4 Качество и безопасност на електрическите уредби A6
2.5 Първоначално изпитване на електрическите уредби A6
2.6 Периодични изпитвания на електрическа уредба A7
2.7 Съответствие на електрообзавеждането, използвано в електрическата уредба със стандартите и техническите условия A7
2.8 Околна среда A8

3 Инсталирани мощности – Характеристики A10

3.1 Асинхронни двигатели A10
3.2 Битови нагревателни електроуреди и лампи с нажежаема жичка (стандартни или халогенни) A12

4 Електрически товари на уредба A15

4.1 Инсталирана мощност (kW)* A15
4.2 Инсталирана пълна мощност (kVA)** A15
4.3 Оценка на реалната необходима максимална мощност (kVA) A16
4.4 Пример за използване на коефициентите ku и ks A18
4.5 Коефициент на неедновременост на товара A18
4.6 Избор на номинална мощност на трансформатора A19
4.7 Избор на захранващи източници A20

(*, **) - В оригиналният текст авторът е използвал посочените символи, за да означи съответните термини.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Методология

Изучаването на техническите изисквания към електрическите уредби, представени в това Ръководство, предполага запознаване със съдържанието на всички части, в реда, в който те са представени.

Списък на изчислителни товари

A - Основни правила за проектиране на електрически уредби

Изучаването на електрическите уредби изисква адекватно разбиране на всички действащи правила и нормативни актове.

Общото количество електроенергия може да се изчисли на основата на данни за разположението и мощността на всеки потребител и данни за характеристиките на работните режими (установен, пусков, непрекъснат и др.).

От тази информация може да се определи мощността, която трябва да осигури източника на захранване и (където е необходимо) броя на захранващите източници, необходим за нормално захранване на електрическата уредба.

Освен това, са нужни данни за структурата на местните тарифи, за да може по най-добрия начин да се организира включването към захранващата мрежа, например, на ниво СрН или НН.

Присъединяване към електрическата мрежа

Това свързване може да бъде направено на ниво:

- Средно напрежение

B - Присъединяване към електрическа мрежа средно напрежение (СрН)

В този случай трябва да се проектира, построи и въведе в експлоатация потребителска подстанция СрН/НН (трафопост). Тя може да бъде открита или закрита и трябва да отговаря на съответните стандарти и норми. Частта ниско напрежение може да бъде разгледана отделно ако е необходимо. В този случай е възможно измерване на СрН или НН.

- Ниско напрежение

C - Присъединяване към електрическа мрежа ниско напрежение (НН)

Електрическата уредба се свързва към местната електроразпределителна мрежа НН и консумираната мощност се измерва съгласно тарифата НН.

Електроразпределителна мрежа

D - Ръководство за изграждане на електроразпределителни мрежи СрН и НН

Електроразпределителната мрежа се разглежда като една цяла система.

Предлагат се указания за определяне на нейната най-подходяща архитектура. Разглеждат се особеностите на разпределителната мрежа СрН/НН и захранващата мрежа НН.

Устройствата за заземяване на неутралата се избират в зависимост от действащите нормативи, ограниченията, свързани със захранващите източници и вида на товарите.

E - Електроразпределение НН

Електрообзавеждането, свързано с разпределение на електрическата енергия (електрически табла, комутационни апарати, вериги и др.), се избира в зависимост от архитектурния план на сградите, местоположението и групирането на товарите.

Типът на уредбата и нейното разположение могат да влияят върху устойчивостта на външни смущения.

Защита срещу поражение от електрически ток

F - Защита срещу поражение от електрически ток

Предварително се определя схемата на свързване (TT, IT или TN), след което се избират съответните защитни устройства, за да се осигури защита срещу директен или индиректен допир.

Оразмеряване и защита на проводниците

G - Оразмеряване и защита на проводници

Всяка електрическа верига се разглежда подробно. От големината на номиналните токове на товарите, стойността на тока на късо съединение и типа на защитното устройство може да се определи сечението на проводниците на веригата като се вземе под внимание начина на полагане на кабелите и неговото влияние върху допустимите продължителни токови натоварвания на проводниците.

Преди да се извърши избора на сечението на проводника, както е посочено по-горе, трябва да бъдат изпълнени следните условия:

- Падът на напрежение да е съобразен с изискванията на съответните стандарти;
- Да е възможно пускането на двигателите
- Да е осигурена защита срещу поражение от електрически ток

След това се определя тока на късо съединение Isc и се проверява способността на мрежата да издържа на топлинни и електродинамични натоварвания.

Тези изчисления могат да покажат, че е необходимо да се използва проводник с по-голямо сечение от предварително избраното.

H - Комутационни апарати ниско напрежение: функции и избор

Необходимите функции, изпълнявани от комутационния апарат, определят типа и характеристиките му.

Проверява се принципа за каскадиране и селективност на задействане на предпазителите и изключването на автоматичните прекъсвачи.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Методология

J - Защита от пренапрежения в мрежа НН

Защита от пренапрежения в мрежа с НН

Директни или индиректни попадения на мълнии могат да повредят електрообзавеждане, отдалечено на няколко километра. Комутационните пренапрежения и пренапреженията с промишлена честота могат да предизвикат същите последствия. Тези ефекти се изучават и се предлагат подходящи решения.

K - Енергийна ефективност в електрическите мрежи

Енергийна ефективност в електрическите мрежи

Монтирането на измервателни устройства с подходяща комуникационна система в електрическата уредба може да осигури голям икономически ефект за потребителя или собственика: намалено електропотребление, намалена цена на енергията, по-ефективно използване на електрическите уреди.

L - Подобряване фактора на мощността и филтрация на хармониците

Реактивна енергия

Корекцията на фактора на мощността в електрическите уредби се извършва локално, глобално или като комбинация от двата метода.

M - Хармоници

Хармоници

Хармоничните съставящи, присъстващи в мрежата, влошават качеството на електрическа енергия и са причина за много неприятни смущения като претоварвания, вибрации, износване на електрообзавеждането, аварии на чувствително електрообзавеждане на LAN и телефонни мрежи. В тази глава се разглеждат причините за появяване и влияние на хармониците, поясняват се методи за техните измервания и се предлагат конкретни решения.

N - Характеристики на специфични захранващи източници и товари

Специфични захранващи източници и товари

Разглеждат се специфични случаи или обзавеждане:

- Специфични захранващи източници, например генератори и инвертори за променлив ток;
- Специфични товари със специални характеристики, например асинхронни двигатели, осветителни инсталации или трансформатори НН/НН;
- Специфични системи, например мрежи за постоянен ток.

P - Жилищни и други специални помещения

Област на приложения

За някои специални помещения се прилагат особено строги нормативи: най-разпространения пример са жилищни сгради.

Q - Електромагнитна съвместимост

Електромагнитна съвместимост

Трябва да се спазват редица основни правила, за да се осигури електромагнитна съвместимост. Неспазването на тези правила може да има сериозни последствия при експлоатация на електрическата уредба: смущения на комутационните системи, нарушаване работата на защитните устройства и дори разрушаване на чувствителни устройства.

Програмно осигуряване Ecodial

Софтуерът Ecodial(1) осигурява пълен комплект програми за изчилсяване на уредби и мрежи НН, в съответствие със стандартите и препоръките на IEC.

Той включва следните модули:

- Създаване на еднолинейни схеми;
- Изчисляване токове на късо съединение;
- Изчисляване пад на напрежение;
- Оптимизация сечение на кабели;
- Необходими номинални параметри на комутационни апарати и предпазители със стопяема вложка;
- Селективност на защитните устройства;
- Препоръки за каскадно включване на комутационни апарати;
- Проверка за електробезопасност на хора;
- Пълно отпечатване на резултати от проекта.

(1) Програмата Ecodial е продукт на Schneider Electric и има версии на български и английски език.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Правила и нормативни документи

Въпросите, свързани с електрическите уредби ниско напрежение, се разглеждат в редица нормативни и препоръчителни документи, които могат да бъдат класифицирани по следния начин:

- Нормативни документи, установени със закон (наредби, фирмени инструкция, постановления и др.);
- Наръчници и правила, издадени от професионални институции;
- Национални и международни стандарти за електрически уредби;
- Национални и международни стандарти за електроапаратура и изделия.

2.1 Определяне нивата на напрежение

Стандарти и препоръки за напрежение според IEC

Таблица A1: Стандартни напрежения между 100 V и 1000 V (IEC 60038 редакция 6.2 2002-07)

Трифазни четири- или трипроводни системи Номинално напрежение, V		Еднофазни трипроводни системи Номинално напрежение, V
50 Hz	60 Hz	60 Hz
–	120/208	120/240
–	240	–
230/400(1)	277/480	–
400/690(1)	480	–
–	347/600	–
1000	600	–

(1) Номиналното напрежение на съществуващите системи 220/380 V и 240/415 V трябва да се измени към препоръчваната стойност 230/400 V. Преходният период трябва да бъде максимално къс и да завърши не по-късно от 2008 г. През този период, управляващите органи на енергийния сектор в страните, имащи енергийни системи 220/380 V трябва да променят напреженията към ниво 230/400 V (-10 … +6) %, а в страните, имащи система 240/415 V - да преминат към напрежение с ниво 230/400 V (-10 … +6) %. В края на този преходен период допустимото напрежение трябва да бъде в диапазона 230/400 V ±10 %, след което ще се разглежда следващото намаляване на интервала към този диапазон. Разглежданите по-горе изисквания също се прилагат и за системи с напрежение 380/660 V, които трябва да бъдат приведени към препоръчваната стойност 400/690 V.

Таблица A2 : Стандартни напрежения над 1 kV и до 35 kV (IEC 60038 редакция 6.2 2002-07)

Серия I			Серия II	
Максимално напрежение за обзавеждането, kV	Номинално напрежение на системата, kV		Максимално напрежение за обзавеждането, kV	Номинално напрежение на системата, kV
3.6(1)	3.3(1)	3(1)	4.40(1)	4.16(1)
7.2(1)	6.6(1)	6(1)	–	–
12	11	10	–	–
–	–	–	13.2(2)	2.47(2)
–	–	–	13.97(2)	13.2(2)
–	–	–	14.52(1)	13.8(1)
(17.5)	–	(15)	–	–
24	22	20	–	–
–	–	–	26.4(2)	24.94(2)
36(3)	33(3)	–	–	–
–	–	–	36.5	34.5
40.5(3)	–	35(3)	–	–

Тези системи са обикновено трипроводни, освен ако нещо друго не е посочено.
Посочените стойности са за напрежения между фазите.
Стойностите, посочени в скоби не се препоръчват. Тези стойности не се препоръчват за използване за нови мрежи, предстоящи за изграждане.
Забележка 1: Препоръчва се, във всяка една страна, отношението между две номинални напрежения, разположени във възходящ ред да бъде не по-малко от 2.
Забележка 2: В нормална мрежа, Серия I, максималното и минималното напрежение не трябва да се отличават от номиналното с повече от ±10 %. В нормална мрежа, Серия II, максималното напрежение не трябва да се отличава от номиналното с повече от +5 %, а минималното напрежение – с повече от -10 %.
(1) Тези стойности не трябва да бъдат използвани за обществени разпределителни мрежи.
(2) Тези мрежи са обикновено четирипроводни.
(3) Унификацията на тези стойности е в процес на разглеждане.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Правила и нормативни документи

2.2 Наредби

В повечето страни устройството на електрическите уредби трябва да е съобразено с редица наредби, издадени от държавни законодателни органи или от утвърдени неправителствени организации. Много е важно преди да се започне процеса на проектиране на уредбата да се вземат под внимание съответните местни изисквания. В България към момента на издаване на това Ръководство, изискванията към електрическите уредби НН се задават от Наредба №3 за Устройството на електрическите уредби и електропроводните линии, Наредба №4 за Проектиране, изграждане и експлоатация на електрически уредби в сгради, Наредба №2 за Противопожарните строителнотехнически норми.

2.3 Стандарти

Това Ръководство е разработено в съответствие със стандартите на IEC, в частност на IEC 60364. IEC 60364 е разработен от медицински и инженерни експерти от всички страни на света чрез сравняване на техния опит на международно ниво. В момента принципите за безопасност, разгледани в IEC 60364 и IEC 60479-1, са основа на повечето световни електротехнически стандарти (виж списъка по-долу и на следващата страница). В България основен стандарт по отношение на електрическите уредби НН е БДС HD 384 „Електрически уредби в сгради", който въвежда идентично у нас европейските хармонизирани документи от системата HD 384, която съответства на международния стандарт IEC 60364.

IEC 60038	Стандартни напрежения
IEC 60076-2	Силови трансформатори. Част 2: Прегряване
IEC 60076-3	Силови трансформатори. Част 3: Нива на изолацията, изпитвания на електрическата якост на изолацията и външни изолационни разстояния през въздух
IEC 60076-5	Силови трансформатори. Част 5: Устойчивост на издържани къси съединения
IEC 60076-10	Силови трансформатори. Част 10: Определяне на нивата на шума
IEC 60146	Полупроводникови преобразуватели. Общи изисквания и зависими преобразуватели
IEC 60255	Електрически релета
IEC 60265-1	Превключватели високо напрежение. Част 1: Превключватели за обявени напрежения над 1 kV и по-ниски от 52 kV
IEC 60269-1	Стопяеми предпазители за ниско напрежение. Част 1: Общи изисквания
IEC 60269-2	Стопяеми предпазители за ниско напрежение. Част 2: Допълнителни изисквания за стопяемите предпазители, предназначени да се използват от неквалифицирани лица (предпазители предимно за битово и аналогично приложения)
IEC 60282-1	Предпазители за високо напрежение. Част 1: Токоограничаващи предпазители
IEC 60287-1-1	Електрически кабели. Част 1: Изчисляване на номиналния ток – уравнения на номиналния ток (при коефициент на натоварване 100 %) и пресмятане на загубите. Общи изисквания
IEC 60364	Електрически уредби в сгради
IEC 60364-1	Електрически уредби в сгради. Част 1: Основни принципи
IEC 60364-4-41	Електрически уредби в сгради. Част 4: Защити за безопасност. Глава 41: Защита срещу поражения от електрически ток
IEC 60364-4-42	Електрически уредби в сгради. Част 4: Защити за безопасност. Глава 42: Защита срещу топлинни въздействия
IEC 60364-4-43	Електрически уредби в сгради. Част 4: Защити за безопасност. Глава 43: Защита срещу свръхток
IEC 60364-4-44	Електрически уредби в сгради. Част 4: Защити за безопасност. Глава 43: Защита срещу електромагнитни смущения и резки отклонения на напрежението
IEC 60364-5-51	Електрически уредби в сгради. Част 5: Избор и въвеждане в действие на електрически съоръжения. Глава 51: Общи правила
IEC 60364-5-52	Електрически уредби в сгради. Част 5: Избор и въвеждане в действие на електрически съоръжения. Глава 52: Проводникови системи
IEC 60364-5-53	Електрически уредби в сгради. Част 5: Избор и въвеждане в действие на електрически съоръжения. Глава 53: Изолация, комутационна апаратура и механизми за управление
IEC 60364-5-54	Електрически уредби в сгради. Част 5: Избор и въвеждане в действие на електрически съоръжения. Глава 54: Заземяващи устройства
IEC 60364-5-55	Електрически уредби в сгради. Част 5: Избор и въвеждане в действие на електрически съоръжения. Глава 55: Друго обзавеждане
IEC 60364-6-61	Електрически уредби в сгради - Проверка и изпитване - Първоначална проверка
IEC 60364-7-701	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Помещения с вани и душове
IEC 60364-7-702	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Плавателни и други басейни
IEC 60364-7-703	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Помещения, съдържащи нагреватели за сауна
IEC 60364-7-704	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Уредби на строителни площадки и площадки за разтушаване на сгради
IEC 60364-7-705	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Електрически уредби за селскостопански и градински участъци
IEC 60364-7-706	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Стеснени помещения с проводящ под, стени и таван
IEC 60364-7-707	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Изисквания към заземяването на уредби при монтаж на обзавеждане за обработка на данни
IEC 60364-7-708	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Електрически уредби в каравани и места за паркирането им
IEC 60364-7-709	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения. Яхти и други морски съдове за развлечения
IEC 60364-7-710	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Медицински помещения
IEC 60364-7-711	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Изложби, витрини и щандове
IEC 60364-7-712	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Фотоволтаични захранващи системи
IEC 60364-7-713	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Мебели
IEC 60364-7-714	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Външни осветителни уредби
IEC 60364-7-715	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Осветителни уредби за свръхниско напрежение
IEC 60364-7-717	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Мобилни или преместваеми уредби
IEC 60364-7-740	Електрически уредби в сгради – Изисквания към специални уредби или особени помещения – Временни електрически уредби за конструкции, средства за развлечения и шатри на панаирни площадки, в паркове с атракциони и циркове
IEC 60427	Прекъсвачи за променлив ток с високо напрежение
IEC 60439-1	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение - Типово изпитани и частично типово изпитани възли
IEC 60439-2	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Специфични изисквания за шинопроводи.

(Продължава на следващата страница)

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Правила и нормативни документи

IEC 60439-3	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Специфични изисквания за комплектни комутационни устройства за ниско напрежение, предназначени за монтаж в места, където при тяхното използване имат достъп неквалифицирани лица. Разпределителни табла
IEC 60439-4	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Специфични изисквания към уредби на строителни площадки (ACS)
IEC 60446	Основни принципи и принципи за безопасност на взаимодействие човек-машина, маркировка и идентификация. Идентификация на проводници чрез цветове или чрез букви и цифри
IEC 60439-5	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Специфични изисквания към комплекти, монтирани на обществени места, на открито - Кабелни разпределителни шкафове (CDCs)
IEC 60479-1	Въздействия на тока върху хора и домашни животни - Общи положения.
IEC 60479-2	Въздействия на тока върху хора и домашни животни – Специфични аспекти
IEC 60479-3	Въздействия на тока върху хора и домашни животни – Въздействие на електрическия ток, протичащ през тялото на домашни животни
IEC 60529	Степени на защита, осигурени от обвивката (IP код)
IEC 60644	Технически изисквания към стопяемата вложка на предпазители за високо напрежение за приложения в електрически вериги за двигатели
IEC 60664	Координация на изолацията за електрообзавеждане в системи за ниско напрежение
IEC 60715	Размери на комплектни комутационни устройства за ниско напрежение. Стандартизирано монтиране върху релси за механична опора на електрически устройства в комплектни комутационни уредби.
IEC 60724	Електрически кабели за номинално напрежение 1kV (Um = 1,2 kV) и 3 kV (Um = 3,6 kV)
IEC 60755	Общи изисквания за защитни устройства, задействани от ток на утечка
IEC 60787	Указания за избор на вложки на стопяеми предпазители за високо напрежение, предназначени за вериги на трансформатори
IEC 60831	Паралелни силови кондензатори от самовъзстановяващ се тип за променливотокови системи с обявено напрежение до 1 000 V включително - Общи положения - Работни характеристики, изпитване и номинални параметри - Изисквания за безопасност - Указания за монтаж и експлоатация
IEC 60947-1	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Общи правила
IEC 60947-2	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Автоматични прекъсвачи
IEC 60947-3	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Прекъсвачи, разединители и предпазители-разединители и предпазители-разединители
IEC 60947-4-1	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Контактори и пускатели за електродвигатели – Електромеханични контактори и пускатели за електродвигатели.
IEC 60947-6-1	Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение – Многофункционално електрообзавеждане – Електрообзавеждане за автоматично превключване на захранването
IEC 61000	Електромагнитна съвместимост (EMC)
IEC 61140	Защита срещу поражения от електрически ток. Общи положения, свързани с електрически уредби и електрообзавеждане
IEC 61557-1	Електрическа безопасност на разпределителни мрежи за ниско напрежение до 1000 V променливо напрежение и 1500 V постоянно напрежение. Електрообзавеждане за изпитване, измерване или наблюдение и контрол на защитни мерки - Общи изисквания
IEC 61557-8	Електрическа безопасност на разпределителни мрежи за ниско напрежение до 1000 V променливо напрежение и 1500 V постоянно напрежение. Електрообзавеждане за изпитване, измерване или наблюдение и контрол на защитни мерки - Устройства за наблюдение и контрол в схеми IT
IEC 61557-9	Електрическа безопасност на разпределителни мрежи за ниско напрежение до 1000 V променливо напрежение и 1500 V постоянно напрежение. Електрообзавеждане за изпитване, измерване или наблюдение и контрол на защитни мерки - Електрообзавеждане за откриване на изолационни дефекти в схеми IT
IEC 61558-2-6	Безопасност на силови трансформатори, захранващи блокове и подобни устройства - Специфични изисквания за безопасност на изолацията на трансформатори за обща употреба
IEC 62271-1	Общи технически условия и стандарти на комплектни комутационни устройства за високо напрежение
IEC 62271-100	Комплектни комутационни устройства за високо напрежение - Променливотокови прекъсвачи за високо напрежение
IEC 62271-102	Комплектни комутационни устройства за високо напрежение – Високоволтови разединители и заземители за променлив ток
IEC 62271-105	Комутационни апарати за високо напрежение - Променливотоков разединител, комбиниран със стопяеми предпазители
IEC 62271-200	Комплектни комутационни устройства за високо напрежение – Променливотокови комутационни устройства в метална обвивка за обявени напрежения над 1 kV и до 52 kV включително
IEC 62271-202	Подстанции за високо/ниско напрежение, изработени в заводски условия

(Продължение)

2.4 Качество и безопасност на електрическите уредби

При изпълнение на процедурите за контрол, качеството и безопасността могат да бъдат постигнати само ако:

- се извърши съответна начална проверка за съответствие на електрическата уредба със стандартите и нормативните документи;
- електрообзавеждането съответства на изискванията на стандартите;
- редовно се извършват периодични проверки на електрическите уредби, препоръчани от производителите.

2.5 Първоначално изпитване на електрическите уредби

Преди включване на електрическата уредба към захранващата мрежа трябва стриктно да бъдат изпълнени електрически изпитвания на уредбата и да се проведат визуални проверки на обзавеждането от контролиращ орган или от негов упълномощен представител.

Тези изпитвания се правят в зависимост от местните (правителствени и/или институционални норми), които могат да се различават в отделните страни. Основните принципи на тези изпитвания са общи и са основани на спазване на правилата за безопасност при разработване и реализация на електрическите уредби.

Стандартът IEC 60364-6-61 и другите стандарти, включени в Ръководството, базирани на международно сътрудничество, относно такива изпитвания, са призвани да отчетат всички мерки за безопасност и утвърдената практика за реализация на електрически уредби, които обикновено се използват в жилищни, търговски и (повечето) промишлени сгради. За много отрасли на промишлеността, обаче, са създадени допълнителни изисквания, свързани със самия продукт (петрол, въглища, природен газ и т.н.). Подобни допълнителни изисквания не се разглеждат в това Ръководство.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Правила и нормативни документи

Електрическите изпитвания, извършвани преди въвеждане в експлоатация, и визуалните проверки на електрическите уредби в сгради обикновено включват следното:

- Измерване изолационното съпротивление на всички кабели и проводници в изградената уредба, измерване изолационното съпротивление между фазите и между фазите и земята;
- квипотенциални и заземяващи проводници;
- Измерване съпротивлението на заземителите, отчитайки дълбочината на полагане в земята;
- Проверка работата на вътрешните блокировки, ако има такива;
- Проверка на позволения брой контакти за една верига;
- Проверка напречното сечение на всички проводници, с отчитане токовете на късо съединение, съобразно използваните защитни устройства, материали и начин на полагане (на открито, в кабелен канал и др.);
- Проверка правилността на заземяването на всички открити и външни метални части (там където е необходимо);
- Проверка на допустимите разстояния в бани и др.

Тези изпитвания и проверки са основни (но не обхващат всичко) за голяма част от електрическите уредби, докато приетите правила за частни случаи предвиждат много допълнителни проверки, например електрически уредби със схема на свързване тип TN, TT или IT, уредби на основата на клас на изолация 2, вериги от типа SELV (свръхниско напрежение, получавано от източник със защитно разделяне), специални обекти и др.

Целта на това ръководство е да привлече вниманието към особеностите на различни типове уредби и да изложи основни правила, които трябва да се спазват. Така се постига удовлетворително ниво на качество, позволяващо безопасна и непрекъсната работа на обзавеждането.

2.6 Периодични изпитвания на електрическа уредба

В много страни всички електрически уредби в промишлени и търговски сгради, включително и сгради, използвани за обществени събирания трябва да бъдат периодично изпитвани от оторизирани органи.
Таблица A3 показва честотата на проверките, обикновено задавана в зависимост от вида на уредбата.

Таблица A3: Честотата на изпитванията, препоръчвана за електрическа уредба

Тип на уредбата		Честота на изпитване
Уредби, изискващи защита на персонала	■ Места, където съществува риск от разрушаване, пожар или взрив; ■ Временни уредби на работни площадки ■ Места, където има уредби за CpH ■ Ограничаващи токопроводими помещения, в които се използва преносимо обзавеждане	Всяка година
	Други случаи	На всеки 3 год.
Уредби в сгради, където е възможно събиране на хора и където е необходима защита срещу пожар и паника	Съгласно типа на помещението и неговия капацитет за пребиваване на хора	От 1 до 3 години
Жилищни сгради	Съгласно местното законодателство	

Съответствието на електрообзавеждането със съответните стандарти може да се докаже по различни начини.

2.7 Съответствие на електрообзавеждането, използвано в електрическата уредба със стандарти и технически условия

Атестация за съответствие

Съответствието на електрообзавеждането със съответните стандарти може да бъде доказано чрез:

- Официална маркировка за съответствие, издадена от сертифициращ орган, или
- Сертификат за съответствие, който се издава от сертифициращ орган, или
- Декларация за съответствие от производителя.

Първите две решения не се използват за високоволтово електрообзавеждане.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Правила и нормативни документи

Декларация за съответствие

Там, където електрообзавеждането се използва от обучени или инструктирани лица, декларацията на производителя за съответствие (включена в техническата документация), се признава обикновено за приемливо потвърждение. Там, където компетенцията на производителя се подлага на съмнение, декларацията за съответствие на производителя може да бъде подкрепена от сертификат за съответствие.

Забележка: Маркировка CE

В Европа, европейските директиви изискват производителят или негов упълномощен представител да поставят маркировка CE на своя собствена отговорност. Това означава, че:

- Продуктът отговаря на изискванията на закона;
- Продуктът може да се предлага на европейския пазар.

Маркировката CE не е нито знак за произход, нито знак за съответствие на стандарт. Еквивалент на маркировката CE за България е знака Co.

Знак за съответствие на стандарт

Знаците за съответствие на стандарт се поставят на уреди и електрообзавеждане, които обикновено се използват от неинструктирани лица (например на битови електроуреди). Знакът за съответствие се издава от сертифициращ орган, ако електрообзавеждането отговаря на изискванията на използвания стандарт и след одобряване на системата за управление на качество на производителя.

Сертификат за качество

Стандартите определят няколко метода за гаранция на качеството, които съответстват повече на различни ситуации, отколкото на различни нива на качество.

Гаранция

Една лаборатория за изпитване на образци не може да сертифицира качеството на цялата продукция: тези изпитвания се наричат типови. При някои изпитвания за съответствие на стандарти образците се разрушават (например изпитване на стопяеми предпазители).

Само производителят може да сертифицира, че произведената продукция в действителност има указаните характеристики.

Сертификатът за гаранция на качеството е предназначен да допълни началната декларация или сертификацията за съответствие.

Като доказателство за това, че за осигуряване качеството на продукцията са предприети всички необходими мерки, производителят получава сертификат на системата за контрол на качество, която контролира производството на продукта. Тези сертификати се издават от организации, специализирани за контрол на качество и са основани на международния стандарт ISO 9001:2000.

Тези стандарти определят три модела на система за контрол на качество, които повече съответстват на различни ситуации, отколкото на три различни нива на качество:

- Модел 3 осигурява качество чрез проверка на вече готовата продукция.
- Модел 2 включва в себе си, като допълнение на проверката на готова продукция, контрол на производствения процес. Например, този метод се използва при производство на стопяеми предпазители, тъй като работата на предпазителя не може да се провери без неговото разрушаване.
- Модел 1 съответства на Модел 2, но с допълнителни изисквания за задълбочена проверка на качеството на процеса на проектиране. Например тези случаи, когато не се подразбира изработването и изпитването на прототип (в случай на продукт, изпълнен по поръчка, по отделни технически условия).

2.8 Околна среда

Системите за екологичен мениджмънт могат да се сертифицират от независим орган, ако те удовлетворяват изискванията на стандарта ISO 14001. Този тип сертификация основно засяга производствени помещения, но може да се използва и за места, където става разработването на продукцията.

Такъв подход към разработване на продукцията, понякога наричан „екодизайн" отразява философията за устойчиво развитие. Целта на разработката на продукцията и услугата е най-пълно удовлетворяване на нуждите на потребителите при едновременно намаляване отрицателното въздействие върху околната среда за експлоатационния срок на продукцията. Методите, използвани за дадената цел, водят към избор на такава архитектура от обзавеждане, компоненти и материали, които позволяват да се отчете влиянието на продукцията върху околната среда за целия жизнен цикъл на продукцията (започвайки от добива на полезни изкопаеми до утилизация на продукцията), т.е. производство, транспортиране, разпространение, използване и др.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Правила и нормативни документи

В Европа са публикувани две Директиви, съответно означени:

- Директивата RoHS (Ограничаване използването на вредни вещества), влизаща в сила от юли 2006 (Директивата е влязла в сила от 13.02.2003, а датата на използване е 01 юли 2006) цели да отстрани от продуктите шест вредни вещества: олово, живак, кадмии, шествалентен хром, полибромиран бифенил (PBB), полибром дефинилов ефир (PBDE);
- Директивата WEEE (Отпадъци от електрическо и електронно обзавеждане), влизаща в сила от 01 август 2005 г. (Директивата е влязла в сила от 13 февруари 2003 г., а датата на използване е 13 август 2005 г.) се отнася за използване и преработка на битови и небитови уреди.

В други части на света се разработват някои нови законодателни актове за тази цел.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Инсталирани мощности - Характеристики

Изследване потребността от реална пълна мощност за различни товари: необходима предварителна стъпка при проектиране на уредба НН

Определянето на реалните стойности на пълната мощност, потребявана от всеки товар, позволява да се установи:
- Декларираната потребност от мощност, която се определя в договора за доставка на електроенергия;
- Номиналната мощност на трансформатора СрН/НН, там където това е допустимо (позволяваща очаквано увеличение на натоварването);
- Нива на товарните токове за всяко разпределително табло.

3.1 Асинхронни електродвигатели

Номиналната мощност Pn на двигателя, в kW, показва неговата номинална еквивалента механична мощност. Пълната мощност S на двигателя, в kVA, е функция от изходната мощност, к.п.д. на двигателя и фактора на мощността.

$$S = \frac{Pn}{\eta \cos\varphi}$$

Потребяван (консумиран) ток

Токът на пълно натоварване Ia, в A, при работа на двигателя се изчислява по следната формула:
- Трифазен двигател: Ia = Pn x 1,000 / ($\sqrt{3}$ x U x η x cos φ);
- Еднофазен двигател: Ia = Pn x 1,000 / (U x η x cos φ),

където Pn е номиналната (активна) мощност, kW;

U – напрежението между фазите на трифазни двигатели и напрежението между клемите на еднофазни двигатели, V. Еднофазният двигател може да бъде включен към фаза-нула или фаза-фаза;

η – к.п.д., т.е. отношението между изходната, в kW, и входната, в kW, мощност;

cos φ – факторът на мощност, т.е. отношението на входната, в kW, и пълната входна, в kVA, мощност.

Свръхпреходен ток и настройка на защитата

- Пиковата стойност на свръхпреходния ток може да бъде много висока; типичната стойност е около 12 -15 пъти по-висока от ефективната стойност на номиналния ток Inm. Понякога тази стойност достига 25 пъти Inm.

- Автоматичните прекъсвачи, контакторите и термичните релета на Schneider Electric са проектирани така, че да издържат пускането на двигателя с много висока стойност на свръхпреходния ток (пиковата стойност на свръхпреходния ток може да превиши 19 пъти номиналния ток Inm).

- Ако по време на пускането неочаквано се наблюдава изключване, предизвикано от токовата защита, това означава, че пусковият ток е по-голям от нормалните граници. В резултат на това, могат да бъдат достигнати границите на устойчивост на комутационното обзавеждане, да се намали срока на служба и дори някои устройства да се разрушат. За да се избегне такава ситуация се препоръчва да се увеличат параметрите на комутационното обзавеждане.

- Разпределителните устройства на Schneider Electric са проектирани така, че да осигурят защита на моторните пускатели при пускане на двигателя срещу токове на къси съединения. В зависимост от възможния риск в таблици се посочват комбинация от автоматичен прекъсвач, контактор и термично реле, позволяващи да се получи координация от 1 или 2 тип (виж Глава N).

Пусков ток на двигателя

Въпреки, че на пазара се предлагат двигатели с висок к.п.д. на практика техните пускови токове са равни на пусковите токове на стандартни двигатели.

Използването на свързване от типа звезда-триъгълник, на статично устройство за плавно пускане или на устройство за регулиране честотата на въртене позволява да се намали стойността на пусковия ток (Например: 4 Ia вместо 7.5 Ia).

Компенсация на реактивната мощност, в kVAr, потребявана от асинхронни двигатели

Намаляването на тока на асинхронните двигатели осигурява предимства, свързани с технически и финансови причини. Това може да се постигне чрез използване на кондензатори без изменение на мощността на двигателя. Използването на този принцип към работата на асинхронните двигатели обикновено се нарича „подобряване фактора на мощността" или „корекция на фактора на мощността".
Както е описано в Глава L потребността от пълна мощност, в kVA, подавана на асинхронния двигател, може да бъде значително намалена чрез използване на шунтиращи кондензатори. Намаляване на входната мощност, в kVA, означава съответно намаляване на входния ток (тъй като напрежението остава постоянно). Компенсацията на реактивната мощност се препоръчва да се извършва особено за двигатели, работещи в продължителен режим при намалена мощност.

Както беше показано по-горе $\cos\varphi = \frac{\text{Активна входна мощност, kW}}{\text{Пълна входна мощност, kVA}}$ и затова намаляването на стойността на пълната входна мощност, в kVA, увеличава (т.е. подобрява) стойността на cosφ.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Инсталирани мощности - Характеристики

Токът, протичащ през двигателя, след корекция на фактора на мощността се изчислява по формулата:

$$I = Ia \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'}$$

където cos φ и cos φ' са съответно на фактора мощността преди и след компенсацията;

Ia – токът преди компенсацията.

Таблица A4 показва стандартните токове на двигател в зависимост от номиналната мощност и различни стойности на номиналното напрежение.

Таблица A4: Номинална мощност и токове (продължава на следващата страница)

kW	hp	230 V	380 - 415 V	400 V	440 - 480 V	500 V	690 V
		A	A	A	A	A	A
0.18	-	1.0	-	0.6	-	0.48	0.35
0.25	-	1.5	-	0.85	-	0.68	0.49
0.37	-	1.9	-	1.1	-	0.88	0.64
-	1/2	-	1.3	-	1.1	-	-
0.55	-	2.6	-	1.5	-	1.2	0.87
-	3/4	-	1.8	-	1.6	-	-
-	1	-	2.3	-	2.1	-	-
0.75	-	3.3	-	1.9	-	1.5	1.1
1.1	-	4.7	-	2.7	-	2.2	1.6
-	1-1/2	-	3.3	-	3.0	-	-
-	2	-	4.3	-	3.4	-	-
1.5	-	6.3	-	3.6	-	2.9	2.1
2.2	-	8.5	-	4.9	-	3.9	2.8
-	3	-	6.1	-	4.8	-	-
3.0	-	11.3	-	6.5	-	5.2	3.8
3.7	-	-	-	-	-	-	-
4	-	15	9.7	8.5	7.6	6.8	4.9
5.5	-	20	-	11.5	-	9.2	6.7
-	7-1/2	-	14.0	-	11.0	-	-
-	10	-	18.0	-	14.0	-	-
7.5	-	27	-	15.5	-	12.4	8.9
11	-	38.0	-	22.0	-	17.6	12.8
-	15	-	27.0	-	21.0	-	-
-	20	-	34.0	-	27.0	-	-
15	-	51	-	29	-	23	17
18.5	-	61	-	35	-	28	21
-	25	-	44	-	34	-	
22	-	72	-	41	-	33	24
-	30	-	51	-	40	-	-
-	40	-	66	-	52	-	-
30	-	96	-	55	-	44	32
37	-	115	-	66	-	53	39
-	50	-	83	-	65	-	-
-	60	-	103	-	77	-	-
45	-	140	-	80	-	64	47
55	-	169	-	97	-	78	57
-	75	-	128	-	96	-	-
-	100	-	165	-	124	-	-
75	-	230	-	132	-	106	77
90	-	278	-	160	-	128	93
-	125	-	208	-	156	-	-
110	-	340	-	195		156	113
-	150	-	240	-	180	-	-
132	-	400	-	230	-	184	134
-	200	-	320	-	240	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-
160	-	487	-	280	-	224	162
185	-	-	-	-	-	-	-
-	250	-	403	-	302	-	-
200	-	609	-	350	-	280	203
220	-	-	-	-	-	-	-
-	300	-	482	-	361	-	-
250	-	748	-	430	-	344	250
280	-	-	-	-	-	-	-
-	350	-	560	-	414	-	-
-	400	-	636	-	474	-	-
300	-	-	-	-	-	-	-

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Инсталирани мощности - Характеристики

Таблица A4: Номинална мощност и токове (продължение)

kW	hp	230 V A	380 - 415 V A	400 V A	440 - 480 V A	500 V A	690 V A
315	-	940	-	540	-	432	313
-	540	-	-	-	515	-	-
335	-	-	-	-	-	-	-
355	-	1061	-	610	-	488	354
-	500	-	786	-	590	-	-
375	-	-	-	-	-	-	-
400	-	1200	-	690	-	552	400
425	-	-	-	-	-	-	-
450	-	-	-	-	-	-	-
475	-	-	-	-	-	-	-
500	-	1478	-	850	-	680	493
530	-	-	-	-	-	-	-
560	-	1652	-	950	-	760	551
600	-	-	-	-	-	-	-
630	-	1844	-	1060	-	848	615
670	-	-	-	-	-	-	-
710	-	2070	-	1190	-	952	690
750	-	-	-	-	-	-	-
800	-	2340	-	1346	-	1076	780
850	-	-	-	-	-	-	-
900	-	2640	-	1518	-	1214	880
950	-	-	-	-	-	-	-
1000	-	2910	-	1673	-	1339	970

3.2 Битови нагревателни електроуреди и лампи с нажежаема жичка (стандартни или халогенни)

Токът на нагревателните електроуреди или лампите с нажежаема жичка може да се получи лесно от стойността на номиналната мощност Pn, посочена от производителя (т.е. cos φ = 1) (виж **Табл. A5**).

Таблица A5: Консумиран ток от нагревателни електроуреди и лампи с нажежаема жичка (стандартни или халогенни)

Номинална мощност, kW	Ток, A			
	1-фаза 127 V	1-фаза 230 V	3-фази 230 V	3-фази 400 V
0.1	0.79	0.43	0.25	0.14
0.2	1.58	0.87	0.50	0.29
0.5	3.94	2.17	1.26	0.72
1	7.9	4.35	2.51	1.44
1.5	11.8	6.52	3.77	2.17
2	15.8	8.70	5.02	2.89
2.5	19.7	10.9	6.28	3.61
3	23.6	13	7.53	4.33
3.5	27.6	15.2	8.72	5.05
4	31.5	17.4	10	5.77
4.5	35.4	19.6	11.3	6.5
5	39.4	21.7	12.6	7.22
6	47.2	26.1	15.1	8.66
7	55.1	30.4	17.6	10.1
8	63	34.8	20.1	11.5
9	71	39.1	22.6	13
10	79	43.5	25.1	14.4

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Инсталирани мощности - Характеристики

Токовете се намират от уравненията:

- За 3 фази: $Ia = \frac{Pn}{\sqrt{3}\ U}$ (1)
- За 1 фаза: $Ia = \frac{Pn}{U}$ (1),

където U е напрежението между клемите на обзавеждането, V.

Използването на инертен газ в лампите с нажежаеми жички позволява да се получи по-концентриран източник на светлина. Светлинната мощност се увеличава, а срока на служба на лампа се удвоява.

Забележка: В момента на включване на лампата жичката е студена и това води до кратковременен, но много голям пик на тока.

Луминесцентни лампи и пусково-регулираща апаратура

Мощността Pn, във W, посочена на тръбата на луминесцентната лампа не включва в себе си мощността, разсейвана в баласта съпротивление.

Токът се изчислява по следната формула:

$$Ia = \frac{P_{ballast} + Pn}{U \cos \varphi},$$

където U е захранващото напрежение към лампата, заедно с пусково-регулиращата апаратура. Ако за баласта не е посочена стойност на загубите на мощността може да се приеме, че тя е 25 % от Pn.

Стандартни тръбообразни луминесцентни лампи

Приема се (ако не е посочено нищо друго):

- cos φ = 0.6 за случай без кондензатор за корекция на фактора на мощността (PF)(2);
- cos φ = 0.86 за случай на корекция на PF(2) (една или две тръби);
- cos φ = 0.96 за случай на електронен баласт.

Ако за баласта не е посочена стойност на загубите на мощността може да се приеме, че тя е 25 % от Pn.
Таблица A6 показва тези стойности за различни стойности на баласта.

Таблица A6: Стойности на тока и мощността на луминисцентни лампи за дневна светлина с обикновени размери (за 230 V и 50 Hz)

Комбинация от лампи, стартери и баласти	Мощност на тръбата, W(3)	Работен ток при 230 V, A			Дължина на тръбата, cm
		Магнитен баласт		Електронен баласт	
		Без кондензатор за PF корекция	С кондензатор за PF корекция		
Една тръба	18	0.20	0.14	0.10	60
	36	0.33	0.23	0.18	120
	58	0.50	0.36	0.28	150
Две тръби	2 x 18		0.28	0.18	60
	2 x 36		0.46	0.35	120
	2 x 58		0.72	0.52	150

(3) Мощността, означена върху тръбата е във W

Компактни луминесцентни лампи

Компактните луминесцентни лампи имат същите характеристики по отношение на икономия на електрическа енергия и срок на служба както класическите лампи. Те обикновено се инсталират на обществени места, където са включени постоянно (например: коридори, фоайета, барове и т.н.) и могат да бъдат монтирани на места, които обикновено се осветяват от лампи с нажежаема жичка (виж. **Табл. A7** на следваща страница).

(1) Pn е във W, Ia - в A, а U – във V. Ако Pn е в kW, тогава резултата се умножава с 1000.

(2) „Корекцията на фактора на мощността" често се нарича "компенсация" в терминологията, отнасяща се до газоразрядни лампи. Cosφ е приблизително равен на 0.95 (нулевите стойности токът и напрежението почти съвпадат по фаза), но факторът на мощността е равен на 0.5 поради импулсаната форма на тока, пика на който се появява „късно" във всеки полупериод.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Инсталирани мощности - Характеристики

Таблица A7: Стойности на тока и мощността на компактни луминесцентни лампи (за 230 V и 50 Hz)

Тип на лампата	Мощност на лампата, W	Работен ток при 230 V, A
С външнен баласт	10	0.080
	18	0.110
	26	0.150
С интегриран баласт	8	0.075
	11	0.095
	16	0.125
	21	0.170

Мощността, във W, посочена на тръбата на газоразрядната лампа не включва мощността, изразходвана в баласта.

Газоразрядни лампи

В **Табл. A8** е показан тока, консумиран от цялото устройство, включително допълнителното обзавеждане.

Тези лампи работят благодарение на светлинния ефект на електрически разряд в газ или пари от метални съставки, които се съдържат в херметично затворения прозрачен корпус при предварително определено налягане. Тези лампи имат продължително време на разпалване, през което токът Ia е по-голям от In. По-долу са показани потребяваният ток и мощност като типови средни стойности, които могат незначително да се различават при отделните производители).

Таблица A8: Работни токове на газоразрядни лампи

Тип на лампата, W	Номинална мощност, във W, при 230 V и 400 V	Номинален ток In, A		Пусков процес		Светлинен к.п.д., $lm.W^{-1}$	Среден срок на служба на лампата, h	Област на приложение
		Без корекция на PF при 230 V и 400 V	С корекция на PF при 230 V и 400 V	Ia/In	Продължителност, min			
Натриеви лампи с високо налягане								
50	60	0.76	0.3	1.4 до 1.6	4 до 6	80 до 120	9000	• Осветление на големи зали; • Външни площадки; • Осветление на обществени места.
70	80	1	0.45					
100	115	1.2	0.65					
150	168	1.8	0.85					
250	274	3	1.4					
400	431	4.4	2.2					
1000	1055	10.45	4.9					
Натриеви лампи с ниско налягане								
26	34.5	0.45	0.17	1.1 до 1.3	7 до 15	100 до 200	8000 до 12000	• Осветление на автомобилни пътища; • Аварийно осветление, гари; • Осветление на платформи, складове.
36	46.5		0.22					
66	80.5		0.39					
91	105.5		0.49					
131	154		0.69					
Метал-халогенни лампи								
70	80.5	1	0.40	1.7	3 до 5	70 до 90	6000	• Осветление на много големи площи чрез прожектори (напапример стадиони и др.);
150	172	1.80	0.88				6000	
250	276	2.10	1.35				6000	
400	425	3.40	2.15				6000	
1000	1046	8.25	5.30				6000	
2000	2092 2052	16.50 8.60	10.50 6				2000	
Живачни с луминофор								
50	57	0.6	0.30	1.7 до 2	3 до 6	40 до 60	8000 до 12000	• Цехове с много високи тавани, хангари и др. • Улично осветление; • Места, изискващи слабо осветление (1)
80	90	0.8	0.45					
125	141	1.15	0.70					
250	268	2.15	1.35					
400	421	3.25	2.15					
700	731	5.4	3.85					
1000	1046	8.25	5.30					
2000	2140 2080	15	11 6.1					

(1) Заменени от натриеви лампи.

Забележка: Тези лампи са чувствителни към отклонение на напрежението. Те изгасват ако напрежението падне до ниво по-малко от 50 % от номиналното напрежение и се запалват отново само след изстиване в продължение на около 4 min.

Забележка: Натриевите лампи с ниско налягане имат светлинен к.п.д., превишаващ светлинния к.п.д. на всички останали лампи. Обаче, използването на тези лампи е ограничено поради това, че излъчваната от тях жълто-оранжева светлина прави практически невъзможно разпознаването на цветовете.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Електрически товари на уредба

За да се проектира правилно една електрическа уредба трябва да се оцени реалната максимална мощност, която може да се консумира от захранващата система.

Да се проектира само на основата на аритметичната сума от всички товари, съществуващи в уредбата, би било много неоправдано както поради икономически причини, така и от позиция на инженерната практика.

Целта на тази Глава е да покаже някои фактори, отчитащи неедновременния характер на натоварване (неедновременна работа на всички устройства от дадена група) и режима на работа (например, електродвигателя обикновено не работи на пълно натоварване) на всички съществуващи и проектирани товари, които могат да се оценят. Стойностите, посочени в Главата, са основани на опит или на товарови графици, получени от реални електрически уредби. Допълнени към данните за отделните вериги на уредбата получаваме общите стойности за цялата уредба, което позволява да се определят изискванията към захранващата система (разпределителна мрежа, трансформатор СрН/НН или генератор).

4.1 Инсталирана мощност (kW)

Инсталираната мощност е сума от номиналните мощности на всички устройства в уредбата.

Това не е мощността, която на практика се потребява.

Върху повечето битови електрически уреди и електрообзавеждане е означена номиналната мощност Pn.

Инсталираната пълна мощност е сума от номиналните мощности на всички потребители в електрическата уредба. Тя не е мощността, която се действително се консумира. За случай на електрически двигатели под номинална мощност се разбира мощността на задвижващия вал при номинално напрежение. Входната консумирана мощност е очевидно по-голяма.

Луминесцентните лампи дневна светлина и газоразрядни лампи, със стабилизиращи баласти са още пример, когато номиналната мощност, посочена на лампата е по-малка от мощността, която реално се потребява от лампата и нейния баласт.

Методите за оценка на реално консумираната мощност от двигатели и осветителни уредби, са описани в раздел 3 на дадената Глава.

Стойността на консумираната мощност, в kW, е необходимо да се познава, за да се избере правилно номиналната мощност на генератора или батерията, и за тези случаи, където е нужно да се вземе под внимание изискванията на задвижвания двигател.

При захранване от мрежа НН или от трансформатор СрН/НН е важно да се знае пълната мощност, в kVA.

4.2 Инсталирана пълна мощност (kVA)

Инсталираната пълна мощност се приема обикновено за равна на аритметичната сума от пълната мощност на индивидуалните потребители. Максималната пълна мощност, обаче не е равна на инсталираната пълна мощност.

Инсталираната пълна мощност обикновено се изчислява като аритметична сума от мощностите, в kVA, на отделните товари. Максималната очаквана пълна мощност обаче не е равна на общата инсталирана мощност.

Пълната мощност, консумирана от товара се изчислява на основата на неговата номинална мощност (при необходимост, коригирана както е описано по-долу за двигатели и др.) и следните коефициенти:

η = к.п.д. на апарата = изходна мощност, в kW/входната мощност, в kW;

$\cos\varphi$ = фактор на мощността=изходната мощност, kW/пълната входна мощност, kVA;

Пълната мощност на товара, в kVA, е

$S = Pn / (\eta \times \cos\varphi)$.

От където пълният ток Ia, в A, ще бъде(1):

- $Ia = \dfrac{S \times 10^3}{V}$,

за товар, свързан между фаза и нула (еднофазен)

- $Ia = \dfrac{S \times 10^3}{\sqrt{3} \times U}$,

за трифазен товар,

където V е напрежението между фаза и нула, V;

U –линейното напрежение, V.

Когато някои или всички характеристики на товара са неизвестни могат да се използват стойностите, посочени в **Табл. A9** на следваща страница, даващи една много приблизителна оценка на пълната мощност, в VA (отделните товари са обикновено твърде малки, за да се измерват в kW или kVA). Оценките за осветителни уредби се дават за площ на пода от 500 m^2.

(1) За по-голяма точност е необходимо да се отчита коефициента на максимално използване, както е описано в 4.3.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Електрически товари на уредба

Таблица A9: Оценка на инсталираната пълна мощност

Луминесцентно осветление (коригиран cos φ = 0.86)		
Област на приложение	**Оценка на луминес-центна тръба с промишлен рефлектор (1), VA/m²**	**Средно ниво на осветеност, Lx**
Пътища и шосета, складови помещения, работа с прекъсване	7	150
Тежък физически труд: производство и сглобяване на много големи детайли	14	300
Ежедневна работа: работа в офис	24	500
Фина работа: конструкторски бюра, високоточни дейности по сглобяване	41	800
Силови вериги		
Област на приложение	**Оценка, VA/m²**	
Помпени станции, компресори	3 ... 6	
Вентилация на помещения	23	
Електрически нагреватели от конвекторен тип:		
Къщи	115 ... 146	
Апартаменти	90	
Офиси	25	
Диспечерски пунктове	50	
Монтажни цехове	70	
Машинни цехове	300	
Бояджийски цехове	350	
Цехове за термична обработка	700	

(1) Пример: Луминесцентна тръба 65 W (без баласта), светлинен поток 5100 Lm, светлинен к.п.д. на тръбата 78.5 Lm/W.

4.3 Оценка на реалната необходима максимална мощност (kVA)

Не всички индивидуални товари задължително работят с пълна номинална мощност през цялото време. Коефициентите ku и ks позволяват да се определи необходимата максимална мощност и пълна мощност, които реално са необходими за оразмеряване на уредбата.

Коефициент на максимално използване ku

При нормални работни условия мощността, която консумира даден потребител понякога е по-малка от посочената и в резултат на това се налага въвеждането на коефициента на използване ku за оценка на реалната потребявана мощност.

Този коефициент трябва да бъде използван за всеки отделен потребител, и особено за електродвигателите, които рядко работят с пълно натоварване.

Приема се, че този коефициент има средна стойност ku=0,75 за електродвигатели, използвани в промишлена електрическа уредба. За товар, образуван от нажежаеми лампи, този коефициент е винаги равен на 1.

За веригите, захранващи контактни излази, стойността на тези коефициенти изцяло зависи от типа на включените електрически уреди.

Коефициент на едновременност ks

Практиката показва, че потребителите, включени във веригите на една уредба, никога не работят едновременно, т.е. винаги има някаква степен на неедновременност, и този факт се отчита при оценка на необходимата мощност чрез използване на коефициента на едновременност ks.

Коефициентът ks се използва за всяка група товари (например, за група, захранвана от главно разпределително табло или междинно табло). Определянето на тези коефициенти е задължение на проектанта, тъй като това изисква подробно познаване на уредбата и условията на експлоатация на отделните вериги. Поради тази причина е невъзможно да се дадат прецизни обобщени стойности.

Коефициент на едновременност на жилищна сграда

Някои типични стойности за този случай са дадени в **Табл. A10** на следващата страница. Те са приложими за битови потребители, захранвани от мрежа 230/400 V. За потребители, използващи нагревателни уреди за отопление на помещения се препоръчва коефициент 0.8 независимо от броя им.

© Schneider Electric - всички права запазени

Таблица A10: Коефициент на едновременност за жилищен блок

Домакинства, бр.	Коефициент на едновременност ks
от 2 до 4	1
от 5 до 9	0.78
от 10 до 14	0.63
от 15 до 19	0.53
от 20 до 24	0.49
от 25 до 29	0.46
от 30 до 34	0.44
от 35 до 39	0.42
от 40 до 49	0.41
от 50 и повече	0.40

Пример (виж **Фиг. A11**):
Разглежда се пет етажна жилищна сграда с 25 домакинства всяко от които е с инсталирана мощност 6kVA.

Общата инсталирана мощност в сградата е: 36 + 24 + 30 + 36 + 24 = 150 kVA

Пълната мощност е : 150 x 0.46 = 69 kVA

От **Табл. A10** е възможно да се определи големината на токовете в различните клонове, захранващи отделните етажи.

За вертикално положените кабели, при подаване на захранване от долу, напречното сечение на проводниците може постепенно да намалява от долните към горните етажи.

Такива изменения в сеченията на проводниците обикновено се правят през 3 етажа.

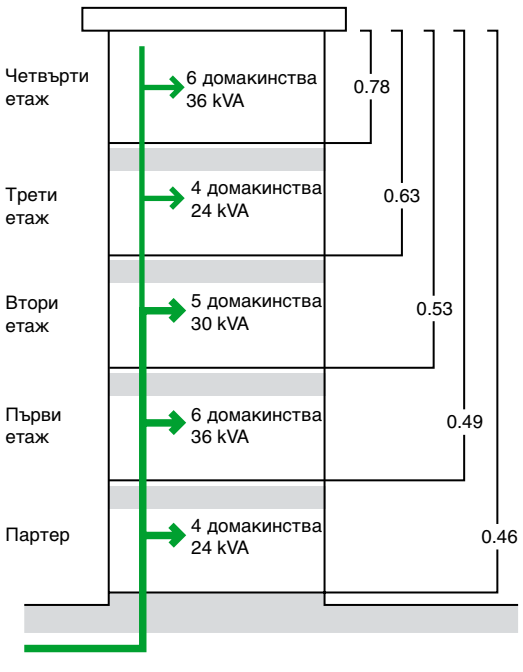
В примера, токът, протичащ във вертикалния кабел, разположен на партера е

$$\frac{150 \text{ x } 0.46 \text{ x } 10^3}{400\ \sqrt{3}} = 100 \text{ A},$$

а токът, протичащ във вертикалния кабел на третия етаж е:

$$\frac{(36+24) \text{ x } 0.63 \text{ x } 10^3}{400\ \sqrt{3}} = 55 \text{ A}.$$

Заб. Примерът е за магистрална схема на захранване



Фиг. A11: Приложение на коефициента ks за жилищен блок с пет етажа

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Електрически товари на уредба

Коефициент на едновременност за разпределителни табла

Таблица A12 показва хипотетичните стойности на ks за разпределително табло, захранващо определен брой вериги, за които няма информация как се разпределя общия товар между тях.

Ако веригите захранват основно осветителни товари е целесъобразно да се приеме стойност на ks близка до 1.

Таблица A12: Коефициент на едновременост ks за разпределителни табла (съгласно БДС EN (IEC) 60439-1)

Вериги, бр.	Коефициент на едновременност ks
За напълно типово изпитани табла	
от 2 до 3	0.9
от 4 до 5	0.8
от 6 до 9	0.7
10 и повече	0.6
За частично изпитани табла	1.0

Коефициент на едновременност в зависимост от функциите на веригите

Коефициентите **ks**, които могат да се използват за вериги, захранващи често срещани товари, са дадени на **Табл. A13**.

Таблица A13: Коефициент на едновременност за вериги с различно предназначение

Предназначение на веригата		Коефициент на едновременност ks
Осветление		1
Отопление и климатизация		1
Контакти		0.1 до 0.2 (1)
Асансьори и подемници (2)	■ За най-мощния двигател	1
	■ За втория по мощност двигател	0.75
	■ За всички останали двигатели	0.60

(1) В някои случи, особено в промишлените електрически уредби този коефициент може да бъде по-висок.

(2) Токът, който се разглежда в случая е равен на сумата от номиналния ток на двигателя и 1/3 от стойността на неговия пусков ток.

4.4 Пример за използване на коефициентите ku и ks

Пример за оценка на потребността от реална максимална мощност, в kVA, на всички нива на една електрическа уредба, започвайки от положението на всеки товар до точката на подаване на захранване е илюстриран на **Табл. A14** на противоположната страница.

В този пример, общата инсталирана пълна мощност е 126.6 kVA, която съответства на реална максимална стойност 65 kVA на страна НН на захранващия трансформатор СрН/НН.

Забележка: За да се избере правилно сечението на захранващия кабел за разпределителните вериги на електрическата уредба, токът I, в A, протичащ през една верига се определя с уравнението:

$$I = \frac{S \times 10^3}{U \sqrt{3}}$$

където S е реалната максимална трифазна пълна мощност, показана на схемата на разглежданата верига, kVA;

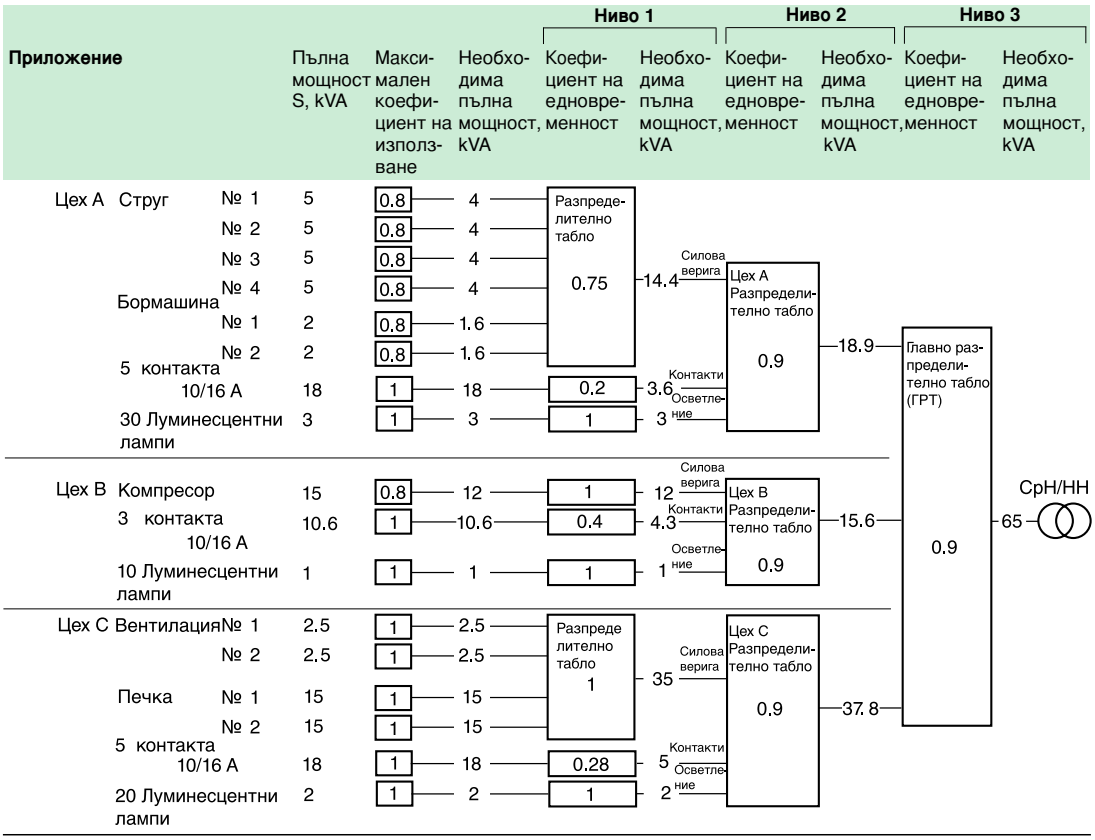
U – напрежението между фазите, V.

4.5 Коефициент на неедновременност на товара

Терминът „коефициент на неедновременност", както е определен в стандартите на IEC, е идентичен на коефициента на едновременност ks, който се използва в това Ръководство, съгласно раздел 4.3. В някои английско говорящи страни, обаче (към момента на написване на Ръководството) факторът на неедновременност е величина, обратна на ks, т.е. той е винаги по-голям или равен на 1.

© Schneider Electric - всички права запазени

Таблица A14: Пример за определяне на максималния товар на електрическа уредба (стойностите на коефициентите са само за демонстрационни цели)



4.6 Избор на номинална мощност на трансформатора

Когато електрическата уредба трябва да бъде захранена директно от трансформатор СрН/НН и пълната мощност на уредбата е вече определена, може да се избере пълната мощност на трансформатора, като се вземат предвид следните съображения (**Табл. A15**):

- Възможността за подобряване фактора ма мощността на уредбата (виж Глава L);
- Очаквано разширяване на уредбата;
- Ограничения на уредбата (например температура);
- Стандартни стойности на пълната мощност на трансформатора.

Таблица A15: Стандартни стойности на пълната мощност на трансформатори СрН/НН и съответните токове на страна НН

Пълна мощност,	In, A	
kVA	237 V	410 V
100	244	141
160	390	225
250	609	352
315	767	444
400	974	563
500	1218	704
630	1535	887
800	1949	1127
1000	2436	1408
1250	3045	1760
1600	3898	2253
2000	4872	2816
2500	6090	3520
3150	7673	4436

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Електрически товари на уредба

Номиналният ток In, в A, на страна НН на трифазен трансформатор се определя по:

$$Ia = \frac{S \times 10^3}{\sqrt{3} \times U}$$

където S е пълната мощност на трансформатора, kVA;
U – напрежението между две фази при отсъствие на товар (237 V или 410 V);
In – номиналният ток на трансформатора, A.

За монофазен трансформатор:

$$Ia = \frac{S \times 10^3}{V}$$

където V е напрежението на страна НН при отсъствие на товар, V.
Опростеното уравнение при 400 V (трифазен товар) е)
In = S x 1.4.
Използваният стандарт за силови трансформатори е IEC 60076.

4.7 Избор на захранващи източници

Изискването за осигуряване непрекъснатост на електроснабдяването поставя въпроса за употреба на резервни източници на захранване. Изборът и характеристиките на тези алтернативни източници са част от дейностите по избор на конфигурацията на елкетрическата уредба, които са описани в Глава D.

Изборът на основен захранващ източник се прави между включване към захранваща мрежа СрН или НН.

На практика включването към мрежа СрН може да бъде необходимо там, където товарът надхвърля (или такова надхвърляне се очаква) някакво ниво, обикновено от порядъка на 250 kVA, или когато изискваното качество на обслужване е по-високо от качеството, осигурявано нормално от мрежата НН.

Освен това ако уредбата, включена към мрежа НН може да предизвика смущения в съседни потребители, органите по електроснабдяване могат да препоръчат включване към мрежа СрН.

Захранването на потребителя, включен към мрежата СрН може да има следните предимства:

- Не се наблюдават смущения от съседни потребители, което може да се случи в мрежа НН;
- Възможност за свободен избор на типа заземителна система на страна НН;
- Възможност за по-голям избор на икономични тарифи;
- Възможност за много голямо увеличение на товара.

Трябва обаче да се отбележи, че:

- При определени обстоятелства, доставчикът на електрическа енергия може да участва в инвестиционния процес, например за електропроводните линии СрН;
- Част от стойността за включване може да бъде покрита, ако втори потребител се включи към линията НН след определено време от присъединяването на първия потребител;
- Потребителят има достъп само до страна НН на уредбата, докато до страна СрН достъп има само персонала на доставчика на електрическа енергия (отчитане показанията на електромерите на страна СрН, оперативни превключвания и др.). Обаче, в някои страни защитният прекъсвач на линията СрН (или товаров прекъсвач със стопяем предпазител) може да се управлява от потребителя.
- Типът и разположението на подстанцията се съгласува от потребителя с доставчика на електрическа енергия.

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава B
Свързване към разпределителна мрежа средно напрежение

Съдържание

1 Електроснабдяване при средно напрежение B2

1.1 Характеристики на електроснабдяването от разпределителна мрежа средно напрежение B2

1.2 Различни начини за включване към мрежа средно напрежение B11

1.3 Някои експлоатационни особености на разпределителните мрежи средно напрежение B12

2 Ред за монтаж на нова подстанция B14

2.1 Предварителна информация B14

2.2 Изучаване на проекта B15

2.3 Реализация B15

2.4 Въвеждане в експлоатация B15

3 Видове защита B16

3.1 Защита срещу поражения от електрически ток B16

3.2 Защита на трансформатор и вериги B17

3.3 Блокировки B19

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежение B22

4.1 Общи положения B22

4.2 Избор на комутационна апаратура за уредба СрН B22

4.3 Избор на комутационна апаратура за присъединяване и защита на трансформатор B25

4.4 Избор на силов трансформатор СрН/НН B25

4.5 Инструкции за употреба на електрообзавеждане за средно напрежение B29

5 Собствена подстанция с измерване на страна средно напрежение B32

5.1 Общи положения B32

5.2 Избор на електрически табла B34

5.3 Паралелна работа на трансформатори B35

6 Подстанции СрН/НН B37

6.1 Типове подстанции (трафопостове) B37

6.2 Закрита подстанция B37

6.3 Открита подстанция (трафопостове) B39

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроснабдяване при средно напрежение

Към момента няма международно споразумение за прецизно дефиниране на термина „средно” напрежение.
Нивата на напрежение, в някои страни се дефинират като „високи”, а в други се означават като „средни”.
В тази Глава разпределителните мрежи, които работят при напрежения по-малки или равни на 1000 V или по-малко се отнасят към мрежи НН, а разпределителните мрежи на електрическа енергия, изискващи една степен на трансформация (понижаване) на напрежението с цел захранване на мрежи НН, се разглеждат като мрежи СрН.

По икономически и технически причини номиналното напрежение на разпределителните мрежи СН, дефинирани по-горе не надхвърля 35 kV.

Главните особености, които характеризират системата за електроснабдяване включват:
- *Номиналното напрежение и съответните изолационни нива;*
- *Токът на късо съединение;*
- *Номиналният ток на клемите на уредби и обзавеждане;*
- *Заземяване.*

1.1 Характеристики на електроснабдяването от разпределителна мрежа средно напрежение

Номинално напрежение и съответни изолационни нива

Номиналното напрежение на мрежа или електрообзавеждане се определя в IEC 60038 (1) като „напрежение, за което е предназначена мрежата или електрообзавеждането и към което се отнасят определени работни характеристики”. Тясно свързано с термина номинално напрежение е „максималното работно напрежение на електрообзавеждането”, което зависи от изолационното ниво при нормална работна честота и към което могат да се отнесат други характеристики, съгласно препоръките към електрообзавеждането.
IEC 60038 определя „максималното работно напрежение на електрообзавеждането” като „максималната стойност на напрежението, при което е възможно да се използва електрообзавеждането, което възниква при нормални условия на работа по всяко време и във всяка точка на мрежата. Това изключва преходните пренапрежения, например, причинени от комутациите в мрежата.

Забележки:
1- Максималното работно напрежение на електрообзавеждането се посочва само за номинални напрежения на мрежа над 1000 V. Понякога не може да се гарантира нормална работа на електрообзавеждането до това максимално работно напрежение вземайки под внимание факта, че неговите характеристики зависят от стойността на приложеното напрежение (например, такива са загубите в кондензаторите, намагнитващия ток на трансформатори и др.).
В тези случаи, стандартите на IEC определят граница, до която може да се гарантира нормалната работа на електрообзавеждането.

2- Електрообзавеждането, използвано в мрежи с номинално напрежение до 1000 V, трябва да съответства на техническите изисквания за даденото номинално напрежение на мрежата както при работа, така и по отношение на изолацията.

3- Терминът „максимално работно напрежение на електрообзавеждането”, даден в IEC 60038 е идентичен на термина, даден в IEC 60694 за „номинално напрежение”. IEC 60694 се отнася за комутационна апаратура за напрежения над 1000 V.
Стойностите, посочени в **Табл. B1**, взети от IEC 60038, са най-често използваните стандартни стойности при електроразпределение СрН и се отнасят до номиналните напрежения на мрежата и съответните стандартни стойности на максималното работно напрежение на електрообзавеждането
Като правило тези мрежи са трипроводни, освен ако не е посочено друго.
Посочените стойности се отнасят за напреженията между фазите.
Стойностите, посочени в скоби не се препоръчват. Не се препоръчва използването на тези стойности при проектиране на нови мрежи.

Таблица B1: Връзка между номиналните напрежения на мрежата и максималното работно напрежение на електрообзавеждането

Серии I (за честота 50 Hz и 60 Hz)		
Номинално напрежение на мрежата,		Максимално работно напрежение на електрообзавеждането,
kV	kV	kV
3.3 (1)	3 (1)	3.6 (1)
6.6 (1)	6 (1)	7.2 (1)
11	10	12
-	15	17.5
22	20	24
33 (2)	-	36 (2)
-	35 (2)	40.5 (2)

(1) Тези стойности не трябва да се използват за разпределителни мрежи с общо предназначение.
(2) Унификацията на тези стойности е в процес на разглеждане.

(1) БДС IEC 60038:2002 Стандартни напрежения на IEC.
(2) БДС EN 60694+A1+A2:2006 Общи технически изисквания към стандартите за комутационни апарати за високо напрежение (IEC 60694:1996+A1:2000+A2:2001).

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроснабдяване при средно напрежение

Препоръчва се, отношението между две съседни номинални напрежения да е по-малко от 2.

За да се осигури надеждна защита на електрообзавеждането срещу свръхвисоки кратковременни пренапрежения с промишлена честота и преходни пренапрежения, предизвикани от мълнии, комутации или аварийни режими в мрежата и др., цялото електрообзавеждане СрН трябва да има подходящи номинални нива на „издържано напрежение" на изолацията.

Комутационна апаратура

Таблица B.2, посочена по-долу, взета от IEC 60694, съдържа стандартни стойности на „издържани напрежения". Изборът между стойностите на група 1 и 2 в табл. B.2 зависи от степента на вероятност за възникване на пренапрежения, предизвикани от мълния или комутации [1], режима на работа на неутралата, и типа на защитата срещу пренапрежение и др. (повече информация може да бъде получена от IEC 60071).

Таблица B2: Номинални нива на издържани напрежения на изолацията за комутационна апаратура

Номинално напрежение стойност) U, kV	Номинално издържано импулсно напрежение с атмосферен произход				Номинално издържано кратковременно напрежение с промишлена честота (ефективна стойност)	
	Група 1		Група 2			
(kV)	Към земя, между полюси и през отворено комутационно устройство, kV	През изолационно разстояние, kV	Към земя, между полюси и през отворено комутационно устройство, kV	През изолационно разстояние, kV	Към земя, между полюси и през отворено комутационно устройство, kV)	През изолационно разстояние, kV
3.6	20	23	40	46	10	12
7.2	40	46	60	70	20	23
12	60	70	75	85	28	32
17.5	75	85	95	110	38	45
24	95	110	125	145	50	60
36	145	165	170	195	70	80
52	-	-	250	290	95	110
72.5	-	-	325	375	140	160

Забележка: Стойностите на издържаното напрежение през „изолационно разстояние" са валидни само за комутационна апаратура, където изолационното разстояние между отворените контакти е проектирано така, че да удовлетвори изискванията за разединители (изолатори).

Трансформатори

Таблица B.3, по-долу, съдържа стойности, взети от стандарт IEC 60076-3. Смисълът на стойностите от група 1 и 2 е същият, както и при таблицата за комутационна апаратура, т.е. изборът зависи от вероятността за удар от мълния и др.

Таблица B3: Номинални напрежения за трансформатори, kV

Максимално напрежение за електрообзавеждане (ефективна стойност)	Номинално издържано кратковременно напрежение с промишлена честота (ефективна стойност)	Номинално издържано импулсно напрежение с атмосферен произход,	
		Група 1	Група 2
≤ 1.1	3	-	-
3.6	10	20	40
7.2	20	40	60
12	28	60	75
17.5	38	75	95
24	50	95	125
36	70	145	170
52	95	250	
72.5	140	325	

(1) Група 1 се отнася, главно, за комутационна апаратура, използвана в подземни кабелни мрежи, а Група 2 – за комутационна апаратурата за въздушни електропроводни линии.

© Schneider Electric - всички права запазени

Националните стандарти на всяка отделна страна са обикновено рационализирани и включват само едно или две нива на напрежение, токове и мощности при късо съединение.

Прекъсвачът или стопяемият предпазител за определен диапазон от напрежение са единствения вид комутационна апаратура, способен да комутира много големи токове, породени от къси съединения в мрежата СрН.

Други компоненти

Изолационните характеристики на други важни елементи, работещи на средно напрежение, например порцеланови или стъклени изолатори, високоволтови кабели, измерителни трансформатори и др., трябва да бъдат съвместими с комутационната апаратура и силовите трансформатори, разглеждани в началото. Програмата за изпитване на тези елементи се дава в съответни публикации на IEC.

Националните стандарти на всяка отделна страна са обикновено рационализирани и включват само едно или две нива на напрежение, токове и мощности (при аварийни режими - токове и мощности при късо съединнеие).

Обща забележка:

Стандартите на IEC са предназначени за приложение във всички страни и следователно включват широк диапазон от нива на напрежения и токове. Те отразяват различни методи, приети в страни с различни метеорологични, географски и икономически ограничаващи условия.

Ток на късо съединение

Стандартните стойности, характеризиращи максималния изключвателен ток и изключвателна възможност на прекъсвачите, обикновено се дават в kA

Тези стойности се отнасят за режим на трифазно късо съединение и се изразяват като ефективни стойности на променливата съставяща на тока във всяка от трите фази.

В **Табл. B4** са показани стандартните стойности на максималния изключвателен ток за прекъсвачи в диапазона номинални напрежения, разглеждани в тази глава.

Таблица B4 : Стандартни стойности на изключвателния ток на прекъсвачи

kV	3.6	7.2	12	17.5	24	36	52
kA	8	8	8	8	8	8	8
(ефек-	10	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
тивна	16	16	16	16	16	16	20
стой-	25	25	25	25	25	25	
ност)	40	40	40	40	40	40	
			50				

Изчисляване тока на късо съединение

Правилата за изчисляване на токовете на късо съединение в електрическите уредби са разгледани в стандарт IEC 60909.

Изчисляването на токовете на късо съединение в различни точки на захранващата система може бързо да се превърне в трудна задача, когато мрежата е със сложна конфигурация.

Използването на специализиран софтуер ускорява пресмятанията.

Този основен стандарт, приложим за всички радиални и затворени мрежи с честота (50 - 60) Hz и напрежение до 550 kV е много точен и надежден.

Той може да бъде използван за изчисляване на различни типове къси съединения (симетрични или несиметрични), които могат да възникнат в електрическата уредба:

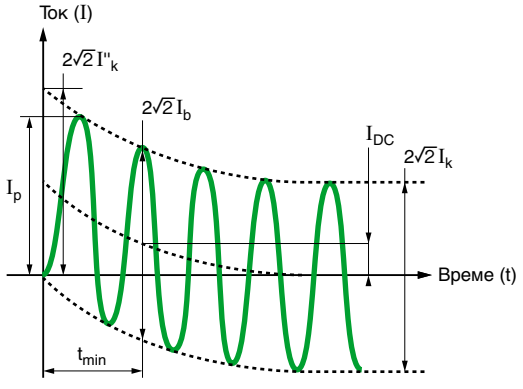
- Трифазно късо съединение (пълно) – обикновено този тип късо съединение предизвиква много големи токове;
- Двуфазно късо съединение (между две фази) – токовете са по-малки в сравнение с трифазното късо съединение;
- Двуфазно късо съединение към земя (между две фази и земя.);
- Еднофазно късо съединение със земя (между фаза и земя) – най-често срещания тип късо съединение (80 % от всички случаи).

Когато се появи късо съединение, преходният ток на късо съединение се изменя във времето и включва в себе си две компоненти (виж **фиг. B.5**):

- Променливотокова компонента, намаляваща до нейната установена стойност, предизвикана от различни въртящи машини и зависеща от техните времеконстанти;
- Постояннотокова компонента, намаляваща до нула, чиято големина зависи от момента на възникване на късо съединение и е функция от импеданса на веригата.

Погледнато практически трябва да се определят стойностите на параметрите на тока на късо съединение, които са необходими при избора на електрообзавеждане на мрежата и системите за защита:

- I''_k– ефективната стойност на началния симетричен ток на късо съединение;
- I_b – ефективната стойност на симетричния ток на късо съединение в момента на разединяване на първия полюс на прекъсвача при tmin (при минимално закъснение);
- I_k – ефективната стойност на установения ток на късо съединение;
- I_p – максималната амплитудна стойност на тока;
- I_{DC} – постояннотоковата компонента на тока.



Фиг B5: Графично представяне на величината ток на късо съединение съгласно IEC 60909

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроснабдяване при средно напрежение

Тези токове се означават с долни индекси 3, 2, 2E, 1, в зависимост от типа на късото съединение съответно трифазно, двуфазно (между две фази), двуфазно към земя и еднофазно към земя.

Методът, основан на суперпозиция на Тевенен и разлагане на симетрични съставящи, се заключва в прилагане към точката на късо съединение на еквивалентен източник на напрежение с цел определяне на тока. Изчислението се извършва на три етапа:

- Определяне на еквивалентния източник на напрежение, приложен към точката на късо съединение. Той представя напрежението, съществуващо в момента преди късо съединение и е с номинално напрежение, умножено с коефициент, отчитащ нестабилността на източника и поведението на машините в свръхпреходен режим;
- Изчисляване на пълното съпротивление на всеки клон спрямо точката на късо съединение. За система с права и обратна последователност при пресмятането не се отчита капацитета на линиите и електропроводимостта на паралелните, не въртящи се товари;
- След определяне стойностите на напрежението и пълното съпротивление се изчисляват минималните и максимални стойности на токовете на късо съединение.

Различните стойности на тока в точката на късо съединение се изчисляват с помощта на:

- Съществуващите уравнения;
- Уравненията, съгласно първия закон на Кирхов:
  - I''_k (виж **Табл. B6** за изчисляване на I''_k, където коефициента за напрежението е зададен от стандарта;
  - $I_p = \kappa \times 2 \times I''_k$, където κ е по-малко от 2 и се определя от отношението на реактивното и активното съпротивление R/X с права последователност за даден клон; сумиране на максимумите.
  - $I_b = \mu \times q \times I''_k$, където μ и q са по-малки от 1 и се определят в зависимост от генераторите и двигателите, а също и от минималното времезакъснение при изключване на тока; алгебрично сумиране.
  - $I_k = I''_k$, когато късото съединение е далече от генератора;
  - $I_k = \lambda \times I_r$, за генератор, където Ir е номиналният ток на генератора, а λ - коефициентът, зависещ от индукцията на насищане; алгебрично сумиране.

Таблица B6: Токове на късо съединение, съгласно IEC60909

Тип на късото съединение	I''_k	
	Типична ситуация	Отдалечено късо съединение
3-фазно	$\frac{c\ Un}{\sqrt{3}\ Z_1}$	$\frac{c\ Un}{\sqrt{3}\ Z_1}$
2-фазно	$\frac{c\ Un}{Z_1 + Z_2}$	$\frac{c\ Un}{2Z_1}$
2-фазно към земя	$\frac{c\ Un\ \sqrt{3}\ Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_0}$	$\frac{c\ Un\ \sqrt{3}}{Z_1 + 2Z_0}$
Еднофазно към земя	$\frac{c\ Un\ \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$	$\frac{c\ Un\ \sqrt{3}}{2\ Z_1 + Z_0}$

Характеристика

В зависимост от това как реагират при възникване на късо съединение съществуват два типа електрообзавеждане – пасивно и активно.

Пасивно електрообзавеждане

Тази категория включва обзавеждане, което в зависимост от предназначението си трябва да пропуска както номиналния ток, така и тока на късо съединение. Това електрообзавеждане обхваща кабели, проводници, шини, разединители, трансформатори, дросели и кондензатори, измервателни трансформатори. За такова електрообзавеждане възможността да се издържа тока на късо съединение без повреда се определя с отчитане на:

- Електродинамична устойчивост („максималния издържан ток"; пиковата ѝ стойност се дава в kA), характеризираща механичната якост при електродинамични натоварвания;
- Термична устойчивост („краткотраен издържан ток"; ефективната стойност, изразена в kA, за продължителност между 0,5 и 3 s, с предпочитана стойност 1 s, характеризираща максималнодопустимото количество разсейвана топлина).

© Schneider Electric - всички права запазени

Активно електрообзавеждане

Тази категория включва електрообзавеждане, предназначено да изключи токовете на късо съединение, т.е. прекъсвачи и предпазители. Това свойство се характеризира чрез изключвателната възможност и ако е необходимо, чрез включвателната възможност, при възникване на късо съединение.

■ Изключвателната възможност (виж **Фиг. B7**)

Тази основна характеристика на устройството, изключващо късото съединение се дефинира, като максималния изключвателен ток (ефективна стойност, изразена в kA), което то е способно да прекъсне при определени условия, определени от стандартите; в стандарт IEC 60056 се посочва ефективната стойност на периодичната компонента на тока на късо съединение. В някои други стандарти, се определя ефективната стойност на сумата от двете съставящи (периодичната и апериодичната). В този случай се определя „несиметричният ток на късо съединение".

Изключвателната възможност зависи от редица фактори като:

- Напрежението;
- Отношението R/X на комутираната верига;
- Честотата, използвана в захранващата система;
- Броят на повторните включвания и изключвания при максимален ток, например цикълът O – C/O –C/O (O – отваряне; C – затваряне);
- Състояние на устройството след изпитване.

Изключвателната възможност е сравнително трудна за определяне характеристика. Едно и също устройство може да има различна изключвателна възможност в зависимост от стандарта, по който тя се определя.

■ Включвателна възможност при късо съединение

Като правило тази характеристика се определя от изключвателната възможност, тъй като устройството трябва да бъде способно да се включи при ток, който то е в състояние да прекъсне. Понякога включвателната способност трябва да бъде по-висока, например при прекъсвачи, защитаващи генератори.

Включвателната способност се определя чрез амплитудната стойност (изразена в kA), тъй като първата асиметрична амплитуда е основен действащ фактор от гледна точка на електродинамичните натоварвания.

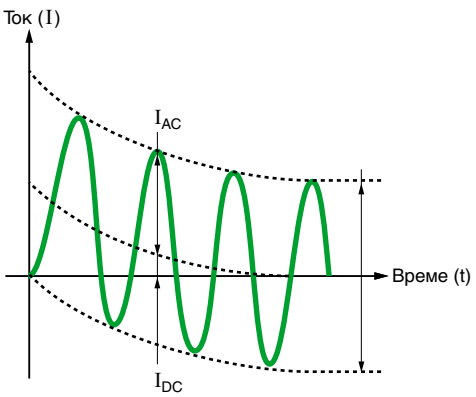
Например, съгласно стандарта IEC 62271-100, прекъсвач, използван в захранваща система с честота 50 Hz, трябва да бъде в състояние да издържи амплитуда на тока на включване, превишаваща ефективната стойност на комутирания ток 2,5 пъти (2,6 пъти за система с честота 60 Hz).

Товаровите прекъсвачи, а понякога и разединителите, също трябва да имат включвателна възможност независимо, че тези устройства не са в състояние да прекъснат тока на късо съединение.

■ Очакван ток на изключване на късо съединение

Някои устройства имат способността да ограничават тока на късо съединение, който е необходимо да прекъснат.

Тяхната изключвателна възможност се определя като максималния очакван ток на изключване, който би се получил по време на късо съединение на входните клеми на устройството.



I_{AC}: Амплитудна стойност на периодичната компонента;
I_{DC}: Апериодична компонента.

Фиг B7: Номинален ток на прекъсване от автоматичен прекъсвач, при късо съединение, съгласно IEC 60056

Специфични характеристики на устройствата

Функционалните възможности, осигурявани от различни прекъсващи устройства и техните основни ограничения са представени в **Табл. B8**

Таблица B8: Функции, осигурявани от прекъсващи устройства

Устройство	Гарантиране на изолация положение в изключено	Условия за комутация на тока		Основни ограничения
		Работен	Късо съединение	
Разединител	Да	Не	Не	Надлъжна входна/изходна изолация
Товаров прекъсвач	Не	Да	Не	Включване и изключване на ток при номинален товар Включвателна възможност при късо съединение
Контактор	Не	Да	Не	Номинална включвателна и изключвателна възможност Максимална включвателна и изключвателна възможност Характеристика на режима и срока на служби
Прекъсвач	Не	Да	Да	Включвателна и изключвателна възможност при късо съединение
Стопяем предпазител	Не	Не	Да	Минимална изключвателна възможност при късо съединение Максимална включвателна възможност при късо съединение

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроснабдяване при средно напрежение

Най-разпространената стойност на номиналния ток за разпределителна апаратура СрН с общо предназначение е 400 А.

Номинален ток

Номиналният ток се дефинира като „ефективната стойност на тока, който може да бъде провеждан продължително при номинална честота, предизвикващ загряване до температура не надвишаваща тази, посочена в съответния продуктов стандарт".

Изискванията към номиналния ток на комутационната апаратура се определят на стадии проектиране на подстанцията.

Най-разпространената стойност на номиналния ток за разпределителна апаратура СрН с общо предназначение е 400 А.

В промишлени зони и градски райони с висока плътност на товара понякога се изисква номинален ток 630 А. В същото време в подстанциите, захранващи мрежи СрН, за прекъсвачите на трафовъводите, секционните и шиносъединителните прекъсвачи се изискват стойности на номиналния ток 800, 1 250, 1 600, 2 500 и 4 000 А.

За понижаващи трансформатори с номинален ток на първичната намотка до 60 А може да бъде използван мощностен разединител СрН със стопяем предпазител.

За по-големи токове на първичната намотка комбинацията мощностен разединител – стопяем предпазител не отговаря на изискванията.

Няма IEC препоръки за стойностите на номиналните токове в случаите на използване на мощностни разединители със стопяеми предпазители. Фактически параметрите на мощностния разединител със стопяем предпазител, предоставен от производителя, са съгласно характеристиките на предпазителя и параметри на трансформатора като:

- Номиналният ток на страна СрН;
- Допустимият ток на натоварване и неговата продължителност;
- Максимална амплитуда и продължителност на преходния намагнитващ ток на трансформатора при включване;
- Положението на регулатора на напрежението на трансформатора, както е показано на примера в приложение А на IEC 61271-105.

Влияние на температурата на околната среда и надморската височина върху номиналния ток

Стойността на номиналния ток се отнася за всяко тоководещо електрическо устройство, а горните граници се определят от допустимото повишаване на температурата, предизвикано от разсейваната мощност (P) в проводниците, във W:

$P = I^2R$, където I е ефективната стойност на тока, A; R – съпротивлението на проводниците, Ω, и от топлината, отделена от загубите от пренамагнитване и вихрови токове в двигатели, трансформатори и др., и от диелектричните загуби в кабели и кондензатори.

Превишаването на температурата над температурата на околната среда ще зависи главно от скоростта на отвеждане на топлината. Например, големи токове могат да протичат в намотките на двигателя, но да не предизвикват тяхното прегряване, защото охлаждащият вентилатор, монтиран на вала на двигателя, отстранява топлината по-бързо, отколкото тя се образува и по такъв начин температурата се установява до стойност, при която не може да се наблюдава повреждане на изолацията и изгаряне на двигателя.

Трансформаторите с маслено и/или въздушно охлаждане са едни от най-известните примери за използване на такъв начин на „принудително охлаждане".

Номиналните стойности на тока, препоръчани от IEC, са разчетени за стойностите на температурата на околната среда, обикновено за умерен климат на височина не надвишаваща 1000 m надморско равнище. По такъв начин, елементите, които зависят от естествените условия на охлаждане чрез излъчване или вентилация, при работа с номинален ток в тропически климат и/или на височини, превишаващи 1000 m надморско равнище ще се прегряват. В тези случаи, номиналните стойности на параметрите на електрообзавеждането трябва да бъдат намалени, т.е. да бъде намалена стойността на номиналния ток.

Пример за трансформатор е разгледан в IEC 600076-2.

За трансформатори с принудително охлаждане в общия случай е достатъчно, за запазване изходните параметри, определени от IEC, да се поставят екрани за защита от слънцето, да се увеличат повърхностите на маслено-охлаждащият радиатор, количеството охлаждащо масло, мощността на помпите, подаващи масло, а също и размера на охлаждащите вентилатори.

За получаване на информация за как правилно да се намалят номиналните стойности на параметрите на комутационната апаратура в зависимост от фактическите условия на нейната работа е необходимо да се обърнете към производителя.

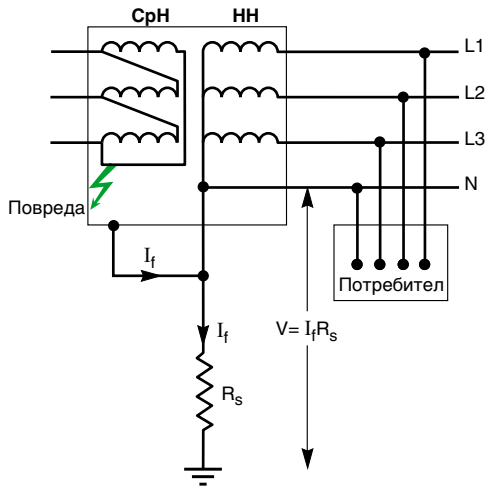
Системи на заземяване

Заземителната система и проводниците, които я свързват с електрообзавеждането, изискват задълбочено разглеждане, особено по отношение безопасността на потребителите на мрежи НН при възникване на късо съединение към земя във високоволтовите мрежи.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроснабдяване при средно напрежение

Късото съединение към земя в мрежите СрН може да предизвика опасни пренапрежения на страна НН на уредбата. Потребителите на мрежа НН могат да бъдат защитени от такава опасност чрез:
- *Ограничаване амплитудата на токовете на земно късо съединение в мрежите СрН;*
- *Намаляване съпротивлението на заземителната инсталация до възможно най-ниска стойност;*
- *Съставяне на система за изравняване потенциали в подстанция и в уредбата на потребителя.*



Фиг. B9: Изнасяне на потенциал

(1) Стойността на тока на земно съединение в мрежи СрН се определя основно от режима на заземяване на неутралата на страна СрН на захранващите трансформатори ВН/СрН. У нас се прилагат следните режими на работа на неутралата:
- изолирана неутрала;
- неутрала, заземена през Петерсенова бобина;
- неутрала, заземена през активно съпротивление и
- комбинирано заземяване през Петерсенова бобина и активно съпротивление.

Заземители

Обикновено, където това е възможно, се препоръчва да се разделят електродите, предназначени за заземяване на открити токопроводими части на високоволтовото електрообзавеждане от електродите, предназначени за заземяване на неутралата на страна НН.
Тази практика е широко разпространена в селски електрически мрежи, където заземителя на нулевия проводник на страна НН, се разполага на разстояние 1 или 2 междустълбия на електропреносната линия НН от подстанцията.
В повечето случаи поради ограничения за достъпни места, за градски трафопостове не е възможно да се използва тази практика, т.е. няма възможност по описания начин да се разделят високоволтовите от нисковолтовите заземители, за да се избегне пренасянето на (възможно опасни) напрежения към мрежата НН.

Ток на земно съединение

Нивата на тока на земно съединение на страна СрН биха били (ако той не е принудително ограничен) сравними с нивата на токовете, възникващи при трифазно късо съединение.
Такива токове, преминаващи през заземител, увеличават неговия потенциал спрямо „отдалечената земя" (земята около заземителя, получава висок потенциал; „отдалечената земя" има нулев потенциал).
Например, ток на земно съединение 10000 A, преминаващ през заземител със съпротивление 0,5 Ω (много ниско), увеличава неговия потенциал до 5000 V.
При условие, че всички открити метални части на подстанцията са „свързани" (съединени заедно) и след това са свързани към заземяващ електрод (заземител), а заземяващото устройство е изпълнено във вид на мрежа от проводници, разположени под пода на подстанцията, се осигурява безопасност на персонала. Така се образува еквипотенциална клетка, във която всички електропроводими материали, включително и персонала имат еднакъв потенциал.

Изнасяне на потенциал

Проблемът, известен като Изнасяне на потенциал включва няколко опасни момента. На **Фиг. B9** се вижда, че неутралата на страна НН на понижаващ трансформатор също е свързана към общия заземителен електрод на подстанцията. Така при повреда, като показаната на **Фиг. B9**, потенциала на нулевият проводник, фазните намотки на страна НН и проводниците на всички фази спрямо земя ще се „повдигне" със стойността $V = I_f \times Rs$.
Нисковолтовите разпределителни кабели, излизащи от подстанцията ще предадат този потенциал на уредбата на потребителя. Трябва да се отбележи, че пробив на нисковолтовата изолация между фази или фаза и неутрала няма да настъпи, тъй като потенциалът им спрямо земята е еднакво увеличен. Но е възможно, обаче, пробив на изолацията на кабела или коя да е част на уредбата между фаза и земя.

Решения

Първа стъпка за минимизиране на опасностите, свързани с изнасяне на потенциал е намаляване амплитудата на тока на късо съединение към земя в мрежа СрН. В повечето случаи това се постига чрез заземяване през резистори или реактори на неутралните точки на звездните центрове на страна СрН на трансформаторите, разположени в подстанции ВН/СрН (1).
Относително високия преносим потенциал не може да бъде напълно отстранен по този начин. Затова в някои страни е приет следния начин за решаване на този проблем: изграждане на система на заземяване с изравняване на потенциала (еквипотенциална заземяваща система) в сградата на потребителя.
Ако такава заземяваща уредба се свърже с нискоомен проводник към заземителя на подстанцията, то еквипотенциалните условия, съществуващи в подстанцията, ще съществуват и в уредбата на потребителя.

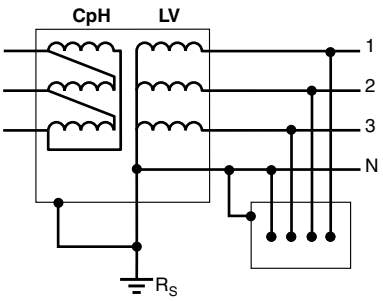
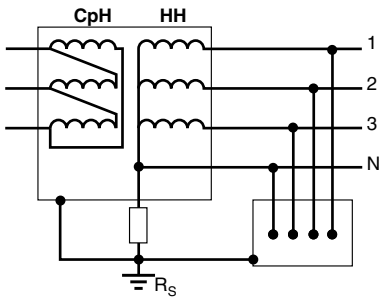
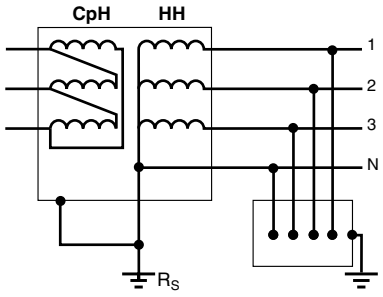
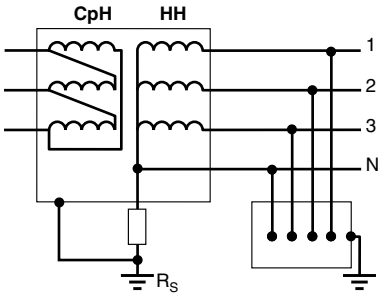
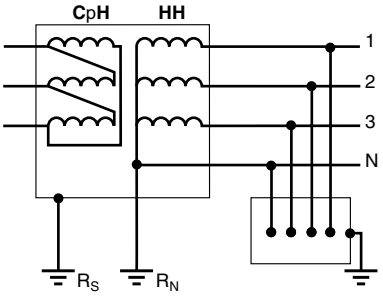
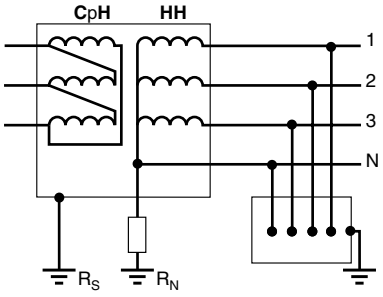
Нискоомна връзка

Такава нискоомна връзка се постига чрез свързване на нулевия проводник към еквипотенциалната уредба на абоната. В резултат се получава система, известна като схема TN (IEC 60364), която е показана на **Фиг. B10**, на следваща страница.
Схемата TN се реализира чрез многократно защитно заземяване (PME), при което нулевия проовдник е заземен през определени интервали по неговата дължина (на всеки 3-ти или 4-ти стълб от нисковолтовата разпределителна линия) и в мястото на захранване на потребителя. По такъв начин мрежата от нулеви проводници, излизащи от подстанцията, всеки от които е заземен през постоянни интервали, представлява заедно със собственото заземление на подстанцията много ефективен нискоомен заземител.

Комбинацията от ограничени токове на земно съединение, уредби с изравняване на потенциали и нискоомно заземяване на подстанция осигуряват значително намаляване на пренапреженията и ограничаване нивата на пренапрежение на изолацията на фаза спрямо земя при земното съединение на страна СрН, описано по-горе.

© Schneider Electric - всички права запазени

Фиг. B10: Максимално съпротивление на заземителя Rs на подстанция CpH/HH, осигуряващо безопасност при късо съединение към земя във високоволтовото електрообзавеждане при различни заземителни системи

Схеми	Стойност на Rs
A - TN-a  **B -** IT-a 	**Случаи A и B** В България Rs ≤ 4 Ω
C - TT-a  **D -** IT-b 	**Случаи C и D** $Rs \leqslant \frac{Uw - Uo}{Im}$ където Uw е номиналното издържано напрежение при номинална честота за нисковолтовото електрообзавеждане на уредбата на потребителя; Uo – фазовото напрежение на уредбата на потребителя; Im – максималната стойност на тока на земно съединение на страна CpH.
E - TT-b  **F -** IT-c  В случаи E и F нисковолтовите заземяващи проводници (свързващи достъпните токопроводими части) на подстанцията са заземени през заземителя на подстанцията, и затова само нисковолтовото електрообзавеждане на подстанцията може подложено на пренапрежение.	**Случаи E и F** $Rs \leqslant \frac{Uws - U}{Im}$ където Uws е издържаното напрежение при номинална честота за нисковолтовото електрообзавеждане на подстанция (тъй като откритите проводящи части на това електрообзавеждане са заземени през Rs); U – фазовото напрежение на подстанция за схема TT, и линейното напрежение за схема IT; Im – максималната стойност на тока на земно съединение на страна CpH.

Забележки:

- За схеми TN-a и IT-a, всички открити проводими части средно и ниско напрежение на подстанцията и на уредбите на потребителя, заедно със звездния център на трансформатора на страна НН, са заземени през заземителната система на подстанцията
- За схеми TT-a и IT-б, всички открити проводими части средно и ниско напрежение на подстанцията, заедно със звездния център на трансформатора на страна НН, са заземени през заземителната система на подстанцията.
- За схеми TT-б и IT-c, звездният център на трансформатора на страна НН е заземен отделно, извън зоната на действие на заземителната система на подстанцията

Ограничаване тока на земно съединение в мрежи CpH (на страна CpH) и заземяващото съпротивление на подстанция

Друга широко използвана заземителна система е показан на фиг. B.10,C. Очевидно е, че в схема TT заземяващата уредба на потребителя (изолирана от заземяващата уредба на подстанцията) представлява самостоятелна земя.

Това означава, че макар изнасяният потенциал да не влияе на междуфазната изолация на електрообзавеждането на потребителя, изолацията на трите фази спрямо земя ще бъде подложена на пренапрежение.
В този случай подходът се заключва в намаляване на съпротивлението на заземителя на подстанцията до стойност, при която стандартната стойност на 5-секундното издържано напрежение към земята за нисковолтовото обзавеждане и устройства няма да бъде надвишено.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроснабдяване при средно напрежение

Практическите стойности при система за електроснабдяване с напрежение 20 kV са:

■ Максималният ток при късо съединение към земя за въздушни електропроводни линии, или смесени (въздушни и подземни кабелни) системи е 300 A (1).

Формулата за определяне на максималната стойност на заземяващото съпротивление Rs, в Ω, в подстанция СрН/НН, при която се гарантира, че нисковолтовото издържано напрежение няма да бъде надхвърлено е:

$Rs = \frac{Uw - Uo}{Im}$ (виж случаи C и D на **Фиг. B10**),

където Uw = Uo + 1200 V е най-малката стандартна стойност на кратковременното (5 s) издържано напрежение за уредба и устройства на потребителя (IEC 60364 - 4 - 44), V;

Uo – фазното напрежение в мястото на захранване на потребителя с ниско напрежение, V;

Im – максималният ток на земно съединение в мрежа СН, A.

Този максимален ток на земно съединение Im е векторна сума от максималния ток на земно съединение в неутралата и сумарния несиметричен капацитивен ток в мрежата.

Третата разновидност на схемите за заземяване, която в стандарта IEC 60364 се нарича схема IT, се използва, главно там, където непрекъснато електроснабдяване е много важно. Например, болници, технологични процеси с непрекъснато производство и др. Тази схема се характеризира с това, че захранването се осигурява от независим източник, обикновено трансформатор вторичната намотка, на който не е заземена или е заземена през голямо съпротивление (над 1000 Ω). В тези случаи пробивът на изолация към земя във веригите НН, захранвани от вторични намотки, не поражда или предизвиква пренебрежимо малък ток на късо съединение. Неговото протичане е допустимо в продължение на време, след което се изключва авариралата верига и се извършват ремонтни дейности.

Случаи B, D и F (виж **Фиг. B10**)

Те илюстрират IT системи, в които неутралния проводник е заземен през съпротивления (примерно 1000 Ω). Ако, тези резистори се отстранят, схемата е незаземена и за нея са в сила следните положения.

Случай B (виж **Фиг. B10**)

Всички фазови проводници и неутралния проводник „плават" спрямо земята, към която те са „свързани" през (много големи) изолационни съпротивления и (много малки) капацитети между проводниците под напрежение и заземените метални части (тръбопроводи и др.).

Предполагайки, че изолацията е идеална всички фазови проводници НН и неутралния проводник чрез електростатична индукция ще бъдат повдигнати до потенциал, близък до потенциала на еквипотенциалните проводници.

На практика е най-вероятно, поради големият брой канали на утечка към земя от всички проводници под напрежение от множество паралелно работещи уредби, системата да се държи така, както в случая с наличие на заземяващ резистор, т.е. всички проводници ще получават потенциала на земята на подстанцията. В тези случаи пренапреженията, действащи върху изолацията НН, са малки или отсъстват.

Случаи D и F (виж **Фиг. B10**)

В тези случаи, високия потенциал на системата на заземяване на подстанцията действа на изолираните фазови проводници НН и неутралния проводник чрез:

■ Капацитивното съпротивление между намотките НН на трансформатора и неговия корпус;

■ Капацитивното съпротивление между еквипотенциалните проводници на подстанцията и жилата на нисковолтовите разпределителни кабели, излизащи от подстанцията;

■ Каналите на утечка на тока през изолацията.

В местата извън зоната на действие на системата за заземяване на подстанцията, съществуват капацитивни съпротивления между проводниците и земята (капацитивните съпротивление между жилата са несъществени) – всички жила са повдигнати до един и същ потенциал.

В резултат се получава капацитивен делител на напрежение, в който всеки „кондензатор" е шунтиран от съпротивления (каналите на утечка).

Като правило капацитетите на кабелите НН и проводниците спрямо земя са много по-големи, а изолационните съпротивления спрямо земя - много по-малки, в сравнение със съответните параметри на подстанцията. Затова голяма част от пренапреженията възникват в подстанцията между намотките НН на трансформатора и неговия корпус.

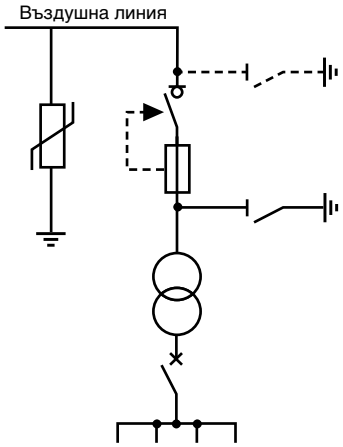
Повишаването потенциала на уредбите на потребителя е малко вероятно да бъде проблем там, където токът на земно съединение в мрежи СрН е ограничен, както е посочено по-горе.

Всички трансформатори, заземени по схема IT, с изолирана или заземена през голямо съпротивление неутрала, като правило са защитени с устройство за защита от пренапрежения. То автоматично свързва неутралата към земя, ако нивото на пренапрежение се доближи до нивото на електрическата якост на изолацията на нисковолтовата мрежа.

(1) При режим на заземяване през активно съпротивление на неутралата на страна СрН на захранващите трансформатори ВН/СрН.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроснабдяване при средно напрежение



Фиг. B11: Еднолинейна система за електроснабдяване

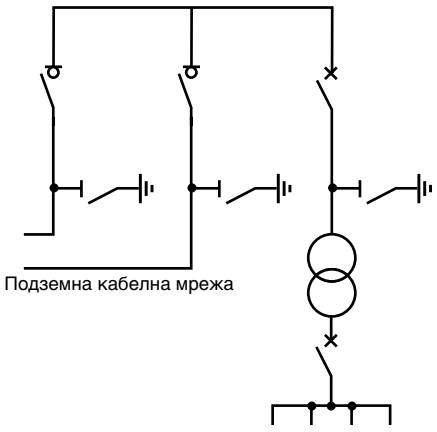


Fig. B12 : Електроснабдяване чрез пръстеновидна магистрала

В допълнение към ситуациите, посочени по-горе, съществуват няколко други случаи, в които могат да възникнат такива пренапрежения. Те са описани в т. 3.1.

Този тип земно съединение се среща много рядко, но когато се появи, той бързо се открива и отстранява чрез автоматично изключване от автоматичен прекъсвач при правилно проектирана и конструирана уредба.

Безопасността в случаи, свързани с повишаване на потенциали, напълно зависи от осигуряването на правилно организирани зони за изравняване на потенциали. Те са изградени от големи решетки на взаимносвързани неизолирани медни проводници, включени към вертикално разположени помеднени стоманени пръти(1).

Критерият за еквипотенциалност, който трябва да се спазва е описан в Глава F. В нея се разглежда защитата срещу поражения от електрически ток при индиректен допир, а именно: потенциалът между две открити метални части, които могат да бъдат докоснати едновременно от коя да е част на тялото при никакви обстоятелства не трябва да бъде по-голям от 50 V за суха среда или 25 V за влажна среда.

Особено внимание е необходимо да се обърне на границата на еквипотенциалните зони, за да се избегнат резките градиенти в потенциалите на повърхността на земята, които могат да доведат до възникване на опасни „крачни напрежения".

Този въпрос е тясно свързан с безопасното заземяване на ограждения и се разглежда в т.3.1.

1.2 Различни начини за включване към мрежа средно напрежение

В зависимост от типа на електроразпределителната мрежа СН се използват следните начини за организиране на електроснабдяването:

Еднолинейна (радиална) схема за електроснабдяване

Подстанцията СрН/НН се захранва от една линия на разпределителната мрежа СрН(кабелна или въздушна).

В общия случай комутацията на СрН се осигурява от устройство, съдържащо комбинация от товаров прекъсвач/разединител със стопяем предпазител и заземяващи разединители (**Фиг. B11**).

В някои случаи „подстанцията" представлява мачтов трафопост без високоволтова комутационна апаратура или предпазители (на стълба). Такъв тип електроснабдяване широко се използва в селски райони.

Защитните и комутационни устройства са разположени на разстояние от трансформатора и обикновено управляват главната въздушна линия, от която се отделят изводи за енергоснабдяване на потребители.

Електроснабдяване чрез пръстеновидна захранваща схема

Шините на уредбите, свързани по пръстеновидна схема трябва да пропускат пълния ток на схемата или тока на магистралата (виж **Фиг. B12**).
Най-общо една такава уредба се състои от:

- Два входа, всеки от които съдържа товаров прекъсвач/разединител и заземяващ разединител;
- Един извод с обща защита, включваща товаров прекъсвач и високоволтови предпазители, или комбиниран товаров прекъсвач със стопяеми предпазители, или прекъсвач и разединител, заедно със заземяващ разединител за всеки от изброените случаи.

Всички товарови прекъсвачи и заземяващи разединители имат номинални параметри, изчислени за режими на включване на късо съединение.

Тази захранваща схема осигурява на потребителя възможност за захранване от два източника. По такъв начин значително се намаляват загубите от прекъсване на електроснабдяването поради аварии или превключвания на електроснабдителните организации.

Основното приложение на пръстеновидните захранващи уредби е в подземни кабелни мрежи СрН за електроразпределение в градски райони.

Електроснабдяване чрез паралелни захранващи линии

Там, където е възможно включването на захранване на страна СрН по две линии или кабели, имащи начало от една и съща шинна система на подстанцията, често се извършва от високоволтово разпределително устройство, подобно на устройството за пръстеновидна схема на захранване (виж **Фиг. B13**).
Главната разлика в работата на устройствата по тези схеми е в това, че входните полета взаимно се блокират. Затова може да бъде включен само единият прекъсвач (разединител) на входната линия, т.е. неговото включване блокира включването на другия.

(1) Медта по отношение на другите метали е катод и затова е устойчива към корозия.
(2) У нас мрежите СрН с пръстеновидна конфигурация работят в режим, при който пръстена винаги е разкъсан в една точка от мрежата (трафопост). Така те се разглеждат като радиални, но при повреда по мрежата повредения участък може да бъде бързо изолиран чрез оперативни превключвания, мрежата да бъде преконфигурирана и захранването на потребителите да бъде възстановено.

© Schneider Electric - всички права запазени

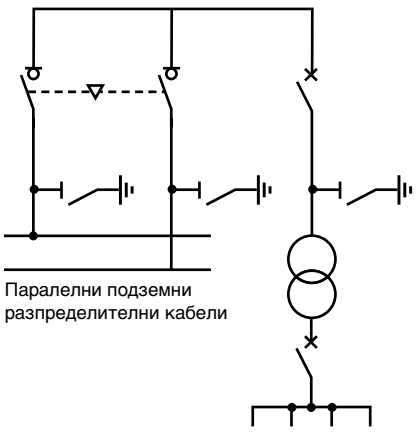
При прекъсване на електрозахранването, затвореният прекъсвач трябва да се отвори и чак тогава другият прекъсвач (до този момент той е отворен) може да бъде затворен.
Последователността на включване/изключване на прекъсвачите може да бъде реализирана ръчно или автоматично.
Този тип разпределителна схема намира приложение основно в разпределителни мрежи с висока плътност на товарите и в бързо развиващи се градски райони, захранвани от подземни кабелни мрежи СрН.

1.3 Някои експлоатационни особености на разпределителните мрежи средно напрежение

Въздушни електропроводни линии

Силните ветрове, обледяването и др. могат да предизвикат допиране на проводниците на въздушните линии и да предизвикат моментно (т.е. нетрайно) късо съединение.
Пробивът на изолация, предизвикан от счупени керамични или стъклени изолатори, в резултат на частици, намиращи се във въздуха, небрежна употреба на оръжие и др., или поради замърсени повърхности на изолаторите може да предизвика късо съединение към земя.
Много от тези аварийни режими се самоотстраняват. Например, в сухи условия, повреденият изолатор много често може да работи без да се проявява неговия дефект. Но по време на дъжд, буря и др. пробивът към земя (например към металната носеща конструкция) е много вероятен. Осен това замърсените повърхности обикновено предизвикват пробив към земя само в условия на повишена влажност.
Каналът на протичане на тока на късо съединение практически винаги се развива под формата на електрическа дъга. Интензивното топлоотделяне изсушава канала на протичане на тока и в някаква степен възстановява изолационните свойства. За това време защитните устройства срещу късо съединение обикновено успяват да заработят, т.е. предпазителите изгарят или прекъсвача изключва.
Опитът показва, че в повечето случаи възстановяването на захранването чрез замяна на предпазители или повторно включване на прекъсвача ще бъде успешно.
По тази причина е възможно значително да се подобри непрекъснатостта на захранване на въздушните разпределителни мрежи СрН чрез използване на схеми за автоматично повторно включване (АПВ) на прекъсвачи, монтирани в началото на линиите.
Такива автоматични схеми позволяват да се осъществят няколко операции за повторно включване ако първия опит не е успешен. За целта се регулира времето за закъснение между последователните опити (то позволява да се извърши дейонизация на въздуха в мястото на късо съединение) до задействане на блокиращото устройство на прекъсвача след всичките (обикновено 3) неуспешни опити.
Други подобрявания на непрекъснатостта на електроснабдяването се постигат чрез дистанционно управление на разединители, инсталирани по протежение на линията и работещи заедно с остройството за автоматично повторно включване.
Схемата, илюстрираща последователностите, е показана на **Фиг. B14** на следваща страница.
Принципът на действие се заключава в следното: ако след два опита за автоматично повторно включване прекъсвачът изключи, късото съединение се разглежда като трайно, и докато източникът е изключен и линията е без захранване, автоматичният разединител по линията изключва и изолира част от мрежата до третия опит за автоматично повторно включване.
В този случай са възможни два варианта:
- късото съединение е в част, която е изолирана от линейния автоматичен разединител и захранването е възстановено към тези потребители, свързани към останалата част;
- късото съединение е в част над линейния автоматичен разединител и прекъсвачът ще изключюи и блокира.

По такъв начин схемата с линеен автоматичен разединител осигурява възможност за възстановяване подаването на захранване на някои потребители в случаи на възникване на трайно късо съединение.
Независимо от това, че тези мерки подобряват значително надеждността на захранване от въздушните линии СрН, потребителите трябва, там където е необходимо, да използват свои собствени устройства, предотвратяващи възникването на моментни прекъсвания в захранването (между повторните включвания), например:
- Непрекъсваем резервен източник на захранване;
- Осветление, не изискващо охлаждане преди повторно включване (“hot restrike”).



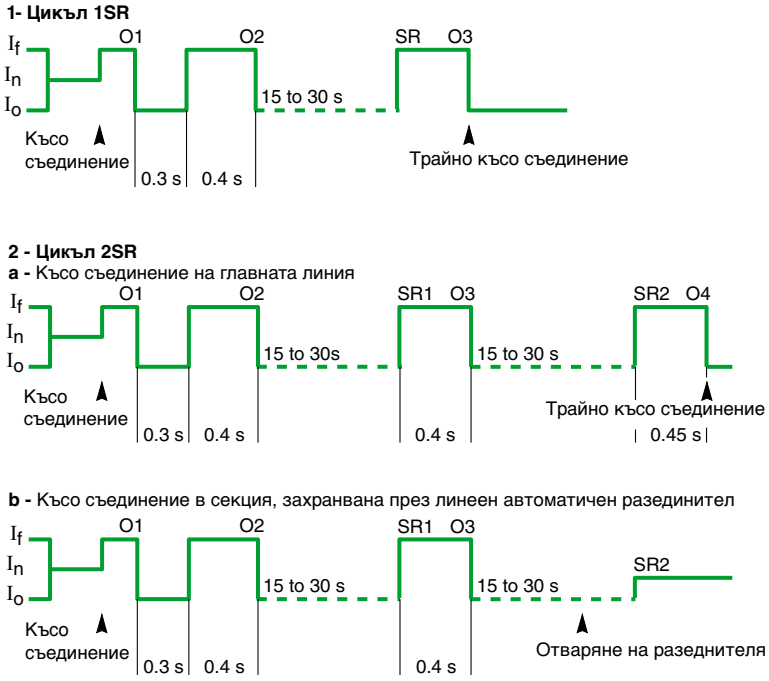
Фиг. B13: Електроснабдяване чрез паралелни източници

Подземни кабелни мрежи

Късите съединения в подземните кабелни мрежи понякога са предизвикани от лошото качество на работа на монтьорите, които ги полагат, но в повечето случаи са свързани с повреди, нанесени от инструменти като кирка, пневматична дрелка, земекопачна машина и др., използвани от други комунални служби.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроснабдяване при средно напрежение



Фиг. B14: Цикли на автоматично повторно включване на прекъсвач на въздушна линия СрН

Пробив в изолацията понякога става и във входовете на кабелите в шкафове поради пренапрежение, и в частност, в тези места на системата СрН, където въздушната електропреносната линия се съединява с подземния кабел. В този случай, пренапрежение обикновено възниква поради електромагнитни смущения в атмосферата и ефекта на отразяване на електромагнитни вълни. Те достигат в съединителната кутия (където рязко се изменя вълновото съпротивление на веригата) стойности, при които се наблюдава пробив в изолацията. В такива места често се монтират защитни устройства срещу пренапрежение - вентилни отводители.

Късите съединения в кабелните мрежи възникват по-рядко в сравнение с въздушните линии. Но те са почти винаги трайни, което изисква повече време за тяхното откриване и ремонт, отколкото във въздушните линии.

При възникване на късо съединение в пръстеновидна захранваща схема подаването на захранване към всички потребители може бързо да се възстанови, когато е открита повредената част на кабела. Обаче, ако късото съединение е в радиална линия, времето за неговото откриване и изпълнение на ремонтни работи може да достигне няколко часа и да окаже влияние на всички потребители, намиращи се след мястото на късо съединение.

В случай, че непрекъснатостта на захранването е важна за цялата уредба или част от нея е необходимо да се осигури резервен захранващ източник.

Дистанционно управление на мрежи средно напрежение

Дистанционното управление на захранващи линии СрН е полезно за намаляване времето на престой в случай на възникване на късо съединение в кабела чрез осигуряване на ефективно и бързо средство за преконфигурация на мрежата. Това се постига чрез телеуправляеми прекъсвачи с моторни задвижвания, инсталирани в някои подстанции в мрежата, свързани с подходящи центрове за дистанционно управление. На подстанцията с дистанционно управление винаги може да се подаде захранване чрез дистанционна команда, докато другите подстанции трябва да чакат за последващи ръчни операции.

Централизирано дистанционно управление, използващо системата SCADA (Диспечерско управление и събиране на данни) и съвременните разработки в областта на информационни технологии намират все по-широко приложение в страни, в които сложността на взаимносвързаните системи оправдава разходите.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Ред за монтаж на нова подстанция

Големите потребители на електроенергия се захранват от мрежа СрН.
В мрежите НН, работещи на 120/208 V (три фази четири проводника) товар от 50 kVA може да се разглежда като „голям”, докато в трифазна мрежа, работеща 240/415 V „големият” потребител може да има товар, превишаващ 100 kVA. И двата типа мрежи НН са широко разпространени в много части на света.
IEC препоръчва, в качеството на „световен” стандарт, напрежение 230/400V за 3-фазни 4-проводни мрежи.
Разстоянието, на което трябва да се пренесе електрическата енергия е още един фактор, който се отчита при избора на мрежа ниско или средно напрежение. Нагледен пример е обслужването на малки, но разположени на голямо разстояние един от друг селскостопански потребители.
Решението за избора на захранващата мрежа ниско или средно напрежение ще зависи от конкретните условия и съображенията, описани по-горе и обикновено се взема от доставчика на електроенергия за даден район.
Когато е взето решение за захранване от мрежа средно напрежение има два широко използвани метода за действие:
1 - Доставчикът на електроенергия изгражда стандартна подстанция близо до мястото на разположение на потребителя, като трансформаторът/те СрН/НН е(са) разположени в трансформаторен пост в помещения на потребителя близо до центъра на товара.
2 - Потребителят изгражда и обзавежда собствена подстанция на собствената си територия към която доставчикът на електроенергия извършва включване на линията средно напрежение.
При метода **1** доставчикът на електроенергия притежава подстанцията, кабелите, кабелите към трансформатора(-те), самия трансформатор(-те) и трансформаторното(-те) помещение(-я), до които доставчикът има неограничен достъп.
Трансформаторното(-те) помещение(-я) е (-са) изградени от потребителя (съгласно плана и изискванията, предоставени от доставчика) и включват в себе си цокли, маслоотводи, стени и тавани противопожарно изпълнение, вентилация, осветление и заземителна система. Всичко това трябва да бъде одобрено от представител на доставчика.
Структурите на тарифите покрива съгласувана част на разходите, необходими за предоставяната услуга.
Независимо от избрания метод при разработване на концепция и реализация на проекта трябва да се използват едни и същи принципи.
Следващите забележки се отнасят за метод **2**.

2.1 Предварителна информация

Преди началото на всички преговори и обсъждания с представители на доставчика потребителя трябва да има следните данни:

Потребителят трябва да осигури на доставчика определени данни на най-ранен етап от проекта.

Максимална очаквана мощност (kVA)

Определянето на тази стойност е описано в Глава A и трябва да отчита възможността за допълнително увеличаване на товара в бъдеще.
Коефициентите, които трябва да се познават на този етап са:
- Коефициентът на използване(ku);
- Коефициентът на едновременност (ks).

Планове на територията с посочване на коти и предполагаемото разположение на подстанцията

На плановете трябва да бъдат ясно посочени средствата за достъп до бъдещата подстанция, с посочване на размерите и възможните ограничения, т.е. размерите на входните коридори и височината на тавана, възможните теглови ограничения и др., отчитащи, че:
- Персоналът на доставчика на електроенергия трябва да има свободен и неограничен достъп до високоволтовото електрообзавеждане на подстанцията по всяко време;
- Достъпът в подстанцията е разрешен само за квалифициран и упълномощен персонал;
- Понякога доставчиците на електроенергия или действащите правила изискват част от уредбата, управлявана от доставчика да бъде разположена в отделно помещение от частта, управлявана от потребителя.

Необходима степен на непрекъснатост на електрозахранването

Потребителят трябва да оцени последствията от прекъсване на електроснабдяването от гледна точка на:
- производствени загуби;
- безопасност на персонала и обзавеждането.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Ред за монтаж на нова подстанция

Доставчикът на електроенергия трябва да даде специфична информация на предполагаемия потребител.

2.2 Изучаване на проекта

От информацията, предоставена от потребителя доставчикът на електроенергия трябва да определи:

Типа на предлаганото електрозахранване и да дефинира:

- Типа на захранващата мрежа: въздушна или подземна кабелна линия;
- Детайлите за присъединяване: една захранваща линия, пръстеновидна захранваща схема или паралелни захранващи линии и т.н.;
- Граничната мощност, в kVA, и стойността на тока на късо съединение.

Номинално и максимално напрежение

(Най-високото напрежение за електрообзавеждането) Съществуващо или бъдещо, в зависимост от развитието на системата.

Особености при измерване на електрическа енергия:

- Стойността на присъединяване към захранваща мрежа;
- Детайли на тарифите (за потребление и за инсталирана мощност).

Доставчикът на електроенергия трябва да даде официално одобрение на електрообзавеждането, което се монтира в подстанцията и предлаганите методи за монтаж.

2.3 Реализация

Преди началото на каква да е работа по уредбата трябва да бъде получено официално съгласие от доставчика на електроенергия. Заявката за одобрение трябва да включва следната информация, основана на предварителните бележки, описани по-горе:

- Разположение на предлаганата подстанция;
- Еднолинейна схема на силовите вериги и предложения за веригите за заземяване;
- Подробно описание на електрообзавеждането, което ще бъде инсталирано, включително неговите характеристики;
- План за разположение на електрообзавеждането и устройства за измерване на електрическа енергия;
- Предприети мерки за подобряване фактора на мощността, ако такива са необходими;
- Предприети мерки за организация на аварийно захранване (средно или ниско напрежение), ако такива са необходими;

След изпитвания и проверяване на уредбата от независим проверяващ орган се издава сертификат, който позволява въвеждането на подстанцията в експлоатация.

2.4 Въвеждане в експлоатация

Ако според изискванията на контролиращите органи е необходимо да се проведе изпитване на електрообзавеждането, след успешно им завършване се издава решение за присъединяване на електрическата уредба към захранващата мрежа. Ако такова изпитване не е необходимо от упълномощените органи се препоръчва да се проведат следните проверки:

- Измерване съпротивлението на заземяващите електроди;
- Непрекъснатост на веригите за заземяване и изравняване на потенциали;
- Външен преглед и проверка на всички високоволтови устройства;
- Изолационно съпротивление на високоволтовото електрообзавеждане;
- Диелектрична якост на трансформаторно масло (и масло в разпределителни устройства, ако има);
- Изпитване на нисковолтовото електрообзавеждане на подстанцията;
- Всички вътрешни блокировки (механични ключове и електрически блокировки) и последователност на всички операции;
- Правилност на работата на защитните релета и техните настройки.

Необходимо е също да се провери комплектността на електрообзавеждането, така че всяка операция да може да се извърши напълно и безопасно. След получаване на сертификат за съответствие (ако е нужно):

- Персоналът на доставчика подава захранване на високоволтовото електрообзавеждане и проверява нормалната работа на устройствата за отчитане на електроенергия;
- Изпълнителят е отговорен за изпитването и свързването на уредбата ниско напрежение;

Когато подстанцията е напълно въведена в експлоатация::

- Подстанцията и цялото електрообзавеждане принадлежат на потребителя;
- Доставчикът осъществява експлоатационен контрол на високоволтовото разпределително обзавеждане на подстанцията. Например, входните товарови прекъсвачи и този на трансформатора, заедно с всички свързани с тях високоволтови заземяващи разединители;
- Персоналът на доставчика има неограничен достъп до високоволтовото електрообзавеждане;
- Потребителят има независим контрол само над високоволтовия мощностен разединител (или прекъсвач) на трансформатора. Той отговаря за техническото обслужване на цялото електрообзавеждане на подстанцията и трябва да подава писмено искане към доставчика за изключване и заземяване на комутационната апаратура, при провеждане на дейност по техническо обслужване. Доставчикът трябва да издаде писмено разрешение за провеждане на дейности по техническо обслужване от персонала на потребителя, заедно с ключовете за деблокиране на разединителите и др.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Видове защита

Предмета на защитните мерки в електроенергетиката е много голям. Той включва всички аспекти за безопасност на персонала, защита от повреждане или разрушаване на собствеността, на производството и на електрообзавеждането.
Тези различни аспекти на защитата могат да се класифицират съгласно следните дейности:
- Защита на персонал и животни срещу опасности от пренапрежения и електрически удари, пожар, експлозии, токсични газове и др.;
- Защита на производството на обзавеждането и компонентите на захранващата мрежа срещу къси съединения, атмосферни въздействия (мълнии) и нестабилност на захранващата мрежа (загуба на синхронизъм и др.);
- Защита на персонала и обзавеждането от опасности при неправилни манипулации, чрез употреба на електрически и механични блокировки. Всички комутационни устройства имат ясно определени операционни ограничения. Това означава, че реда, в който различните типове комутационни устройства могат да бъдат безопасно включени и изключени е съществено важен. За да се осигури спазване на правилните операционни дейности често се използват ключове за блокировка и електрически блокировки.

Пълното описание на многобройните схеми за защита, достъпни за инженерите от системата на електроснабдяване е извън рамките на това Ръководство. Надяваме се, че следващите Раздели, описващи общите принципи на защита ще бъдат полезни. Въпреки, че някои от разглежданите защитни устройства имат общо предназначение, описанието се отнася за тези устройства, които широко се използват в мрежи СрН и НН, както е посочено в т.1.1. на тази Глава.

3.1 Защита срещу поражения от електрически ток

Защитата срещу поражения от електрически ток и пренапрежения е тясно свързана с осигуряване на ефективно заземяване (с малко съпротивление) и ефективно използване на принципите на еквипотенциална среда.

Защитните мерки срещу поражения от електрически ток отчитат две основни опасности:
- Контакт с активен проводник, т.е. намиращ се под напрежение по отношение на замята при нормални обстоятелства. Той се отнася към опасности от „директен допир";
- Контакт с тоководеща част на апаратура, която нормално не се намира под напрежение, но която в даден момент е под напрежение поради неизправност в изолацията на електрообзавеждането. Това се отнася към опасности от „индиректен допир".

Трябва да се отбележи, че има и трети тип опасности от поражение с електрически ток, който може да съществува поради близост до високоволтови или нисковолтови (или смесени) заземителни електроди, по които протича тока на земно съединение. Тази опасност възниква поради разлика в потенциалите в повърхността на почвата и се нарича крачно напрежение. При това токът протича в тялото през единия крак и излиза през другия, което е особено опасно за животни с четири крака. Вариант на тази опасност, известен като „допирно напрежение" може да се появи, например, когато заземена метална част е разположена в област, където съществува разлика в потенциалите. Докосването до тази част на електро-обзавеждането може да доведе до протичане на ток през ръката и двата крака.
Животните със сравнително големи разстояния между предните и задните крака са особено чувствителни към крачното напрежение. Известни са случаи, когато е наблюдава смърт на едър рогат добитък от разлика в потенциали, предизвикана от заземена неутрала (230/400 V) с недостатъчно ниско съпротивление.
Описаните по-горе проблеми с породени от разлика в потенциалите обикновено не се срещат в електрически уредби, в сгради при условие, че всички еквипотенциални проводници правилно съединяват всички открити метални части на електрообзавеждането и всички външни метални конструкции (които не са част от електрообзавеждането, например стоманени рамки и др.) със защитен заземяващ проводник.

Защита от директен допир или основна защита

Главна форма на защита срещу директен допир е разполагането на всички тоководещи части в корпуси от изолационен материал или в метални заземени корпуси, разположени извън границата на достигане (зад бариери или на стълбове) или чрез монтиране на заграждения. Там, където изолираните тоководещи части са в метален корпус (например, трансформатори, електродвигатели, много битови електроуреди), той трябва да бъде съединен със защитна система на заземяване.
За високоволтова комутационна апаратура, стандарта IEC62271-200 (Комплектни комутационни устройства за високо напрежение – Променливотокови комутационни устройства в метална обвивка за обявени напрежения над 1 kV и до 52 kV включително) определя минимална Степен на защита (IP код) равен на IP2X, който осигурява защита от директен допир. Освен това металния корпус трябва да има непрекъсната електрическа връзка между отделните си части. Подходящо заземяване на корпуса подобрява електробезопасността на операторите при нормални работни условия.
За нисковолтови апарати земяването се реализира чрез третия щифт на 3-щифтов щепсел и контакт. Пълно или частично късо съединение през изолация към метален корпус може да увеличи напрежението на корпуса до висока стойност (в зависимост от отношението на съпротивлението на утечка през изолацията към съпротивлението на металния корпус към земя).

© Schneider Electric - всички права запазени

Защита срещу индиректен допир

При докосване на човек до металния корпус на апарата с неизправна изолация, както е описано по-горе, се получава индиректен допир.
Индиректният допир се характеризира с това, че протича ток на утечка към земя (през заземения защитен проводник (PE)) успоредно с тока, протичащ през човека.

Случай на повредена изолация в мрежа НН

Многобройните изпитвания са показали, че ако потенциалът на металния корпус е не по-голям от 50 V спрямо земя, или спрямо кой да е проводящ материал в границите на определено разстояние, опасност не съществува.

Опасност от индиректен допир в случай на повредена изолация в мрежа ВН

Ако съществува повредена изолация на апарата между високоволтов проводник и металния корпус, обикновено е невъзможно да се ограничи повишаването напрежението на корпуса до 50 V или по-малко, само чрез намаляване на заземяващото съпротивление. Подходящо решение на този случай е в създаването на еквипотенциална ситуация, както е описано в точка 1.1 “Системи на заземване”.

3.2 Защита на трансформатор и вериги

Общи положения

Електрообзавеждането и веригите в една подстанция трябва да бъдат защитени, за да се избегнат или контролират повредите, предизвикани от свръхтокове или свръхнапрежения. Всяко електрообзавеждане, използвано в електрическите уредби, има стандартни стойности на допустимите кратковременни претоварвания по ток и напрежение. Ролята на защитната система е да гарантира, че тези допустими граници никога няма да бъдат надвишени. В общия случай това означава, че условията, поради които възниква повредата, трябва да бъдат отстранени колкото е възможно по-бързо, със задължително осигуряване на координация между устройствата за защита над и под защитаваното обзавеждане. Това означава, че ако в мрежата има повреда, тя се регистрира едновременно от няколко защитни устройства, но само едно от тях трябва да задейства.
Такива устройства могат да бъдат:

- Стопяеми предпазители, прекъсващи тока на повреда директно или с помощта на механично изключващо устройство, което изключва свързания с него трифазен товарен прекъсвач;
- Реле, което действа индиректно на бобината на автоматичния прекъсвач.

Защита на трансформатор

Пренапрежения, предизвикани от захранващата мрежа

Понякога в захранващата мрежа могат да възникнат пренапреженови вълни като:

- Атмосферни пренапреженови вълни

Атмосферните пренапреженови вълни се предизвикват от попадение на мълнии, върху линия или близо до въздушна електропреносна линия.

- Комутационните пренапреженови вълни

Внезапното изменение на установените работни условия в електрическата мрежа предизвиква различни кратковременни явления. Обикновено това са пикове на напрежението, високочестотни или със затихващи колебания.
И за двата типа пренапреженови вълни използваното защитно устройство е вентилен отводител (на основата на ZnO).

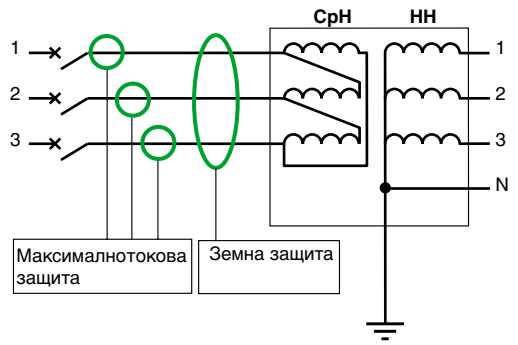
Претоварвания, предизвикани от увеличен товар

Претоварвания на трансформатора се наблюдават често поради едновременното включване на голям брой малки товари, или увеличаване на консумираната пълна мощност, в kVA, на уредбата, което е предизвикано от развитие на предприятието, изграждане на нови здания и т.н. Увеличаването на товара повишава температурата на проводниците и на изолационния материал. В резултат, повишената температура предизвиква намаляване срока на служба на електрообзавеждането. Защитните устройства срещу претоварвания могат да бъдат разположени на първичната или вторичната страна на трансформатора. Защитното устройство срещу претоварване на трансформатора се осигурява от електронно реле, което изключва автоматичния прекъсвач на вторичната страна на трансформатора. Такова реле, обикновено наричано термично защитно реле, изкуствено моделира температурата, отчитайки времеконстантата на трансформатора. Някои от тях са в състояние да вземат под внимание и ефекта от хармоничните токове, породени от нелинейни товари (изправители, компютърно обзавеждане, регулируеми електрозадвижвания и др.). Релета от този тип са в състояние да прогнозират времето, след което ще се извърши изключване поради претоварване и времето, след което е възможно повторно включване. Така, че тази информация е много полезна при контрол на операции за намаляване на товара.
Освен това, по-големите маслени трансформатори често имат термостати с две настройки, една за сигнализация и друга за изключване.

© Schneider Electric - всички права запазени

Фиг. B15: Маслен трансформатор с консерватор

Фиг. B16: Маслен трансформатор тип "total-fill" (напълно запълнен)



Фиг. B17: Защита срещу земно съединение на страна CpH на трансформатор

Сухите трансформатори използват преобразуватели на температура, вградени в най-горещата част на изолацията на намотката, действащи също на сигнал и на изключване.

Вътрешни повреди

Защитата на трансформатори с разширителен съд за масло, срещу вътрешни повреди, се осигурява от устройства, монтирани на трансформатора, а именно от т.нар. Бухолцово механично реле (виж **Фиг. B15**). Тези релета могат да открият бавно натрупване на газове, които възникват в резултат на първоначално искрене при пробив в изолацията на намотките или поради навлизане на въздух в резултат на изтичане на масло. Това първо ниво на откриване обикновено предизвиква задействане на сигнализация, но ако условията продължат да се влошават, второто ниво на откриване ще предизвика изключване на прекъсвача CpH.

Функцията откриване рязкото повишаване на маслото в Бухолцовото реле "мигновено" изключва горестоящия прекъсвач, ако в тръбата, съединяваща главния резервоар с масло с разширителния съд се наблюдава рязко увеличаване нивото на маслото (маслена вълна).
Такава вълна може да възникне поради рязко повишаване нивото на маслото, предизвикано от бързо образували се газови мехури. Те се появяват в резултат на електрическа дъга в маслото, породена от тока на късо съединение.
В момента се предлагат маслени трансформатори с мощност до 10 MVA, от типа "total-fill (напълно запълнен)", които имат специално конструирани радиатори – охладители на масло.
Разширяването на маслото не се съпровожда от прекомерно увеличаване на налягането, поради ефекта на "разтягане" в радиаторните елементи. Пълно описание на тези трансформатори е дадено в точка 4.4 (виж **Фиг. B16**).
Очевидно е, че Бухолцовите устройства, които бяха споменати по-горе не могат да се използват в такива конструкции Затова са разработени техни съвременни заместители, които измерват:

- Натрупването на газ;
- Повишаването на налягането;
- Повишаването на температурата.

Първите две условия предизвикват изключване на горестоящия прекъсвач CpH, а третото условие – изключва долустоящия автоматичен прекъсвач НН.

Вътрешно късо съединение между фазите

Вътрешното късо съединение между фазите може да бъде открито и отстранено чрез:

- три стопяеми предпазители, включени на страна CpH на трансформатора, или
- максималнотокова релейна защита, която изключва прекъсвача CpH.

Вътрешно късо съединение между фаза и земя

Това е най-често срещаната вътрешна повреда. Открива се чрез земна защита. Тока на земно съединение може да бъде изчислен като векторна сума на трите първични фазни тока (ако се използват три токови трансформатора) или чрез тороидален токов трансформатор. Ако се изисква висока чувствителност тороидалния токов трансформатор е за предпочитане. (виж **Фиг. B17**).

Защита на вериги

Защитите на вериги, разположени на страна НН на трансформатора, трябва да отговарят на изискванията на стандарт IEC 60364.

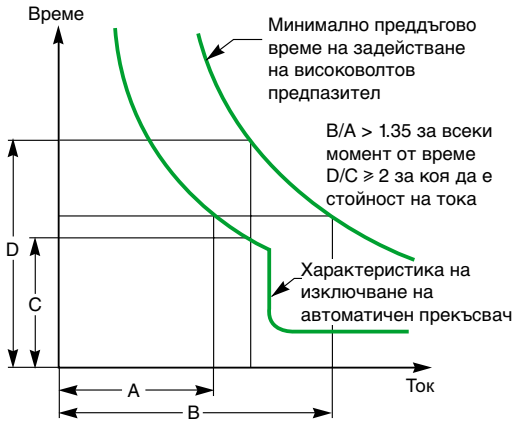
Селективност между защитните устройства на страна високо и ниско напрежение на трансформатора

Потребителската подстанция с измерване на електрическа енергия на страна НН изисква селективна работа на високоволтовите предпазители или високоволтовите прекъсвачи и нисковолтовите автоматични прекъсвачи и предпазители. Номиналните параметри на високоволтовите предпазители трябва да бъдат избрани в съответствие с характеристиките на трансформатора.
Времетоковите характеристики на нисковолтовия автоматичен прекъсвач, трябва да бъдат такива, че в условия на претоварване или късо съединение във веригата след прекъсвача той да изключва достатъчно бързо, за да се предотврати изгаряне на високоволтовите предпазители или изключване на високоволтовия прекъсвач.
Времетоковите характеристики на предпазителите и прекъсвачите високо напрежение и прекъсвачите ниско напрежение се дават на графики, показващи зависимостта на времето на изключване на устройствата от големината на протичащия през тях ток. Двете криви имат обратнозависима характеристика време/ток (с мигновено прекъсване в кривата на прекъсвача при стойност на тока, превишаваща стойността, при която се наблюдава "моментно" изключване - отсечка).
Тези криви са илюстрирани на **Фиг. B18.**

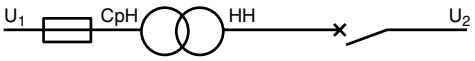
- За да се осигури селективност:

кривата на предпазителя или на автоматичния прекъсвач ВН трябва да бъде разположена над и надясно от кривата, отнасяща се до автоматичния прекъсвач;

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. B18: Селективност при работа на високоволтов стопяем предпазител и нисковолтов автоматичен прекъсвач, монтирани за защита на трансформатор



Фиг. B19: Работа на високоволтов стопяем предпазител и нисковолтов автоматичен прекъсвач

■ За да не заработят предпазителите (т.е. да не изгорят):

Всички точки на минималната преддъгова крива на предпазителя трябва бъдат разположени надясно от кривата на автоматичния прекъсвач с коефициент 1,35 или повече (например, там, където в момента от време T кривата на изключвателя преминава през точка, съответстваща на 100 A, кривата на предпазителя в същия момент T трябва да преминава през точка, съответстваща на 135 A, или повече и т.н.), а всички точки от кривата на предпазителя трябва да бъдат разположени над кривата на прекъсвача с коефициент 2 и повече (например, там, където при стойност на тока I кривата на прекъсвача преминава през точка, съответстваща на 1,5 s, кривата на предпазителя при същата стойност на тока I трябва да премине през точка, съответстваща на 3 s, или повече и т.н.).

Коефициентите 1.35 и 2 са определени на основата на стандартните максимални допуски, използвани при изработката на стопяеми предпазители и нисковолтови автоматични прекъсвачи.

За да се сравнят двете криви, високоволтовите токове трябва да се преобразуват в еквивалентни нисковолтови токове или обратно.

Там, където се използва нисковолтов разединител със стопяем предпазител също трябва да се осигури подобно разпределение на кривите на високоволтовия и нисковолтовия предпазител;

■ За да не заработи защитата на високоволтовия защитен прекъсвач:

Всички точки на кривата на изключване на прекъсвача CpH трябва да бъдат разположени на дясно от кривата на автоматичния прекъсвач НН с коефициент 1.35 или повече (например, където в момента T кривата на автоматичния прекъсвач НН преминава през точка, съответстваща на ток 100 A, кривата на прекъсвача CpH в същия момент T трябва да преминава през точка, съответстваща на 135 A или повече и т.н.), а всички точки от кривата на прекъсвача CpH трябва да бъдат разположение над кривата на автоматичния прекъсвач с 0.3 s.

Коефициентите 1.35 и 0.3 s са определени на основата на стандартните максимални допуски, използвани за високоволтови токови трансформатори, защитни релета на високоволтово обзавеждане и автоматични прекъсвачи НН.

За да се сравнят двете криви високоволтовите токове трябва да се преобразуват в еквивалентни нисковолтови токове или обратно.

Избор на защитни устройства към първичната страна на трансформатора

За малки стойности на тока на задействане, защитата може да бъде реализирана чрез предпазители или прекъсвач.

Когато стойността на тока на задействане е голяма, защитата се осъществява чрез прекъсвач.

Прекъсвачът осигурява по-чувствителна защита на трансформатора от стопяемите предпазители. Освен това, при използване на прекъсвачи по-лесно се реализират допълнителни защитни мерки (защита от ток на късо съединение към земя, защита от топлинно претоварване).

3.3 Блокировки

Механичните и електрическите блокировки са включени в механизмите и контролните вериги за управление на апарати, монтирани в подстанции, като защитни мерки срещу неправилни действия на оперативния персонал.

Механичната защита срещу нарушаване на необходимата последователност от действия на отделно обзавеждане (например, комутационен апарат и трансформатор) се осигурява чрез взаимна блокировка с предаване на ключ. Тази схема е предназначена да предотврати какво да е неправилно действие на персонала. Някои от тези операции могат да бъдат опасни за персонала, а други да предизвикат повреждане на електрическото обзавеждане.

Основна блокировка

Основните функции на блокировката могат да се изпълнят в един функционален модул; някои от тези функции са задължителни, съгласно стандарт IEC 62271-200, а други могат да бъдат реализирани по избор от потребителя.

За да се получи достъп до високоволтовата комутационна апаратура трябва да се извършват редица операции в определен порядък. Необходимо е да се изпълнят операциите в обратен ред, за да се приведе системата в нейното предишно състояние. Чрез точни и ясни процедури или чрез блокировки може да се гарантира, че операциите ще бъдат изпълнени в точната последователност. Тогава такава достъпна част от електрообзавеждането ще има статус “достъпен и блокиран” или “достъпен по процедура”. Дори и за потребители, правилно изпълняващи строгите процедури, използването на блокировки осигурява допълнителна защита на оперативния персонал.

© Schneider Electric - всички права запазени

Взаимна блокировка на устройство с ключ

Освен блокировка на отделен функционален модул (виж също точка 4.2) много широко се използва формата за блокиране/взаимно блокиране на устройство, основано на принципа на предаване на ключ.
Принципът е основан на възможността да се вземат или предадат един или няколко ключа, без които, е невъзможно да се изпълнят определени условия. Тези условия могат да бъдат комбинирани в уникални и задължителни последователности. По такъв начин се гарантира безопасността на персонала и обзавеждането чрез избягване на погрешна операционна процедура.
Не съблюдаването на правилната последователност на операциите в кой да е случай може да има много сериозни последствия, както за работния персонал, така и за обзавеждането.
Забележка: Важно е да се осигури схема за взаимна блокировка на етапа проектиране на подстанцията СрН/НН. По този начин, разглежданите апарати ще бъдат снабдени при производството им по подходящ начин с ключове и блокиращи устройства.

Надеждност на енергоснабдяването

За определено разпределително табло, определянето на достъпните секции, а също и на условията за достъп до тях, представлява основа за класификация на прекъсванията в електроснабдяването, обяснени в стандарта IEC 62271-200. Използването на блокиращи устройства или само на правилни процедури не оказва никакво влияние върху непрекъснатостта на електроснабдяването. Само изискването на достъп към конкретна част от електрообзавеждането при нормални работни условия се отразява на непрекъсната доставка на електроенергия.

Взаимни блокировки в подстанции

В разпределителна подстанция СрН/НН, която включва:
- Една или две входни килии СрН;
- Килия за защита на трансформатора, която може да включва комбиниран мощностен разединител с високоволтови предпазители и заземяващ разединител, или автоматичен прекъсвач и разединител, заедно със заземяващ разединител;
- Трансформаторна килия.

Взаимните блокировки позволяват да се осъществи достъп и действия при следните условия:

Основни блокировки, вградени във функционални блокове
- Работа с товаровия прекъсвач:
  - ако вратата на килията е затворена и свързания с нея заземяващ разединител е отворен.
- Работа с разединителя на трансформаторното присъединение:
  - ако вратата на килията е затворена, и
  - ако прекъсвача е изключен, и заземителният разединител е отворен.
- Включване на заземяващ разединител:
  - ако съответстващия разединител е отворен (1).
- Достъп към достъпни отсеци на всяка килия ако са били предвидени блокировки:
  - ако съответстващия разединител е отворен, а заземяващия разединител е затворен.

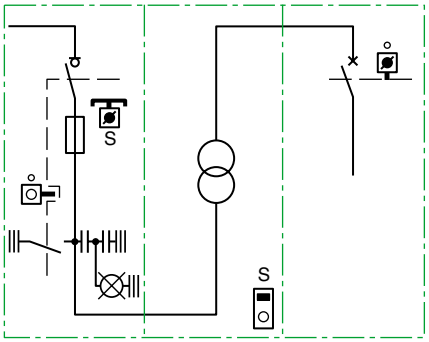
Функционални взаимни блокировки, включващи няколко функционални блока или отделно обзавеждане
- Достъп до клемите на трансформатор СрН/НН:
  - ако разединителя на килията за защита трансформатора е отворен, а заземяващия разединител е затворен. Отчитайки възможността за обратен ток от страна НН е необходимо да се вземе под внимание състоянието на главния прекъсвач на страна НН.

Практически пример

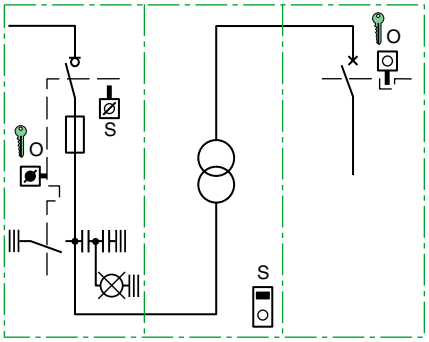
В потребителска подстанция с измерване на електроенергията на страна НН най-често се използва следната схема за взаимна блокировка Средно напрежение/ Ниско напрежение/Трансформатор.
Целта на взаимната блокировка е:
- Да се предотврати достъпа в трансформаторната килия, ако заземяващия разединител не е бил преди това затворен.
- Да се предотврати включването на заземяващ разединител в килията за защита на трансформатор, ако автоматичния прекъсвач във веригата НН не е бил преди това заключен в положение “изключен”.

(1) Ако заземяващия разединител е монтиран на входна верига, свързаните с него разединители, намиращи се на двата края на веригата са по подходящ начин взаимно блокирани. В такъв случай, функцията блокировка става блокировка с ключ за няколко устройства.

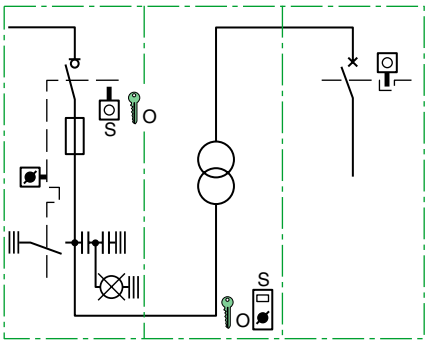
© Schneider Electric - всички права запазени



Високоволтовият разединител и прекъсвача НН са включени



Високоволтовите стопяеми предпазители са достъпни



Високоволтовите клеми на трансформатора са достъпни

Легенда:

Отсъстващ ключ
Свободен ключ
Блокиран ключ
Табло или врата

Фиг. B20 : Пример за блокировка на Средно напрежение/ Ниско напрежение/Трансформатор

Достъпът към клеми НН или СрН на трансформатора, защитен от страната СрН с товаров прекъсвач, стопяеми предпазители и заземяващ разединител трябва да се изпълнява в строго съответствие с процедурата, описана по-долу и илюстрирана на схемите от **Фиг. B20**.

Забележка: Трансформаторът в този пример е снабден с щепселни клеми за високо напрежение, които могат да бъдат отстранени само чрез отключване на устройството за блокировка, което е общо за трите фазови съединители (1).

Високоволтовият товаров прекъсвач е механически свързан с високоволтов заземяващ разединител така, че само единия от тях може да бъде затворен, т.е. затварянето на единия автоматично блокира затварянето на другия.

Процедурата за изключване и заземяване на силовия трансформатор и отстраняване на високоволтовите защитни кабелни входове (или тяхното защитно покритие)

Начални условия

- Високоволтовия товаров прекъсвач и нисковолтовия автоматичен прекъсвач са затворени;
- Високоволтовия заземяващ разединител е заключен в отворено положение чрез ключа “O”;
- Ключа “O” е блокиран при включено положение на нисковолтовия прекъсвач.

Стъпка 1

- Изключете нисковолтовия прекъсвач и го заключете в отворено положение чрез ключа “O”;
- Ключа “O” е освободен.

Стъпка 2

- Отворете високоволтовия мощностен разединител;
- Проверете, че индикаторите за “наличие на напрежение” не светят, когато високоволтовия прекъсвач е отворен.

Стъпка 3

- Отблокирайте високоволтовия заземяващ разединител с ключа “O” и затворете заземяващия разединител;
- Ключа “O” е блокиран.

Стъпка 4

Панела на секцията за достъп към високоволтовите стопяеми предпазители сега може да бъде отстранен (т.е. се освобождава при затваряне на високоволтовия заземяващ разединител). На този панел в разположен ключа “S”, и той се задържа, когато е включен високоволтовия разединител.

- Завъртете ключа “S”, за да заключите високоволтовия разединител в отворено положение;
- Ключът “S” е освободен.

Стъпка 5

Ключът “S” позволява да се отключи вратата на трафокилията, като ключа остава блокиран на вратата.
В резултат на гореописаната процедура:

- Високоволтовият разединител е заключен в отворено положение с ключа “S”. Ключът “S” е блокиран на вратата на трафокилията;
- Високоволтовият заземителен разединител се намира във включено положение, но не е заключен, т.е. той може да се включи или изключи. При изпълнение на дейности по техническо обслужване, обикновено ключалката се завърта за да заключи заземяващия разединител във включено положение, а ключът от нея се държи от инженера, наблюдаващ работата.
- Нисковолтовият автоматичен прекъсвач се заключва в отворено положение с ключа “O”, който е блокиран от затворения високоволтов заземяващ разединител. Следователно трансформаторът е надеждно разединен и заземен.

Може да бъде отбелязано, че входните клеми на високоволтовия товаров прекъсвач, могат да останат под напрежение по време на описаната процедура, тъй като тези клеми са разположени в отделен отсек на комутационната апаратура, до който няма достъп.

(1) Или може да има общо защитно покритие над трите клеми.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения

4.1 Общи положения

Потребителската подстанция с отчитане на електрическата енергия на страна НН е електрическа уредба, свързана към система за електроснабдяване с номинално напрежение (1 - 35) kV и включва един понижаващ трансформатор, чиято мощност обикновено е до 1 250 kVA.

Елементи

Подстанция

Всички съставни части на подстанцията се разполагат в едно помещение, което се намира във вече съществуваща сграда, или във фабрично изработена обвивка, разположена извън основната сграда (КТП) (1).

Включване към високоволтовата мрежа

Включването към високоволтовата мрежа може да бъде изпълнено чрез:
- единичен кабел или въздушна електропроводна линия;
- чрез два товарови прекъсвача с механична взаимна блокировка, включени към два кабела от дублиращи захранващи линии, или
- чрез два или повече товарови прекъсвача на разпределителното устройство към пръстеновидна мрежа.

Трансформатор

Използването на трансформатори на основата на ПХБ (2) е забранено в повечето страни и затова се предпочитат:
- маслени трансформатори за трафопостове, разположени извън сградата;
- сухи трансформатори чиито намотки са залети под вакуум с изолация от епоксидна смола. Те се използват при трафопостове, вградени в сградата, например, публични здания и т.н.

Измерване

За измерване на електрическата енергия на страна НН се използват малки измервателни трансформатори с ниска цена. Голяма част от тарифните планове вземат под внимание загубите в трансформаторите.

Вериги ниско напрежение

Във веригата ниско напрежение трябва да бъде монтиран автоматичен прекъсвач, чрез който се реализира:
- захранване на разпределителното табло;
- защита на трансформатора срещу претоварване и на долустоящите вериги срещу къси съединения.

Еднолинейни схеми

Схемите, показани на следващата страница (виж **Фиг. B21**) показват различни методи на включване към високоволтовата захранваща мрежа, които могат да бъдат четири вида:
- захранване от една линия;
- захранване от една линия (с предвидено разширение до пръстеновидна захранваща схема);
- захранване от две линии;
- пръстеновидна захранваща схема.

4.2 Избор на апаратура за уредба СрН

Стандарти и технически характеристики

Комутационната апаратура и избора на електрообзавеждането, описани по-долу, са предназначени за номинално напрежение (1 - 24) kV и удовлетворяват изискванията на следните стандарти:
IEC 62271-200, 60265-1, 60694, 62271-102, 62271-105.
Местните нормативни документи могат също така да изискват съответствие на националните стандарти:
- Франция: UTE
- Великобритания: BS
- Германия: VDE
- САЩ: ANSI

Тип на електрообзавеждането

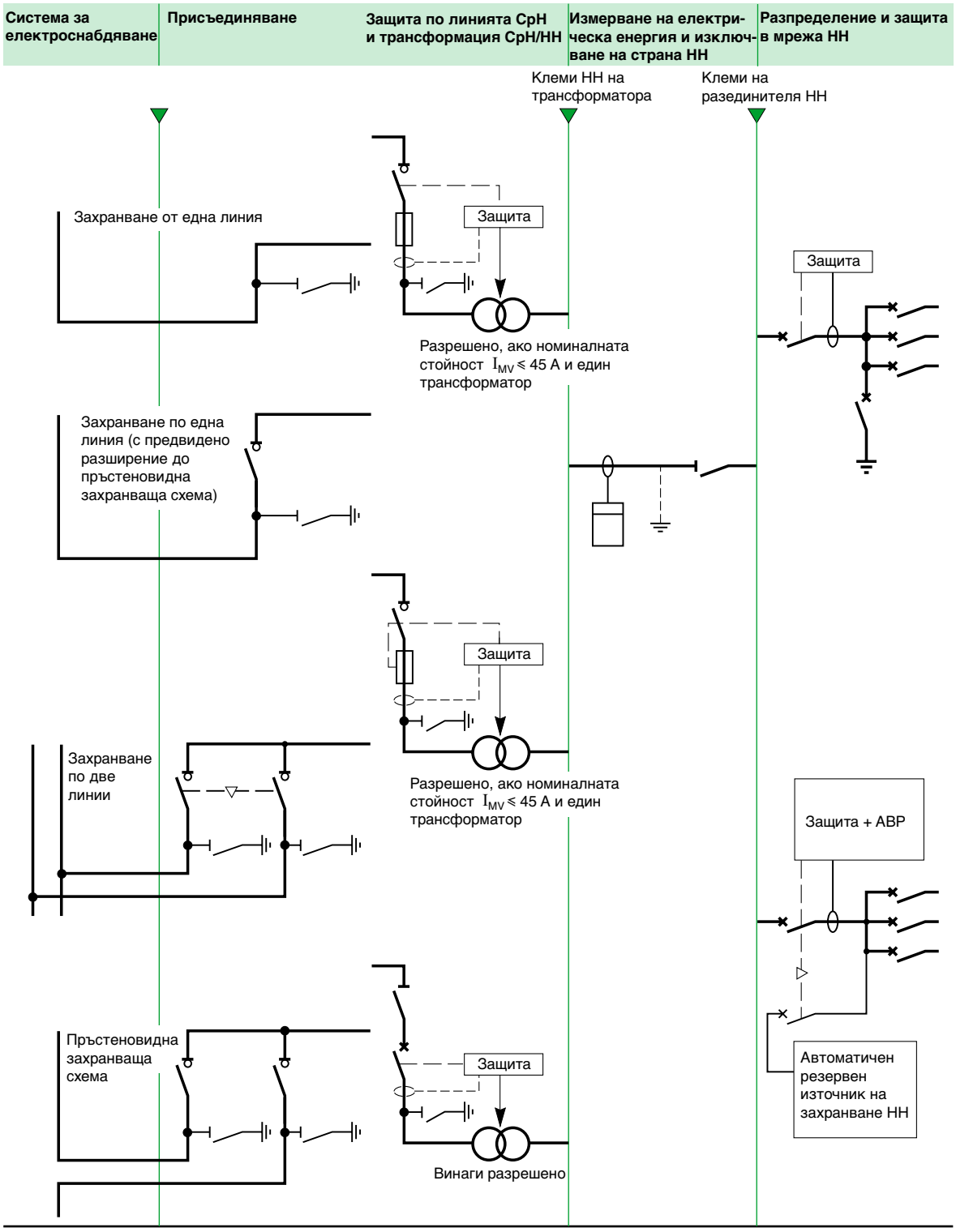
В допълнение към комплектните разпределителни устройства, описани в т. 1.2 на тази Глава, и наричани още Ring Main Unit (RMU), използвайки модулни комплектни разпределителни устройства, може да се реализират уредби СрН по всички възможни схеми с възможност за следващо нейно разширение.
Комплектни подстанции, изградени от комплектни разпределителни устройства са особено подходящи в следните случаи:
- Разкъсана пръстеновидна или радиална мрежа;
- Тежки климатични условия или силно замърсена среда (изисква се комплексна изолация);
- Ограничено място за “класически” разпределителни устройства.

Даденият тип електрообзавеждане се характеризира с малки размери, интегрални функции и операционна гъвкавост.

(1) КТП - комплектна трансформаторна подстанция.
(2) Полихлориран бифенил.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения



Фиг. B21: Потребителска подстанция с измерване на страна HH

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения

Операционна безопасност на модулни комплектни разпределителни устройства на килии от метален корпус

Описание

Следващите забележки описват модулен шкаф с мощностен разединител, който включва в себе си най-модерни разработки, позволяващи (виж **Фиг. B.22**)

- Операционна безопасност;
- Минимални изисквания за разполагаемо пространство;
- Възможност за разширение и гъвкавост;
- Минимални изисквания за техническо обслужване.

Всяка килия се състои от три функционални отделения:

- Комутационна апаратура: мощностния разединител е вграден в херметичен лят корпус от епоксиден материал, “запечатан” за целия срок на служба;
- Връзки: с кабел на клеми, разположени на летия корпус на разединителя;
- Сборни шини: модулни, позволяващи да се монтират заедно произволен брой килии, образуващи разпределителна уредба и нисковолтово отделение за управление и сигнализация, в което може да се разположи апаратурата за контрол и релейна защита. Ако е необходимо може да се монтира допълнително отделение над съществуващото.

Кабелните връзки се изпълняват в кабелното отделение на предната част на шкафа, достъпа до който се осъществява чрез отстраняване на лицевия панел на отделението.

Отделните килии се свързват електрически, чрез използване на готови секции от сборни шини.

Изграждането на място се осъществява съгласно инструкцията за монтаж.

Управлението на комутационната апаратура е опростено чрез групиране на всички елементи за управление и сигнализация върху щита за управление, разположен на лицевата част на устройството.

Технологията на това комутационно обзавеждане е основано главно на операцион-на безопасност, лесен монтаж и минимални изисквания за техническо обслужване.

Мерки за безопасност

- Мощностният разединител съответства напълно на изискванията на “устройство със сигурно посочване на положение”, както е посочено в стандарта IEC 62271-102 (Комплектни комутационни устройства за високо напрежение – Високоволтови разединители и заземители за променлив ток).
- Функционалният блок осигурва основните блокировки, определени в стандарта IEC 62271-200 (Комплектни комутационни устройства за високо напрежение – Променливотокови комутационни устройства в метална обвивка за обявени напрежения над 1 kV и до 52 kV включително):
  - □ включването на разединителя е невъзможно докато заземяващия разединител е затворен;
  - □ включването на заземяващия разединител е възможно само тогава, когато мощностния разединител е изключен.
- Достъпът до кабелното отделение, което е единствено отделение достъпно от ползвателя по време на работа, е защитен със следните блокировки:
  - □ отварянето на панела за достъп към кабелното отделение(1) е възможно само, когато заземяващия разединител е включен;
  - □ мощностният разединител е блокиран в позиция изключен, когато споменатия по-горе панел е открит. След това е възможно да се изключи заземяващия разединител, например за да се проведат изпитвания за електрическа якост на кабели.

По такъв начин комутационната апаратура може да работи при сборни шини и кабели под напрежение, с изключение на блока, в който се осъществява достъпа до кабели. Тя удовлетворява изискванията за “Загуби от прекъсване на електроснабдяването” клас LSB2A, както е посочено в стандарта IEC 62271-200.

Освен блокировките, описани по-горе, всеки панел на комутационната апаратура включва:

- Вградени заключващи механизми на операторските ръкохватки;
- 5 предварително пробити комплекта от фиксирани отвори за допълнително монтиране на взаимни блокировки.

Фиг. B22: Мощностен разединител CpH в метален корпус

Операции

- Ръкохватките за управление, лостове и др., използвани за операции по превключване, са групирани заедно с ясна маркировка върху панела.
- Всички лостове, използвани за включване са идентични за всички устройства (с изключение на тези, в които има автоматичен прекъсвач);
- За затваряне на ръкохватките се изискват минимални усилия;
- Включването или изключването на мощностния разединител може да бъде изпълнено с лост или бутон за автоматично изключване;
- Състоянията на разединителите (отворен, затворен, заредена пружина) са посочени ясно.

(1) Където се използват предпазители CpH, те се разполагат в това отделение..

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения

4.3 Избор на комутационна апаратура за присъединяване и защита на трансформатор

Обикновено се използват три типа комутационна апаратура:
- Мощностен разединител и отделни стопяеми предпазители за СрН;
- Комбинация мощностен разединител и стопяеми предпазители за СрН;
- Прекъсвач.

За оптималния избор трябва да се отчитат няколко параметъра:
- Ток през първичната намотка на трансформатора;
- Изолационната среда а трансформатора;
- Положението на подстанцията спрямо центъра на товара;
- Номиналната мощност на трансформатора, в kVA;
- Разстоянието от комутационната апаратура до трансформатора;
- Използването на отделни защитни релета.

Забележка: Предпазителите, използвани в комбинацията мощностен разединител и стопяеми предпазители имат механизъм, който осигурява едновременно изключване на трите полюса на мощностния разединител при заработване на един или повече предпазители.

4.4 Избор на силов трансформатор СрН/НН

Характеристики на трансформатора

Всеки трансформатор се характеризира от своите електрически параметри, както и с технологията на изработване и условията на експлоатация.

Електрически характеристики

- Номинална мощност (Sn): пълната мощност, в kVA, която е използвана при определяне на другите проектни параметри и конструкция на трансформатора. Фабричните изпитвания и гаранции се отнасят за тази номинална мощност.
- Честота: разпределителните мрежите, описани в това Ръководство, работят при честота (50…60) Hz.
- Номинално първично и вторично напрежение: за първичната намотка, предназначена да работи при няколко нива на напрежения, трябва да бъде дадена стойността на мощността, в kVA, съответстваща за всяко ниво на напрежение. Вторичното номиналното напрежение на трансформатора е напрежението му при празен ход.
- Номиналните нива на изолацията се характеризират със стойността на напреженията, които се използват при изпитване на изолация с повишено напрежение и промишлена честота, а също и с високоволтови импулсни напрежения, имитиращи разряди на мълния. За нива на напреженията, описани в даденото Ръководство, пренапреженията, предизвикани от комутационни операции са обикновено много по-малки, в сравнение с тези, предизвикани от мълния. Поради това отделни изпитвания за пренапреженови вълни, предизвикани от комутационни операции, не се извършват.
- Превключвателят на напрежение, без товар, обикновено позволява да се установи ниво на напрежение до ± 2,5 % и ± 5% от номиналното напрежение на първичната намотка на трансформатора. Напрежението към трансформатора трябва да бъде изключено, преди да се започне работа с този превключвател.
- Схемите и групите на свързване на намотките на трансформатора са означени със стандартни символи за звезда, триъгълник и свързване зигзаг (и техни комбинации, за трансформатори със специално изпълнение, например, 6- или 12-фазни трансформатори за захранване на изправители и др.), а също и с буквено-цифров код, препоръчан от IEC. Този код се чете от ляво на дясно. Първата буква се отнася за намотката с най-високо напрежение, втората – за намотката със следваща по големина напрежение и т.н.:

□ Главните букви се отнасят за намотката с най-високо напрежение

D = триъгълник
Y = звезда
Z = звезда с вътрешни съединения (или зигзаг)
N = неутрала, изведена на клема

□ Малките букви се използват за вторични и др. намотки:

d = триъгълник
y = звезда
z = звезда с вътрешни съединения (или зигзаг)
n = неутрала, изведена на клема

□ Числото от 0 до 11, съответстващо на деление от циферблата на часовник (вместо 12 се използва 0), следва всяка двойка букви и показва фазовият ъгъл (ако има такъв), който възниква при трансформация

Много разпространена схема на свързване на намотките в разпределителни трансформатори е схемата Dyn11. В нея високоволтовата намотка е свързана в триъгълник, а вторичната намотка – в звезда, неутралната точка на която е изведена на клема. Отместването по фаза на трансформатора е +30°, т.е. фаза 1 на вторичното напрежение е на “11 часа”, докато фаза 1 на първичното напрежение е на “12 часа”, както е показано на **фиг. B34** на **стр. B36**. Всички комбинации на свързване на намотки по схеми триъгълник, звезда и зигзаг, образуват отместване по фаза, което (ако не е нула) е или 30°, или кратно на 30°. IEC 60076-4 описва “часовата кодировка” в детайли.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения

Характеристики, свързани с технологията на производство и използването на трансформатора

Този списък не е изчерпателен:
- ■ Избор на технология

Изолационната среда е:
- □ течност (трансформаторно масло), или
- □ твърда (епоксидна смола и въздух).

- ■ За монтаж на закрито или открито.
- ■ Надморска височина (≤ 1000 m е стандартна).
- ■ Температура (IEC 60076-2):
  - □ максимална температура на въздуха: 40 °C;
  - □ максимална среднодневна температура на въздуха: 30 °C;
  - □ максимална средногодишна температура: 20 °C.

За нестандартни работни условия, се обърнете към “Влияние на температурата на околната среда и надморската височина върху номиналния ток” на стр. B7.

Описание на технологията на изолацията

В момента има два основни типа на изолация на трансформатори CpH/HH:
- ■ Сух тип (лята изолация);
- ■ Течен тип (маслени).

Сухи трансформатори

Намотките на тези трансформатори са изолирани със смола, излята под вакуум (метода е патентован от основните производители).
Препоръчва се да се избира трансформатор, съгласно стандарт IEC 60076-11, като се отчита следното:
- ■ Клас на околната среда E2 (чиста кондензация и/или висока степен на замърсяване);
- ■ Климатични условия Клас B2 (използване, транспорт и съхранение до -25°C);
- ■ Пожароустойчивост (трансформатори, изложени на риск от пожар с ниска възпламеняемост и самозагасящи се;

Следното описание се отнася към процес, развит от водещ европейски производител в тази област.
За херметизация на намотката се използват три компонента:
- ■ Епоксидна смола на основата на бифенол A, с вискозитет, който осигурява пълна импрегнация на намотката;
- ■ Анхидриден втвърдител, модифициран, с цел да се постигне такава степен на вискозитет в корпуса, която позволява да се избегне образуването на микропукнатини по време на температурни цикли, появяващи се при нормален режим на работа;
- ■ Прахова добавка от Al(OH)3 и кварц, които подобряват механичните и топлинни свойства на изолацията, а така също придават допълнителни вътрешни качества при висока температура.

Тази трикомпонентна система на изолацията осигурява изолация клас F ($\Delta\theta$ = 100 K) с отлични качества на пожароустойчивост и незабавно самозагасяване. Такива трансформатори се класифицират като негорими.
Лятата изолация на намотките не съдържа халогенни компоненти (хлор, бром и др.), или други компоненти, способни да отделят корозионни или токсични замърсители и по такъв начин се гарантира висока степен на безопасност на персонала в аварийни ситуации, особено в случай на пожар.
Такъв трансформатор работи добре в агресивни промишлени среди, съдържащи прах, влажност и др. (виж. **Фиг. B23**).

Фиг. B23: Сух трансформатор тип Trihal

Маслени трансформатори

Най-често използваната изолационна/охлаждаща течност в трансформаторите е трансформаторно масло. Минералните масла са описани в стандарт IEC 60296.
Тъй като те се възпламеняват, в много страни са задължителни мерките за безопасност, особено за закрити подстанции. Блокът DGPT (Откриване на газ, налягане и температура) осигурява защита на маслени трансформатори. В случай на появяване на отклонение блокът DGPT много бързо изключва високоволтовото захранване на трансформатора, преди ситуацията да стане опасна. Минералното масло е подложено на биологично стареене и не съдържа ПХБ (полихлориран бифенил), който е причина за забрана използването на аскарел, т.е. Pyralène, Pyrolio, Pyroline...
При заявка, минералното масло може да бъде заменена с алтернативна изолационна течност, чрез внасяне на необходимите изменения в трансформатора и вземане на допълнителни мерки за безопасност, ако е необходимо.
Изолационната течност действа също и като охлаждаща среда. Тя се разширява при увеличаване на товара и/или температурата на околната среда. Затова всички трансформатори, запълнени с течност трябва да бъдат проектирани така, че да побират допълнителен обем от течността без прекомерно увеличаване налягането в казана.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения

Фиг. B24: Трансформатор с херметично напълнен (total-fill) казан

Фиг. B25: Трансформатор с разширител за масло с въздушна възглавница при атмосферно налягане

Има два начина за ограничаване на налягането:
■ Херметично напълнен казан (до 10 MVA).
Разработен от водещ френски производител през 1963 г., този метод е бил приет за национално използване през 1972 г., а днес в целия свят (виж **Фиг. B24**). Разширяването на течността се компенсира от еластична деформация на маслоохлаждащите секции, присъединение към казана.
Технологията “total-fill” има важни предимства пред другите методи:
□ Напълно е изключено окисляването на диелектричната течност (от кислорода в атмосферата);
□ Няма никаква необходимост от устройство за изсушаване на въздуха, а също и от последващо техническо обслужване (проверка и замяна на влагопоглъщателя);
□ Няма необходимост от провеждане на изпитвания за определяне електрическата якост на течността в продължение на минимум 10 години;
□ Опростена защита срещу вътрешни къси съединения е възможна чрез DGPT.
□ Лесно инсталиране: олекотени и намалени габарити (в сравнение с казани с разширител за масло), улеснен достъп към високо- и нисковолтови клеми;
□ Незабавно откриване (даже и на малки) утечки на масло; вода не може да попадне в казана.
■ Разширител за масло с въздушно изсушаване при атмосферно налягане.
Разширяването на изолационната течност се съпровожда от повишено налягане на течността в разширителния съд (консерватор), монтиран над главния казан на трансформатора, както е показано на **Фиг. B25.** пространството над течността в консерватора може да бъде запълнено с въздух, който се засмуква, когато нивото на течността пада, и частично се изпуска при повишаване нивото на течността. Когато въздуха се засмуква от околната атмосфера той преминава през салник, като преди това попада в изсушително устройство (обикновено съдържащо кристали на силикагел), а след това попада в разширителния съд. В някои модели на големи трансформатори пространството над маслото е запълнено от херметична въздушна възглавница така, че изолационната течност никога не влиза в контакт с атмосферата. Въздухът влиза и излиза от деформиращата се въздушна възглавница през салник или изсушител, както е описано по-горе. Разширителният съд е задължителен за трансформатори с номинална мощност над 10 MVA (което за сега е горна граница за трансформаторите от типа “total-fill”).

Избор на технология

Както вече се отбеляза може да се избере трансформатор, запълнен с течност или сух тип. За номинални стойности до 10 MVA може да се използват “total-fill” трансформатори, като алтернатива на трансформатори с разширителен съд.
Изборът зависи от редица съображения, включително:
■ Безопасност на лицата в близост до трансформатора. Необходимо е да се спазват местните закони и препоръки на официалните органи;
■ Икономически съображения, вземащи под внимание относителните предимства на всяка технология.
Законодателните норми, които могат да повлияят на избора са:
■ За трансформатор сух тип:
□ В някои страни трансформатор сух тип е задължителен в многоетажни жилищни сгради;
□ Използването на сухи трансформатори не се ограничава.
■ За трансформатори с изолационна течност:
□ Този тип трансформатори е забранен за използване в многоетажни жилищни сгради;
□ За различни типове изолационни течности, ограниченията за монтаж, или за минимална защита срещу опасност от възпламеняване, варират в зависимост от класа на използваната изолация;
□ В някои страни, в които използването на течни диелектрици е широко разпространено, класифицират няколко категории изолационни течности в съответствие с тяхната пожароопасност. Тя се оценява по два критерия: пламна температура и минимална топлотворна способност. Основните категории течности са показани в **Табл. B26**, където за удобство е използван код за класификация.
Например, френския стандарт определя условията за монтаж на маслени трансформатори. Еквивалентен IEC стандарт все още не е разработен. Френският стандарт е предназначен за осигуряване на безопасност на хора и имущество и препоръчва да се вземат определени минимални мерки срещу риск от запалване.

Таблица B26: Категории течни диелектрици

Код	Диелектрична течност	Пламна температура, °C	Минимална топлотворна способност, MJ/kg
O1	Трансформаторно масло	< 300	-
K1	Въглеводороди с висока плътност	> 300	48
K2	Естери	> 300	34 - 37
K3	Силикони	> 300	27 - 28
L3	Изолационни халогенни течности	-	12

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения

Основните мерки за осигуряване на безопасност, които трябва да бъдат спазвани са посочени на **Табл. B27.**

- За течните диелектрици от клас L3 не се изискват специални мерки;
- За диелектрици от класове O1 и K1 посочените мерки се вземат само тогава, когато трансформатора съдържа повече от 25 литра диелектрична течност;
- За диелектрици от класове K2 и K3 посочените мерки се вземат само тогава, когато трансформатора съдържа повече от 50 литра диелектрична течност.

Таблица B27: Мерки за безопасност, препоръчвани в електрически уредби, използващи диелектрични течности от класове O1, K1, K2 или K3

Клас на диелектрич-на течност	Количество на течността, над която се вземат специални мерки	Разположение					
		Помещение или заградена площ, със достъп само за квалифициран персонал, и отделена от всяка друга сграда на разстояние D			С достъп само за обучен персонал и отделена от работните места с огне-упорни стени (2 h огнеустойчивост)		Други помещения или места [2]
		D > 8 m	4 m < D < 8 m	D < 4 m[1] в посока на заетите площи	Без отвори	С отвор(-и)	
O1 K1	25	Специални мерки не се използват	Поставяне на огнеупорен екран (1 час огне-устойчивост)	Огнеупорна стена (2 часа огне-устойчивост) срещу съседна сграда	Мерки (1 + 2) or 3 or 4	Мерки (1 + 2 + 5) or 3 or (4 + 5)	Мерки (1A + 2 + 4)[3] or 3
K2 K3	50	No special measures		Поставяне на огнеу-порен екран (1 час огнеустойчивост)	Няма специални мерки	Мерки 1A or 3 or 4	Мерки 1 or 3 or 4
L3		Няма специални мерки					

Мярка 1: Трябва да се предвиди, в случай на изтичане на течност от трансформатора нейното пълно събиране (в маслосборна яма, прагове около трансформатора и чрез блокиране на кабелни канали, тръби и др. по време на строителство).
Марка 1A: В допълнение към Марка 1 трябва да бъде предвидено, в случай на възпламеняване на течността, невъзможност за разпространяване на огъня (всеки горим материал трябва да бъде преместен на разстояние не по-малко от 4 m от трансформатора, или на не по-малко от 2 m при наличие на огнеупорен екран (1 час огнеустойчивост)).
Мярка 2: Да се осигури бързо загасване на горящата течност по естествен начин (чрез покриване на масленото корито с камъни).
Мярка 3: Да се използват автоматични устройства (газово реле за температура или налягане или реле Бухолц) за изключване от основния източник на захранване и задействане на сигнализация, ако се появи газ в казана на трансформатора.
Мярка 4: Да се използват устройства за автоматично откриване на огън в непосредствена близост до трансформатора, за да се изключи от основния източник на захранване и подаде сигнал за тревога.
Мярка 5: Автоматично закриване с огнеупорни панели (с минимална огнеустойчивост 0,5 часа на всички отвори в стените и тавана на отделението на подстанцията.
Забележки:
(1) Огнеустойчива врата (2 часа огнеустойчивост) не се разглежда като отвор.
(2) Трансформаторното отделение, съседно с работен цех и отделен от него чрез стени, чиито огнеупорни характеристики не са разчетени за огнеустойчивост 2 часа. В зоните, разположени в средата на работни цехове, материалът трябва да бъде разположен в защитни контейнери.
(3) Необходимо изискване е инсталиране на обзавеждане в помещение с плътни стени, единствените отвори в които са вентилационните.

Определяне на оптимална мощност

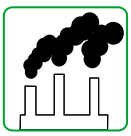
Преоразмерен трансформатор
Това предизвиква:
- Допълнителни инвестиции и неоправдано високи загуби на празен ход;
- Намаляване на загубите при товар.

Недостатъчно мощен трансформатор
Това причинява:
- Намален коефициент на полезно действие при пълен товар (най-високият коефициент на полезно действие се постига в диапазона (50…70)% от пълния товар) така, че оптимално натоварване не се постига;
- При продължително претоварване се наблюдават сериозни последици за:
  - трансформатора, поради преждевременно стареене на изолацията на намотките и в резултат повреда в изолацията и загуба на трансформатора;
  - уредбата, ако прегряването на трансформатора предизвиква заработване на защити на автоматичния прекъсвач.

Определяне на оптималната мощност
За да се избере оптималната мощност на трансформатора, в kVA, е необходимо да се вземат под внимание следните фактори:
- Съставете списък на инсталираната мощност на електрообзавеждането, както е описано в Глава A;
- Определете коефициента на използване (или търсене) за всеки отделен елемент от товара;
- Определете товаровия график на уредбата, отбелязвайки продължителността на товара и претоварването;
- Ако е необходимо използвайте корекция на фактора на мощността за да:
  - намалите стойността на надбавката в тарифата, в частност за максимална потребявана мощност, в kVA;
  - намалете исканата мощност, в kVA (S(kVA) = P (kW)/cos φ)
- Изберете необходимата мощност на захранващия трансформатор от реда стандартни номинални стойности, вземайки под внимание всички възможни бъдещи разширения на уредбата.

Важно е да се осигури необходимата охлаждаща среда за трансформатора.

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. B28: Модулни метални шкафове тип SM6

4.5 Инструкции за употреба на електрообзавеждане за средно напрежение

Целта на тази глава е да осигури общи указания за избягване или силно намаляване деградацията на електрообзавеждането за CpH, използвано в места с висока относителна влажност и замърсяване.

Нормални условия за електрообзавеждане CpH на закрити уредби

Електрообзавеждането CpH е съобразено със специфичните стандарти и със стандартът IEC 60694 “Общи технически изисквания за стандартите за комутационни апарати за високо напрежение”, които определят нормалните условия за монтаж и употреба на такова обзавеждане.
Например, относно относителната влажност стандарта посочва условията за относителна влажност както следва:

- Средна стойност на относителната влажност, измерена за интервал от време повече от 24 часа, не трябва да прехвърля 90 %;
- Средната стойност на налягането на водните пари, за интервал от време повече от 24 часа, не трябва да надхвърля 2,2 kPa;
- Средната стойност на относителната влажност, за интервал от време повече от 1 месец, не трябва да надхвърля 90 %;
- Средната стойност на налягането на водните пари, за интервал от време повече от 1 месец, не трябва да надхвърля 1,8 kPa.

При тези условия кондензация може да се появи случайно.
ЗАБЕЛЕЖКА 1: Кондензация може да бъде очаквана, когато се наблюдават внезапни температурни промени при висока влажност.
ЗАБЕЛЕЖКА 2: Проектираната за тези условия и изпитана съгласно с това комутационна апаратура, трябва да издържа на ефектите от висока относителна влажност и кондензация, предизвикващи пробив в изолацията или корозия на метални части.
ЗАБЕЛЕЖКА 3: Кондензацията може да бъде предотвратена чрез специално проектиране на сграда или обвивка , чрез подходяща вентилация или отопление на уредбата, или чрез употреба на изсушаващо обзавеждане.
Както се посочва в стандарта, кондензация може случайно да се появи дори и при нормални условия. Стандарта предвижда специални мерки за помещенията на подстанцията, които могат да бъдат с изпълнение, предотвратяващо кондензацията.

Употреба при тежки условия

При определени тежки условия на влажност и замърсяване, много по-големи от нормалните експлоатационни условия, споменати по-горе, коректно проектираното електрическо обзавеждане може да бъде разрушено поради силна корозия на металните части или деградация на повърхността на изолационните части.

Предпазни мерки срещу проблеми с кондензация

- Грижливо проектиране или адаптиране на вентилацията на подстанцията;
- Избягване на температурните колебания;
- Отстраняване източниците на влажност в околната среда на подстанцията;
- Инсталиране на климатична система;
- Полагане на кабели, съгласно правилата за монтаж и експлоатация.

Предпазни мерки срещу проблеми със замърсявания

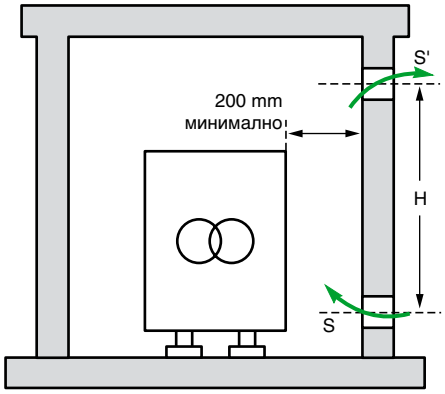
- Вентилационните отвори на подстанцията трябва да бъдат снабдени с екрани тип “шеврон” за намаляване навлизането на прах и замърсяването;
- За намаляване засмукването на прах и замърсяване, въздухообменът в подстанцията, се поддържа на минимално ниво, необходимо за отвеждане на топлината от трансформатора;
- Използвайте килии CpH с достатъчно висока степен на защита (IP);
- Използвайте климатични системи с филтри за ограничаване въвеждането на прах и замърсяване;
- Редовно почиствайте всички следи на замърсяване от метални и изолиращи части.

Вентилация

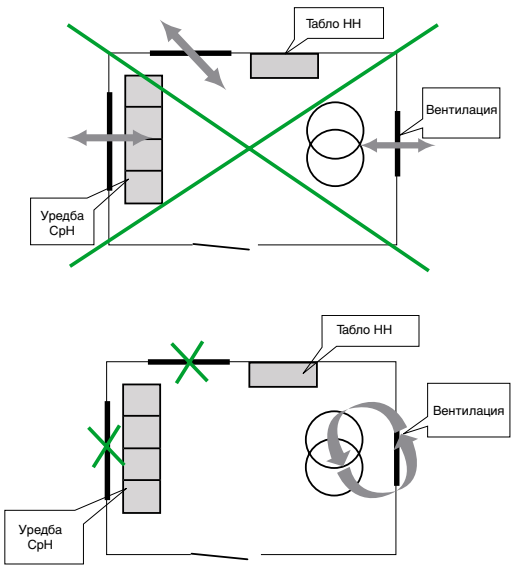
Вентилацията на подстанцията се използва за извеждане на количеството топлина, отделено от трансформаторите и за изсушаване след влажни или дъждовни периоди от време.
Обаче, голям брой изследвания показват, че по-големият от необходимия въздухообмен може драстично да увеличи кондензацията. Следователно въздухообменът трябва да се поддържа на минимално необходимото ниво. Освен това вентилацията не трябва да генерира внезапни температурни отклонения, които да достигнат точката на оросяване.
Поради тази причина:
Естествената вентилация трябва да бъде използвана там, където е възможно.
Ако е необходимо засилване на въздухообмена, вентилаторите трябва да работят непрекъснато, за да се избегнат температурните колебания.
Указания за оразмеряване на входните и изходните отвори за вентилация на подстанцията са дадени на следваща страница.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения



Фиг. B29: Естествена вентилация



Фиг. B30: Разположение на вентилационните отвори

Изчислителни методи

Известни са голям брой изчислителни методи за оценяване на необходимия размер на подстанция, както при проектиране на нови подстанции, така и при реконструкция на съществуващи подстанции, при които се срещат проблеми с кондензацията. Главният метод е основан на разсейването на топлина от трансформатора.
Необходимата площ на вентилационните отвори S и S' може да бъде пресметната чрез използване на следните формули (виж Фиг. B29):

$$S = \frac{1.8 \times 10^{-4} P}{\sqrt{H}} \text{ and } S' = 1.10 \times S$$

където S е площта на долустоящия (въздушен вход) вентилационен отвор, m^2 (намалена с площта на решетката);
S' - площта на горестоящия (въздушен изход) вентилационен отвор, m^2 (намалена с площта на решетката);
P – сумата от мощността, разсейвана от:
- трансформатора (на празен ход и под товар);
- комутационната апаратура НН;
- комутационна апаратура СрН;

H - височината между средните точки на вентилационните отвори, m.
Виж **Фиг. B29**

Забележка:

Тази формула е в сила за годишна средна температура на въздуха 20 °C и максимална надморска височина 1000 m.

Трябва да бъде отбелязано, че тази формули се използват само един ред от размери на сеченията S и S', които са определени при условия за топлинно сечение, т.е. напълно отворени и само необходими за отвеждане на топлинната енергия, генерирана в подстанция СрН/НН.
Практически сеченията са по-големи от адаптираното технологично решение.

В действителност, истинският въздушен поток е силно зависим:
- От формата на отворите и решенията, адаптирани да осигурят степента на защита на килията (IP): метална решетка, щанцовани отвори, екрани тип "шеврон" и др.;
- От размера на вътрешните компоненти и тяхното положения спрямо отворите: трансформатор и/или положението на масления съд и размерите, въздушния канал между компонентите
- и от някои физически параметри и параметри на околната среда: външна температура на въздуха, надморска височина, амплитудна температурна разлика.

Разбирането и оптимизацията на разглежданото физическо явление са обект на прецизно изучаване, основано на закони, свързани с динамика на флуидите и реализирани със специализиран софтуер.

Пример:

Мощност, разсейвана от трансформатора: 7,970 W
Мощност, разсейвана от комутационна апаратура НН: 750 W
Мощност, разсейвана от комутационна апаратура СрН: 300 W
Височина между средните точки на вентилационните отвори: 1.5 m.

Пресмятане:
Общата отделена мощност P = 7,970 + 750 + 300 = 9,020 W

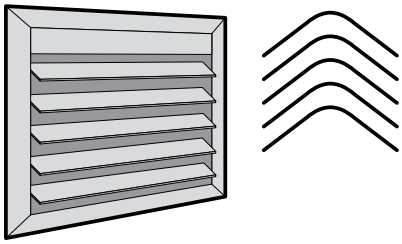
$$S = \frac{1.8 \times 10^{-4} P}{\sqrt{1.5}} = 1.32 \text{ m}^2 \text{ and } S' = 1.1 \times 1.32 = 1.46 \text{ m}^2$$

Разположения на вентилационните отвори

За успешно отстраняване на топлината, генерирана от трансформатора, чрез естествена конвекция, вентилационните отвори трябва да бъдат разположени в горната и долна част на стената, близо до трансформатора. Топлината, разсейвана от комутационната апаратура СрН и НН се пренебрегва.
За избягване на проблемите с кондензацията, вентилационните отвори на подстанцията трябва да бъдат разположени колкото е възможно по-далече от комутационната апаратура (виж Фиг. **B30**).

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Собствена подстанция с измерване на страна ниско напрежения



Фиг. B31: Екрани тип "шеврон" (жалузи)

Тип на вентилационните отвори

За намаляване засмукването на прах, замърсяване, ситен дъжд и др., вентилационните отвори на подстанцията трябва да бъдат снабдени с екрани тип "шеврон" (жалузи).
Жалузите трябва винаги да са ориентирани в правилна посока (виж **Фиг. B31**).

Температурни колебания в килиите

За намаляване на температурните колебания винаги монтирайте антикондензиращи нагреватели в шкафовете на КРУ (1) СрН, ако средната относителна влажност може да остане висока, за продължителен период от време. Нагревателите трябва да работят непрекъснато, 24 h на ден, през цялата година. Никога не ги свързвайте към температурен контрол или регулираща система, тъй като това може да доведе до температурни колебания и кондензация, както и до скъсяване срока на служба на нагревателните елементи. Уверете се, че използваните нагреватели са с подходящ срок на служба (стандартните версии обикновено са подходящи).

Температурни колебания в подстанцията

Следните мерки могат да бъдат взети за да се намалят температурните колебания в подстанцията:
- Подобряване топлинната изолация на подстанцията за намаляване влиянието на външните температурни колебания върху температурата в подстанцията;
- Избягване отоплението на подстанцията, ако е възможно. Ако е необходимо отопление, проверете управляващата система и/или термостат дали са с достатъчно точни и проектирани за избягване на големи температурни отклонения (например, не по-големи от 1 °C).
Ако регулиращата система не поддържа температурата с достатъчна точност, оставете отоплението включено непрекъснато, 24 часа на ден, през цялата година;
- Отстранете проникването на студен въздух от кабелните канали под килиите или отворите в подстанцията (под врати, покриви и др.).

Околна среда и влажност в подстанцията

Различни фактори в подстанцията могат да влияят на нейната влажност:
- Растения:

Избягвайте израстването на прекалено големи растения около подстанцията.
- Водонепроницаемост на подстанцията:

Покривът на подстанцията не трябва да тече. Избягвайте плоски покриви, за които водонепроницаемостта е трудна за изпълнение и поддържане.
- Влажност от кабелни канали:

Проверете кабелните канали дали са сухи при всички условия.
Частично решение е добавянето на пясък на дъното на кабелния канал.

Почистване и защита срещу замърсяване

Силното замърсяване благоприятства тока на утечка, овъгляването и искренето на изолаторите. За предотвратяване стареенето на обзавеждането СрН от замърсяване е необходимо или да се защити обзавеждането срещу замърсяване или редовно да се почистват вредните примеси.

Защита

Комутационната апаратура СрН на закрита уредба може да бъде защитена чрез обвивки, осигуряващи достатъчно висока степен на защита.

Почистване

Ако не е напълно защитено, електрообзавеждането СрН трябва да бъде редовно почиствано за предотвратяване стареенето от наличие на вредни примеси от замърсяване.
Почистването е отговорен процес. Употребата на неподходящи продукти може необратимо да повреди електрообзавеждането.

За почистващите процедури, моля контактувайте с Вашия Шнайдер Електрик представител.

(1) КРУ - комплектно разпределително устройство.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Собствена подстанция с измерване на страна средно напрежение

Собствената подстанция с измерване на страна СН е уредба, присъединена към захранваща мрежа (1…35) kV, с понижаващ трансформатор с мощност по-голяма от 1250 kVA или няколко трансформатори с по-малка мощност.
Номиналният ток на високоволтовата комутационна апаратура обикновено не надхвърля 400 A.

5.1 Общи положения

Функции

Подстанция

В зависимост от сложността на електрическата уредба и начина на разпределение на товара подстанцията:

- Може да се намира в едно помещение, в което са разположени високоволтовото разпределително устройство и табло с измервателните апарати заедно с трансформатора и ГРТ на страна НН;
- Или може да подава захранване на една или повече трансформаторни подстанции, където също се намират разпределителни табла за НН, захранвани с високо напрежение от комутационна апаратура на главната подстанция, както това е описано по-горе.

Тези подстанции могат да бъдат изградени или:

- в сграда, или
- разположени на открито в КТП.

Свързване към мрежата средно напрежение

Свързването към мрежа СрН може да бъде изпълнено:

- или чрез отделен абонатен кабел или чрез въздушна електропреносната линия, или
- чрез два механично блокиращи се товарови прекъсвачи към два абонатни кабели от дублиращи захранващи линии, или
- чрез два товарови прекъсвачи на пръстеновидна захранваща схема.

Измерване

Преди да започне изпълнението на проекта трябва да бъде сключен договор с доставчика на електрическа енергия, относно организацията за отчитане на измерването на електрическата енергия.

Измервателното табло се вгражда във високоволтовото комплектно разпределително устройство. Измервателните трансформатори за ток и напрежение, притежаващи необходимата точност за измерване, могат да бъдат включени в шкафа на входящото присъединение или могат да бъдат монтирани отделно в шкаф измерване.

Трансформаторни помещения

Ако уредбата е изградена от няколко трансформаторни помещения, високоволтовото захранване от главната подстанция може да се подаде през прости радиални захранващи линии, свързани директно с трансформаторите, или чрез дублиращи захранващи линии към всяко помещение, или чрез пръстеновидна схема, съгласно желаната степен на непрекъснатост на захранването.
В последните два случаи, във всяко трансформаторно помещение се изисква комплектна разпределителна уредба, изградена от три килии.

Местни аварийни генератори

Аварийните резервни генератори са предназначени да осигурят захранване на важни товари, в случай на авария в системата за електроснабдяване.

Кондензатори

Кондензаторите се монтират съгласно изискванията:

- високоволтови кондензаторни батерии в главната подстанция;
- кондензаторни батерии на страна НН.

Трансформатори

С цел допълнително осигуряване непрекъснатост на електрозахранването може да се инсталират трансформаторите така, че да се осигури автоматично превключване (АВР) или тяхната паралелна работа.

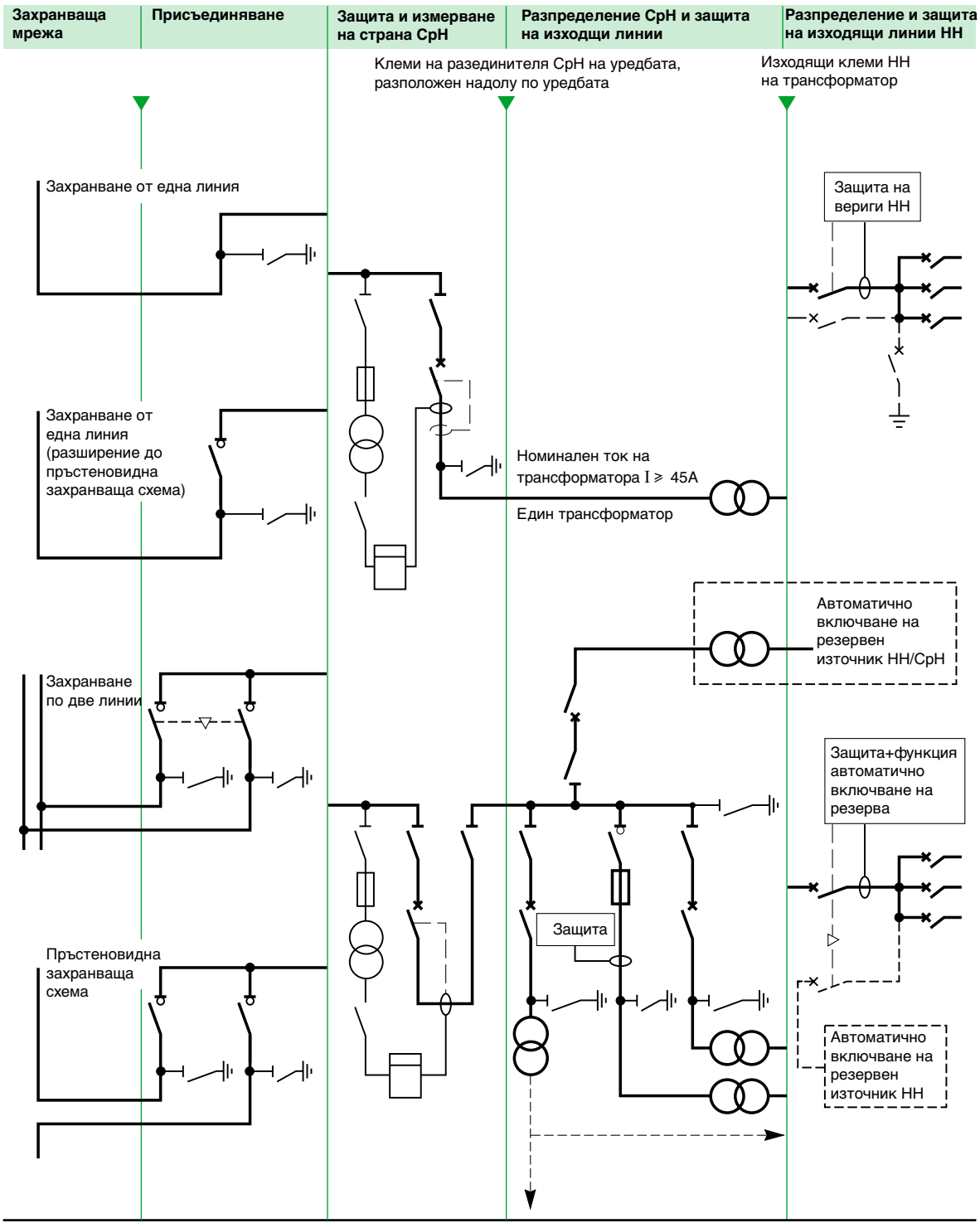
Еднолинейни схеми

Схемите, показни на **Фиг. B32** на следващата страница показват:

- Различни методи за включване към високоволтова захранваща мрежа; може да се използва един от четирите вида:
  - включване към една линия;
  - включване към една линия (с възможност за разширяване до пръстеновидна захранваща схема);
  - захранване от две линии;
  - пръстеновидна захранваща схема.
- Обща схема за защита на мрежа СрН и на измерване на страна СрН:
- Защита на изходните линии СрН;
- Защита на разпределителни мрежи НН.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Собствена подстанция с измерване на страна средно напрежение



Фиг. B32: Собствена подстанция с измерване на страна СрН

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Собствена подстанция с измерване на страна средно напрежение

5.2 Избор на електрически табла

Подстанция с измерване на електрическа енергия на страна СрН включва, в допълнение към уредбата, описан в т. 4.2, и шкафове, специално проектирани за измерване на електрическа енергия и, ако е необходимо, за автоматично или ръчно превключване от един захранващ източник към друг.

Измерване и обща защита

Тези две функции се изпълняват обикновено чрез два шкафа:
- шкаф за измервателните напреженови трансформатори;
- шкаф с мощностен разединител, стопяеми предпазители и токови трансформатори или прекъсвач и токови измервателни трансформатори. При втория случай токовите трансформатори служат за измерване и защита.

Основната защита е срещу максимален ток (претоварване и късо съединение) и земно съединение. Релейните защити са пломбирани от доставчика на електрическа енергия.

Подстанция с генератори

Отделна работа на генератора

Ако електрическата уредба изисква по-висока надеждност на електрозахранването, може да се използва резервен генератор за СрН. В този случай електрическата уредба трябва да притежава система за автоматично включване на резервата. За да се избегне възможността за паралелна работа на генератора с външната захранваща мрежа, е необходим специален шкаф за автоматично превключване (виж **Фиг. B33**).

- Защита

За защита на генератора са предвидени специални защитни устройства. Трябва да бъде отбелязано, че мощността на късо съединение при захранване от генератора, е много по-малка, в сравнение с мощността на късо съединение при захранване от външната захранваща мрежа. Затова е необходимо да се обръща много голямо внимание на селективността на защитата.

- Управление

За управление на генератора се използва автоматичен регулатор на напрежение, който реагира при намаляване на напрежението на клемите на генератора и автоматично увеличава тока на възбуждането му до момента, когато напрежението възстанови нормалното си ниво. Когато генераторът трябва да работи паралелно с други генератори автоматичният регулатор на напрежение (АРН) се включва в режим на паралелна работа, при който веригата за управление на АРН леко се променя (компаундира) за да се осигури задоволително разпределение на реактивната мощност с другите паралелно работещи генератори.

Когато няколко генератори работят паралелно под управление на АРН, увеличаването на тока на възбуждане на единия от тях (например, в резултат на превключване на неговия АРН в режим на Ръчно управление) практически не оказва влияние на нивото на напрежение. Фактически, даденият генератор просто ще работи при по-малки стойности на фактора на мощността (увеличаването на пълната мощност предизвиква увеличаване на генерирания ток), отколкото преди.

Факторът на мощност на всички други машини автоматчино ще се подобри, тъй като изискванията към фактора на мощността на товара са изпълнени.

Генератор, работещ паралелно с електроснабдителната система

За да се включи генераторният агрегат към електрическата мрежа се изисква обикновено съгласие на доставчика на електроенергия. Обикновено електрообзавеждането трябва да бъде одобрено от доставчика на електроенергия.

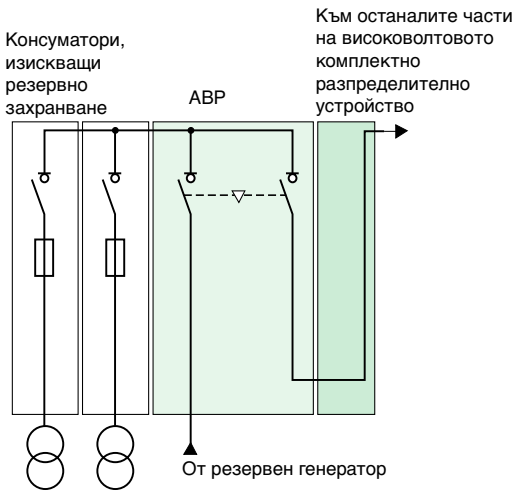
Следните забележки, представят някои основни съображения, които трябва да се отчитат при защита и управление:

- Защита

За да разгледа въпроса за свързването на генераторния агрегат, доставчикът на електрическа енергия се нуждае от следните данни:
- □ Мощността, отдавана в мрежата;
- □ Начинът на включване;
- □ Токът на късо съединение на генераторния агрегат;
- □ Несиметричността на напрежение на генератора;
- □ Други.

В зависимост от начина на включване се определят и функциите за защитно изключване:
- □ Минимално напреженова и максимално напреженова защита;
- □ Минималночестотна и максималночестотна защита;
- □ Защита срещу максимално напрежение с нулева последователност;
- □ Бързодействие при включване на резервата;
- □ Защита срещу обратна мощност.

Поради причини, свързани с безопасността, комутационното устройство трябва да има функции за разединител на верига, т.е. да осигури пълно разединяване на всички тоководещи части между генераторния агрегат и захранващата мрежа.



Фиг. B33: Част от високоволтово комплектно разпределително устройство, включваща резервен източник на захранване

© Schneider Electric - всички права запазени

■ Управление

Използва се когато генераторите на потребителска подстанция работят паралелно със захранващата енергийна система, например, когато напрежението на захранващата мрежа се намали в работен порядък (високоволтовите мрежи обикновено работят в границите на ±5 % от номиналното напрежение, или даже повече. АРН, настроен например да поддържа напрежение ±3 % от номиналното, незабавно ще предприеме опит за повишаване на напрежението чрез увеличаване на възбуждащия ток на генератора.

Вместо повишаване на напрежението генераторът просто ще работи с по-нисък фактор на мощността, от преди, увеличавайки по такъв начин тока и това ще продължава дотогава, докато генераторът не бъде изключен от защитното си реле за максимален ток. Това е добре известен проблем и обикновено се решава чрез привеждане на АРН в режим на поддържане „постоянен фактор на мощността".

Удовлетворявайки зададените условия, АРН автоматично регулира тока на възбуждане в съответствие с напрежението, което съществува в захранващата мрежа, едновременно поддържайки постоянен фактор на мощността на генератора (съгласно заданието на управляващото устройство на АРН).

В случай, че генераторът се отсъедини от захранващата мрежа, АРН трябва автоматично (бързо) да се превключи в режим „постоянно напрежение".

5.3 Паралелна работа на трансформатори

Необходимостта от паралелна работа на два или повече трансформатори често се предизвиква поради:

■ Ръст на товара, който надхвърля мощността на съществуващия трансформатор;

■ Недостатъчно място за монтиране на по-голям трансформатор;

■ Мерки за безопасност (вероятността за едновременен отказ на двата трансформатора е много малка);

■ Използване на трансформатори със стандартни параметри в уредбата.

Пълна мощност, в kVA

Стойността на пълната мощност, в kVA, при паралелна работа на два трансформатора с еднаква номинална мощност, в kVA, е равно на сумата от пълните мощности, ако е изпълнено условието за равенство на съпротивленията и коефициентите на трансформация по напрежение.

Трансформаторите с различни номинални мощности разделят практически товара (не съвсем точно) пропорционално на номиналните мощности при условие, че техните коефициенти на трансформация по напрежение са равни или почти равни. В такива случаи обикновено се постига повече от 90 % от сумата на двете номинални мощности.

Препоръчва се трансформаторите, които се различават по номинална мощност повече от два пъти да не работят в паралел при постоянен режим.

Условия, необходими за паралелна работа

Всички устройства, работещи в паралел трябва да бъдат захранени от една мрежа.

Циркулиращият ток на между вторичните намотки на паралелно работещите трансформатори, ще бъде пренебрежимо малък при условие:

■ Вторичните кабели от трансформаторите до точката на паралелно включване имат приблизително еднакви дължини и характеристики;

■ Производителя на трансформатори е напълно информиран за режима на предполагаемото използване на трансформаторите и отчита при изработването им следното:

□ Конфигурациите на намотките (звезда, триъгълник, зигзаг) на отделните трансформатори имат еднакво фазово отместване между напреженията на първичната и вторичната намотки;

□ Съпротивленията на късо съединение са равни или се различават с по-малко от 10 %;

□ Разликата между напреженията за съответните фази не трябва да бъде по-голяма от 0,4 %;

□ Цялата възможна информация за условията на използване, очакваните товарови графици и т.н. трябва да бъдат предоставени на производителя, с цел оптимизация на загубите, при товар и при празен ход.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Собствена подстанция с измерване на страна средно напрежение

Групи на свързване на намотките

Както е описано в т. 4.4 „Електрически характеристики – схеми и групи на свързване на намотките на трансформатора" връзката между първичната и вторичните намотки зависят от:

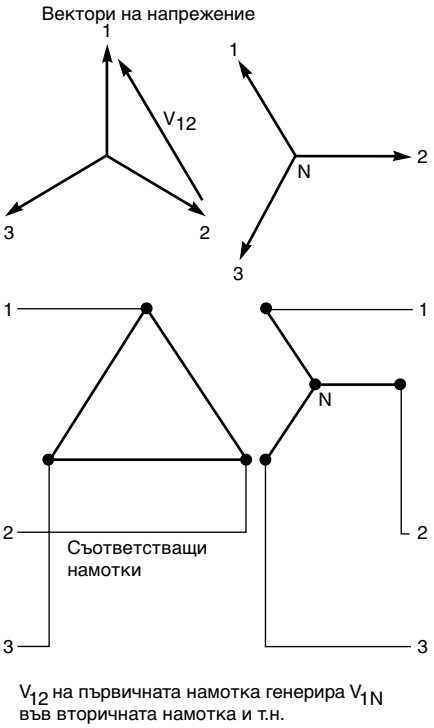
- Типа на схемите на съединение на намотките (звезда, триъгълник, зигзаг);
- Свързване на фазовите намотки;

В зависимост от това кои краища на намотките образуват звездния център (например), при съединение на намотките в звезда ще се получи напрежение, изместено на 180°, спрямо напрежението, което би се получило, ако в точката на звездния център са съединени противоположните краища на намотката. Подобно фазово отместване на 180° може да стане и при свързване на фазовите намотки в триъгълник, а при свързване в зигзаг са възможни четири различни комбинации.

- Фазовите измествания на вторичните фазови напрежения по отношение на съответните първични фазови напрежения.

Както вече беше отбелязано това изместване (око не е равно на нула) винаги е кратно на 30° и зависи от двата фактора, отбелязани по-горе, а именно типа на намотката и съединението (т.е. полярността на фазовите намотки).

В настоящето време най-разпространената конфигурация на намотките на разпределителен трансформатор е съединението Dyn 11 (виж **Фиг. B34**).



V_{12} на първичната намотка генерира V_{1N} във вторичната намотка и т.н.

Фиг. B34: Фазова отместване при Dyn трансформатор

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Подстанции СрН/НН

Подстанциите СрН/НН се проектират в съответствие с големината на товара и типа на захранващата система.

Подстанциите могат да бъдат изградени в обществени места, като паркове, жилищни райони и др., а също на частни терени, в който случай доставчикът на електрическа енергия трябва да има неограничен достъп до подстанцията. Това изискване обикновено се осигурява чрез изграждане на подстанцията по такъв начин, че стената с врата, през която се извършва достъпа на персонала, се разполага на границата между частните и обществени собствености.

6.1 Типове подстанции (трафопостове)

Подстанциите могат да бъдат класифицирани по начина на отчитане на електроенергията (на страна СрН или НН) и по начина на включване (чрез въздушна електропроводна линия или подземен кабел).
Подстанциите могат да бъдат изградени:

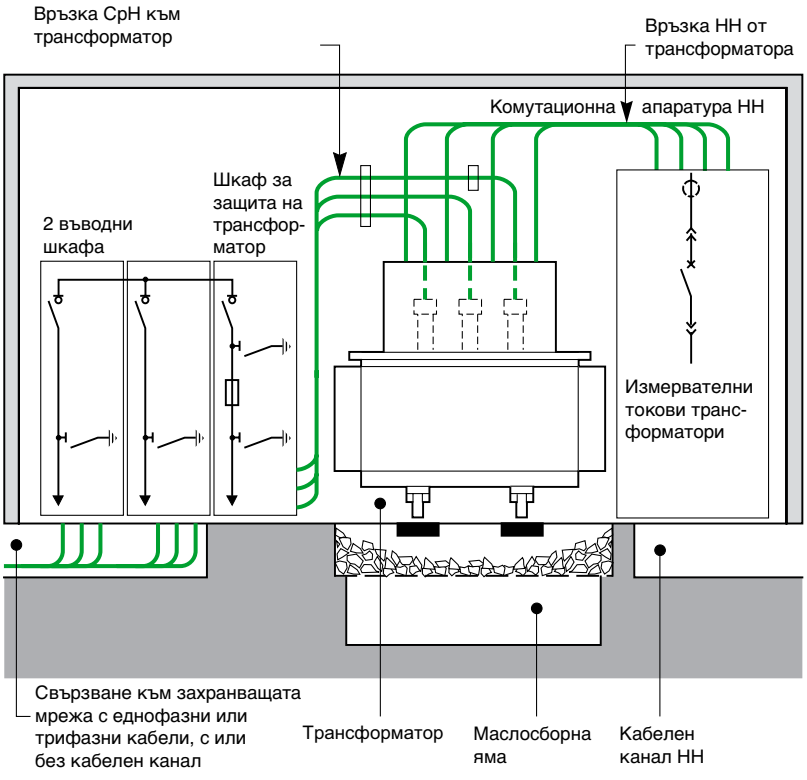
- Като закрити в специално изградено за целта помещение в сградата, или
- На открито:
  - изградена в специално предназначен за това корпус, в който се разполага електрообзавеждането (високоволтово комплектно разпределително устройство, трансформатор и табло НН);
  - на мачта или стълб с използване на специално електрообзавеждане за открит монтаж.

Предварително изработените комплектни подстанции (КТП) са най-простия, бърз и икономичен начин за изграждане.

6.2 Закрита подстанция

Концепция

Фигура B35 показва типов план за разполагане на електрообзавеждане на подстанция с измерване на електрическата енергия на страна НН.
Забележка: При използване на сухи трансформатори, противопожарна маслосборна яма не се използва. Необходимо е обаче да се предвиди периодично почистване.



Фиг. B35: Типово разположение на електрообзавеждане

© Schneider Electric - всички права запазени

Свързване към захранващата мрежа и връзки между електрообзавеждането

На страна средно напрежение

■ Включването към захранващата мрежа СрН се извършва от доставчика на енергия и той отговаря за това;

■ Връзките между комутационната апаратура СрН и трансформаторите може да бъде чрез:

□ къси медни шини, когато трансформатора се намира в отделение, образуващо част от високоволтово комплектно разпределително устройство;

□ еднофазни екранирани кабели със синтетична изолация с възможно използване на щепселните клеми на трансформатора.

На страна ниско напрежение

■ Връзките между клемите НН на трансформатора и комутационната апаратура НН може да бъде чрез:

□ едножилни кабели;

□ плътни медни шини;

□ фабрични щинопроводи.

Измерване (виж **Фиг. B36**)

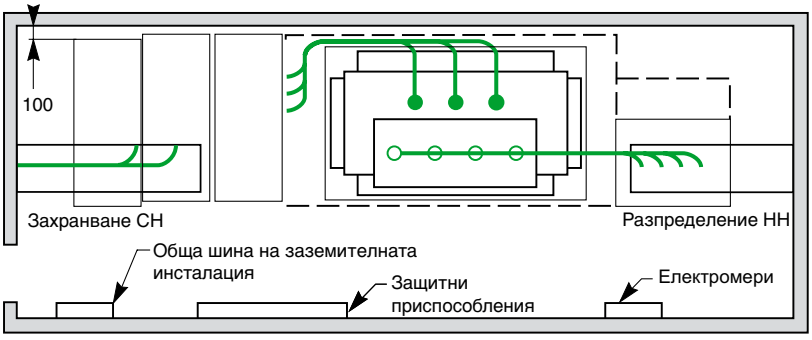
■ Токовите трансформатори обикновено се монтират в пломбирано отделение в главното разпределително табло НН;

■ Токовите измерителни трансформатори също могат да се монтират в защитния кожух на нисковолтовите кабелни входове на трансформатора, кожуха се пломбира от доставчика на електрическа енергия.

■ Електромерите се монтират на табло, което не е подложено на вибрации;

■ Електромерите се монтират колкото е възможно по-близо до токовите трансформатори;

■ Достъп до електромерите има само доставчика на електрическа енергия.



Фиг. B36: План на типова подстанция с мерене на страна НН

Заземяване

Подстанцията трябва да притежава:

■ Заземяващ електрод за всички открити тоководещи части на електрообзавеждането на уредбата и незащитени външни метални части, включително:

□ защитни метални екрани;

□ арматурните пръти в бетоновата основа на подстанцията.

Осветление на подстанцията

Захранването на веригите за осветление може да бъде направено от точки, разположени над или под главния входен автоматичен прекъсвач НН. И в двата случая трябва да бъде осигурена съответна максималнотокова защита. За целите на аварийното осветление се препоръчва да се използва отделна верига(-и).

Работните ключове, бутони и др. са разположени обикновено около входовете.

Осветителните тела трябва да бъдат разположени по такъв начин, че:

■ Лостовете за управление на комутационната апаратура и указателите за положение да бъдат осветени подходящо;

■ Всички измервателни скали, плакати с инструкции и т.н. трябва да могат да се четат лесно.

© Schneider Electric - всички права запазени

Материали за работа и безопасност

В съответствие с местните правила за безопасност, в подстанцията трябва да има:

- Материали, осигуряващи безопасна експлоатация на електрообзавеждането, които включват:
  - Изолиращо столче и/или изолиращ килим (гумен или синтетичен);
  - Чифт изолационни ръкавици, които се съхраняват в специален плик;
  - Устройство за откриване на напрежение, предназначено за употреба във високоволтово обзавеждане;
  - Заземяващи устройства (съгласно типа на комутационната апаратура).
- Устройства за гасене на пожар на основата на прах или CO_2.
- Предупредителни знаци, надписи и сигнализация за безопасност:
  - На външната страна на всички врати за достъп трябва да има табели с надпис „ВНИМАНИЕ! ВИСОКО НАПРЕЖЕНИЕ ОПАСНО ЗА ЖИВОТА!" и табела, забраняваща входа, заедно с инструкции за оказване на първа долекарска помощ на лица, пострадали от електрически ток.

Фиг. B37: Открита подстанция с корпуси – с вътрешен коридор за обслужване

Фиг. B38: Открита подстанция с корпуси – с обслужване от външната страна

Фиг. B39: Открита подстанция без корпуси

6.3 Открита подстанция (трафопостове)

Открити трафопостове с външен корпус

Обикновено се използват компактни, предварително изработени корпуси от метал или бетон, които предпазват електрообзавеждането от атмосферни въздействия и проникване на животни.

Такива предварително изработени корпуси изискват минимален обем строителни дейности и се използват както за градски, така и за селски тип трафопостове.

Предимствата на този тип подстанции, наричани комплетни трансформаторни постове (КТП) са:

- Оптимизация на материалите и осигуряване на безопасност чрез:
  - Подходящ избор от широка гама разполагаеми корпуси;
  - Съответствие с всички съществуващи и нови международни стандартни.
- Намаляване времето за проучване и проектиране, а също и стойността на реализация благодарение на:
  - Минимална координация между различни процеси при строителство на сгради и работа на площадката;
  - Монтаж на подстанцията, независимо от строителството на основната сграда;
  - Отстраняване на необходимостта за „временно включване" в началото на работата по подготовката на площадката;
  - Опростяване на строителните дейности, които се състоят само в осигуряване на железобетонна основа;
- Съществено опростяване на инсталацията и връзките.

КТП биват два вида в зависимост от начина на обслужване:

- с обслужване отвътре (виж **Фиг. B37**);
- с обслужване от външната срана (виж **Фиг. B38**).

Външни подстанции без корпуси (виж **Фиг. B39**)

Този вид подстанции са разпространени в някои страни и използват електрообзавеждане, за монтаж на открито.
Такива подстанции се състоят от оградени площи, на които са изградени три или повече бетонни основи:

- За уредба СрН;
- За един или повече трансформатора;
- За едно или повече разпределителни) таблоа.

Мачтови трафопостове

Област на приложение

Тези подстанции се използват главно за захранване на изолирани селски потребители от въздушни електропроводни мрежи СрН.

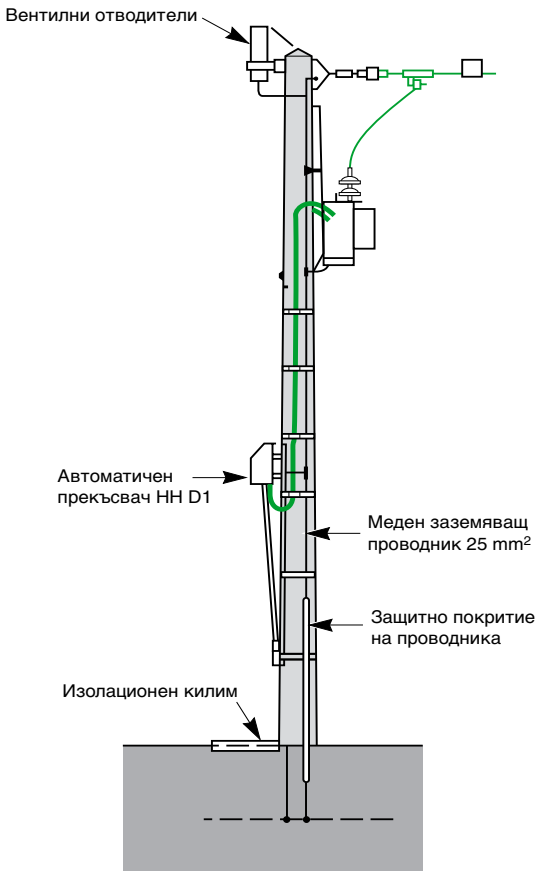
Конструкция

В този тип подстанция най-често защитата на трансформатора СН е осъществена от предпазители.
За защита на трансформатора и потребителите от пренапрежения се използват вентилни отводители, както е показано на **Фиг. B40** на следваща страница.

Обща структура на електрообзавеждането

Както е посочено предварително, мястото на подстанцията трябва да осигурява лесен достъп не само за персонала, но и за троваро-разтоварните дейности с обзавеждането (например, вдигане на трансформатора) и маневриране на тежко товарни автомобили.

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. B40: Мачтов трафопост

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава C
Включване към електроразпределителна мрежа ниско напрежение

Съдържание

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение **C2**

1.1 Потребители ниско напрежение C2
1.2 Електроразпределителни мрежи ниско напрежение C10
1.3 Включване на потребител C11
1.4 Качество на захранващото напрежение C15

2 Тарифи и измерване **C16**

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

Най-разпространените мрежи НН по света обхващат диапазона от еднофазни мрежи с напрежение 120 V до трифазни четирипроводни мрежи с напрежение 240/415 V.
Захранването на товар с мощност до 250 kVA може да се осъществи от мрежи НН, а при нива на товара, близки до граничните възможности на мрежи НН, доставчиците на електроенергия обикновено предлагат захранване със СрН.
В съответствие с международния стандарт IEC 60038 се препоръчва напрежение 230/400 V за трифазни четирипроводни системи НН.

1.1 Потребители ниско напрежение

Потребителите ниско напрежение, по определение, са тези потребители, чиито товари се снабдяват с електрическа енергия от нисковолтова разпределителна мрежа.

Напрежението на мрежата НН може да бъде от 120/208 V до 240/415 V, т.е. съответства на долната или горната граница на най-разпространените нива на трифазно напрежение или някакво междинно ниво, както е показано в **Табл. C1.**

В съответствие с международния стандарт IEC 60038 се препоръчва за трифазни четирипроводни системи НН напрежението да бъде 230/400 V.

В Европа, преходният период за допустимо отклонение на напрежението за „230/400 V ± 10 %" е разширен с 5 години до 2008 г.

Товарите, с мощност до 250 kVA, могат да бъдат захранвани от мрежа НН, но доставчиците на електрическа енергия обикновено предлагат захранване от мрежа СрН при нива на товара, близки до граничните възможности на мрежи НН.

Таблица C1: Напрежение на местна мрежа НН и съответни схеми на свързване (продължава на следваща страница)

Страна	Честота / диапазон, Hz / %	За битови потребители, V	За търговски цели, V	За индустриални потребители, V
Афганистан	50 220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)	380/220 (a)
Алжир	50 ± 1.5	220/127 (e) 220 (k)	380/220 (a) 220/127 (a)	10,000 5,500 6,600 380/220 (a)
Ангола	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Антигуа и Барбуда	60	240 (k) 120 (k)	400/230 (a) 120/208 (a)	400/230 (a) 120/208 (a)
Аржентина	50 ± 2	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	
Армения	50 ± 5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Австралия	50 ± 0.1	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 440/250 (a) 440 (m)	22,000 11,000 6,600 415/240 440/250
Австрия	50 ± 0.1	230 (k)	380/230 (a) (b) 230 (k)	5,000 380/220 (a)
Азербайджан	50 ± 0.1	208/120 (a) 240/120 (k)	208/120 (a) 240/120 (k)	
Бахрейн	50 ± 0.1	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	11,000 415/240 (a) 240 (k)
Бангладеш	50 ± 2	410/220 (a) 220 (k)	410/220 (a)	11,000 410/220 (a)
Барбадос	50 ± 6	230/115 (j) 115 (k)	230/115 (j) 200/115 (a) 220/115 (a)	230/400 (g) 230/155 (j)
Беларус	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Белгия	50 ± 5	230 (k) 230 (a) 3N, 400	230 (k) 230 (a) 3N, 400	6,600 10,000 11,000 15,000
Боливия	50 ± 0.5	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)
Ботсуана	50 ± 3	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Бразилия	60	220 (k) 127 (k)	220/380 (a) 127/220 (a)	13,800 11,200 220/380 (a) 127/220 (a)
Бруней	50 ± 2	230	230	11,000 68,000
България	50 ± 0.1	220	380/220	1,000 690 380

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

Страна	Честота / диапазон, Hz / %	За битови потребители, V	За търговски цели, V	За индустриални потребители, V
Камбоджа	50 ± 1	220 (k)	220/300	220/380
Камерун	50 ± 1	220/260 (k)	220/260 (k)	220/380 (a)
Канада	60 ± 0.02	120/240 (j)	347/600 (a) 480 (f) 240 (f) 120/240 (j) 120/208 (a)	7,200/12,500 347/600 (a) 120/208 600 (f) 480 (f) 240 (f)
Капа Верде		220	220	380/400
Чад	50 ± 1	220 (k)	220 (k)	380/220 (a)
Чили	50 ± 1	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Китай	50 ± 0.5	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)
Колумбия	60 ± 1	120/240 (g) 120 (k)	120/240 (g) 120 (k)	13,200 120/240 (g)
Конго	50	220 (k)	240/120 (j) 120 (k)	380/220 (a)
Хърватска	50	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)
Кипър	50 ± 0.1	240 (k)	415/240	11,000 415/240
Чехия	50 ± 1	230	500 230/400	400,000 220,000 110,000 35,000 22,000 10,000 6,000 3,000
Дания	50 ± 1	400/230 (a)	400/230 (a)	400/230 (a)
Джибути	50		400/230 (a)	400/230 (a)
Доминика	50	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
Египет	50 ± 0.5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	66,000 33,000 20,000 11,000 6,600 380/220 (a)
Естония	50 ± 1	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Етиопия	50 ± 2.5	220 (k)	380/231 (a)	15 000 380/231 (a)
Фолкландските острови	50 ± 3	230 (k)	415/230 (a)	415/230 (a)
Фиджи	50 ± 2	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	11,000 415/240 (a)
Финландия	50 ± 0.1	230 (k)	400/230 (a)	690/400 (a) 400/230 (a)
Франция	50 ± 1	400/230 (a) 230 (a)	400/230 690/400 590/100	20,000 10,000 230/400
Гамбия	50	220 (k)	220/380	380
Грузия	50 ± 0.5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Германия	50 ± 0.3	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	20,000 10,000 6,000 690/400 400/230
Гана	50 ± 5	220/240	220/240	415/240 (a)
Гибралтар	50 ± 1	415/240 (a)	415/240 (a)	415/240 (a)
Гърция	50	220 (k) 230	6,000 380/220 (a)	22,000 20,000 15,000 6,600
Гренада	50	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
Хонг Конг	50 ± 2	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	11,000 386/220 (a)
Унгария	50 ± 5	220	220	220/380
Исландия	50 ± 0.1	230	230/400	230/400

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

Страна	Честота / диапазон, Hz / %	За битови потребители, V	За търговски цели, V	За индустриални потребители, V
Индия	50 ± 1.5	440/250 (a) 230 (k)	440/250 (a) 230 (k)	11,000 400/230 (a) 440/250 (a)
Индонезия	50 ± 2	220 (k)	380/220 (a)	150,000 20,000 380/220 (a)
Иран	50 ± 5	220 (k)	380/220 (a)	20,000 11,000 400/231 (a) 380/220 (a)
Ирак	50	220 (k)	380/220 (a)	11,000 6,600 3,000 380/220 (a)
Ирландия	50 ± 2	230 (k)	400/230 (a)	20,000 10,000 400/230 (a)
Израел	50 ± 0.2	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	22,000 12,600 6,300 400/230 (a)
Италия	50 ± 0.4	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)	20,000 15,000 10,000 400/230 (a)
Ямайка	50 ± 1	220/110 (g) (j)	220/110 (g) (j)	4,000 2,300 220/110 (g)
Япония (изток)	+ 0.1 - 0.3	200/100 (h)	200/100 (h) (up to 50 kW)	140,000 60,000 20,000 6,000 200/100 (h)
Йордания	50	380/220 (a) 400/230 (k)	380/220 (a)	400 (a)
Казахстан	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Кения	50	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Киргизстан	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Северна Корея	60 +0, -5	220 (k)	220/380 (a)	13,600 6,800
Южна Корея	60	100 (k)	100/200 (j)	
Кувейт	50 ± 3	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Лаос	50 ± 8	380/220 (a)	380/220 (a)	380/220 (a)
Лесото		220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Латвия	50 ± 0.4	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Ливан	50	220 (k)	380/220 (a)	380/220 (a)
Либия	50	230 (k) 127 (k)	400/230 (a) 220/127 (a) 230 (k) 127 (k)	400/230 (a) 220/127 (a)
Литва	50 ± 0.5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Люксембург	50 ± 0.5	380/220 (a)	380/220 (a)	20,000 15,000 5,000
Македония	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	10,000 6,600 380/220 (a)
Мадагаскар	50	220/110 (k)	380/220 (a)	35,000 5,000 380/220

© Schneider Electric - всички права запазени

Страна	Честота / диапазон, Hz / %	За битови потребители, V	За търговски цели, V	За индустриални потребители, V
Малайзия	50 ± 1	240 (k) 415 (a)	415/240 (a)	415/240 (a)
Малави	50 ± 2.5	230 (k)	400 (a) 230 (k)	400 (a)
Мали	50	220 (k) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a) 220 (k) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a)
Малта	50 ± 2	240 (k)	415/240 (a)	415/240 (a)
Мартиника	50	127 (k)	220/127 (a) 127 (k)	220/127 (a)
Мавритания	50 ± 1	230 (k)	400/230 (a)	400/230 (a)
Максико	60 ± 0.2	127/220 (a) 220 (k) 120 (l)	127/220 (a) 220 (k) 120 (l)	13,800 13,200 277/480 (a) 127/220 (b)
Молдова	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Мароко	50 ± 5	380/220 (a)	380/220 (a)	225,000
		220/110 (a)		150,000 60,000 22,000 20,000
Мозамбик	50	380/220 (a)	380/220 (a)	6,000 10,000
Непал	50 ± 1	220 (k)	440/220 (a) 220 (k)	11,000 440/220 (a)
Холандия	50 ± 0.4	230/400 (a) 230 (k)	230/400 (a)	25,000 20,000 12,000 10,000 230/400
Нова Зеландия	50 ± 1.5	400/230 (e) (a) 230 (k) 460/230 (e)	400/230 (e) (a) 230 (k)	11,000 400/230 (a)
Нигер	50 ± 1	230 (k)	380/220 (a)	15,000 380/220 (a)
Нигерия	50 ± 1	230 (k) 220 (k)	400/230 (a) 380/220 (a)	15,000 11,000 400/230 (a) 380/220 (a)
Норвегия	50 ± 2	230/400	230/400	230/400 690
Оман	50	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a)
Пакистан	50	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)
Папуа - Нова Гвинея	50 ± 2	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	22,000 11,000 415/240 (a)
Парагвай	50 ± 0.5	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	22,000 380/220 (a)
Филипини	60 ± 0.16	110/220 (j)	13,800 4,160 2,400 110/220 (h)	13,800 4,160 2,400 440 (b) 110/220 (h)
Полша	50 ± 0.1	230 (k)	400/230 (a)	1,000 690/400 400/230 (a)
Португалия	50 ± 1	380/220 (a) 220 (k)	15,000 5,000 380/220 (a) 220 (k)	15,000 5,000 380/220 (a)
Катар	50 ± 0.1	415/240 (k)	415/240 (a)	11,000 415/240 (a)

© Schneider Electric - всички права запазени

Таблица C1: Напрежение на местна мрежа НН и съответни схеми на свързване (продължава на следваща страница)

Страна	Честота / диапазон, Hz / %	За битови потребители, V	За търговски цели, V	За индустриални потребители, V
Румъния	50 ± 0.5	220 (k) 220/380 (a)	220/380 (a)	20,000 10,000 6,000 220/380 (a)
Русия	50 ± 0.2	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Руанда	50 ± 1	220 (k)	380/220 (a)	15,000 6,600 380/220 (a)
Сейнт Лусия	50 ± 3	240 (k)	415/240 (a)	11,000 415/240 (a)
Самоа		400/230		
Сан Марино	50 ± 1	230/220	380	15,000 380
Саудитска Арабия	60	220/127 (a)	220/127 (a) 380/220 (a)	11,000 7,200 380/220 (a)
Соломонови острови	50 ± 2	240	415/240	415/240
Сенегал	50 ± 5	220 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (k)	90,000 30,000 6,600
Сърбия и Черна Гора	50	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	10,000 6,600 380/220 (a)
Сейшелите	50 ± 1	400/230 (a)	400/230 (a)	11,000 400/230 (a)
Сиера Лионе	50 ± 5	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	11,000 400
Сингапур	50	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a)	22,000 6,600 400/230 (a)
Словакия	50 ± 0.5	230	230	230/400
Словения	50 ± 0.1	220 (k)	380/220 (a)	10,000 6,600 380/220 (a)
Сомалия	50	230 (k) 220 (k) 110 (k)	440/220 (j) 220/110 (j) 230 (k)	440/220 (g) 220/110 (g)
Южна Африка	50 ± 2.5	433/250 (a) 400/230 (a) 380/220 (a) 220 (k)	11,000 6,600 3,300 433/250 (a) 400/230 (a) 380/220 (a)	11,000 6,600 3,300 500 (b) 380/220 (a)
Испания	50 ± 3	380/220 (a) (e) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220/127 (a) (e)	15,000 11,000 380/220 (a)
Шри Ланка	50 ± 2	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	11,000 400/230 (a)
Судан	50	240 (k)	415/240 (a) 240 (k)	415/240 (a)
Свазиленд	50 ± 2.5	230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	11,000 400/230 (a)
Швеция	50 ± 0.5	400/230 (a) 230 (k)	400/230 (a) 230 (k)	6,000 400/230 (a)
Швейцария	50 ± 2	400/230 (a)	400/230 (a)	20,000 10,000 3,000 1,000 690/500
Сирия	50	220 (k) 115 (k)	380/220 (a) 220 (k) 200/115 (a)	380/220 (a)
Таджикистан	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

Таблица C1: Напрежение на местна мрежа НН и съответни схеми на свързване (продължава на следваща страница)

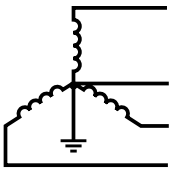
Страна	Честота / диапазон, Hz / %	За битови потребители, V	За търговски цели, V	За индустриални потребители, V
Танзания	50	400/230 (a)	400/230 (a)	11,000 400/230 (a)
Тайланд	50	220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Того	50	220 (k)	380/220 (a)	20,000 5,500 380/220 (a)
Тунис	50 ± 2	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	30,000 15,000
				10,000 380/220 (a)
Туркменистан	50	380/220 (a) 220 (k) 220/127 (a) 127 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a)
Турция	50 ± 1	380/220 (a)	380/220 (a)	15,000 6,300 380/220 (a)
Уганда	+ 0.1	240 (k)	415/240 (a)	11,000 415/240 (a)
Украйна	+ 0.2 / - 1.5	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)	380/220 (a) 220 (k)
Обединени Арабски Емирства	50 ± 1	220 (k)	415/240 (a) 380/220 (a) 220 (k)	6,600 415/210 (a) 380/220 (a)
Обединено кралство Великобритания (без Северна Ирландия)	50 ± 1	230 (k)	400/230 (a)	22,000 11,000 6,600 3,300 400/230 (a)
Обединено кралство Великобритания (със Северна Ирландия)	50 ± 0.4	230 (k) 220 (k)	400/230 (a) 380/220 (a)	400/230 (a) 380/220 (a)
САЩ Шарлот (Северна Каролина)	60 ± 0.06	120/240 (j) 120/208 (a)	265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a)	14,400 7,200 2,400 575 (f) 460 (f) 240 (f) 265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a)
САЩ Детройт (Мичиган)	60 ± 0.2	120/240 (j) 120/208 (a)	480 (f) 120/240 (h) 120/208 (a)	13,200 4,800 4,160 480 (f) 120/240 (h) 120/208 (a)
САЩ Лос Анжелис (Калифорния)	60 ± 0.2	120/240 (j)	4,800 120/240 (g)	4,800 120/240 (g)
САЩ Маями (Флорида)	60 ± 0.3	120/240 (j) 120/208 (a)	120/240 (j) 120/240 (h) 120/208 (a)	13,200 2,400 480/277 (a) 120/240 (h)
САЩ Ню Йорк	60	120/240 (j) 120/208 (a)	120/240 (j) 120/208 (a) 240 (f)	12,470 4,160 277/480 (a) 480 (f)
САЩ Питсбърг (Пенсилвания)	60 ± 0.03	120/240 (j)	265/460 (a) 120/240 (j) 120/208 (a) 460 (f) 230 (f)	13,200 11,500 2,400 265/460 (a) 120/208 (a) 460 (f) 230 (f)

© Schneider Electric - всички права запазени

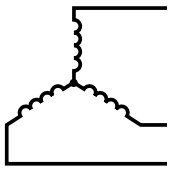
Таблица C1: Напрежение на местна мрежа НН и съответни схеми на свързване (продължение)

Страна	Честота / диапазон, Hz / %	За битови потребители, V	За търговски цели, V	За индустриални потребители, V
САЩ Портланд (Орегон)	60	120/240 (j)	227/480 (a) 120/240 (j) 120/208 (a) 480 (f) 240 (f)	19,900 12,000 7,200 2,400 277/480 (a) 120/208 (a) 480 (f) 240 (f)
САЩ Сан Франциско (Калифорния)	60 ± 0.08	120/240 (j)	277/480 (a) 120/240 (j)	20,800 12,000 4,160 277/480 (a) 120/240 (g)
САЩ Толедо (Охайо)	60 ± 0.08	120/240 (j) 120/208 (a)	277/480 (c) 120/240(h) 120/208 (j)	12,470 7,200 4,800 4,160 480 (f) 277/480 (a) 120/208 (a)
Уругвай	50 ± 1	220 (b) (k)	220 (b) (k)	15,000 6,000 220 (b)
Виетнам	50 ± 0.1	220 (k)	380/220 (a)	35,000 15,000 10,000 6,000
Йемен	50	250 (k)	440/250 (a)	440/250 (a)
Замбия	50 ± 2.5	220 (k)	380/220 (a)	380 (a)
Зимбабе	50	225 (k)	390/225 (a)	11,000 390/225 (a)

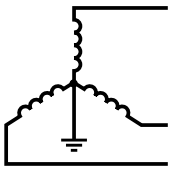
Схеми на свързване



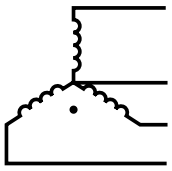
(**a**) Трифазна четирипроводна схема звезда, със заземена неутрала



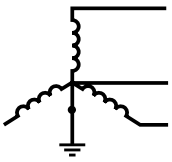
(**b**) Трифазна трипроводна схема звезда



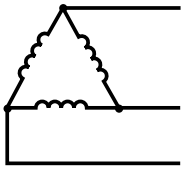
(**c**) Трифазна трипроводна схема звезда, със заземена неутрала



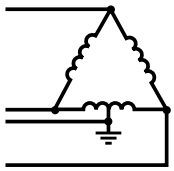
(**d**) Трифазна четирипроводна схема звезда, със незаземена неутрала



(**e**) Двуфазна трипроводна схема звезда, със заземена неутрала

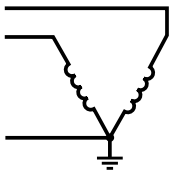


(**f**) Трифазна трипроводна схема триъгълник

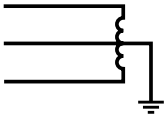


(**g**) Трифазна четирипроводна схема триъгълник, със заземена средна точка на една фаза

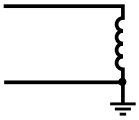
(**h**) Трифазна четирипроводна схема отворен триъгълник, със заземена средна точка на една фаза



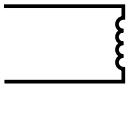
(**i**) Трифазна схема отворен триъгълник, със заземено съединение на фази



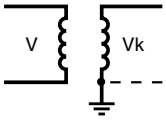
(**j**) Еднофазна трипроводна схема, със заземена средна точка



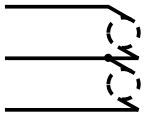
(**k**) Еднофазна двупроводна схема, със заземен край на фаза



(**l**) Еднофазна двупроводна схема, без заземяване



(**m**) Еднопроводна схема със заземен извод



(**n**) Трипроводна схема на вериги за постоянен ток без заземяване

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

Битови и търговски потребители

Предназначението на електроразпределителната мрежа НН е да осигури захранване (чрез подземен кабел или въздушна електропроводна линия) на определен брой потребители по нейното трасе.
Изискванията за номинален ток на разпределителните мрежи се определят от броя на включените потребители и средния товар на един потребител.
Принципните ограничителни параметри на разпределителната мрежа са:
- Максималният ток, който тя може да пропуска неограничено дълго време, и
- Максималната дължина на кабела, при която при протичане на максималния ток не се надхвърля максималния допустим пад на напрежение.

Тези ограничаващи условия означават, че големината на товара, който електроразпределителните предприятия могат да свържат към своите разпределителни мрежи НН, е ограничен.
За диапазона на системите НН, разгледани във втория параграф на тази точка (1.1), т.е. от еднофазни с напрежение 120 V до трифазни с напрежение 230/415 V – максимално допустимите електрически товари, присъединявани към разпределителна мрежа НН могат да имат стойности (1), съгласно **Табл. C2**.

Таблица C2: Типични максимални допустими товари, включвани към разпределителна мрежа НН

Система	Максимално допустим ток, разрешен за един потребител, A	kVA
120 V 1-фазна 2-проводна	60 A	7.2
120/240 V 1-фазна 3-проводна	60 A	14.4
120/208 V 3-фазна 4-проводна	60 A	22
220/380 V 3-фазна 4-проводна	120 A	80
230/400 V 3-фазна 4-проводна	120 A	83
240/415 V 3-фазна 4-проводна	120 A	86

Установеният ред, използван от различни доставчици на електроенергия, се различава чувствително и затова е трудно да се посочат стандартни стойности.

Трябва да се отчитат следните фактори:
- Размерът на съществуващата разпределителна мрежа, към която трябва да бъде включен разглежданият нов товар;
- Сумарният товар, който вече е включен към дадената разпределителна мрежа;
- Разположението на новия товар по трасето на разпределителната мрежа, т.е. близо ли е до подстанция, или е близо до отдалечения край на мрежата и т.н.

Накратко, всеки случай трябва да бъде разглеждан индивидуално.
Посочените по-горе нива на товара се отнасят за всички обикновени битови потребители и са подходящи за електрически уредби на много административни, търговски и аналогични сгради.

Средни и малки индустриални потребители (включени директно с отделни линии НН от захранващата подстанция СрН/НН)

Средните и малки индустриални потребители също могат да бъдат захранени от разпределителната мрежа НН.
За товари, които надхвърлят максимално допустимата граница на потребявана мощност за един потребител от разпределителна мрежа, обикновено се използва отделен кабел. Той се включва към разпределително табло НН в трафопоста с предпазител или прекъсвач.
Максимално допустимият товар, който може да бъде присъединен по този начин, се ограничава обикновено от наличието на резервна мощност на трансформатора в подстанцията.
На практика обаче:
- Големите електрически товари (например, над 300 kVA) изискват кабели с голямо сечение, при това, ако центъра на товара не е разположен близо до трафопоста, този метод може да бъде икономически неизгоден;
- Редица електроснабдителни предприятия предпочитат да захранват товари, надхвърлящи 200 kVA (тази стойност варира при различните доставчици) на СН.

Поради тези причини директно включени линии към мрежи НН (от 220/380 V до 240/415 V) обикновено се прилагат за захранване на товари с номинална мощност от 80 до 250 kVA.
Потребителите, захранването на които се осъществява от мрежи НН, са:
- Жилищни сгради;
- Магазини и търговски сгради;
- Малки предприятия, работилници и бензиностанции;
- Ресторанти;
- Ферми и др.

(1) Стойностите, показани в **Табл. C2** са ориентировъчни. За първите три системи максимално допустимият ток на включване е 60 A, тъй като за установеното допустимо отклонение на напрежението, в %, по-малките падове на напрежение се допускат при по-ниски напрежения. За втората група системи (отново произволно) е избран максимално допустим ток на включване 120 A.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

В градове и големите населени места стандартните разпределителни кабели НН образуват мрежа с помощта на разпределителни кутии. Някои нейни връзки се отстраняват и затова всяка разпределителна линия, излизаща от трафопоста, образува разклонена радиална схема, както е показано на Фиг. C3.

1.2 Електроразпределителни мрежи ниско напрежение

В Европейските страни, за трифазни четирипроводни мрежи, е прието стандартно напрежение 230/400 V. Много страни преобразуват своите мрежи НН към последния стандарт на IEC 60038 за номинално напрежение 230/400 V. В градове и населени места със средни и големи размери се използват подземни кабелни разпределителни системи.

Разпределителните трафопостове СН/НН, са разположени на разстояние (500…600) m един от друг и обикновено се обзавеждат със:

- КРУ СрН, с три или четири отделния, с входни и изходни товарови прекъсвачи, образуващи част от пръстеновидна захранваща схема, и един или два прекъсвачи СрН или комбинация предпазители-мощностни разединители за изключване веригите на трансформатора;
- Един или два трансформатори СрН/НН;
- Едно ли две (сдвоени) трифазни четирипроводни разпределителни табла НН с 6 или 8 изходящи линии, със защита със стопяеми предпазители, или с автоматични прекъсвачи, с 4-жилни изходящи кабели.

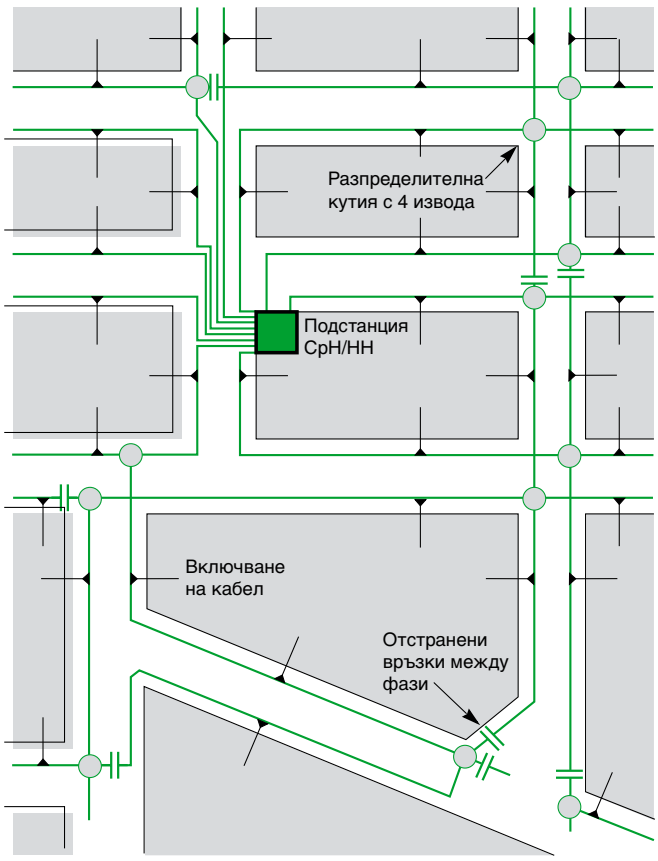
Изходът на трансформатора се свързва с шини НН чрез тавтоматичен прекъсвач.

В гъсто населени райони се полага мрежа от разпределителни кабели със стандартни размери. Обикновено един кабел се полага по дължината на всеки тротоар, а разпределителните кабелни кутии с четири извода се монтират в шахти по ъглите на улиците, където се пресичат два кабела.

Тенденция в последно време е използването на шкафове, устойчиви на атмосферни въздействия, които се монтират плътно до стена или, по възможност, вградени в стената.

Връзките се изпълняват така, че на изхода на подстанцията разпределителните кабели образуват радиални вериги с отворени краища (виж **Фиг. C3**). Мястото, където разпределителната кутия съединява разпределителен кабел от една подстанция с разпределителен кабел от съседна подстанция, връзките между фазите се отстраняват или се заменят със стопяеми предпазители, но връзката за неутралата се запазва.

Такава схема позволява да се създаде много гъвкава система, в която целия трафопост може да бъде изведен от експлоатация, а участъка, който той обикновено снабдява с електроенергия, да се обслужва от разпределителни касети на съседни трафопостове.



Фиг. C3: Възможна схема за построяване на мрежа НН с радиални разклонени разпределителни изводи чрез отстраняване на връзки между кабели

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

В градски райони с по-малка плътност на електрически товари обикновено се използва по-икономичен вариант на система за радиално разпределение на енергия, при който с отдалечаване от захранващата подстанция се монтира проводник с по-малко сечение.

Подобрените методи, използващи изолирани усукани проводници, за изграждане на въздушни електропреносни мрежи, са стандартна практика в много страни.

В Европа всеки трафопост е способен да осигури захранване НН на район, разположен в радиус приблизително 300 m. Системите, използвани в страните от Северна и Централна Америка, се състоят от високоволтова мрежа. От нея много трансформатори СрН/НН с малка мощност захранват всеки или група потребители по директно включен кабел (или въздушна линия) от трансформатора.

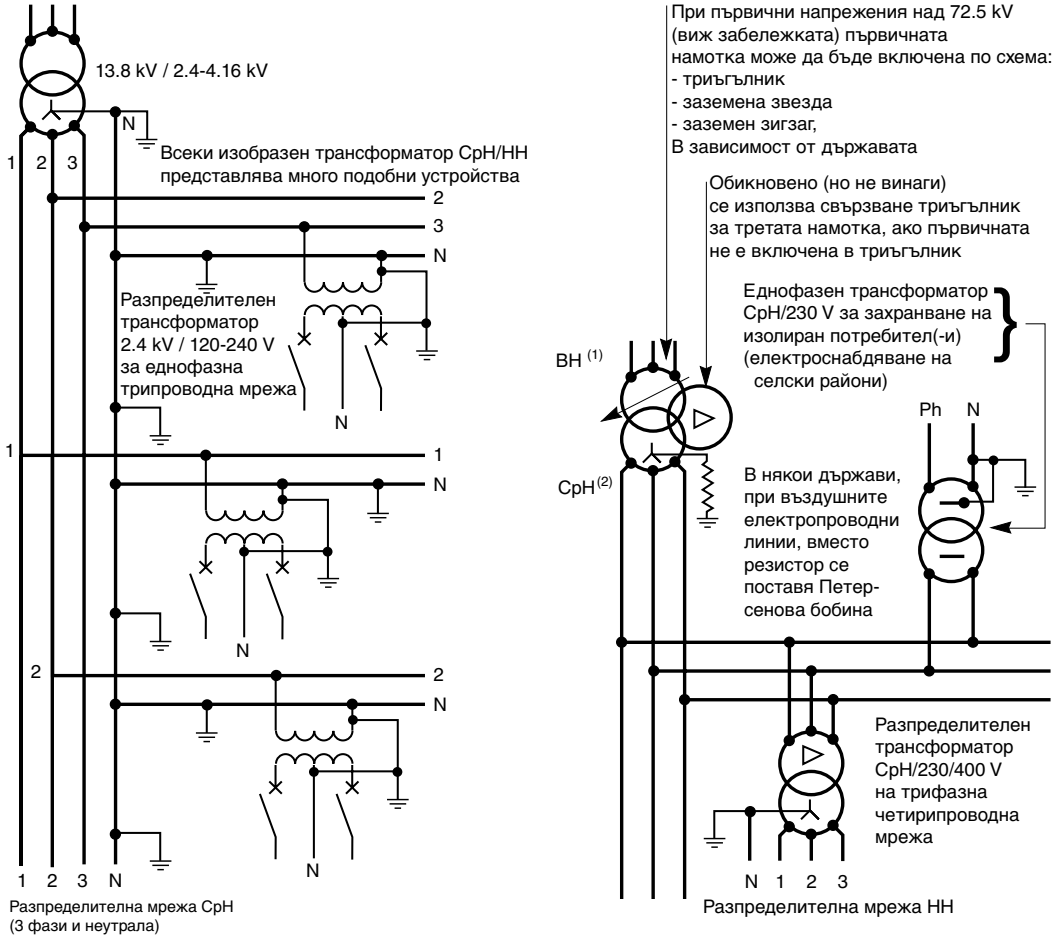
По-рано входните устройства и електромерите са се монтирали в сградата на потребителя. Съвременна тенденция е тези устройства да се разполагат отвън, в табло, устойчиво на атмосферни влияния.

Освен това, къси участъци от силови кабели (между две разпределителни касети) могат да бъдат изключени за търсене на повреда и ремонт.
В случай на голяма плътност на товара, трафопостовете се разполагат близо един до друг и понякога се изисква използването на трансформатори до 1 500 kVA.
В райони с по-малка плътност на товара се използват широко други схеми за изграждане на градски разпределителни мрежи НН на основата на свободно стоящи на земята нисковолтови разпределителни касети. Те са монтирани в стратегически точки от тази мрежа. Такава схема е основана на принципа на използване на радиални разпределителни кабели с постепенно намаляващо сечение. При тях сечението на тоководещите жила на кабела намалява с намаляване броя на потребителите, отдалечавайки се от трафопоста.
При такава схема няколко големи секционирани радиални линии НН захранват от разпределително табло на даден трафопост шини на разпределителна касета. От нея разпределителни кабели с по-малко сечение, захранват с енергия потребители, непосредствено разположени до тази касета.
В села и селскостопански райони, разпределението на електрическа енергия в продължение на много години, се основава на използване на неизолирани медни проводници, закрепени на дървени, бетонни или стоманени стълбове, захранвани от трансформатори, монтирани на стълбове или на земя.
В последните години са разработени изолирани проводници НН, от които чрез усукване се получава дву- или четирижилен самоносещ се кабел за използване във въздушни електропреносни линии. Те се приемат за по-безопасни и визуално по-подходящи от неизолираните медни проводници.
Това в частност се отнася за случаи, когато проводника се закрепва към стени (например, проводник под корниз), където те са трудно забележими.
Интересно е, че аналогични принципи са използвани при високи напрежения и затова на пазара се предлагат самоносещи се „снопове" от изолирани проводници, за използване във въздушни мрежи СрН, за работа при напрежение 24 kV.
В случаите, когато за електроснабдяване на село, се използват няколко подстанции, свързването на съответните фази се осъществява на стълбове, на които се срещата линии НН от различни подстанции.
Практиката, приета в страните от Северна и Централна Америка, се различава фундаментално от тази, която се използва в Европа. В Америка разпределителните мрежи НН практически отсъстват и случаи на подаване на трифазно захранване към жилища в жилищен район са редки.
Разпределението на електрическа енергия се осъществява ефективно на страна СрН и използваният метод отново се отличава от стандартната европейска практика. Използваната мрежа СрН, е фактически трифазна четирипроводна система, от която еднофазни разпределителни мрежи (фаза и нулев проводници) подават захранване на голям брой еднофазни трансформатори. Вторичните им намотки са с изведена средна точка за получаване на еднофазно трипроводно захранване с напрежение 120/240 V. Централни проводници са неутралните проводници на нисковолтовата мрежа, които заедно с неутралните проводници на високоволтовата мрежи са директно заземени през определени интервали по своята дължина.
Всеки трансформатор СрН/НН обикновено захранва една или няколко къщи с прилежащите им постройки непосредствено с помощта на радиален захранващ кабел(-и) или въздушна(-и) електропроводна(-и) линия(-и).
В тези страни съществуват много други системи, но описаната по-горе е най-разпространена.
На **Фиг. C4** (на следваща страница) са илюстрирани основните особености на двете системи.

1.3 Включване на потребител

В миналото, подземните кабели или изолираните проводници от въздушна електропреносна линия, се отвеждаха към територията на частния потребител. Там се монтираше табло със стандартни стопяеми предпазители (недостъпни за потребителя) и електромери.
Тенденцията в последно време е (ако е възможно) тези входни устройства да се разположат в една табло, устойчиво на атмосферни въздействия, извън сградата.
Точки за присъединяване на потребителя към мрежата за електроснабдяване са често изходните клеми на електромера(-ите) или в някои случаи изходните клеми на главния автоматичен прекъсвач на уредбата (в зависимост от приетата местна практика). Служителите на доставчика извършват присъединяване на разглежданата уредба към тях след удовлетворителни резултати от нейното изпитване и проверка.
Типична схема на включване е показана на **Фиг. C5** на следващата страница.

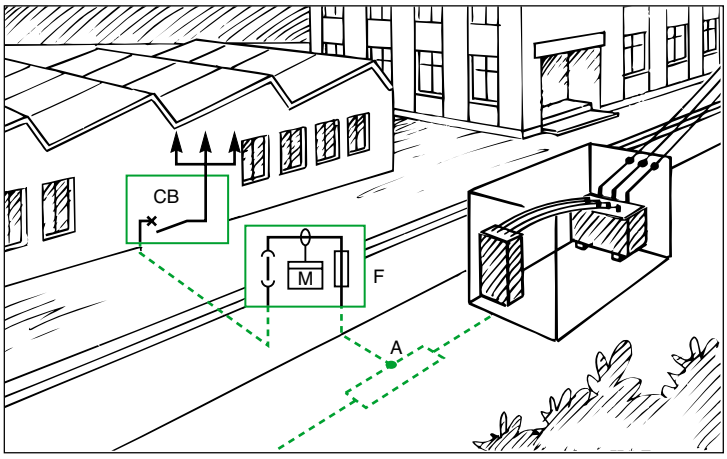
© Schneider Electric - всички права запазени



(1) Например, 132 kV
(2) Например, 11 kV

Забележка: На подстанциите с първични напрежения над 72,5 kV, в някои Европейски страни, е практика да се използва за първичната намотка схема заземена звезда, а за вторичната намотка – схема триъгълник. В този случай неутралната точка на вторичната намотка се присъединява към заземяващ реактор, свързан по схема зигзаг, звездната точка на който е свързана към земя през резистор. Често заземяващият реактор има вторична намотка за осигуряване на подстанцията с трифазно захранване НН. Тогава той се нарича „заземяващ" трансформатор.

Фиг. C4: Широко използвани американски и европейски системи



Фиг. C5: Типично включване на потребители по схема на свързване TT

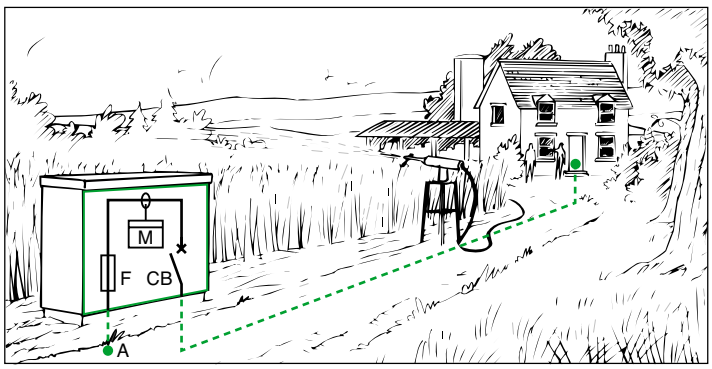
© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

Потребителите НН обикновено се захранват с електроенергия по схеми на свързване TN и TT, описани в Глави F и G. Главният автоматичен прекъсвач на уредбата, захранващ се по схема TT, трябва задължително да включва в конструкцията си устройство за защита от ток на утечка към земя. За схема TN за максималнотоковата защита се изисква автоматичен прекъсвач или товаров прекъсвач със стопяеми предпазители.

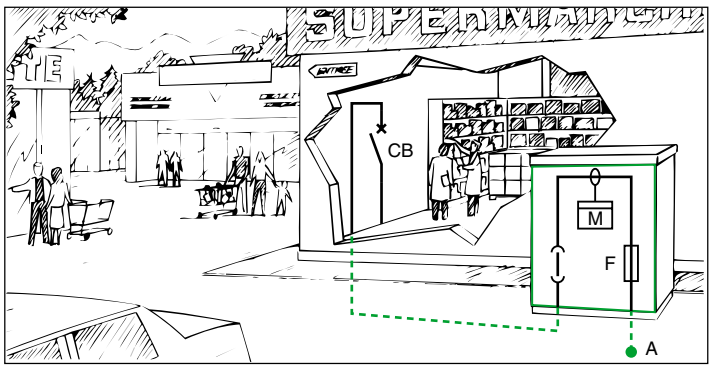
Потребителите НН обикновено се захранват с електроенергия по схеми TN и TT. За схема TN за максималнотокова защита се изисква автоматичен прекъсвач или товаров прекъсвач със стопяеми предпазители. При схема TT главният прекъсвач задължително трябва да включва и устройство за защита от токове на утечка. Причините за това се разглеждат в т. 3 на Глава G.
Причина за използване на автоматичен прекъсвач е още и това, че потребителят не може да превиши заявената от него и записана в договора с доставчика максимална стойност на потребяваната мощност. Включването и изключването на прекъсвача е достъпно за потребителя без ограничение и затова ако такъв прекъсвач произволно заработи при претоварване или поради неизправност на битов електроуред, захранването може да бъде бързо възстановено след отстраняване на причините за аварийното изключване.
За удобство и на потребителя и на инкасатора, електромерите се разполагат извън територията на собственика, или:

- В отделно табло, както е показано на **Фиг. C6** и **Фиг. C7**;
- В сградата, но при това кабелния вход и стопяемите предпазители, монтирани от доставчика, които се разполагат в шкаф, защитен от атмосферни влияния. Към него е възможен достъп от страна на пътя за общо ползване, както е показано на **Фиг. C8** на следващата страница;
- За частни битови потребители обзавеждането, показано на **Фиг. C6**, е инсталирано в шкаф, устойчив на атмосферни влияния, монтиран вертикално на метална рамка, пред градината, или на оградата и достъпен за упълномощен персонал от към страната на тротоара. **Фигура C9** (на следваща страница) показва обща схема, в която сменяемите стопяеми вложки на предпазителите осигуряват разединяване на веригата.



При този тип уредби често се налага главният автоматичен прекъсвач да е разположен на известно разстояние от мястото на използване. Например, дъскорезници, помпени станции и др.

Фиг. C6: Типична селскостопанска електрическа уредба

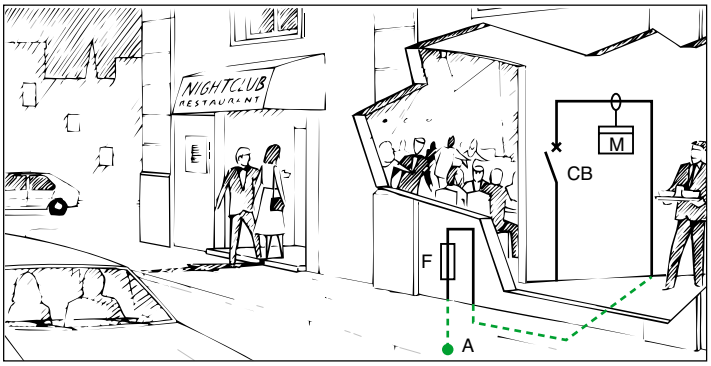


Главният автоматичен прекъсвач на уредбата се разполага в помещенията на потребителя в случаите, когато той е настроен да задейства при надвишаване на декларираната стойност на пълната мощност, в kVA.

Фиг. C7: Електрическа уредба от полуградски тип

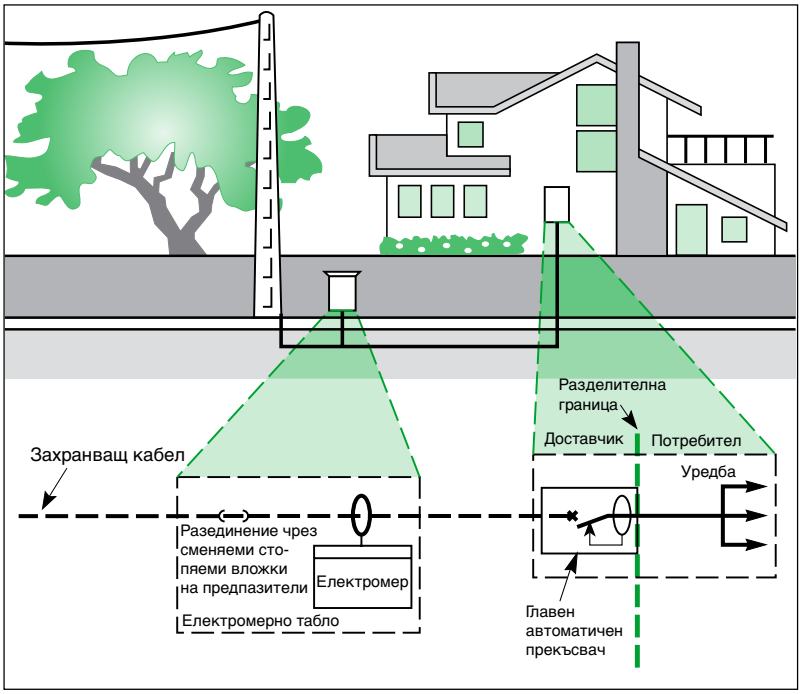
© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение



Захранващият кабел завършва в улична касета, монтирана в стена. В касетата се намират сменяеми стопяеми вложки на предпазители, осигуряващи разединяване. Те са достъпни от към страната на пътя. Този метод се предпочита по естетически причини, когато потребителят може да осигури удобно разположение на електромера и главния автоматичен прекъсвач.

Фиг. C8: Електрически уредби в градски условия



Фиг. C9: Типична схема НН за захранване на битови потребители

В областта на електронното отчитане на електроенергията са разработени ефективни методи за измерване на използваната електроенергия и за предоставяне на потребителите на сметки за заплащане на електропотреблението. Либерализацията на енергийния пазар увеличи потребността за събиране на голям обем данни за електромерите. Например, системите за електронно измерване могат да помогнат доставчиците да разберат профила на електропотреблението. Едновременно с това те ще бъдат полезни, все повече, за развитие на каналите за пренос на данни по електропроводни линии и радиоканали.

В тази област все повече се използват системи за предварително заплащане, когато това е икономическо обосновано. Те са основани на факта, че потребителите, направили предплащане в специални пунктове, получават електронни карти, с помощта на които информацията, касаеща това плащане се предава на електромерите. Към настоящия момент ключовите въпроси на тези системи за безопасност и експлоатационна съвместимост са успешно решени. Привлекателността на тези системи се предизвиква от факта, че те не само заменят електромерите, но и системата за заплащане, отчитането на показанията на електромерите и администрацията на платежните документи.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Електроразпределителна мрежа ниско напрежение

Поддържането на захранващото напрежение в определени граници е важно за нормалната работа на обзавеждането и битовите уреди. Поддържането на висок cos j е начин за намаляване пада на напрежение.

1.4 Качество на захранващото напрежение

Качество на захранващото напрежение в широк смисъл означава:
- Съответствие с нормативните изисквания по отношение големината на напрежението и на честотата;
- Допустим диапазон на отклонението на напрежението;
- Непрекъснато електроснабдяване с електроенергия, с изключение на случаите при изключване за планово техническо обслужване, или изключвания, предизвикани от аварии по мрежата или други необичайни ситуации;
- Запазване синусоидалната форма на напрежението.

В тази точка се разглежда само въпроса за поддържане големината на напрежението (останалите въпроси се обсъждат в т. 1.3 на Глава E).
В повечето страни, органите, отговарящи за електроснабдяване, са длъжни да поддържат ниво на напрежение на входните клеми на потребителите в границите на ± 5 % (или в някои случаи ± 6 % , или повече – виж **Табл. C1**) спрямо номиналната стойност.
IEC и редица национални стандарти препоръчват, уредите за НН да се проектират и изпитват за нормална работа при изменение на напрежението в границите от ± 10 % от номиналната стойност. Това оставя запас за най-тежките условия на 5 % допустим пад на напрежение в мрежата (например, от -5 % на входните клеми).
Падът на напрежение в една разпределителна система се разпределя по следния начин: напрежението на високоволтовите клеми на трансформатора СрН/НН обикновено се поддържа в границите от ± 2 % от номиналната стойност с помощта на автоматични регулатори на коефициента на трансформация на трансформаторите под товар в подстанции, захранващи мрежата СрН от разпределителната мрежа високо напрежение.
Ако трансформаторът СрН/НН е разположен близо до подстанция отклонението на напрежението от ± 2 % може да бъде центрирано около ниво, надвишаващо номиналната стойност на високото напрежение. Например, в разпределителна система 20 kV напрежението може да бъде 20,5 kV ± 2 %. В този случай стъпалният превключвател на коефициента на трансформация в разпределителния трансформатор СрН/НН трябва да бъде поставен в положение +2.5 %.
И обратно, в места, отдалечени от подстанции, се допуска стойност 19.5 kV ± 2 %. В този случай стъпалният превключвател трябва да бъде поставен в положение -5 %.

Практическо използване

Ако на трансформатора СрН/НН е коректно установен стъпалния превключвател на коефициента на трансформация, напрежението на изхода на ненатоварен трансформатор ще бъде в границите от ± 2 % от неговото изходно напрежение на празен ход.
Затова, за да може при пълен товар трансформатора да поддържа необходимото ниво на напрежение, изходното напрежение на празен ход трябва да бъде максимално възможно, но да не надвишава горната граница от +5 % (тази стойност е взета като пример). В съвременната практика отношението на намотките на трансформатора обикновено дава изходно напрежение на празен ход около 104 % от номиналната стойност(1), ако към намотката СрН се приложи номинално напрежение или е коригирано със стъпалния превключвател, в съответствие с описания по-горе начин. Това ще доведе до диапазон на изменение на напрежението от 102 до 106 %.
Стандартният трансформатор за разпределителна мрежа СрН/НН има реактивна съставяща на напрежение на късо съединение 5 %. Ако се предположи, че активната съставяща на напрежението е 0,1 от тази стойност, падът на напрежение в трансфор-матора при пълно натоварване и cos φ = 0.8 при активно-индуктивен товар ще бъде:
V, % = R% cos φ + X% sin φ = 0.5 x 0.8 + 5 x 0.6 = 0.4 + 3 = 3.4%
Следователно, диапазонът на напрежение на изходните клеми на трансформатора при пълен товар е от (102 - 3.4) = 98.6 % до (106 - 3.4) = 102.6 %.
Максимално допустимия пад на напрежение по разпределителния кабел тогава е 98.6 - 95 = 3.6 %.
Практически това означава, че захранващ кабел 230/400 V, трифазен четирипроводников, със сечение на медните жила 240 mm^2, може да пренася пълна мощност 292 kVA, при cos φ=0,8 (активно-индуктивен товар), разпределена равномерно по дължината на кабела – 306 m. Или, може да бъде осигурено захранване на само един потребител със същата мощност, разположен на разстояние 153 m от трансформатора при същия пад на напрежение и т.н.
Cos φ = 0.8 при активно-индуктивен товар е типичен за индустриални товари. В смесени, полуиндустриални райони, по-често се използва стойността cosφ = 0.85, а за пресмятания, отнасящи се до жилищни райони – cosφ = 0.9. Затова посоченият по-горе пад на напрежение може да се разглежда като „най-тежък" случай.

(1) Трансформатори, проектирани в съответствие със стандарта IEC, за напрежение 230/400 V ще имат изходно напрежение на празен ход 420 V, т.е. 105 % от номиналното.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Тарифи и измерване

В това Ръководство не се разглеждат конкретни тарифи, тъй като в света действат толкова различни структури на тарифи, колкото са и съществуващите електроснабдителни предприятия.
Някои от тарифите са много сложни по структура, но определени елементи са общи за всички тях и са насочени към това да стимулират потребителите да контролират потреблението на електроенергията. Така се намалява стойността при нейното производство, предаване и разпределение.
Има два основни метода, които позволяват да се намали стойността на електроенергията, доставена на потребителите:

- Намаляване загубите на енергия при нейното производство, предаване и разпределение. По принцип най-ниски загуби в системата се получават, когато всички нейни елементи функционират при $\cos\varphi = 1$;
- Намаляване потреблението на електроенергия във върховата зона на денонощието при едновременно увеличаване на товара в периоди на ниско електропотребление. В резултат на това се осигурява по-пълно използване на генериращите мощности и се минимизира степента на тяхното резервиране.

Намаляване на загубите

Макар че идеалното условие, посочено при първия метод по-горе за намаляване стойността електроенергията не може да бъде реализирано на практика, много структури на тарифи са базирани, както на стойността на потребената пълна мощност, в kVA, така и на активната енергия, в kWh. Тъй като за даден товар, в kW, минималната стойност на пълната мощност се получава при $\cos\varphi = 1$, потребителят може да минимизира своите разходи за заплащане на електроенергия, предприемайки мерки за повишаване на $\cos\varphi$ на своя товар (този въпрос се разглежда в Глава L).
Потребената пълна мощност, в kVA, обикновено използвана за тарифни цели, е максималният среден товар в продължение на определен период и се определя от средните потребности от електроенергия в продължение на фиксирани периоди (обикновено 10, 30 или 60 min) и избор на максималната от тези стойности. Този принцип е описан по-долу в „принцип на измерване на максималното електропотребление".

Намаляване на върховата мощност

Втората цел, т.е. намаляване потреблението на електроенергия във върхова зона на денонощието при едновременно увеличаване на товара в периоди на ниско електропотребление, е довело до тарифи, които предлагат съществено намаляване стойността на електроенергията в:

- Определени часове от денонощието;
- Определени периоди от годината.

Най-прост пример е битовия потребител с електрически бойлер (или с радиатор). Електромерът има два цифрови регистъра - тарифи, единият от които работи през деня, а другият (превключван от часовник) – през нощта. Контактор, управляван от часовник, захранва веригата на бойлера така, че той е включен за времето, за което се прилага по-ниската тарифа. Бойлерът може да бъде включван и изключван по всяко време на деня, но тогава електроенергията ще се отчита по
по-високата тарифа. Големите промишлени потребители могат да имат три или четири тарифи, прилагани за различни периоди от денонощието и аналогичен брой тарифи, прилагани за различни периоди от годината. В такива схеми отношението между стойността на активната енергия, в kWh, в периоди на максимално и минимално търсене в течение на година, може да достигне 10:1.

Електромери

Когато се използват електромеханични електромери, те трябва да бъдат с високо качество и да осигуряват необходимия клас на точност. Развитието на съвременните електронни измервателни устройства и микропроцесорна техника, заедно със системите за дистанционен контрол и телеуправление [1] позволява значително да се улесни прилагането на разгледаните по-горе принципи (например, за дистанционно променяне на върховите периоди през годината и т.н.).

Както беше отбелязано по-горе, в някои страни тарифите са базирани не само на потребената активна енергия, но и на максималната потребена пълна мощност, за периода на отчитане (например, 3 месеца).

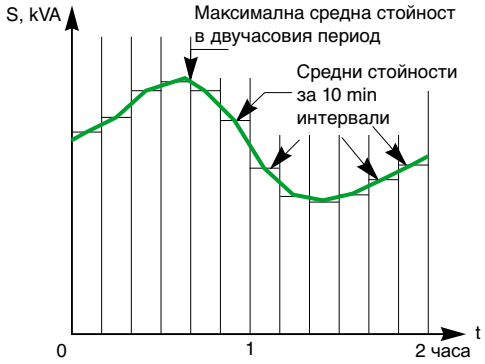
Максималната потребена пълна мощност е максималната средна мощност, в kVA, регистрирана от електромера през последователни интервали за периода на отчитане.

(1) Системата за телеуправление е сигнална система, в която на съответни подстанции в нисковолтовата мрежа се подава ток със звукова честота (обикновено 175 Hz). Този сигнал се предава във вид на кодирани импулси. В системата се използва релета, настроени на тази честота на сигнала и разпознаващи използвания код, които заработват и инициират изпълнение на необходимата функция. По този начин се осигуряват до 960 дискретни управляващи сигнали.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Тарифи и измерване

На **Фиг. C10** е показан типичен товаров график на пълна мощност за период от 2 h, разделен на последователни 10 min интервали. Електромерът измерва средната стойност на пълната мощност за всеки интервал.



Фиг. C10: Товаров график на пълната мощност за период от 2 часа

Принцип на измерване на максималния товар

Електромерът за измерване на пълна енергия, в kVAh, е в много случаи аналогичен на електромера за измерване на активна енергия, в kWh, и се отличава по това, че в него фазовият ъгъл между тока и напрежението се отчита така, че да се измерва пълната енергия в kVAh. Освен това вместо комплект от скали с десетични броячи, използвани в обикновения електромер, дадения апарат е снабден с въртящ се стрелкови указател. Когато този указател се завърти той измерва един 1 kVAh енергия и премества напред червения индикатор. След 10 min стрелковият указател се завърта на определен ъгъл (той е проектиран така, че да не може да извърши пълно завъртане за 10 min), а след това електрически се привежда в нулево положение, за да започне нов 10 минутен цикъл. Червеният индикатор остава в положението, което е достигнато от измервателния указател и това положение съответства на количеството енергия, в kVAh, консумирано от товара в продължение на 10 min. Вместо скала, разграфена в kVAh може да се използва разграфяване в единици за средна мощност (kVA). Това се обяснява по-долу.

Да предположим, че точката, в която е спрян червения индикатор, съответства на 5 kVAh. Известно е, че в продължение на 10 min, т.е. 1/6 часа, е консумирана някаква променлива мощност. Ако се раздели 5 kVAh на броя на часовете, ще се получи средната стойностна мощността за този период.

В дадения случай средната стойност на мощността е:

$$5 \times \frac{1}{\frac{1}{6}} = 5 \times 6 = 30 \text{ kVA}$$

Всяка точка от скалата ще бъде по аналогичен начин маркирана, т.е. средната стойност на пълната мощност, в kVA, ще бъде 6 пъти по-голяма от стойност на пълната енергия, в kWh, за дадена точка. Аналогично разсъждение може да се използва и за всеки друг временен интервал, за възвръщане на указателя в изходно положение.

В края на отчетния период червеният индикатор ще се намира в максималната от всички средни стойности, фиксирани за разглеждания отчетен период.

В началото на всеки отчетен период червеният индикатор се връща в нулево положение. Описаните по-горе електромеханични електромери понастоящем се заменят от електронни уреди, обаче основните принципи за измерване, използвани в тези електронни електромери, остават същите както описаните по-горе.

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава D
Ръководство за избор на структура на електрически уредби СрН и НН

Съдържание

1 Препоръки за потребителя D3

2 Опростен процес за проектиране на структурата на електрически уредби D4

2.1 Проектиране на структурата на електрически уредби D4
2.2 Етапи на проектиране D5

3 Характеристики на електрическите уредби D7

3.1 Икономическа дейност D7
3.2 Структурна топология D7
3.3 Допустимо изменение на плана D7
3.4 Надеждност D8
3.5 Ремонтопригодност D8
3.6 Експлоатационна гъвкавост D8
3.7 Потребявана мощност D9
3.8 Разпределение на товари D9
3.9 Чувствителност към прекъсване на електрозахранването D9
3.10 Чувствителност към смущения в електроснабдяването D10
3.11 Смущения, предизвикани от веригите D10
3.12 Други технически препоръки или ограничения D10

4 Технологични характеристики D11

4.1 Околна среда. Атмосфера D11
4.2 Индекс за техническо обслужване D11
4.3 Други съображения D12

5 Критерии за оценка на структурата на електрически уредби D13

5.1 Време за въвеждане на обекта D13
5.2 Влияние върху околната среда D13
5.3 Степен на профилактично техническо обслужване D14
5.4 Осигуреност на електроснабдяването D14

6 Принципен избор на структурата на електрически уредби D15

6.1 Свързване към горестояща мрежа D15
6.2 Схеми на вериги СрН в подстанции D16
6.3 Брой и разпределение на трансформаторни подстанции СрН/НН D17
6.4 Брой на трансформатори СрН/НН D18
6.5 Генератор за резервно захранване СрН D18

7 Подробен избор на структурата на електрически уредби D19

7.1 План за разположение на обзавеждането D19
7.2 Централизиран или децентрализиран план на електрически товари D20
7.3 Използване на непрекъсваем източник на захранване (UPS) D22
7.4 Схеми на вериги НН D22

8 Избор на обзавеждане D25

© Schneider Electric - всички права запазени

9 **Препоръки за оптимизация на структурата на електрически уредби** **D26**

9.1 Работа на строителния обект D26
9.2 Влияние върху околната среда D26
9.3 Профилактично техническо обслужване D28
9.4 Осигуреност на електроснабдяването D28

10 **Речник** **D29**

11 **Програмен продукт ID-Spec** **D30**

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Препоръки за потребителя

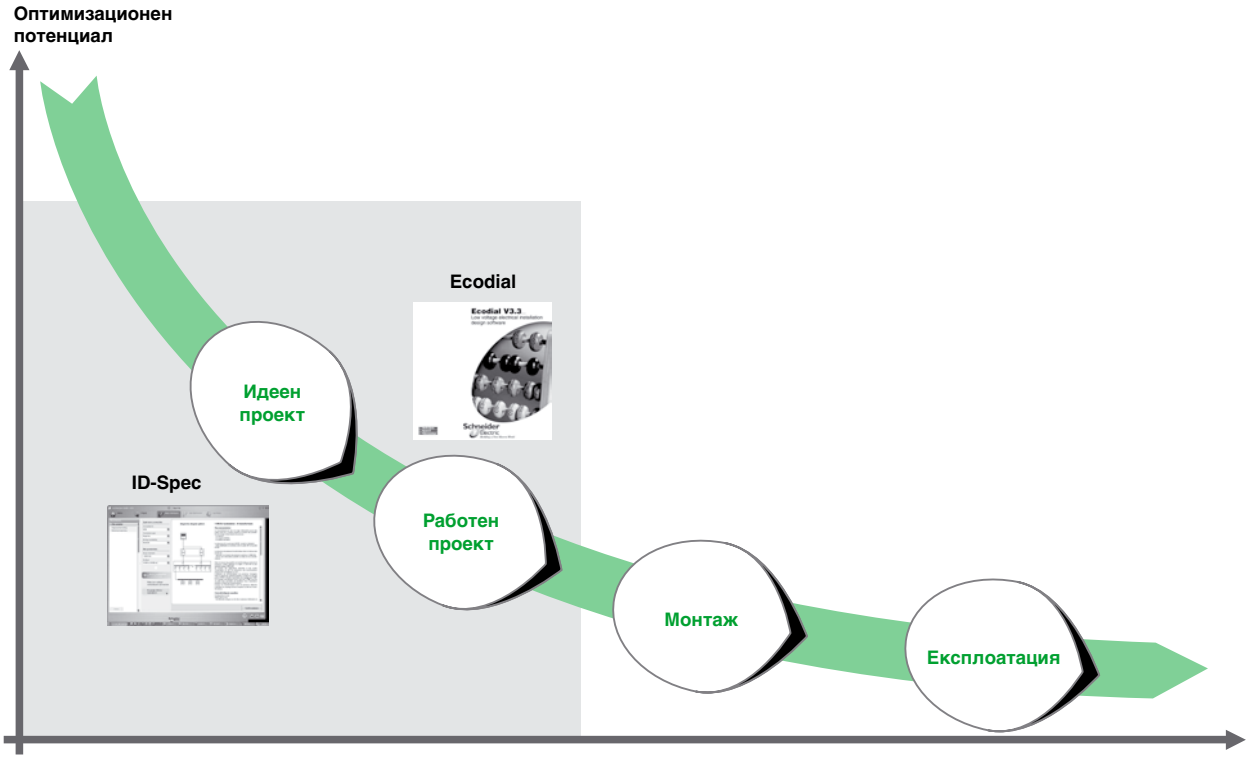
Избор на структура на система за разпределение на електрическата енергия

Изборът на структурата на система за разпределение има важно влияние върху работните характеристики на уредбата през нейния жизнен цикъл:

- непосредствено след конструктивната фаза се наблюдава силно влияние върху времето за монтаж, производителността, необходимите изисквания към монтажниците и т.н.;
- наблюдава се също влияние върху работните характеристики на уредбата и по време на работния етап по отношение на качеството и непрекъснатостта на захранване на чувствителни потребители, загуба на мощност в захранващи вериги;
- и не на последно място, отчита се влияние върху частта на уредбата, която може да бъде рециклирана в края на жизнения ѝ цикъл.

Структурата на системата за разпределение на електрическа енергия включва разположение на уредбата в пространството, избор на захранващи източници, определяне на различни нива на разпределение, еднолинейна схема и избор на обзавеждане.

Изборът на най-добрата структура често се изразява в намиране на компромис между различните критерии на работните характеристики на уредбата, която потребителят ще използва през различни етапи на жизнения ѝ цикъл. Първоначално се търсят решения за оптимизация на съществуващите възможности (виж **Фиг. D1**).



Фиг. D1: Оптимизационен потенциал

Успешното намиране на оптимално решение е в силна зависимост от комуникацията между различните участници, включени в проектирането на различни части от проекта:

- архитектът, който определя организацията на сградата, съгласно изискванията на потребителя;
- проектантите на различни технически части от проекта (осветление, отопление, климатизация, газо- и водоснабдяване и др.);
- представители на потребителя.

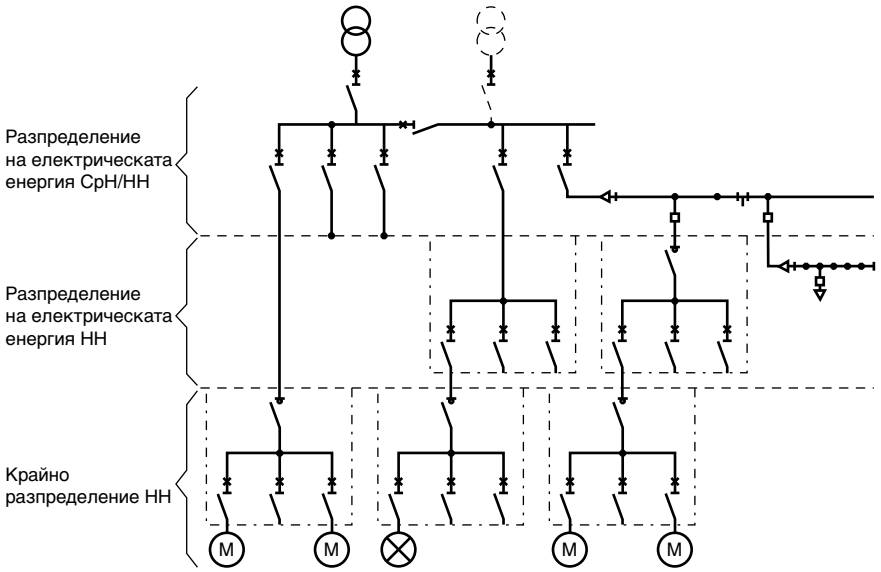
В следващите раздели са посочени критерии за избор, както и процеса на проектиране, които трябва да съответстват на работните характеристики на проекта, отнасящ се до индустриални и комунални сгради (включително големи градове).

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Опростен процес за проектиране на структурата на електрически уредби

2.1 Проектиране на структурата на електрически уредби

Проектирането на структурата на електрическата уредба покрива нивата за разпределение СрН/НН, разпределението на енергия на страна НН и на ниво крайно разпределение (виж **Фиг. D2**).



Фиг. D2 : Пример на еднолинейна схема

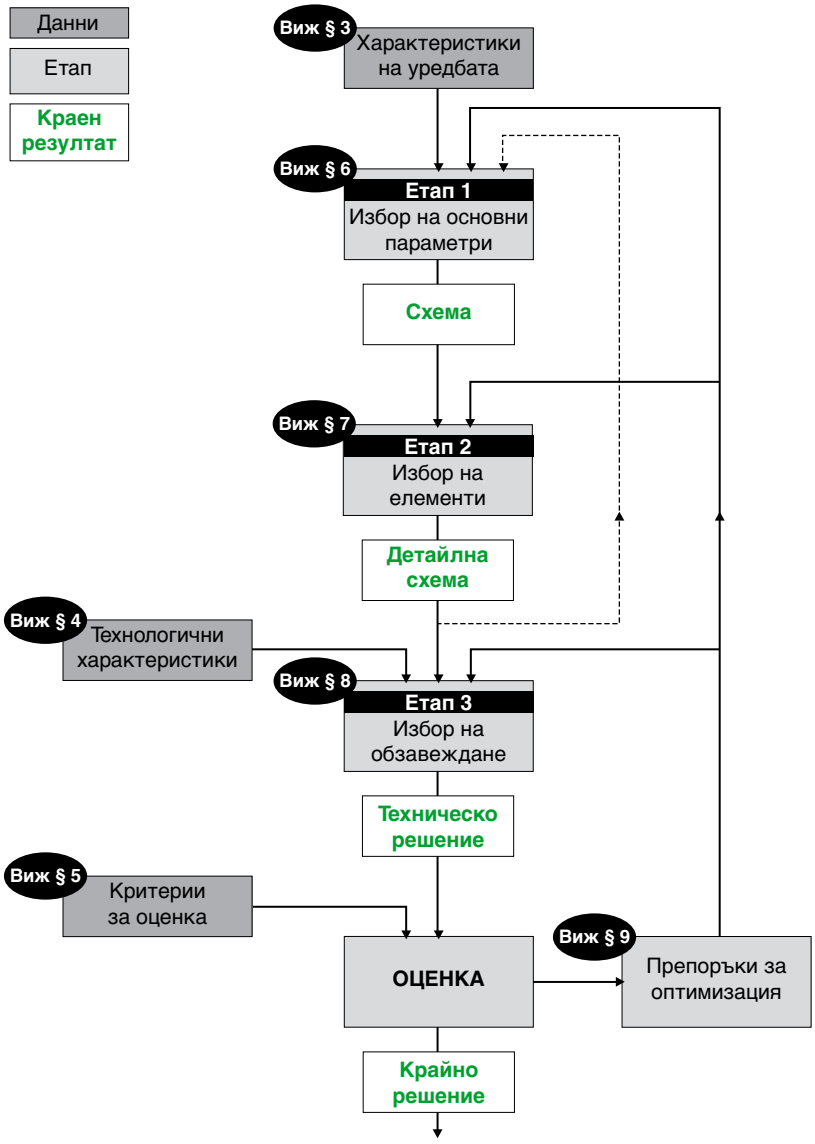
Проектирането на структурата на система за разпределение на електрическата енергия може да бъде описано като процес от три етапа, с повтарящи се възможности. Този процес се изпълнява като се отчитат характеристиките на уредбата и критериите, които трябва да бъдат изпълнени.

© Schneider Electric - всички права запазени

2.2 Етапи на проектиране

Последователността на проектиране е описана накратко в следващите параграфи и е илюстрирана на **Фиг. D3**.

Процесът, описан в този документ не е единствено решение. Този документ е ръководство, предназначено за употреба от проектанти на електрически уредби.



Фиг. D3: Блоксхема за избор на структура за електрическо разпределение

Етап 1: Принципен избор на структура на електрическа уредба

Този етап включва определяне на основните характеристики на електрическата уредба. Той е основан на основните характеристики, засягащи уредбата и нейната употреба.

Тези характеристики имат влияние върху свързването с горестоящата мрежа, веригите СрН, броя на трансформаторните подстанции и др.

В края на този етап се разполага с няколко решения на схеми за разпределение, които са база за съставяне на еднолинейна схема. Крайният избор се потвърждава в края на етап 2.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Опростен процес за проектиране на структурата на електрически уредби

Етап 2: Подробен избор на структура на електрическа уредба

Този етап включва детайлно разглеждане на електрическата уредба. То е основано на резултатите от предходния етап, както и на изпълнение на критериите, свързани с изпълнението и работата на уредбата.
Ако критериите не са изпълнени, процесът на етап 1 се повтаря. Това повторение на процеса позволява да се получат няколко различни стойности за критериите, които могат да бъдат анализирани.
В края на този етап се получава детайлна еднолинейна схема.

Етап 3: Избор на обзавеждане

На този етап се провежда изборът на необходимото обзавеждане в зависимост от предпочетената разпределителна структура. Електрическото обзавеждане се избира от каталози на производител, за да се удовлетворят определени критерии.
Ако работните характеристики и параметри не са изпълнени, процесът на етап 2 се повтаря.

Оценка

Етапът оценка позволява на проектантското бюро да получи информация, която е основа за дискусия с клиента и други участници.
В зависимост от резултата от тези дискусии, може да се окаже възможно връщането на етап 1.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Характеристики на електрическите уредби

Има основни характеристики на електрическата уредба, позволяващи определянето на основните параметри и детайли на структурата за разпределяне на електрическа енергия. За всяка от тези характеристика се предлага определение и различни категории или възможни стойности, които тя може да заема.

3.1 Икономическа дейност

Определение:

Основната икономическа дейност, извършвана в производствения обект.

Примерен списък на сектори, отнасящи се за индустриални сгради:

- промишлено производство;
- производство на хранителни продукти и напитки;
- логистика.

Примерен списък на сектори, отнасящи се за комунални сгради:

- офис сгради;
- хипермаркети;
- търговски центрове.

3.2 Структурна топология

Определение:

Архитектурно-строителни характеристики на сградите, вземащи под внимание броя на сградите, броя на етажите и площта на всеки етаж.

Категории:

- едноетажна сграда;
- многоетажна сграда;
- сгради, съставени от няколко тела;
- небостъргачи.

3.3 Допустимо изменение на плана

Определение:

Характеристиките, които налагат ограничения върху плана за разположение на електрическо обзавеждане в сградите са в зависимост от:

- естетичността;
- достъпността;
- наличието на места със специално предназначение;
- употребата на коридори за техническо обслужване (за етаж);
- употребата на вертикални канали за техническо обслужване.

Видове категории:

- Ниска: Разположението на електрическото обзавеждане е фактически зададено.
- Средна: Разположението на електрическото обзавеждане е частично зададено.
- Висока: без ограничения. Разположението на електрическото обзавеждане може да бъде определено така, че да удовлетвори критериите по най-добрия начин.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Характеристики на електрическите уредби

3.4 Надеждност

Определение:

Свойство на захранващата система да изпълнява нейната функция за електроснабдяване при определени условия за определен период от време.

Видове категории:

■ Минимална: това ниво на надеждност на електроснабдяването се определя от вероятността за прекъсвания, свързани с ограничения, които са географски (отделна мрежа, отдалечено място от захранващите източници), технически (въздушни електропроводи, лошо изградена система), или икономически (незадоволително техническо обслужване, недостатъчна мощност).
■ Стандартна
■ Висока: Това ниво на надеждност на електроснабдяването може да се получи чрез специални мерки, които се вземат за намаляване на вероятността за прекъсване (подземна мрежа, надеждно свързване и др.).

3.5 Ремонтопригодност

Определение:

Свойство, заключаващо се в приспособеност към предупреждаване, откриване и отстраняване на откази и неизправности чрез техническо обслужване и ремонт.

Видове категории:

■ Минимална: уредбата трябва да бъде спряна за да се извършат операции по техническо обслужване.
■ Стандартна: операциите по техническо обслужване могат да бъдат извършени по време на работа на уредбата, но с влошени работни характеристики. Тези операции трябва да бъдат извършвани, за предпочитане, в периоди на ниско натоварване. Пример: няколко трансформатори с частично резервиране и намаляване на товара.
■ Висока: вземат се специални мерки, позволяващи операции по техническо обслужване без смущаване работата на уредбата. Пример, захранване с два независими източника.

3.6 Експлоатационна гъвкавост

Определение:

Възможност за лесно доставяне на електрозахранване във всяка точка на уредбата, или лесно увеличаване на мощността, захранваща определени точки. Гъвкавостта е критерий, който се въвежда поради невъзможността да се дефинират точни параметри на обекта на етап предварително проектиране.

Видове категории:

■ Без гъвкавост: разположението на потребителите е фиксирано през целият им жизнен цикъл поради силните ограничения, свързани с конструкцията на обекта или поради високото влияние на захранвания процес. Например, топене на метали.
■ Гъвкавост на етап проектиране: броят на захранващите източници, мощността на товарите или тяхното разположение не са точно определени.
■ Гъвкавост при въвеждане в експлоатация: потребителите могат да бъдат присъединени след като уредбата бъде въведена в експлоатация.
■ Операционна гъвкавост: разположението на потребителите може да се променя в зависимост от промените в технологичния процес.
Примери:
□ индустриална сграда: разширяване, разклоняване и промяна в предназначението;
□ офис сграда: разклоняване.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Характеристики на електрическите уредби

3.7 Потребявана мощност

Определение:

Сумата от пълните мощности, в kVA, към която е приложен коефициента на използване. Това представя максималната мощност, която може да бъде консумирана за дадено време в уредбата с отчитане на кратковременните претоварвания.
Най-често използвани трансформатори са с номинална мощност както следва:
- < 630 kVA;
- от 630 до 1250 kVA;
- от 1250 до 2500 kVA;
- > 2500 kVA.

3.8 Разпределение на товари

Определение:

Характеристика, свързана с равномерността на разпределение на товара на единица площ (в kVA/m^2) или на сграда.

Видове категории:

- Равномерно разпределение: обикновено товарите са с малка или средна мощност. Те са равномерно разпределени върху даден участък от повърхността или в сградата.
Пример: осветление, индивидуални работни места.
- Средно разпределение: обикновено товарите са със средна мощност, разположени на групи върху повърхността.
Пример: машини за монтаж, транспортни ленти, работни места, модулни обекти.
- Съсредоточени товари: обикновено товарите са с голяма мощност и са разположени в няколко площи на сградата (неравномерна плътност).
Пример: отопление, вентилация и климатизация (HVAC).

3.9 Чувствителност към прекъсване на електрозахранването

Определение:

Способност на веригата да издържа на прекъсвания в електрозахранването.

Видове категории:

- Верига, допускаща прекъсване (*): възможно е изключване с неопределена продължителност по всяко време.
- Голяма продължителност на прекъсванията:
  продължителност на прекъсванията > 3 min (**).
- Малка продължителност на прекъсванията:
  продължителност на прекъсванията < 3 min (***).
- Без прекъсвания.

Определят се различни нива на строгост за прекъсване на електроснабдяването в зависимост от възможните последици:
- без значими последици;
- загуба на продукция;
- брак на продукция или загуба на чувствителни данни;
- опасност от причиняване на смърт.

Тези последици са дефинирани в зависимост от категорията на захранваните товари или вериги.
- Без категория:

Товарът или веригата могат да бъдат прекъсвани по всяко време. Например, водно отопление.
- Ниска категория:

Прекъсването на захранването причинява временен дискомфорт на обитателите на сградата без някакви финансови последици. Продължаването на прекъсването след определено критично време може да причини брак на продукция или по-ниска продуктивност. Например: HVAC.
- Средна категория:

Прекъсването на електроснабдяването причинява къси прекъсвания в процеса или обслужването. Продължаването на прекъсването след определено критично време може да причини брак на продукция или допълнителни разходи за възстановяване на производството. Например: хладилни уредби, подемници.
- Висока категория:

Всяко прекъсване в електроснабдяването причинява опасност от смъртен случай или неприемливи финансови загуби. Пример: театрално представление, отдел IT, служба по безопасност и др.

* В английската техническа литература се използва термина „sheddable” circuit.
** Посочената стойност е регламентирана в стандарт EN 50160 (БДС EN 50160:2007 Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените разпределителни електрически системи).
*** Характеристики на напрежението, получавано от обществени разпределителни мрежи.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Характеристики на електрическите уредби

3.10 Чувствителност към смущения в електроснабдяването

Определение:

Свойство на веригата да работи коректно при наличие на смущения в електроснабдяването.
Смущението може да предизвика различни степени на откази. Например: спиране на работа, неправилна работа, ускорено износване, увеличаване на загуби и др.
Видове смущения, оказващи влияние върху работата на електрическата верига:
- намаляване на осветеността;
- пренапрежения;
- висши хармоници на напрежението;
- колебание на напрежението;
- несиметрия на напрежението.

Видове категории:

- ниска чувствителност: смущенията на захранващото напрежение имат много малко влияние върху работата. Пример: нагревателно устройство.
- средна чувствителност: смущенията на захранващото напрежение причиняват значителна вреда при експлоатация на уредбата. Пример: двигатели, осветителна инсталация.
- висока чувствителност: смущенията на захранващото напрежение могат да причинят спиране на работата или дори аварииране на цялото обзавеждане. Пример: IT обзавеждане.

Чувствителността на веригите към смущения влияе върху проектирането на силови вериги с общо или специално предназначение. На практика е по-добре да се разделят веригите на чувствителните товари от веригите на товари, предизвикващи смущения.. Например, разделяне на вериги за осветление от захранващи вериги на двигател. Този избор също така зависи от особеностите при експлоатация.

3.11 Смущения, предизвикани от веригите

Определение:

Свойството на веригата да смущава работата на останалите вериги поради хармоници, пусков ток, несиметрия, високочестотни токове, електромагнитни излъчвания и др.

Видове категории:

- верига, не предизвикваща смущения: не е необходимо да се вземат предпазни мерки;
- верига, предизвикваща умерено или случайно смущение: разделянето на захранването може да бъде необходимо в случай на наличие на вериги със средна или висока чувствителност. Например: осветителна верига, генерираща хармонични токове;
- верига, предизвикваща силно смущение: за нормалното функциониране на уредбата е от съществено значение наличието на специално предназначена захранваща верига или начини за намаляване на смущенията. Например: електрически двигател с голям пусков ток, заваръчна машина със силно изменящ се товарен ток.

3.12 Други технически препоръки или ограничения

- Околна среда

Пример: степен на изложеност на въздействие на мълнии; слънчева радиация.
- Специфични правила

Пример: болници, небостъргачи и др.
- Правила на енергийния доставчик

Пример: ограничения за присъединяема мощност за мрежи НН, достъпност до подстанция СрН и др.
- Присъединявани товари

Резервиране чрез присъединяване на товари към 2 независими вериги.
- Проектантски опит

Натрупан опит от други проекти или частично прилагане на предишни проекти, стандартизация на подсистеми, наличие на монтирано обзавеждане.
- Ограничения към захранващия източник

Ниво на напрежение (230 V, 400 V, 690 V), захранваща система (еднофазна, трифазна с или без неутрала и др.).

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Технологични характеристики

Разглежданите технологични решения засягат различни типове обзавеждане СрН и НН, както и изолирани шинопроводи.
Изборът на технологични решения се извършва в съответствие с избора на еднолинейната схема и дадените по-долу характеристики.

4.1 Околна среда. Атмосфера

Категорията, отчитаща всички ограничения, свързани с околната среда (средна външна температура, надморска височина, относителна влажност, корозионни условия, прах, механични натоварвания и др.), както и необходимата степен на защита, се означава с IP или IK.

Видове категории:
- стандартна: без ограничения по отношение на външни въздействия;
- висока: сурови условия на работа, няколко параметъра на околната среда определят важни ограничения към монтираното обзавеждане;
- специфична: нетипична околна среда, изискваща подобрени характеристики.

4.2 Индекс за техническо обслужване

Индексът за техническо обслужване (IS) се представя с число, което позволява да се характеризира разпределителното табло НН съгласно изискванията на потребителя, по отношение на работна операция, техническо обслужване и модернизация. Стойностите на различните индекси са показани в **Табл. D4**.

Таблица D4: Категоризация на индексите за техническо обслужване IS

	Операционно събитие	Техническо обслужване	Операция за модернизация
Степен 1	IS = 1 • • Работната операция може да доведе до пълно изключване на разпределителното табло	IS = • 1 • Работната операция може да доведе до пълно изключване на разпределителното табло	IS = • • 1 Работната операция може да доведе до пълно изключване на разпределителното табло
Степен 2	IS = 2 • • Работната операция може да доведе до изключване само на отделна функционална единица	IS = • 2 • Работната операция може да доведе до изключване само на отделна функционална единица, но с възможност за работа по електрическите свързвания	IS = • • 2 Работната операция може да доведе до изключване само на отделна функционална единица, с осигурени функционални единици за резервиране
Степен 3	IS = 3 • • Работната операция може да доведе до изключване на захранването само на функционалната единица	IS = • 3 • Работната операция може да предизвика изключване на захранването само на функционалната единица без работа по електрическите свързвания	IS = • • 3 Работната операция може да предизвика изключване на захранването само на функционалната единица без ограничения за модернизация

- Примери за операционно събитие: изключване на автоматичен прекъсвач, комутационна операция пускане и спиране на машина.
- Пример на операция за техническо обслужване: затягане на електрическите свързвания.
- Пример на операция за модернизация: свързване на допълнителна захранваща линия.

Дефинират се ограничен брой подходящи индекси за техническо обслужване (виж **Табл. D5**).

Таблица D4: Стойности на индексите за техническо обслужване IS

IS	Операционно събитие	Операция за техническо обслужване	Операция за модернизация
1 1 1	Изключване на цялото разпределително табло	Работно време > 1 h (в този период таблото е изключено)	Не се планира модернизация
2 1 1	Време за индивидуално изключване на функционалната единица и повторна пусково-наладъчна дейност < 1 h		
2 2 3		Работно време между 1/4 и 1 h с работа по електрическите свързвания	Възможно добавяне на функционални единици без спиране на електрическото табло
2 3 2		Работно време между 1/4 и 1 h без работа по електрическите свързвания	Възможно добавяне на функционални единици със спиране на електрическото табло
2 3 3			Възможно добавяне на функционални единици без спиране на електрическото табло
3 3 2	Време за индивидуално изключване на функционалната единица и повторна пусково-наладъчна дейност < 1/4 h		Възможно добавяне на функционални единици със спиране на електрическото табло
3 3 3			Възможно добавяне на функционални единици без спиране на електрическото табло

© Schneider Electric - всички права запазени

Видовете електрически свързвания на функционални единици могат да бъдат означени чрез трибуквен код:
- Първата буква означава вида на електрическото свързване на главната входна верига;
- Втората буква означава вида на електрическото свързване на главната изходна верига;
- Третата буква означава вида на електрическото свързване на помощните вериги.

Използват се следните букви:
- F – за неподвижни свързвания;
- D – за разединяеми свързвания;
- W – за изтегляеми свързвания.

Номиналните параметри на техническо обслужване са свързани и с други механични параметри, като степента на защита IP, формата на вътрешното разделяне, видът на свързване на функционалните единици или на комутационната апаратура (виж **Табл. D6**):

Таблица D6: Съответствие между IS и други механични параметри

IS	IP код	Форма на вътрешното разделяне	Функционална единица Изтегляемост
1 1 1	2 X X	1	F F F
2 1 1	2 X B	1	F F F
2 2 3	2 X B	3b	W F D
2 3 2	2 X B	3b	W F W
2 3 3	2 X B	3b	W W W
3 3 2	2 X B	3b	W W W
3 3 3	2 X B	3b	W W W

В **Глава E2** са дадени редица технологични примери.

- Определение за IP код (виж IEC 60529: Степени на защита, осигурявани чрез обвивки (IP код));
- Определение на формата на вътрешното разделяне (виж IEC 60439-1 Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение. Част 1: Типово изпитани и частично типово изпитани комплектни комутационни устройства).

4.3 Други съображения

Други съображения, които имат влияние върху избора на технологични решения са:
- Проектантски опит;
- Натрупан опит от други проекти или частична употреба на предишни проекти;
- Стандартизация на подсистеми;
- Наличие на монтирано обзавеждане;
- Изисквания на доставчика;
- Технически критерии: зададен фактор на мощността, резервна мощност, наличие на хармоници, генератори…

Тези съображения трябва да бъдат взети под внимание по време на детайлното електрическо проектиране.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Критерии за оценка на структурата на електрически уредби

Редица съществени критерии получават количествена оценка в края на трите етапа за избор на структура на електрическата уредба. Тези критерии са изброени по-долу, като е отчетена тяхната степен на значимост.

5.1 Време за въвеждане на обекта

Време за въвеждане в експлоатация на електрическото обзавеждане в обекта.

Видове степени на значимост:

- Второстепенна: времето за въвеждане в експлоатация може да бъде увеличено, ако това води до намаляване на общите монтажни разходи;
- Специална: времето за въвеждане в експлоатация трябва да бъде минимизирано без генерирани на каквито и да са значими допълнителни разходи;
- Критична: времето за въвеждане в експлоатация трябва да бъде намалено колкото е възможно. Изискването е задължително дори ако се създават по-високи общи монтажни разходи.

5.2 Влияние върху околната среда

При проектиране на уредбата трябва да се отчитат ограниченията, налагани от изискванията за опазване на околната среда. Това означава да се вземат под внимание употребата на природни ресурси, загубите (свързани с емисията на CO_2), възможността за рециклиране, през целия жизнен цикъл на уредбата.

Видове степени на значимост:

- Незначителна: ограниченията, свързани с околната среда не налагат никакви специални ограничения;
- Минимална: електрическата уредба е проектирана при минимални нормативни ограничения;
- Отчитаща влиянието върху околната среда: уредбата се проектира със специална грижа за опазване на околната среда. В тази ситуация са позволени допълнителни разходи. Пример: употреба на трансформатори с малки загуби.

Влиянието на уредбата върху околната среда се определя съгласно метод, основан на анализ за жизнения цикъл на уредбата. При него се различават три основни фази:

- производство;
- експлоатация;
- край на жизнения цикъл (демонтаж, рециклиране).

По отношение на влиянието върху околната среда поне три показатели могат да бъдат взети под внимание и да повлияят върху проектирането на електрическата уредба. Въпреки че всяка фаза на жизнения цикъл е свързана с трите показатели, всеки от тях се отнася до определена фаза:

- употребата на природни ресурси има главно влияние върху производствената фаза;
- консумацията на енергия има влияние върху етапа на експлоатация;
- възможността за рециклиране има влияние в края на жизнения цикъл.

В **Табл. D7** са посочени влияещите фактори в трите показатели на околната среда.

Таблица D7: Влияещи фактори на трите показатели на околна среда

Показатели	Влияещ фактор
Употреба на природни ресурси	Маса и вид на използваните материали
Консумация на енергия	Загуби при празен ход и пълен товар
Възможност за рециклиране	Маса и вид на използвания материал

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Критерии за оценка на структурата на електрически уредби

5.3 Степен на профилактично техническо обслужване

Определение:

Степента на профилактично техническо обслужване се определя от броя на часовете и сложността на техническото обслужване, провеждано в съответствие с препоръките на производителя. Така се осигурява надеждна експлоатация на уредбата и поддържане на нейните номинални работни характеристики и параметри (избягване на авария: изключване, прекъсване на електрозахранването и др.).

Видове категории:

- Стандартна: съгласно препоръките на производителя;
- Висока: съгласно препоръките на производителя с отчитане суровите условия на околната среда;
- Специфична: осъществява се по специфичен план за техническо обслужване, съобразен с високите изисквания за продължителност на обслужване и изискващ високо ниво на компетенции от техническия персонал.

5.4 Осигуреност на електроснабдяването

Определение:

Това е възможността на електрическата уредба да осигури електрическа енергия с качество, съответстващо на техническите изисквания на потребителите. Тя се изразява чрез уравнението

Осигуреност (%) = (1 - MTTR/ MTBF) x 100,

където MTTR е средната стойност на времето за ремонт: средната стойност на времето, което е необходимо на системата за въвеждане в експлоатация след авария (тя включва откриване на причините за авария, тяхното отстраняване и повторна пусково-наладъчна дейност);

MTBF – средната стойност на времето между откази: оценката на средната стойност на времето, за което електрическа уредба е в експлоатация. Тя позволява коректна експлоатация в процеса на използване на уредбата.

Видовете категории за осигуреност на електроснабдяването могат да бъдат определени за даден тип уредби. Например: болници, изчислителни центрове и др.

Пример за класификация в изчислителен център:

Категория 1: електрозахранването и системата за климатизация са осигурени от една линия без резервиране. Това позволява осигуреност на електроснабдяването 99.671 %.

Категория 2: електрозахранването и системата за климатизация са осигурени от една линия с резервиране. Това позволява осигуреност на електроснабдяването 99.741 %.

Категория 3: електрозахранването и системата за климатизация са осигурени от няколко линии, с едно отделно резервиране. Това позволява осигуреност на електроснабдяването 99.982 %.

Категория 4: електрозахранването и системата за климатизация са осигурени от няколко линии, с резервиране. Това позволява осигуреност на електроснабдяването 99.995 %.

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Принципен избор на структурата на електрически уредби

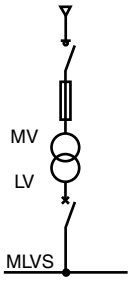
Еднолинейната схема може да бъде изградена от отделни важни фрагменти, които се определят в процеса на два последователни етапа. По време на първия етап се извършва следния избор:
- свързване към електроснабдителната система;
- топология на веригите СрН;
- брой на силовите трансформатори;
- брой и разпределение на трансформаторните подстанции;
- генератор за резервно електрозахранване СрН.

6.1 Свързване към горестояща мрежа

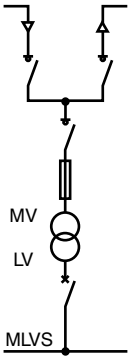
Основни схеми на свързване (виж **Фиг. D8** за мрежа СрН):
- захранване от мрежа СрН по една линия;
- захранване от мрежа СрН по пръстеновидна схема;
- захранване от мрежа СрН по две линии;
- захранване от мрежа СрН по две линии с двойна шинна система.

Измерването, защитата, разединяващите устройства, разположени в подстанциите, не са показани на посочените схеми. Те често са специфични за всяка електроснабдителна компания и не оказват влияние върху проекта на уредбата. За опростено представяне е показан по един трансформатор за всяко свързване, но на практика няколко трансформатора могат да бъдат съединени.

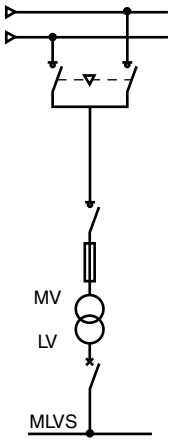
a) Захранване по една линия:



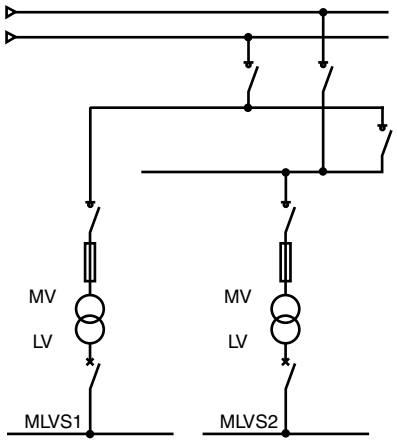
b) Захранване по пръстеновидна схема:



c) Захранване по две линии:



d) Захранване по две линии с двойна шинна система:



Фиг. D8: Схеми на свързване на страна СрН към електроснабдителната система

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Принципен избор на структурата на електрически уредби

По-долу са показани най-вероятната и най-често използваната съвкупност от характеристики за основните схеми на свързване.

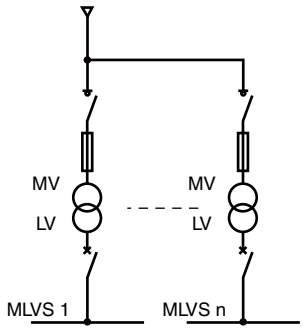
	Схема				
	НН	СрН			
Характеристика		**Една линия**	**Пръстеновидна схема**	**Две линии**	**Две линии с двойна шинна система**
Вид на дейността	Всякаква	Всякаква	Всякаква	Високотехнологична, комуникационна, здравеопазване	Всякаква
Топология на мрежата	Отделна сграда	Отделна сграда	Отделна сграда	Отделна сграда	Няколко сгради
Надеждност на техническото обслужване	Минимална	Минимална	Минимална	Висока	Висока
Потребявана мощност	< 630kVA	≤ 1250kVA	≤ 2500kVA	> 2500kVA	> 2500kVA
Други ограничения при свързване	Всякакви	Отделна сграда	Градската площ с ниска плътност	Градската площ с висока плътност	Градска площ с ограничения при електроснабдяване

6.2 Схеми на вериги СрН в подстанции

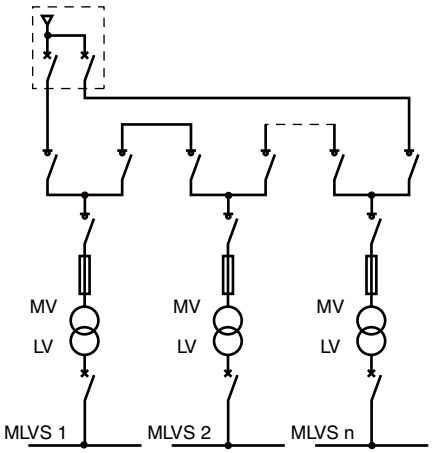
Най-често срещаните схеми на свързване са посочени по-долу (виж **Фиг. D9**):
- една захранваща линия, един или няколко трансформатора;
- отворен пръстен, една захранваща линия СрН (от една подстанция СрН);
- отворен пръстен, две захранващи линии СрН (от две подстанции СрН).

Основната захранваща схема е отделна радиална линия с един трансформатор. Ако се използват няколко трансформатори, пръстеновидна захранваща система може да се реализира, ако всички трансформатори са разположени в една и съща подстанция.
Затворената пръстеновидна схема не се разглежда.

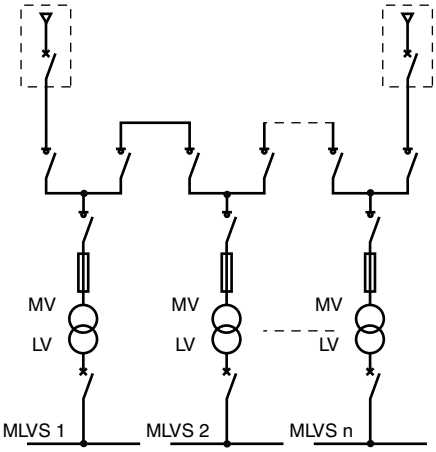
a) Една захранваща линия:



b) Отворен пръстен (от една подстанция СрН):



c) Отворен пръстен (от две подстанции СрН):



Фиг. D9: Схеми на вериги СрН в подстанции

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Принципен избор на структурата на електрически уредби

В **Табл. D10** са показани най-вероятната и най-често използваната съвкупност от характеристики за основните схеми на свързване.

Таблица D10: Типични стойности на характеристики на уредба

	Схема на верига СрН		
Характеристика	**Една захранваща линия**	**Отворен пръстен, 1 подстанция СрН**	**Отворен пръстен, 2 подстанции СрН**
Топология на обекта	Всякаква < 25 000m²	Сграда с едно ниво или няколко сгради ≤ 25 000m²	Няколко сгради ≥ 25 000m²
Необходимост за техническото обслужване	Минимална или стандартна	Висока	Висока
Потребявана мощност	Не се ограничава	> 1 250kVA	> 2 500kVA
Чувствителност към смущения	Допуска се продължително прекъсване	Допуска се кратко прекъсване	Допуска се кратко прекъсване

Допуска се и допълнителна схема: захранване от две подстанции СрН и свързване на трансформаторите към всяка от тези две подстанции (двойно секционирано свързване СрН).

6.3 Брой и разпределение на трансформаторни подстанции СрН/НН

Основните характеристики, които се разглеждат при определяне на броя и разположението на трансформаторните подстанции са (виж **Табл. D11**):
- площ на сградата или обекта;
- потребявана мощност (трябва да е съобразена със стандартната мощност на трансформаторите);
- разпределение на товара.

Предпочитаната основна захранваща схема съдържа една подстанция. Обаче, редица фактори оказват влияние върху броя на трансформаторните подстанции:
- голяма площ (над 25 000 m²);
- структура на обекта (няколко сгради);
- обща мощност (> 2 500 kVA);
- чувствителност към прекъсване (необходимост от резервиране в случай на пожар).

Таблица D11: Типични характеристики на различни схеми

	Схема		
Характеристика	**1 подстанция с N трансформатори**	**N подстанции с N трансформатори (еднотипни подстанции)**	**N подстанции с N трансформатори (с различна мощност)**
Структура на сградата	< 25 000 m²	≥ 25 000 m² 1 сграда с няколко етажа	≥ 25 000 m² Няколко сгради
Потребявана мощност	< 2 500kVA	≥ 2 500kVA	≥ 2 500kVA
Разпределение на товари	Съсредоточени	Равномерно разпределени	Средна плътност

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Принципен избор на структурата на електрически уредби

6.4 Брой на трансформатори СрН/НН

Основните характеристики, които се вземат под внимание, при определяне броя на трансформаторите са:
- площ на сградата или обекта;
- обща мощност на инсталираните товари;
- чувствителност на веригите към прекъсвания в електрозахранването;
- чувствителност на веригите към смущения;
- степен на унификация на електрическата уредба.

Основната препоръчвана схема се състои от един отделен трансформатор, осигуряващ общата мощност на присъединените товари. Редица фактори оказват влияние за увеличаване броя на трансформаторите (повече от 1). Желателно е те да са с еднаква пълна мощност:
- голяма пълна инсталирана мощност (> 1250 kVA): това е практическото ограничение за мощността на отделния трансформатор (стандартизирана стойност, лесна подмяна, изисквания за разполагаемо пространство и др.);
- голяма площ (> 5000 m^2): разполагането на няколко трансформатори възможно най-близо до разпределените товари позволява да бъде намалена дължината на кабелите НН;
- необходимост от частично резервиране (намалено електропотребление в случай на повреда в един от трансформаторите) или пълно резервиране (запазване на нормалната работа на всички потребители в случай на повреда в един от трансформаторите);
- отделяне на чувствителните товари от товарите, създаващи смущения (например: IT обзавеждане и двигатели).

6.5 Генератор за резервно захранване СрН

Основните характеристики, които трябва да се вземат под внимание за осигуряване на резервен генератор СрН са:
- вид на дейността;
- обща инсталирана мощност;
- чувствителност на веригите към прекъсвания в електрозахранването;
- осигуреност на електроснабдяването от доставчика.

Препоръчваната основна схема не включва генератор СрН. Редица фактори оказват влияние за инсталиране на генератор СрН:
- вид на дейността: процес с ко-генерация, оптимизиране на енергиен разход;
- недостатъчна осигуреност на електроснабдяването от доставчика.

Уредбата с генератор за резервно захранване може също така да бъде изпълнена и на страна НН.

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Подробен избор на структурата на електрически уредби

Това е вторият етап при проектиране на електрическа уредба. По време на този етап се извършва следния избор:
- план за разположение на обзавеждането;
- централизиран или децентрализиран план на електрически товари;
- наличие на генератори за резервно захранване;
- наличие на непрекъсваеми източници на захранване (UPS);
- схема на веригите НН;
- варианти на проекта.

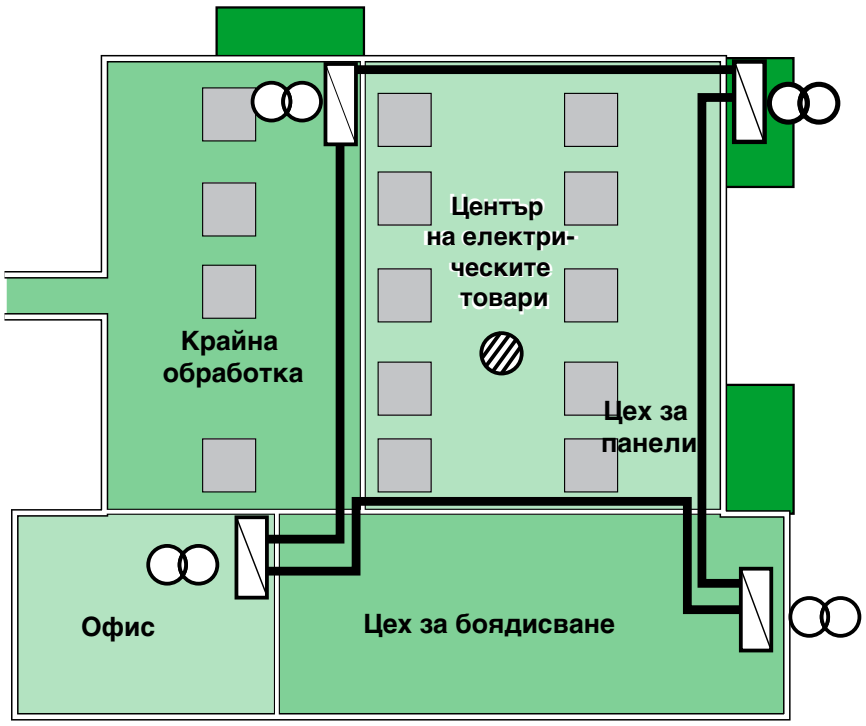
7.1 План за разположение на обзавеждането

Мястото на основното обзавеждане СрН и НН се посочва на обекта или в сградата. Изборът на този план на разположение е в съответствие с резултатите, получени от първия етап.

Указания за избор:

- мястото на захранващите източници трябва да бъде възможно най-близо до центъра на електрическите товари на потребителите;
- намаляване на ограниченията, свързани с атмосферните условия: обособяване на специализирани помещения за електрообзавеждането ако условията на околната среда налагат неприемливи ограничения по отношение на температура, вибрации, прах и др.
- разполагане на тежкото обзавеждане (трансформатори, генератори и др.) близо до стени или други основни изходи за лесно техническо обслужване.

Пример на план за разположение на електрообзавеждане е даден на **Фиг. D12**.



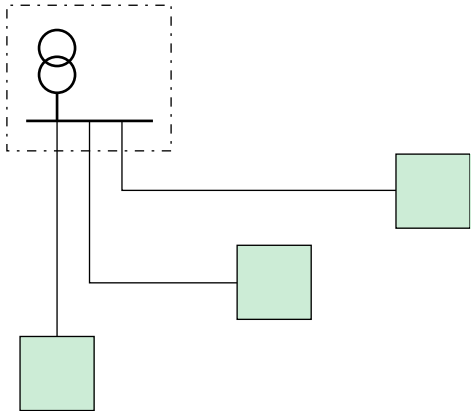
Фиг. D12: План на предприятие и център на електрическите товари

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Подробен избор на структурата на електрически уредби

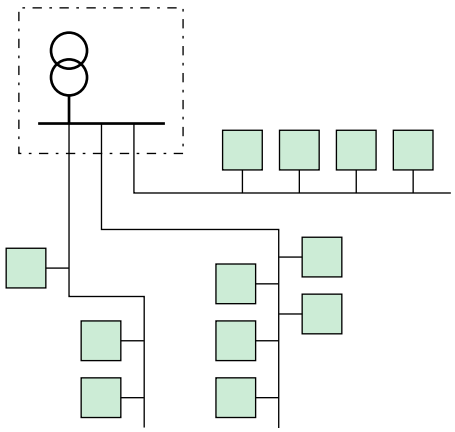
7.2 Централизиран или децентрализиран план на електрически товари

При **централизирания план** на електрическите товари, потребителите са свързани към захранващия източник чрез радиална захранваща схема. Кабелите са подходящи за използване при централизирания план, свързвайки с вериги точки между електрическото табло НН и потребителите или таблата в подстанцията (радиално разпределение, звездно разпределение) (виж **Фиг. D13**):



Фиг. D13: Пример за централизиран план на електрическо разпределение

При **децентрализирания план** на електрическите товари потребителите са свързани към захранващите източници чрез шинопровод. Шинопроводите са много подходящи за децентрализирания план за захранване на много товари, които са разпръснати. Така се постига лесна замяна, преместване или добавяне на нови свързвания (виж **Фиг. D14**).



Фиг. D14: Пример за децентрализиран план на електрическо разпределение с шинопроводи

Параметри, отнасящи се до централизирания план (виж **Табл. D15**):
- гъвкавост на уредбата: не;
- разпределение на товари: съсредоточени товари (товари с голяма мощност).

Параметри, отнасящи се до децентрализирания план (виж **Табл. D15**):
- гъвкавост на уредбата: гъвкавост при изпълнение (преместване на работни места);
- разпределение на товари: равномерно разпределени товари с малка мощност.

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Подробен избор на структурата на електрически уредби

Таблица D15: Препоръки за прилагане на централизиран или децентрализиран план на електроразпределение

	Разпределение на товара		
Гъвкавост	**Съсредоточени товари**	**Междинно разпределение**	**Равномерно разпределение**
Няма	Централизиран		Децентрализиран
Проектна			
При изпълнение	Централизиран	Децентрализиран	
При експлоатация			

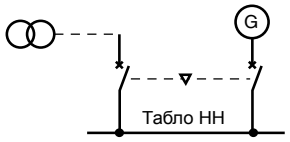
Електроснабдяването чрез кабели дава по-голяма независимост на веригите (осветление, силови контакти, HVAC, двигатели, спомагателни, безопасност и др.) чрез намаляване на последиците от авария.

Употребата на шинопроводи позволява силовите вериги да бъдат комбинирани и да не се полагат много проводници, чрез предимството на т.нар. клъстерен коефициент. Изборът между кабели и шинопроводи, в зависимост от клъстерния коефициент, позволява да се намери оптималната стойност между разходите за инвестиции, за изпълнение и за експлоатация.

Тези два начина за разпределение често се комбинират.

Наличие на генератори за резервно захранване (виж Фиг. D16)

Тук се разглеждат само генератори за резервно захранване на страна НН. Електрическата мощност, за резервно захранване се създава от генератор, задвижван от двигател с вътрешно горене. Подаване на електрическа енергия започва след като генератора достигне номиналната си скорост. Следователно, този тип устройство е неподходящ като непрекъсваем захранващ източник.
В зависимост от мощността на генератора да захрани цялата или част от електрическата уредба, се извършва общо или частично резервиране.
Генераторът за резервно захранване обикновено е разединен от мрежата. Следователно, необходима е система за превключване на захранването.
Генераторът може да работи постоянно или периодично. Времето за резервно захранване зависи от количеството на разполагаемото гориво.



Фиг. D16: Свързване на генератор за резервно захранване

Основните характеристики, които трябва да се отчитат при свързване на генератор за резервно захранване на страна НН са:

- чувствителност на товарите към прекъсване на електрозахранването;
- осигуреност на електроснабдяването;
- други ограничения (например: задължително се инсталират генератори в болници и в небостъргачи).

Използването на генератор може да бъде съществено за намаляване на енергийните разходи или поради възможността за ко-генерация. Тези два аспекта не са взети под внимание в това ръководство.

Наличието на на генератор за резервно захранване е съществено при чести прекъсвания на електроснабдяването (с неопределена продължителност) или ако осигуреността на електроснабдяване от обществената мрежа е малка.

Определянето на броя на генераторните единици за резервно захранване е в съответствие със същите критерии за определяне броя на трансформаторите. Трябва да се вземат под внимание и икономически обстоятелства и съображения за осигуреност на електроснабдяването (резервиране, надеждност при включване, техническо обслужване и др.).

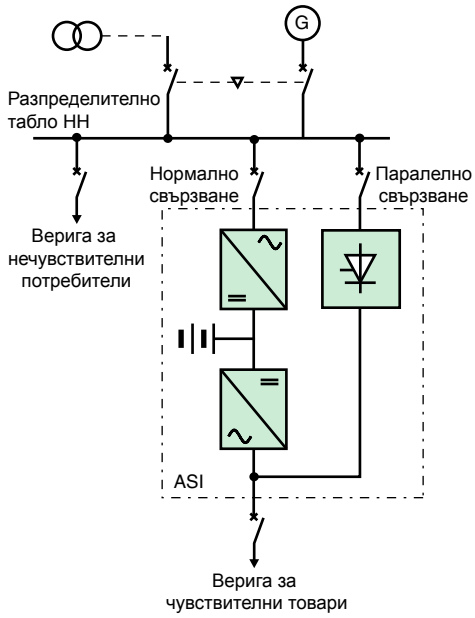
© Schneider Electric - всички права запазени

7 Подробен избор на структурата на електрически уредби

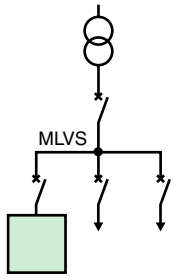
7.3 Използване на непрекъсваем източник на захранване (UPS)

Електрическата мощност от UPS се осигурява от акумулатор: батерии или инерционен механизъм. Тази система позволява да се избегне всякакво прекъсване на захранването. Времето за резервно захранване на системата е ограничено: от няколко минути до няколко часа.
Едновременното наличие на резервен генератор и UPS се използва за непрекъснато захранване на потребители, за които не е приемливо прекъсване на електрозахранването (виж **Фиг. D17**). Времето за резервно захранване на батерията или инерционния механизъм трябва да бъде съобразено с максималното време за включване на генератора и присъединяване към уредбата.
Непрекъсваемият източник също така се използва за захранване на товари, които са чувствителни към смущения (генериращ „чисто" напрежение, което е независимо от мрежата).
Основните характеристики, които трябва да се вземат под внимание при експлоатация на UPS са:
- чувствителност на потребителите към прекъсвания в електрозахранването;
- чувствителност на потребителите към смущения.

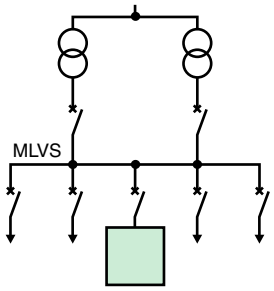
Използването на UPS е задължително ако е недопустимо прекъсване на електрозахранването.



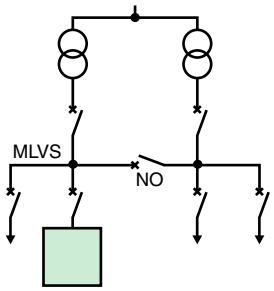
Фиг. D17: Пример за свързване на UPS



Фиг. D18: Радиална схема на електроснабдяване с една линия



Фиг. D19: Схема на електроснабдяване с два независими захранващи източници



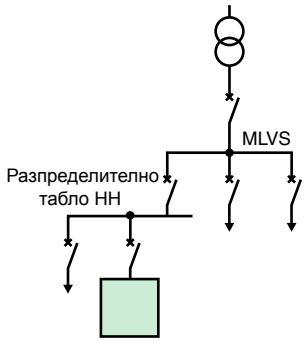
Фиг. D20: Случай: Схема на електроснабдяване с два независими захранващи източници, свързани към две отделни секции на едно и също MLVS

7.4 Схеми на вериги НН

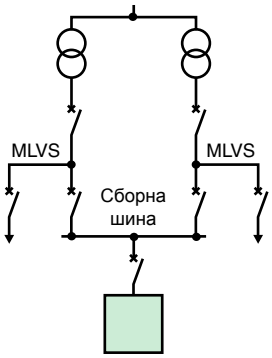
Най-често използваните схеми са:
- **Радиална схема на електроснабдяване с една линия** (**Фиг. D18**). Това е основната и най-простата схема на електроснабдяване. Потребителят е свързан само към един захранващ източник. Тази схема осигурява минимално ниво на осигуреност на електроснабдяването, тъй като няма резервиране в случай на прекъсване на електроснабдяването.
- **Схема на електроснабдяване с два независими захранващи източници** (виж **Фиг. D19**). Захранването с електроенергия се осигурява с два трансформатора, свързани към едни и същи шини СрН.
- **Случай: Схема на електроснабдяване с два независими захранващи източници, свързани към две отделни секции на едно и също MLVS** (виж **Фиг. D20**). За да се увеличи осигуреността на електроснабдяването в случай на авария на шините или планирано техническо обслужване на един от трансформаторите, е възможно да се раздели MLVS на две секции чрез нормално отворен прекъсвач (NO). Тази схема обикновено изисква автоматично включване на резервата (АВР).
- **Схема с разтоварване на неотговорните потребители** (виж **Фиг. D21**). Неотговорните потребители, допускащи прекъсване на захранването могат да бъдат свързани към отделно табло. Връзката на това табло с MLVS се прекъсва при необходимост (претоварване, работа на генератора и др.).

© Schneider Electric - всички права запазени

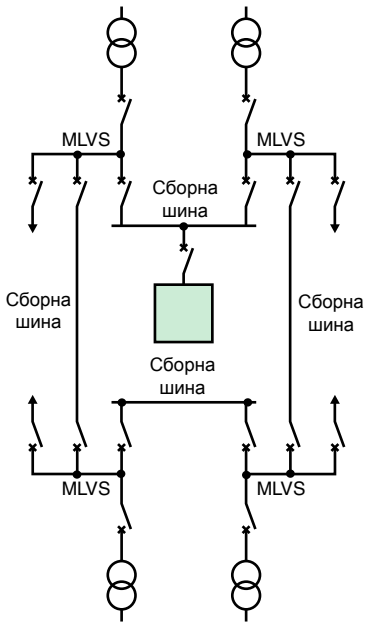
7 Подробен избор на структурата на електрически уредби



Фиг. D21: Разпределително табло (с разтоварване на неотговорни потребители)



Фиг. D22: Междинни табла



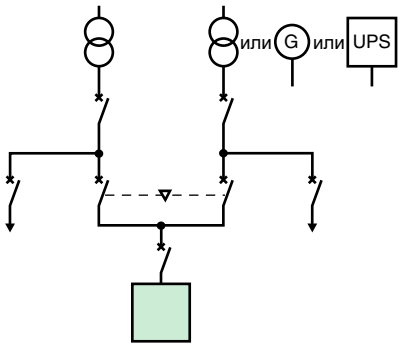
Фиг. D23: Пръстеновидна схема

■ **Междинни табла** (виж **Фиг. D22**). Когато трансформаторите са физически отдалечени един от друг те могат да бъдат свързани чрез шинопровод. Чувствителният потребител може да бъде захранен от кой да е от трансформаторите. Следователно, осигуреността на електроснабдяването се подобрява, тъй като потребителя може винаги да бъде захранен, в случай на отказ на кой да е от захранващите източници.
Резервирането може да бъде:
□ пълно: всеки трансформатор е в състояние да захрани цялата уредба;
□ частично: всеки трансформатор е в състояние да захрани част от уредбата.
В този случай част от потребителите трябва да бъдат изключени в случай, че аварира един от трансформаторите.

■ **Пръстеновидна схема (виж Фиг. D23).** Тази схема може да бъде разглеждана като разновидност на схемата с междинна връзка между разпределителните табла. Обикновено четири трансформатора са свързани към една и съща линия СрН, захранваща пръстен от шинни системи. В този случай даден потребител се захранва чрез няколко групирани (клъстерни) трансформатори. Тази схема е особено подходяща за развитие на уредбите с висока плътност на електрическите товари (в kVA/m^2). В случай на авария на един от трансформаторите, се получава пълна резервираност, като всички потребители могат да бъдат захранени от останалите три трансформатори. Фактически всяка шинна система може да бъде захранена от всеки край. В противоположния случай, трябва да бъде извършена разтоварваща операция (с частично изключване на товари). Тази схема изисква специално проектиране на защитата, за да се осигури селективност при всички възможни аварии.

■ **Двустранно захранване от два независими източника (виж Фиг. D24)**: Тази схема се изпълнява в случаи, когато е необходимо да се гарантира максимална степен на непрекъсваемост на захранването. Принципът, на който е построена тази схема, включва наличието на два независими захранващи източника. Например:
□ два трансформатора, захранвани от две различни линии СрН;
□ един трансформатор и един генератор;
□ един трансформатор и един UPS.
АВР се използва за да се избегне паралелното свързване на източниците. Тази схема позволява да бъде извършено превантивно и своевременно техническо обслужване нагоре по разпределителната система, без прекъсване на захранването.

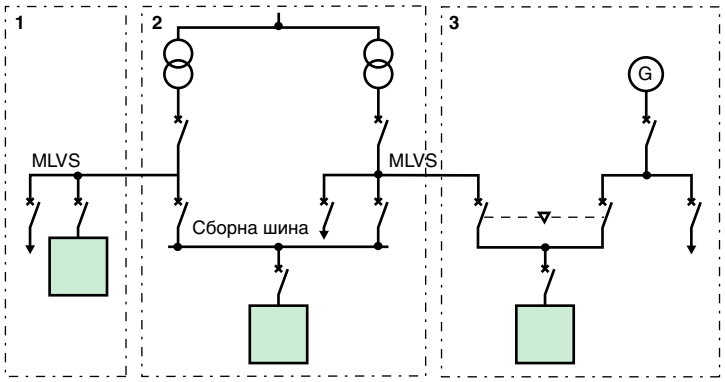
■ **Комбинирани схеми (виж Фиг. D25)**: Уредбата може да бъде изградена от групи от елементи, свързани по различни схеми, съгласно изискванията за осигуреност с електрическа енергия на различни типове потребители. Например, генератор или UPS, за захранване на отделни вериги (някои вериги са захранени чрез кабели, а други чрез шинопроводи).



Фиг. D24: Двустранно захранване от два независими източника с АВР

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Подробен избор на структурата на електрически уредби



Фиг. D25: Пример за комбинирана схема:
1 – отделно захранване; 2 – междинно разпределително табло;
3 - двустранно захранване.

В следваща таблица са посочени характеристиките на различни възможни схеми.

Разглеждана характеристика	Схема					
	Радиална	**Радиална с два независими източници**	**С разтоварване на неотговорни потребители**	**Междинни табла**	**Пръстеновидна**	**Двустранна**
Необходимост за техническото обслужване	Минимална	Стандартна	Минимална	Стандартна	Стандартна	Висока
Потребявана електрическа мощност	< 2 500kVA	Всякаква	Всякаква	≥ 1 250kVA	> 2 500kVA	Всякаква
Разпределение на електрически товари	Съсредоточено	Съсредоточено	Съсредоточено	Средно или равномерно разпределение	Равномерно	Съсредоточено
Чувствителност към прекъсвания на електрозахранването	Допустимо е продължително прекъсване	Допустимо е продължително прекъсване	Допустимо е изключване на неотговорни потребители	Допустимо е продължително прекъсване	Допустимо е продължително прекъсване	Не се допуска или се допуска прекъсване за кратко време
Чувствителност към смущения	Ниска	Висока	Ниска	Висока	Висока	Висока
Други	/	/	/	/	/	Двустранно захранени товари

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Избор на обзавеждане

При проектиране на електрическа уредба изборът на обзавеждане се извършва на третия етап. Целта е на този етап да се избере електрообзавеждане от каталозите на производителя. Избраната структура на електрическата уредба влияе върху избора на технологичните решения.

Списък на необходимото електрообзавеждане:

- подстанция СрН/НН;
- комутационна апаратура СрН;
- трансформатори;
- комутационна апаратура НН;
- шинопроводи;
- UPS;
- обзавеждане за коригиране на фактора на мощността и филтриране на хармоници.

Критерии, които се вземат под внимание:

- атмосфера, околна среда;
- индекс на техническо обслужване;
- предлагано електрообзавеждане на пазара;
- изисквания на доставчика;
- предварителни решения за структурата на уредбата.

Основно изборът на електрообзавеждане е свързан с предлаганата на пазара в страната електроапаратура. Под внимание се вземат различни гами електрообзавеждане както и местното техническо поддържане.

Прецизният избор на обзавеждане не се разглежда в това Ръководство.

© Schneider Electric - всички права запазени

9 Препоръки за оптимизация на структурата на електрически уредби

Тези препоръки са преназначени да помогнат на проектанта при усъвършенстване на проекта. Това позволява да се подобрят критериите за оценка.

9.1 Работа на строителния обект

За да осигури съвместимост със „специалното" или „критичното" време за изграждане на обекта (1), се препоръчва да се ограничи неопределеността чрез използване на следните препоръки:

- чрез решения, доказали своята надеждност, или обзавеждане, което е сертифицирано и изпитано от производителите („функционално" табло или „заводско" типово изпитано табло, съгласно условията на работа);
- предпочитания за въвеждане в експлоатация на обзавеждане, за което има надеждна мрежа от доставчици и за което е възможно да се осигури местна поддръжка (реномиран доставчик);
- предпочитания за употреба на предварително изработени модули в заводски условия (КРУ СрН, шинопроводи), намаляващи обема от дейности на обекта;
- ограничаване на разнообразието от използвано обзавеждане (например, мощност на трансформаторите);
- избягване използване на обзавеждане от различни производители.

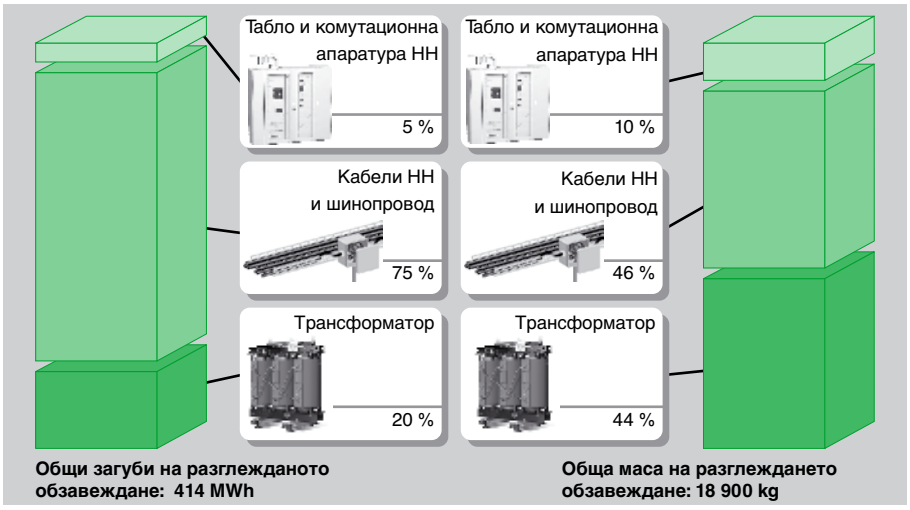
9.2 Влияние върху околната среда

Оптимизацията на оценката за влияние на уредбата върху околната среда ще позволи намаляване на:

- загуби на мощност при пълен товар и празен ход по време на експлоатация на уредбата;
- масогабаритните показатели на материалите, използвани от началото до края при работа на електрическата уредба.

Тези две обстоятелства могат да изглеждат взаимно-изключващи се, когато се разглеждат по отделно, и когато се търси отделно обзавеждане. Обаче, когато се прилагат за цялата уредба е възможно да се проектира структура, в която да участват и двете обстоятелства. Следователно, оптималната уредба няма да се образува от сумата на оптималното обзавеждане, взето по отделно, а ще бъде резултат от оптимизацията на цялата уредба.

Фигура D26 дава пример за участие на една категория обзавеждане в масата и загубите на енергия на уредба с мощност 3 500 kVA, разположена на площ 10 000 m^2.



Фиг. D26: Пример за относително разпределение на загубите и масата на материалите за всяка категория обзавеждане

Обикновено кабелите НН и шинопроводите, както и трансформаторите СрН са основните елементи, създаващи загуби и определящи масата на използваното обзавеждане.

Оптимизацията на влиянието на уредбата върху околната среда при проектиране позволява (виж **Табл. D27**):

- намаляване дължината на веригите НН в уредбата;
- групирането на веригите НН навсякъде, където това е възможно, подобрява фактора на едновременност ks (виж Глава A: Основни правила за проектиране на електрически уредби, Раздел 4 Електрически товари на уредбата, т. 4.3 Оценка на реалната необходима максимална мощност).

(1) Виж стр. D13.

© Schneider Electric - всички права запазени

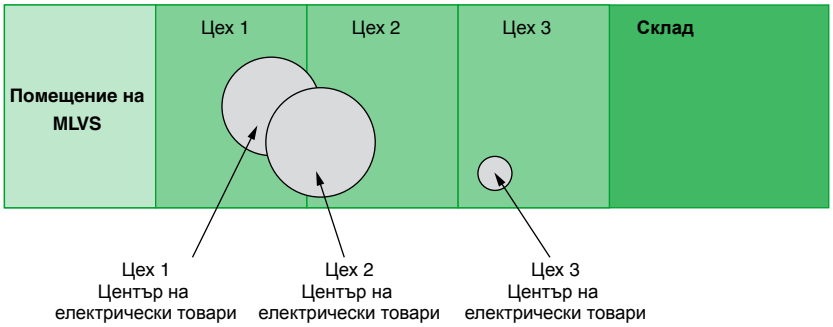
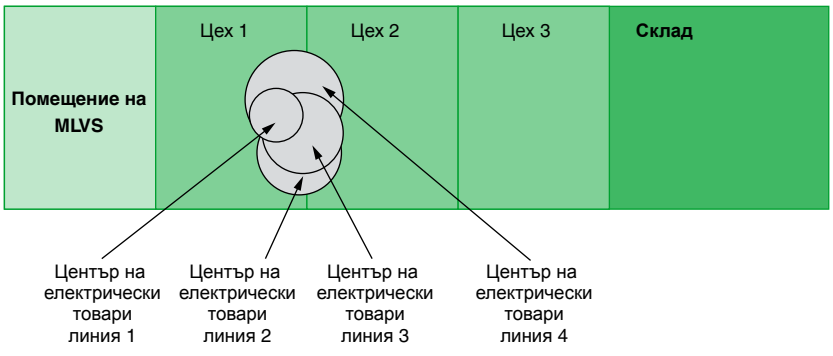
9 Препоръки за оптимизация на структурата на електрически уредби

Табл. D27: Оптимизацията на влиянието на уредбата върху околната среда

Изисквания	Средства
Намаляване дължината на веригите НН	Разполагане на подстанциите СрН/НН възможно най-близо до центъра на електрическия товар на всички потребители НН, които трябва да бъдат захранени
Групиране на веригите НН	Когато факторът на едновременност ks на група захранвани товари е по-малък от 0.7, групирането на веригите позволява да се ограничи обема от проводници за захранване с електрическа енергия на тези товари. В реални условия това води до: ■ разполагане на разпределителните табла най-близо до електрическия център на група товари, ако те са съсредоточени; ■ разполагане на шинопровод най-близо до електрическия център на група товари, ако те са разпределени. Търсенето на оптимално решение може да доведе до разглеждане на няколко сценария. Във всички случаи, намаляването на разстоянието между електрическия център на група потребители и обзавеждането, което ги захранва с мощност позволява, да се намали влиянието върху околната среда.

Като пример, **Табл. D28** показва влиянието при групиране на вериги за намаляване на разстоянието между центърът на електрическите товари и този на разглежданите захранващи източници (разположението на MLVS е зададено). Този пример се отнасят за предприятие за бутилиране на минерална вода, за което:
■ разположението на електрическото обзавеждане (MLVS) е определено в помещение извън производствената площ, поради причини, свързани с достъпността и атмосферни обстоятелства;
■ инсталираната мощност е около 4 MVA.
За решение №1 веригите са разпределени за всеки цех.
За решение №2 веригите са разпределени по технологични процеси (производствени линии).

Табл. D28: Пример за позициониране на центъра на електрическите товари

Решение	Разположение на центъра на електрически товари
№ 1	
№ 2	

© Schneider Electric - всички права запазени

9 Препоръки за оптимизация на структурата на електрически уредби

Без да се променя плана за разположение на електрическото обзавеждане, второто решение позволява да се постигне печалба от 15 % от масата на инсталираните кабели НН (печалба от дължини) и печалба от по-добро разпределение на трансформаторна мощност.

Прилагането на оптимизационен подход, в рамките на проекта, осигурява постигане на следните предимства:

- задаване стойността на фактора на мощността НН за ограничаване на загубите в трансформаторите и веригите НН, ако компенсацията е разпределена;
- употреба на трансформатори с малки загуби;
- употреба на шинопроводи от алуминий, когато това е възможно, тъй като залежите от този метал са по-големи (респективно по-ниска цена).

9.3 Профилактично техническо обслужване

Препоръки за намаляване обема на профилактично техническо обслужване:
- употреба на същите препоръки, както и на препоръките за намаляване на времето за изграждане на обекта;
- извършване на техническо обслужване върху критични вериги;
- стандартизиран избор на обзавеждане;
- употреба на обзавеждане, предназначено за няколко типа условия на околна среда (по-лесно поддържане).

9.4 Осигуреност на електроснабдяването

Препоръки за подобряване на осигуреността на електроснабдяването:
- намаляване на броя на захранващите линии от табло, за да се ограничат ефектите от възможен отказ в таблото;
- разпределение на вериги, съгласно изискванията за непрекъсваемост на електрозахранването;
- използване на обзавеждане в съответствие с изискванията (виж индекс на техническо обслужване т. 4.2);
- следване на предлаганите указания за избор на етапи 1 и 2 (виж **Фиг. D3, стр. D5**).

Препоръки за увеличаване на нивото на осигуреност:
- преминаване от радиална схема на електроснабдяване с една линия към схема на електроснабдяване с два независими захранващи източници;
- преминаване от схема на електроснабдяване с два независими захранващи източници към двустранно захранване от два независими източници;
- преминаване от двустранно захранване от два независими източници към непрекъсваема схема с UPS и АВР;
- увеличаване нивото на техническо обслужване (намаляване на MTTR и увеличаване на MTBF).

© Schneider Electric - всички права запазени

10 Речник

Избор на структурата на електрическа уредба: избор на еднолинейна схема и технологични решения – от свързване към захранващата мрежа до крайните вериги.

Основна разпределителна мрежа СрН/НН (Main MV/LV distribution): Съвкупност от електропроводни линии и електрически уредби средно и ниско напрежение, която служи за разпределение на електрическа енергия.

Главно разпределително табло НН (MLVS): Главно разпределително табло НН след трансформатора СрН/НН. Чрез него се извършва електроснабдяване на цялата сграда или нейна обособена част.

Електроразпределителна мрежа НН (LV power distribution): Част от уредбата, от главно разпределително табло НН до крайни разпределителни табла, която служи за разпределение на електрическа енергия.

Крайно разпределително табло (LV terminal distribution): Разпределително табло, предназначено за присъединяване към мрежата на лампени и контактни излази и отделни електропотребители от определена функционално обособена зона. Този тип електроразпределение не се разглежда в Ръководството.

Еднолинейна схема (Single Line diagram): Основна схема за представяне на главното електрическо обзавеждане и електрическите връзки.

Подстанция СрН, трансформаторна подстанция: Съвкупност от съоръжения СрН и/или трансформатори СрН/НН за трансформация и разпределение на електрическа енергия. Те могат да бъдат използвани заедно или по отделно, съгласно архитектурния план или технологичното обзавеждане. В някои страни подстанцията СрН/НН изпълнява функциите на захранваща подстанция.

Технологично решение: Резултат от избор на технология за изграждане на електрическа уредба, съвкупност от различни продукти и обзавеждане, предлагани от производителя.

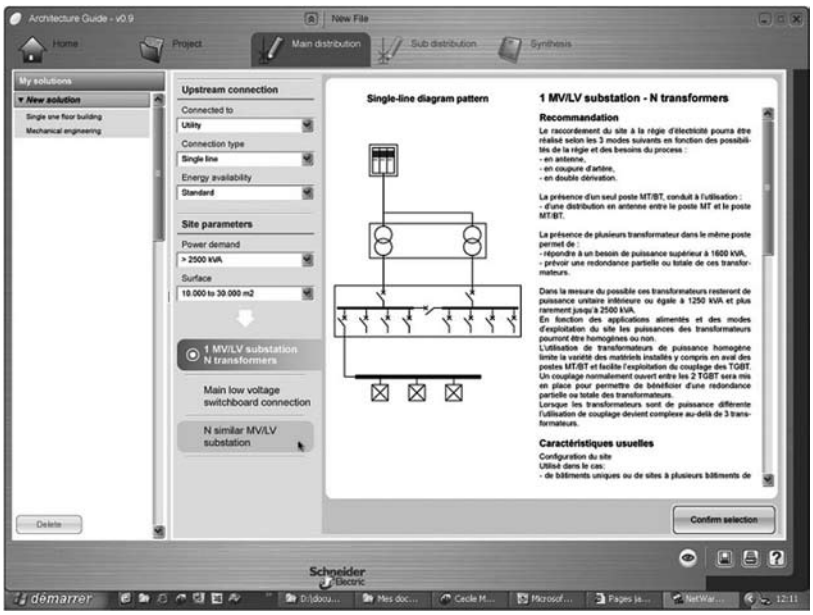
Характеристики: Съвкупност от технически данни или данни, свързани с околната среда, отнасящи се до уредбата, позволяващи оформянето на най-добър проект.

Критерии: Параметри за оценка на уредбата, позволяващи избор на структура на уредбата, която най-добре удовлетворява нуждите на потребителя.

© Schneider Electric - всички права запазени

11 Програмен продукт ID-Spec

Софтуерната програма ID-Spec има за цел да помогне на проектантите да бъдат по-ефективни по време на етап идеен проект и да извършват лесно аргументиране при вземане на решения.
Програмата помага на проектанта при избора на подходящи модели еднолинейни схеми и адаптира тези модели към неговия проект. Също така подпомага проектанта при избора на електрообзавеждане и неговите номинални параметри. ID-Spec генерира автоматично съответна проектна спецификационна документация, включваща еднолинейна схема и обосновка, списък и спецификация на съответното обзавеждане.



© Schneider Electric - всички права запазени

Глава E
Електроразпределение НН

Съдържание

1 Схеми за заземяване **E2**

1.1 Заземяващи съединения E2

1.2 Термини и определения на стандартни схеми за заземяване E3

1.3 Характеристика на схеми TT, TN и IT E6

1.4 Критерии за избор на схеми TT, TN и IT E8

1.5 Избор на метод за заземяване – изпълнение E10

1.6 Монтаж и измерване на заземители E11

2 Електрическа уредба **E15**

2.1 Разпределителни табла E15

2.2 Кабели и шинопроводи E18

3 Външни въздействия (IEC 60364-5-51) **E25**

3.1 Определения E25

3.2 Класификация E25

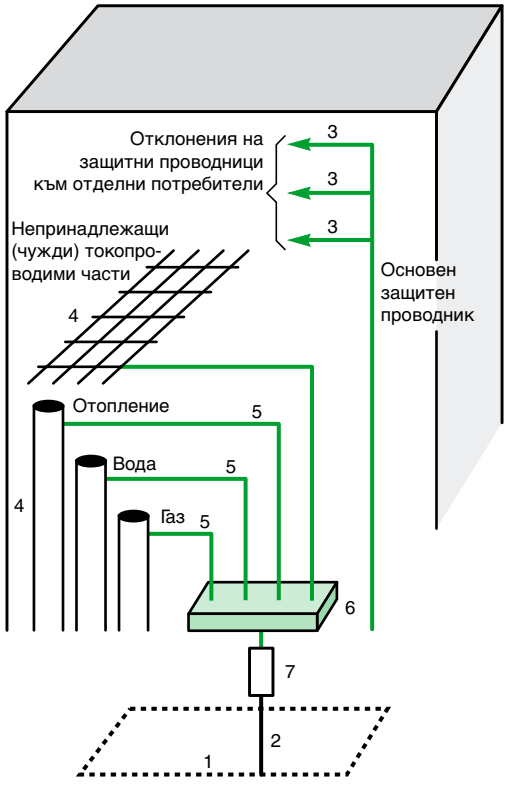
3.3 Списък на външни въздействия E25

3.4 Защита на електрообзавеждане закрит тип: кодове IP и IK E28

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Схеми за заземяване

Свързването на всички метални части на сградата и всички достъпни токопроводими части на електрическото обзавеждане към заземител предотвратява възникването на опасно високи напрежения между две едновременно достъпни метални части.



Фиг. E1: Пример на жилищен блок, в който главната заземителна клема (6) осигурява основното еквипотенциално заземление; разглобяемата електрическа връзка (контролна клема) (7) позволява проверка на съпротивлението на заземителя

1.1 Заземяващи съединения

Термини и определения

Националните и международни стандарти IEC 60364 определят ясно различни термини, отнасящи се до заземяващи съединения. В практиката и литературата са приети следните термини. Номерата в кръгли скоби съответстват на номерата, посочени на **Фиг. E1**:

- Заземител (1): проводник или група от проводници в непосредствен допир със земя и осигуряващи електрическа връзка със земя (за детайли виж т.1.6. на Глава E);
- Земя: токопроводима маса на земята, чийто електрически потенциал в коя да е точка е условно приет за нула;
- Електрически независими заземители: заземители, разположени на достатъчно разстояние един от друг така, че максималният вероятен ток, преминаващ през един от тях не оказва значително влияние на потенциала на другия(-те);
- Съпротивление на заземител: съпротивлението между главната заземителна клема и земята;
- Заземителен проводник (2): защитен проводник, свързващ главната заземителна клема (6) на уредбата със заземителя (1) или с други средства за заземяване;
- Достъпна токопроводима част: токопроводима част на обзавеждане, която е достъпна за допиране и която нормално не е под напрежение, но може да попадне под напрежение при дефект на изолация;
- Защитен проводник (3): проводник, използван при мерки за защита при индиректен допир и предназначен за електрическо свързване на някои от следните части:
  - Достъпни токопроводими части;
  - Непринадлежащи (чужди) на уредбата токопроводими части;
  - Главна заземителна клема;
  - Заземител(-и);
  - Неутрала на захранващ източник, свързана със земя или изкуствена неутрална точка.
- Непринадлежаща (чужда) на уредбата токопроводима част: токопроводима част, която не е част от електрическата уредба (4), но е в състояние да разпространява потенциал, обикновено електрическия потенциал в мястото на заземяване.
  Например:
  - Неизолирани подове или стени, метална арматура на сгради и др.;
  - Метални тръби и тръбопроводи (които не са част от електрическата уредба) за вода, газ, отопление, сгъстен въздух и др. и метални елементи, свързани с тях.
- Проводник за изравняване на потенциали (5): защитен проводник, осигуряващ изравняване на потенциалите.
- Главна заземителна клема (6): клема или шина, предвидена за свързване към заземителя на защитни проводници, включително проводници за изравняване на потенциалите и проводници за функционално заземяване, ако има такива.

Съединения

Основна система за изравняване на потенциали

Съединението се осъществява с помощта на защитни проводници с цел осигуряване на нулева разлика на потенциалите между чужди токопроводими части на системата в случай на възникване на потенциал на чужд външен проводник (например, газопровод и др.).
Съединението трябва да бъде направено колкото е възможно по-близо до точката(-е) на входа в сградата и да бъде свързано към главната заземителна клема (6).
Независимо от това съединенията към земя на метални екрани на комуникационни кабели изисква разрешение от собствениците на кабели.

Допълнителни еквипотенциални съединения

Такива съединения са предназначени за свързване на всички достъпни и чужди токопроводими части, едновременно достъпни в тези случаи, когато не са били изпълнени необходимите условия, т.е. първичните проводници за изравняване на потенциалите имат недопустимо високо съпротивление.

Съединения на достъпни токопроводими части със заземител(-и)

Съединението се осъществява чрез защитни проводници с цел осигуряване на малко съпротивление за протичащия ток на земно съединение.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Схеми за заземяване

Компоненти (виж Табл. E2)

Ефективното съединение на достъпната метална арматура и всички достъпни токопроводими части на всички уреди и обзавеждане е необходимо за ефективна защита срещу поражение от електрически ток.

Таблица E2: Списък на достъпни и непринадлежащи (чужди) на уредбата токопроводими части

Компоненти, разглеждани в качеството на:	
Достъпни токопроводими части	**Непринадлежащи (чужди) токопроводими части**
Кабелни линии ■ Подземни тръби за кабели ■ Кабел с импрегнирана хартиена изолация в оловна обвивка, бронирaн или небронирaн ■ PVC кабел с метална обвивка (Pyrotenax и др.)	Конструктивни елементи на сградa ■ Метални или железобетонни: □ Стоманени конструкции □ Прътова арматура □ Сборни железобетонни панели ■ Обработена повърхност:
Комутационна апаратура ■ Рама на устройства с изваждаем прекъсвач	□ Стоманобетонни подове и стени без допълнителна обработка на повърхността
Уреди ■ Достъпни токопроводими части на изолирани изделия от клас I	□ Облицовани с керамика повърхности ■ Метални екрани: □ Метално покрити стени
Неелектрически елементи ■ Метална арматура за кабелни линии (кабелни трасета, кабелни скари и др.) ■ Метални предмети:: □ Непосредствено до въздушни проводници или сборни шини □ In contact with electrical equipment.	Неелектрическа инфраструктура на сградa ■ Метални тръби, тръбопроводи, канали и др. за газо-, водо- и топлоснабдяване и др. ■ Допълнителни метални елементи (печки, резервоари, цистерни, радиатори) ■ Метална арматура в миялни помещения, бани, тоалетни и др. ■ Метализирани хартии

Компоненти, които не се разглеждат в качеството на:	
Дъстъпни токопроводими части	**Непринадлежащи (чужди) токопроводими части**
Различни обслужващи канали, проходи и др. ■ Тръбопроводи от изолационни материали ■ Профилирани изделия от дърво или други изолационни материали ■ Проводници и кабели без метални обвивки	■ Подове, покрити с дървени елементи ■ Подове, покрити с гума или балатум ■ Прегради от гипсокартон ■ Тухлени стени ■ Подове, застлани с килим и с мокет
Комутационна апаратура ■ Обвивки от изолационен материал	
Електрически уреди ■ Всички електроуреди с изолация от клас II независимо от типа на обвивката	

Различните схеми за заземяване (често наричани схеми на свързване или система за заземяване) характеризират метода за заземяване на уредбата, захранвана от вторичната намотка на трансформатора СрН/НН и средствата, използвани за заземяване на нейните достъпни токопроводими части.

1.2 Термини и определения на стандартни схеми за заземяване

Изборът на методите за заземяване определя мерките, които са необходими за защита срещу индиректен допир.

Система на заземяване ограничава избора на проектанта на разпределителната система или уредба с три изходни независими варианти:

■ Начин на съединение на системата за електроснабдяване (която е обикновено с неутрален проводник) и на достъпните части със заземител(-те).

■ Отделен защитен проводник (PE) или обединен защитен и неутрален проводник (PEN).

■ Употреба на релейна защита срещу ток на земно съединение, осигурявана от защитно устройство, което изключва само относително големите токове на земно съединение или използване на допълнително реле, способно да открие и изключи малки токове на земно съединение.

На практика тези варианти са групирани и стандартизирани, както е описано по-долу.

Всеки от тези варианти осигурява стандартизирана система за заземяване с три предимства и недостатъци:

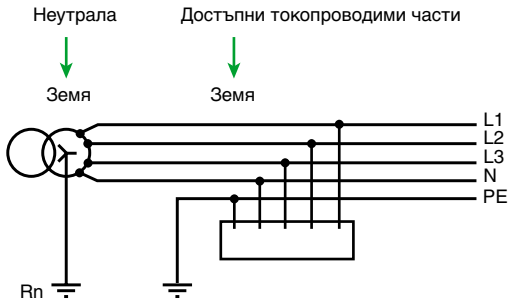
■ Свързването на достъпни токопроводими части на обзавеждането и на неутралния проводник към PE проводника осигурява еквипотенциалност и по-ниско пренапрежение, но увеличава токовете на земно съединение.

■ Отделният защитен проводник е по-скъпо решение, дори ако той е с малко напречно сечение. Но в сравнение с неутралния проводник, протичане през него на токове с нулева последователност, а също и появяване на свързани с това падове на напрежения в този проводник е малко вероятно. В непринадлежащите токопроводими части на уредбата се избягват токовете на утечка.

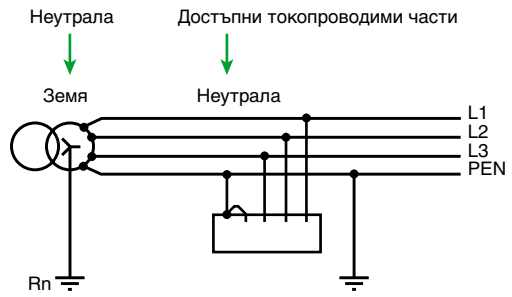
■ Дефектнотоковата защита или устройствата за контрол на изолация са много по-чувствителни и осигуряват в много случаи изключване на повредата преди тежки последици (аварии в двигатели, пожари, поражения от електрически ток). Освен това предлаганата защита не зависи от промените в съществуващата уредба.

© Schneider Electric - всички права запазени

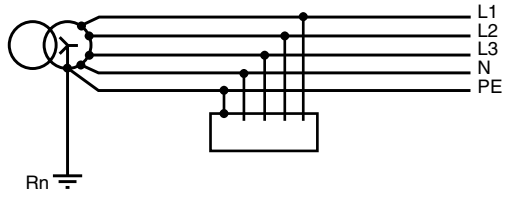
1 Схеми за заземяване



Фиг. E3: Схема TT



Фиг. E4: TN-C system



Фиг. E5 : TN-S system

Схема TT (заземена неутрала) (виж **Фиг. E3**)

Неутралната точка на захранващия източник е свързана непосредствено със земя. Всички достъпни и непринадлежащи токопроводими части на електрическата уредба са съединени към отделен заземител на уредбата. Този заземител може да бъде или да не бъде електрически независим от заземителя на източника. Двете зони на влияние може да се припокриват без да оказват отрицателно въздействие върху работата на защитните устройства.

Схеми TN (достъпни токопроводими части, свързани към неутрала)

Захранващият източник е заземен, както при схема TT (виж по-горе). Всички достъпни- и непринадлежащи токопроводими части на електрическата уредба са съединени към неутралния проводник. Няколко варианти на схеми TN са показани по-долу.

Схема TN-C (виж **Фиг. E4**)

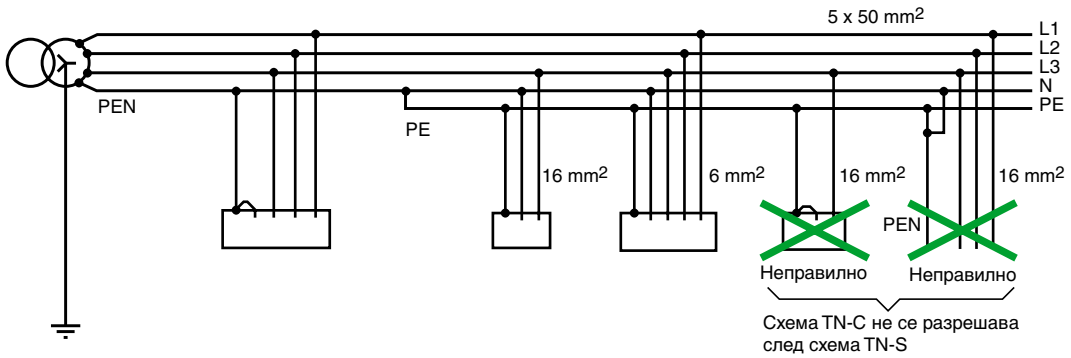
Неутралният проводник се използва в качеството на защитен проводник и се означава като PEN (Protective Earth and Neutral – защитен неутрален проводник). Тази схема не допуска използването на PEN проводници със сечение по-малко от 10 mm^2 мед и за преносимо обзавеждане.
Схемата TN-C изисква ефективна еквипотенциална среда в границите на уредбата с максимално възможно равномерно разположение на заземителите, тъй като PEN проводника е и неутрален проводник, и през него протичат токове на несиметрия във фазите, а също и трети хармоник на токовете (или токове с хармонични съставящи, кратни на три).
Затова PEN проводника трябва да се съедини към редица заземители на уредбата.
Предупреждение: В схемата TN-C функцията „защитен проводник" е с приоритет пред „неутралната функция". В частност PEN проводника трябва винаги да бъде свързан към заземителната клема на товара. За тази цел се използва съединителен проводник за свързване на тази клема към клемата на неутралата.

Схема TN-S (виж **Фиг. E5**)

Схемата TN-S (пет проводника) е задължителна за вериги с проводници, чието сечение е под 10 mm^2 мед и за преносимо електрообзавеждане.
Защитният и неутралният проводник са разделени. В подземни кабелни системи, където се използват кабели с оловна обвивка, за защитен проводник служи обикновено оловната обвивка.

Схема TN-C-S (виж **Фиг. E6** по-долу и **Фиг. E7** на следваща страница)

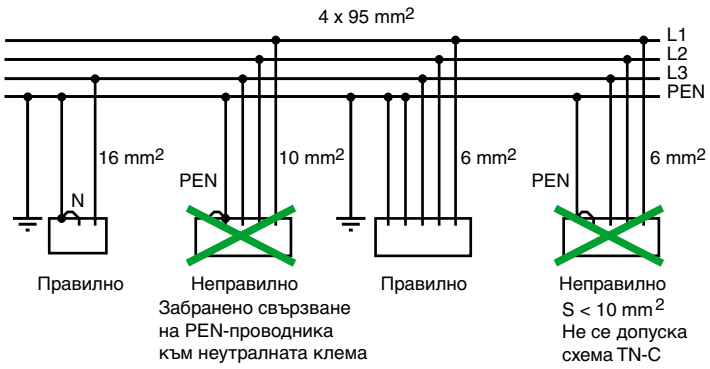
Схемите TN-C и TN-S могат да бъдат използвани едновременно в една и съща уредба. В схемата TN-C-S, схемата TN-C (четири проводника) не трябва да се използва след схема TN-S (пет проводника), тъй като всяко случайно прекъсване на неутралата в горестоящата част води до прекъсване на защитния проводник в долустоящата част и следователно до възникване на опасност.



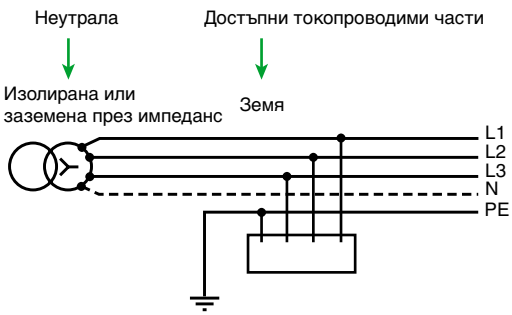
Фиг. E6: Схема TN-C-S

© Schneider Electric - всички права запазени

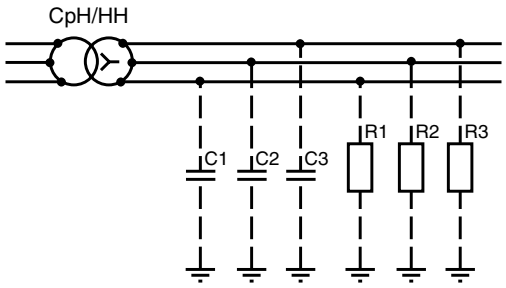
1 Схеми за заземяване



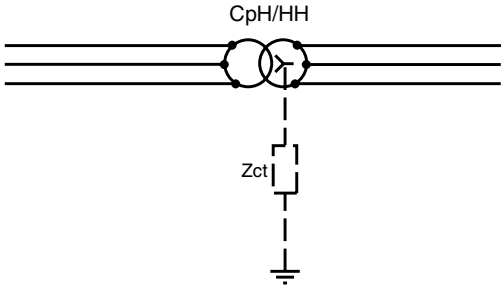
Фиг. E7: Свързване на PEN проводник в схема TN-C



Фиг. E8: Схема IT (изолирана неутрала)



Фиг. E9: Схема IT (изолирана неутрала)



Фиг. E10: Пълно съпротивление (импеданс), еквивалентно на съпротивлението на утечка в схема IT

Схема IT (изолирана или заземена през импеданс неутрала)

Схема IT (изолирана неутрала)

Не се допуска преднамерено свързване на неутралната точка на източника и земята (виж **Фиг. E8**).

Достъпните- и непринадлежащите токопроводими части на уредбата се свързват към заземител.

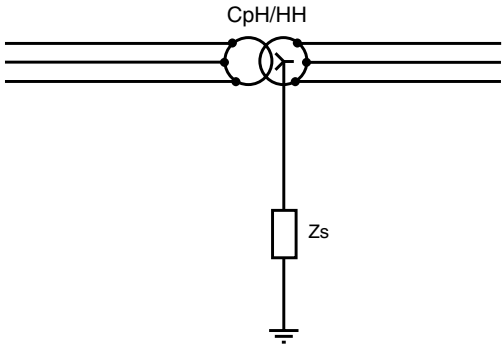
На практика всички вериги имат съпротивление на утечка към земя, тъй като не съществува идеална изолация. В паралел с тази (разпределена) верига с активно съпротивление, съществува и разпределена верига за капацитивния ток. Тези две вериги образуват импеданса на веригата към земя (виж **Фиг. E9**).

Пример (виж **Фиг. E10**)

В трифазна трипроводна кабелна мрежа НН, 1 km от нея ще има съпротивление на утечка, предизвикано от C1, C2, C3 и R1, R2 и R3, еквивалентно на импеданс на заземление на неутралата Zct = (3000…4000) Ω, без да се отчитат филтровите капацитети на електронните устройства.

Схема IT (заземена през импеданс неутрала)

Импеданс Zs (от порядъка на 1000…2000 Ω) съществува винаги между неутралната точка на вторичната намотка на трансформатор и земя (виж **Фиг. E11**). Всички достъпни и непринадлежащи токопроводими части на уредбата са свързани към заземител. Причините за използване на такава схема на заземяване на захранващия източник са необходимостта от фиксиране на потенциала на малка мрежа спрямо земя (Zs е малко в сравнение с импеданса на тока на утечка) и намаляване нивото на пренапрежения, такива като пренесени импулсни пренапрежения от високоволтови намотки CpH, статични разряди и др. спрямо земя. Появява се обаче страничен ефект на леко повишаване нивото на тока при първо земно съединение.



Фиг. E11: Схема IT (заземена през импеданс неутрала)

© Schneider Electric - всички права запазени

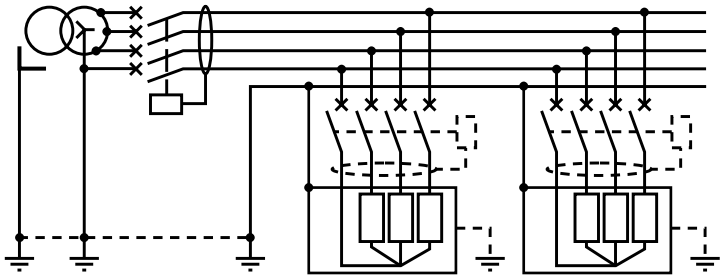
1 Схеми за заземяване

1.3 Характеристика на схеми TT, TN и IT

Схема TT:

- *Метод за защита на хора: достъпните токопроводими части са заземени и се използват дефектнотокови защити*
- *Метод на експлоатация: изключване при първа повреда на изолацията.*

Схема TT (виж Фиг. E12)



Фиг. E12: Схема TT

Забележка: Ако достъпните токопроводими части са заземени в редица точки дефектнотоковата защита трябва да бъде монтирана за всяка група вериги, свързани към даден заземител.

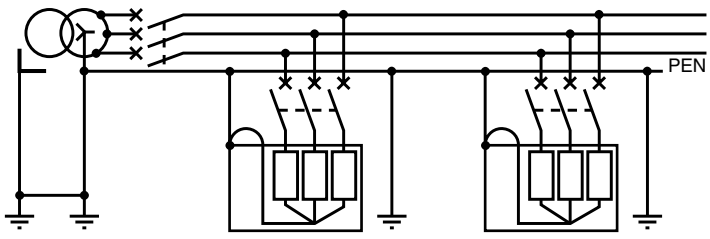
Основни характеристики

- Най-просто проектно и монтажно решение. Използват се в уредби, захранвани директно от разпределителни мрежи НН с общо предназначение.
- Не изискват непрекъснат контрол по време на експлоатация (периодична проверка на дефектнотоковата защита може да бъде необходима).
- Защитата се осъществява от специални устройства, дефектнотокови защити, които също предотвратяват риск от пожар при ток на настройка ≤ 500 mA.
- Всяка повреда в изолацията предизвиква прекъсване в електроснабдяването. Изключва се само повредената верига чрез последователно включени (селективни дефектнотокови защити) или паралелно включени дефектнотокови защити.
- Товари или части от уредбите, които при нормален режим на работа предизвикват големи токове на утечка изискват специални мерки за предотвратяване на излишни изключвания. Например, захранване на товари през отделен трансформатор или използване на специални дефектнотокови защити (виж т.5.1 на Глава F).

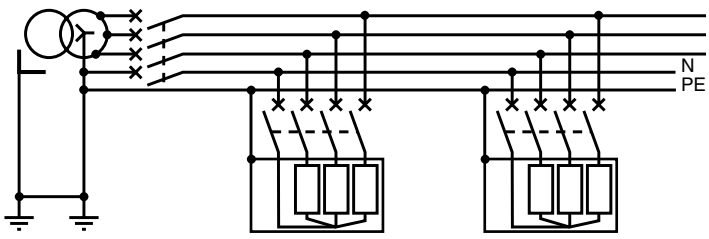
Схема TN:

- *Метод за защита на хора:*
  - *Задължително съединение и заземяване на достъпни токопроводими части и неутралата;*
  - *Изключване при първа повреда с помощта на максималнотокова защита (автоматични прекъсвачи или стопяеми предпазители).*
- *Метод на експлоатация: изключване при първа повреда на изолацията*

Схема TN (виж Фиг. E13 и E14)



Фиг. E13: СхемаTN-C



Фиг. E14: Схема TN-S

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Схеми за заземяване

Основни характеристики

■ На схема TN:
□ Изисква монтаж на заземители през постоянни интервали в цялата уредба;
□ Изисква първоначална проверка за ефективността на изключване при първа повреда на изолация чрез пресмятания на стадий проектиране, с последващи задължителни измервания за потвърждаване на изключването при въвеждане в експлоатация;
□ Изисква квалифициран специалист за проектиране и осъществяване на какво да е изменение или разширение;
□ В случай на неизправност на изолацията е възможна значителна повреда на намотките на въртящите машини;
□ В случай на помещения с риск за пожар се създава повишена опасност поради по-високи токове на утечка;

■ Освен това схемата TN-C:
□ По-евтина е (не изисква отделен заземител и проводник);
□ Изисква употребата на фиксирани и твърди проводници;
□ Забранена е за използване в някои случаи:
- Помещения с риск за пожар;
- Компютърно обзавеждане (наличие на хармонични токове в неутралата).

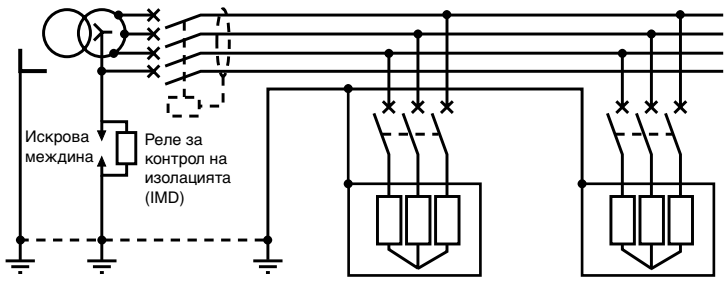
■ Освен това схемата TN-S:
□ Може да се използва дори с гъвкави проводници и малки кабелни канали;
□ Поради разделяне на неутралата и защитния проводник се осигурява чисто защитно заземяване (компютърни системи и помещения с особени рискове).

Схема IT:

■ *Метод за защита:*
□ *Свързване и заземяване на достъпни токопроводими части;*
□ *Индикация за първа повреда на изолацията към земя с помощта на устройство за контрол на изолация (IMD)*
□ *Изключване при втора повреда с помощта на максималнотокова защита (автоматични прекъсвачи или стопяеми предпазители).*

■ *Метод на експлоатация:*
□ *Контрол при първа повреда на изолацията към земя;*
□ *Задължително откриване и отстраняване на повреда;*
□ *Изключване при две едновременни повреди в изолацията към земя.*

Схема IT (виж **Фиг. E15**)



Фиг. E15: Схема IT

Основни характеристики

■ Даденото конструктивно решение е най-добро от гледна точка на осигуряване на непрекъснатост на електроснабдяването при експлоатация.

■ Индикация за първа повреда на изолацията към земя с последващо задължително търсене и отстраняване, осигурява системно предотвратяване на прекъсванията в електроснабдяването.

■ Обикновено използвана в уредби, захранвани от частна мрежа СрН/НН или трансформатор НН/НН.

■ Изисква обслужващ персонал за контрол и експлоатация.

■ Изисква високо ниво на изолация в мрежата (т.е. разделяне на мрежата, ако тя е много голяма и употреба на разделителни трансформатори за захранване на товари с големи токове на утечка).

■ Проверка за ефективно изключване при две едновременни повреди трябва да се извършва чрез изчисляване на стадий проектиране, с последващи задължителни измервания при въвеждане в експлоатация на всяка група съединени, една с друга, достъпни токопроводими части.

■ Изисква осигуряване защита на неутралния проводник, както е посочено в т.7.2 на Глава G.

© Schneider Electric - всички права запазени

Изборът не зависи от критериите за безопасност. Трите схеми са еквивалентни по отношение на защитата на хора при точно спазване на правилата за монтаж и експлоатация. Критериите за избор на оптимална схема(-и) зависят от правилата, установени от закона, изискваната непрекъснатост на електроснабдяване, експлоатационните условия и типа на мрежата и товарите.

1.4 Критерии за избор на схеми TT, TN и IT

По отношение защитата на хора, трите системи за заземяване (SEA) са еквивалентни, ако всички правила при монтажа и експлоатацията се спазват коректно. Затова изборът на схема не зависи от критериите за безопасност.
Най-добрата схема(-и) може да бъде определена чрез обединяване на всички изисквания по отношение на норми, непрекъснатост на електроснабдяването, условия на експлоатация и типове мрежи и товари (виж **Табл. E16**).
Изборът се определя от следните фактори:

- Първо, приложими норми, които в някои случаи предписват използване на определени схеми за заземяване.
- Второ, решение на собственика в случай на електроснабдяване през частен понижаващ трансформатор СрН/НН (искане за подаване на средно напрежение), или собственикът има частен енергиен източник (или трансформатор с отделни намотки).

Ако собственикът има избор, решение за схемата на заземяване се приема след обсъждане с проектанта на мрежата.
Такива обсъждания трябва да включват:

- Преди всичко експлоатационните изисквания (необходимо ниво на непрекъснатост на електроснабдяването) и условия за експлоатация (наличие или отсъствие на техническо обслужване от електротехнически персонал, собствен или външен персонал и др.)
- Специфичните характеристики на мрежата и товарите (виж **Фиг. E17** на следващата страница).

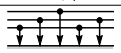
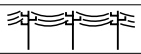
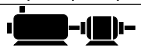
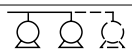
Таблица E16: Сравнение на различни схеми за заземяване

	TT	TN-S	TN-C	IT1	IT2	Забележки
Електрически характеристики						
Ток на земно съединение	-	- -	--	+	- -	Само схема IT осигурява пренебрежимо малки токове при първа повреда
Напрежение при повреда	-	-	-	+	-	В случай на схема IT допирното напрежение е много ниско при първа повреда, но е значително при втората
Допирно напрежение	+/- -	-	-	+	-	В случай на схема TT допирното напрежение е много ниско ако системата е еквипотенциална. В противен случай то е високо
Защита						
Защита на хора при индиректен допир	+	+	+	+	+	Всички схеми за заземяване (SEA) са еквивалентни при условие, че се спазват правилата
Защита на хората при захранване от аварийни генериращи източници	+	-	-	+	-	Схемите с дефектнотокова защита не са чувствителни към изменение на вътрешното пълно съпротивление на източника
Противопожарна защита (с дефектнотокова защита RCD)	+	+	Не се допуска	+	+	Всички SEA, в които RCD защити могат да бъдат използвани, са равностойни. Системата TN-C е забранена за помещения, където има риск от пожар
Пренапрежения						
Непрекъснато пренапрежение	+	+	+	-	+	Пренапрежението между фаза и земя е постоянно в случай на схема IT при първа повреда на изолация
Преходно пренапрежение	+	-	-	+	-	Системи с големи токове на повреда могат да предизвикат големи преходни пренапрежения
Пренапрежение при пробив на трансформатор (първична/вторична намотка)	-	+	+	+	+	В схема TT има асиметрия на напрежението между различни заземители. Другите системи са присъединени към отделен заземител
Електромагнитна съвместимост						
Устойчивост към близки попадения на мълнии	-	+	+	+	+	В схема TT е възможна асиметрия на напрежение между заземители. В схема TT протича значителен кръгов ток между два отделни заземителя
Устойчивост към близки попадения на мълния върху линия СрН	-	-	-	-	-	Всички схеми на заземяване са еквивалентни по въздействие на разряда на мълния върху високоволтовата линия
Непрекъснато излъчване на електромагнитно поле	+	+	-	+	+	Съединението на PEN проводника с метални структури на сграда предизвиква непрекъснато генериране на електромагнитни полета
Преходна нееквипотенциалност на PE	+	-	-	+	-	Защитният проводник PE става нееквипотенциален, ако протича голям ток на повреда
Непрекъснатост на електроснабдяване						
Прекъсване при първа повреда на изолация към земя	-	-	-	+	+	Само схема IT предотвратява изключване при първа повреда на изолацията към земя
Пад на напрежение при повреда на изолация	+	-	-	+	-	Схемите TN-S, TN-C и IT (втора повреда) генерират големи токове на повреда, които могат да предизвикат „пропадане" на фазното напрежение
Монтаж						
Специални устройства	-	+	+	-	-	Схемата TT изкисва употребата на дефектнотокови защити. Схемата IT изисква употребата на устройство за непрекъснат контрол на изолацията
Брой на заземители	-	+	+	-/+	-/+	Схема TT изисква употребата на два различни заземителя. Схемата IT осигурява избор между един или два заземителя
Брой на кабели	-	-	+	-	-	Само схема TN-C осигурява, в някои случаи, намаляване броя на кабелите
Техническо обслужване						
Цена на ремонтите	-	- -	- -	-	- -	Цената на ремонтите зависи от повредата, предизвикана от амплитудата на тока на повреда
Повреди и поражения	+	-	-	++	-	Системи с големи токове на повреда трябва да се проверят след отстраняване на повредата

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Схеми за заземяване

Таблица E17: Влияние на мрежите и товарите при избора на схема за заземяване

Тип на мрежата		Препоръчвана	Възможна	Не се препоръчва
Много голяма мрежа с висококачествени заземители fза достъпни токопроводими части (10 Ω максимално)			TT, TN, IT (1) схема или смесена	
Много голяма мрежа с нискокачествени заземители за достъпни токопроводими части (> 30 Ω)		TN	TN-S	IT (1) TN-C
Зона със смущения (атмосферни)		TN	TT	IT (2)
Мрежа с големи токове на утечка (> 500 mA)		TN (4)	IT (4) TT (3) (4)	
Мрежа с външни въздушни електропроводни линии		TT (5)	TN (5) (6)	IT (6)
Аварийна резервна генераторна уредба		IT	TT	TN (7)
Тип на товарите				
Товари, чувствителни към големи токове на късо съединение (двигатели и др.)		IT	TT	TN (8)
Товари с ниско ниво на изолация (електрически пещи, заваръчни апарати, нагревателни елементи, бързовари, обзавеждане в големи кухни)		TN (9)	TT (9)	IT
Многобройни еднофазни товари (подвижни, полустационарни и преносими)		TT (10) TN-S		IT (10) TN-C (10)
Големи рискови товари (подемници, транспортьори и др.)		TN (11)	TT (11)	IT (11)
Многобройни спомагателни устройства (машинни инструменти)		TN-S	TN-C IT (12 bis)	TT (12)
Други				
Захранване чрез силов трансформатор звезда-звезда (13)		TT	IT without neutral	IT (13) with neutral
Пожароопасни помещения		IT (15)	TN-S (15) TT (15)	TN-C (14)
Увеличаване нивото на консумирана мощност от мрежа НН, изискващо частна подстанция		TT (16)		
Електрическа уредба с чести изменения		TT (17)		TN (18) IT (18)
Електрическа уредба, за която непрекъснатостта на заземителните вериги е неопределена (работни площадки, стари уредби и др.)		TT (19)	TN-S	TN-C IT (19)
Електронно обзавеждане, компютри, PLC контролери		TN-S	TT	TN-C
Мрежа за управление и контрол на машини, първични преобразуватели към PLC и задвижвания		IT (20)	TN-S, TT	

(1) Когато избора на схема на заземяване не се ограничава от действащи норми тя се избира в съответствие с нивото на работните характеристики (непрекъснатост на електроснабдяване поради причини, свързани с безопасност, или желано увеличаване на производителността и др.). Независимо от схемата на заземяване вероятността за пробив на изолацията се увеличава с нарастване на дължината на електрическата мрежа. Препоръчва се разделяне на мрежата, което облекчава търсенето на повредата и реализация на схемата, препоръчвана по-горе, за всяка област на приложение.

(2) Риск от искрене, когато ограничителя на пренапрежение преобразува изолираната неутрала в заземена неутрала. Тези рискове са високи за региони със чести гръмотевици или уредби, захранвани от въздушни линии. Ако е избрана схемата IT, проектантът на схемата трябва точно да изчисли параметрите на режима на изключване при повторна повреда, за да осигури високо ниво на непрекъснатост на електроснабдяването.

(3) Риск от излишно изключване от дефектнотокова защита.

(4) Независимо от схемата на заземяване идеалното решение е в изолиране на източника на смущения, ако той може да бъде идентифициран.

(5) Рискове от съединяване на фаза към земя, нарушаващи еквипотенциалността.

(6) Неопределено състояние на изолацията поради влажност и токопроводящ прах.

(7) Схемата TN не се препоръчва поради риск от повреда на генератора в случай на вътрешна авария. Освен това, когато генераторните комплекти захранват обзавеждане за електробезопасност, схемата не трябва да се изключва при първа повреда.

(8) Токът между фаза и земя може да бъде няколко пъти по-голям от In, с риск за повреда или ускорено износване изолацията на намотките на двигател, или разрушаване на магнитни вериги.

(9) За съчетаване непрекъснатостта на електроснабдяване и безопасността е необходимо и силно се препоръчва, независимо от схемата на заземяване, да се отделят такива потребители от останалата част на уредбата (трансформатори със заземена неутрала).

(10) Когато качеството на потребителите не е приоритет при проектиране, съществува риск от бързо намаляване на изолационното съпротивление. Схемата TT с дефектнотокови защити е най-доброто средство за избягване на тези проблеми.

(11) Подвижността на такъв тип потребители причинява чести повреди (плъзгащ контакт на достъпни тоководещи части). Независимо от схемата на заземяване се препоръчва такива вериги да се захранват с трансформатори с местно заземена неутрала.

(12) Изисква се употребата на трансформатори с местна TN схема за намаляване на експлоатационни рискове и излишни изключвания при първа повреда (TT) или двойна повреда (IT).

(12 bis) При двойно прекъсване във веригата за управление.

(13) Прекомерно ограничаване на тока във веригата фаза-неутрала поради голямо съпротивление на тази верига (поне 4-5 пъти по-голямо от пълното съпротивление). Трансформаторът със схема на свързване на намотките звезда-звезда трябва да бъде заменен от трансформатор със схема на свързване звезда-триъгълник.

(14) Големите токове на повреда правят опасна схемата TN. Използването на схема TN-C е забранено.

(15) Независимо от схемата, дефектнотоковата защита трябва да бъде с I n < 500 mA.

(16) За уредба, захранвана от мрежа НН трябва да се използва схема TT. Използването на тази схема на заземяване означава минимален обем от изменения на съществуващата мрежа (не се изисква полагане на кабели, не се изисква изменение на защитните устройства).

(17) Може да се използва без високи изисквания към квалификацията на обслужващия персонал.

(18) Този тип уредба изисква специално внимание при поддържане нивото на безопасност. Отсъствието на профилактични мерки при използване на схема TN означава необходимост от периодично привличане на висококвалифициран персонал за осигуряване на безопасността.

(19) Рисковете от прекъсване на проводници (захранващи, защитни) могат да предизвикат загуба на еквипотенциалността на достъпни токопроводими части. Препоръчва се и е често задължителна схема TT или TN-S с дефектнотокови защити 30 mA.

(20) Това решение предотвратява излишно изключване при внезапни токове на утечка.

© Schneider Electric - всички права запазени

1.5 Избор на метод за заземяване – изпълнение

След запознаване със съответните наредби **Табл. E16** и **E17** могат да бъдат използвани като средство при вземане на решение за разделяне и възможно галванично изолиране на отделни секции на предлаганата електрическа уредба.

Разделяне на източник

Този метод се отнася за употреба на няколко трансформатори вместо един блок с голяма номинална мощност. По този начин потребител, който е източник на смущения в мрежата (големи двигатели, пещи и др.), може да бъде захранен от свой собствен трансформатор.

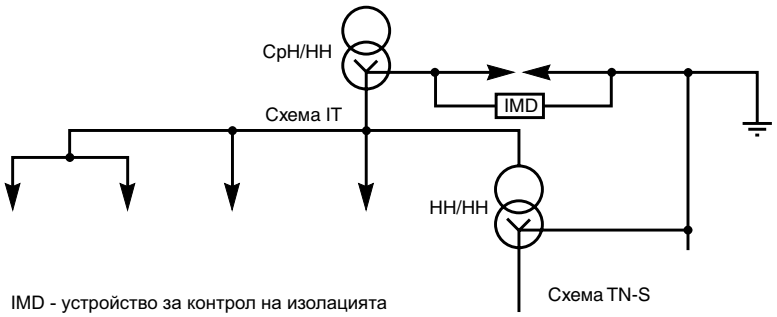
В резултат качеството и непрекъснатостта на електроснабдяването на цялата уредба се повишава.

Цената на комутационната апаратура се намалява (токът на късо съединение е по-малък).

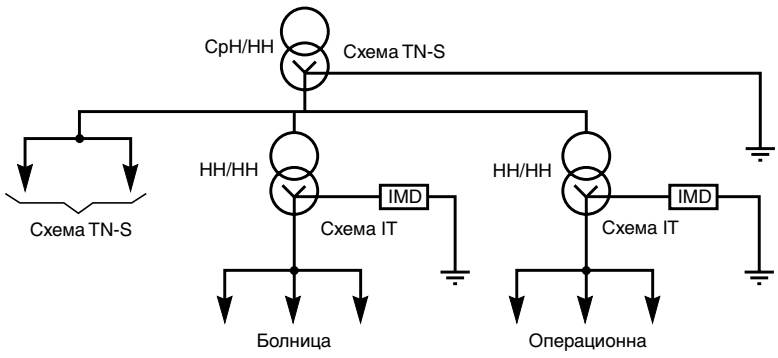
Ефективността от използването на отделни трансформатори трябва да бъде определена на основата на анализ за всеки конкретен случай.

Изолиране на мрежа

Създаването на галванично разделени изолирани участъци (острови) чрез разделителни трансформатори НН/НН позволява да се оптимизира избора на методите за заземяване, като се отчитат специфични изисквания (виж **Фиг. E18** и **E19**).



Фиг. E18: TN-S Остров в схема IT



Фиг. E19: IT остров в схема TN-S

Заключение

Оптимизацията на работните характеристики на цялата електрическа уредба се определя от избора на схема на заземяване.

Включително:

- Първоначални капиталовложения и;
- Бъдещи експлоатационни разходи, трудно оценими, които могат да възникнат поради недостатъчна надеждност, качество на обзавеждането, безопасност, непрекъснатост на електроснабдяването и др.

Една идеална структура на електрическата уредба обхваща нормални захранващи източници, местни резервни захранващи източници (виж т.1.4 на Глава E) и подходящи схеми на заземяване.

© Schneider Electric - всички права запазени

Много ефективен метод за получаване на ниско съпротивление е полагането на проводник във форма на затворен контур, в почвата на дъното на изкопа на фундаментите на сградата.

Съпротивлението R на такъв заземител (в еднородна почва) се определя (приблизително), в Ω, чрез: $R = \frac{2\rho}{L}$,

където L е дължината на проводника, m;

ρ - специфичното обемно съпротивление на почвата, Ω.m.

За n прути: $R = \frac{1}{n}\frac{\rho}{L}$

1.6 Монтаж и измерване на заземители

Качеството на заземителя (възможно най-ниско съпротивление) зависи съществено от два фактора:

- Метода за монтаж;
- Типа на почвата.

Методи за монтаж

Ще бъдат разгледани три най-често срещани начини за монтаж:

Контур, положен в земята (виж **Фиг. E20**)

Това решение се препоръчва широко особено при ново строителство. Заземителят би трябвало да бъде положен около периметъра на изкопа, направен за основите. Важно е неизолираният (голият) проводник да бъде в непосредствен контакт със земята (а не да се разполага в чакъла или твърдата настилка под бетона). Поне четири (на голямо разстояние) един от друг вертикално разположени проводници от заземителя трябва да се осигурят за монтажни връзки. При възможност арматурните пръти в железобетона трябва да бъдат свързани към заземителя.

Проводникът, образуващ заземителя, особено когато е разположен в изкопа за основите, трябва да бъде в земята поне на 50 cm под твърдата настилка или на бетонния фундамент.

Нито заземителя, нито вертикалните проводници към първия етаж трябва да влизат в контакт с бетона от фундамента.

За съществуващи сгради заземителят трябва да бъде заровен извън външната стена на помещенията на дълбочина поне 1 m. Като правило всички вертикални проводници от заземителя до повърхността на земята трябва да са изолирани за номинално напрежение (600…1000) V.

Проводниците на заземителя могат да бъдат:

- Медни: Гол проводник (сечение ≥ 25 mm^2) или многослойна лента (сечение ≥ 25 mm^2 и дебелина ≥ 2 mm).
- Алуминиеви с оловна обвивка: Кабел (сечение ≥ 35 mm^2).
- Поцинкован стоманен проводник: Гол проводник (сечение ≥ 95 mm^2) или многослойна лента (сечение ≥ 100 mm^2 и дебелина ≥ 3 mm).

Приблизителната стойност на съпротивлението R на заземителя, в Ω, е:

$R = \frac{2\rho}{L}$,

където L е дължината на проводника, m;

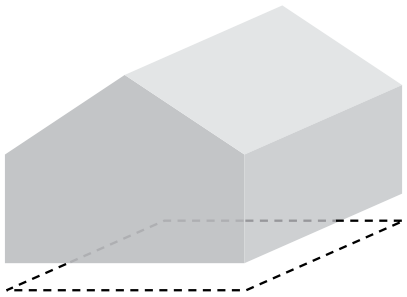
ρ - специфичното обемно съпротивление на почвата, Ω.m (виж “Влияние на типа на почвата” на следващата страница).

Заземителни пръстове (виж **Фиг. E21**)

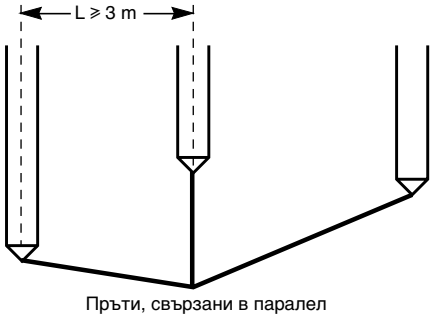
Вертикалните заземителни пръстове се използват най-често при съществуващи сгради и за подобряване (т.е. намаляване на съпротивлението) на съществуващи заземители.

Пръстовете могат да бъдат:

- Медни или (по-често) стоманени, покрити с мед. Последните са обикновено с дължина 1 или 2 m. Те са с резбовидни краища и съединителни муфи за да проникнат на значителна дълбочина, ако е необходимо (например, ниво на подпочвена вода в участъци с високо специфично съпротивление на почвата).
- Поцинкована(виж забележка 1 на следваща страница) стоманена тръба с диаметър ≥ 25 mm или прът с диаметър ≥ 15 mm, с дължина ≥ 2 m.



Фиг. E20: Проводник, заровен под нивото на фундамента, т.е. не е в бетона



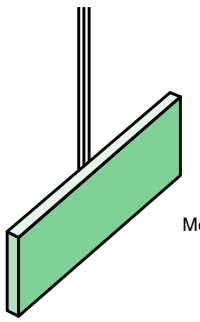
Прути, свързани в паралел

Фиг. E21: Заземителни прути

© Schneider Electric - всички права запазени

За вертикална заземителна плоча: $R = \frac{0.8\ \rho}{L}$

Измерванията на заземителите в аналогични почви са полезни за определяне стойността на специфичното съпротивление, използвано при проектиране на заземителни инсталации



Фиг. E22: Вертикална плоча

Често е необходимо да се използва повече от един прът. В такъв случай разстоянието между тях трябва да превишава дълбочината на полагането им повече от 2 до 3 пъти.
Общото съпротивление в еднородна почва е равно на съпротивлението на един прът разделено на броя на прътите. Приблизителната стойност на съпротивлението R, в Ω, е:

$R = \frac{1}{n}\frac{\rho}{L}$ ако разстоянието между прътите е повече от 4L

където L е дължината на пръта, m;

ρ - специфичното обемно съпротивление на почвата, Ω.m (виж “Влияние на типа на почвата” по-долу);

n - броят на прътовете.

Вертикални плочи (виж **Фиг. E22**)
Правоъгълни плочи, всяка страна на които трябва да бъде ≥ 0,5 m обикновено се използват като заземители, заровени във вертикална плоскост по такъв начин, че центърът на пластината да е разположен най-малко на 1 m под повърхността на земята.
Плочите могат да бъдат:

- Медни с дебелина 2 mm.
- Поцинковани стомани(1) с дебелина 3 mm.

Съпротивлението R, в Ω, се дава (приблизително) чрез:

$R = \frac{0.8\ \rho}{L}$,

където L е периметърът на плочата, m;

ρ - специфичното обемно съпротивление на почвата, Ω.m (виж “Влияние на типа на почвата” по-долу).

Влияние на типа на почвата

Таблица E23: Специфично обемно съпротивление , за различни типове почви

Тип на почвата	Средни стойности на ρ, Ω.m
Заблатени, блата	1 - 30
Тинест наносен слой	20 - 100
Хумус, тор от листа	10 - 150
Торф, чим	5 - 100
Мека глинеста	50
Мергел и плътна глина	100 - 200
Юрска	30 - 40
Глинестопесъчлива	50 - 500
Силициев пясък	200 - 300
Камениста	1,500 - 3,000
Тревисто-каменна	300 - 500
Варовита	100 - 300
Варовик	1,000 - 5,000
Напукан варовик	500 - 1,000
Шиста, глинеста шиста	50 - 300
Слюдена шиста	800
Гранит и пясъчник	1,500 - 10,000
Видоизменен гранит и пясъчник	100 - 600

Таблица E24: Средни стойности на

Тип на почвата	Средни стойности на ρ, Ω.m
Плодородна почва, плътна влажна	50
Суха почва, едрозърнест пясък, нееднородна, неплътна	500
Каменна почва, пръст, сух пясък, натрошени камъни	3,000

(1) При използване на поцинковани проводими материали за заземители може да се окаже, че е необходимо да се използват аноди за катодна защита, за да се избегне бърза корозия на заземителите в агресивна почва. Специално подготвени магнезиеви аноди (в чувал от порест материал, запълнен с подходяща почва) се използват за непосредствено съединение със заземителите. В тези случаи трябва да се консултирате със специалист.

© Schneider Electric - всички права запазени

Измерване и постоянна стойност на съпротивлението между заземителя и земята

Съпротивлението заземител-земя рядко остава постоянно

Основните фактори, влияещи върху това съпротивление са:

■ Влажност на почвата

Сезонните изменения на влагосъдържанието на почвата могат да бъдат значителни при дълбочини до 2 m.

На дълбочина 1 m специфичното обемно съпротивление, а като следствие и съпротивлението R, могат да се изменят от 1 до 3 пъти при влажна зима и сухо лято в райони с умерен климат.

■ Замръзнала почва

Замръзналата земя може да повиши специфичното съпротивление на почвата с няколко порядъка. Това е една от причините, заради която се препоръчва монтаж на дълбоки заземители, особено в райони със студен климат.

■ Стареене

Материалите, използвани за заземители влошават своите характеристики във времето поради различни причини. Например:

□ Химически реакции (в киселинни или основни почви);

□ Галванични токове: поради постоянни блуждаещи токове в земята, например от електрифицирани железопътни линии и т.н. или поради разнородност на металите, образуващи първични галванични елементи. Различните почви, действащи на секциите на един и същ заземител могат да предизвикат образуване на катодни и анодни участъци и като следствие загуба на повърхностен метал от последните участъци. За съжаление най-подходящите условия за заземители с ниско съпротивление (т.е. почва с ниско специфично съпротивление) са също така благоприятни за протичане на галванични токове.

■ Окисляване

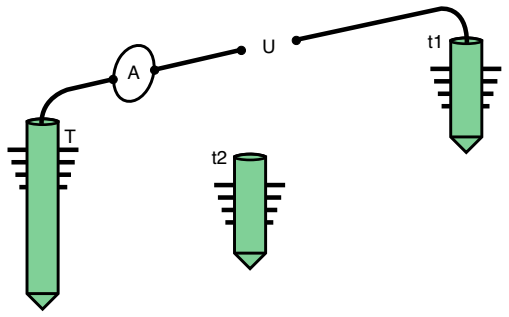
Споените и заварените шевове и връзки са местата, които са най-чувствителни към окисляване. Най-често използваната превантивна мярка е грижливото почистване на новия шев или връзка и покриването с подходящ материал (грес, смола, лента и т.н.).

Измерване съпротивлението на заземител

Трябва винаги да има една или повече разглобяеми електрически връзки (контролни клеми) за отделяне на заземителя, така че той да може да бъде изпитан.

Необходимо е винаги да има контролни клеми, които позволяват заземителя да бъде отделен от уредбата за извършване на периодични проверки на съпротивлението на заземяване. За да се направят такива проверки са необходими два допълнителни заземителя, всеки от които представлява вертикално забит електрод.

■ Метод на амперметъра (виж **Фиг. E25**)



Фиг. E25: Измерване на съпротивлението между земя и заземител на уредба с помощта на амперметър

$$A = R_T + R_{t1} = \frac{U_{Tt1}}{i_1}$$

$$B = R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{t1t2}}{i_2}$$

$$C = R_{t2} + R_T = \frac{U_{t2T}}{i_3}$$

Когато напрежение на източника U е постоянно (една и съща стойност при всяко измерване) тогава:

$$R_T = \frac{U}{2}\left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_3} - \frac{1}{i_2}\right)$$

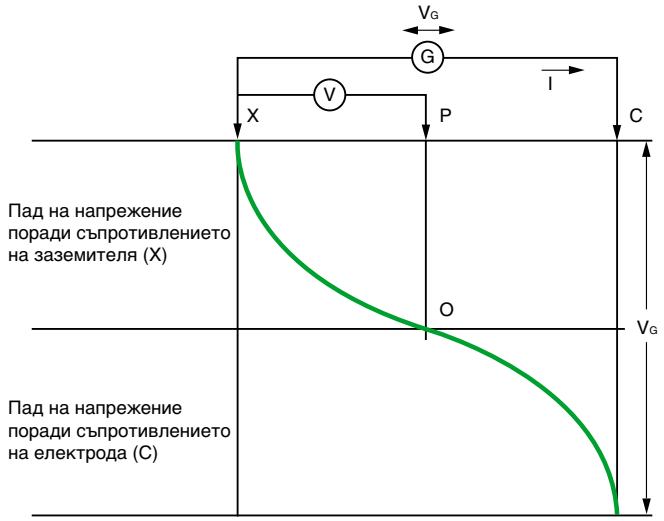
© Schneider Electric - всички права запазени

1 Схеми за заземяване

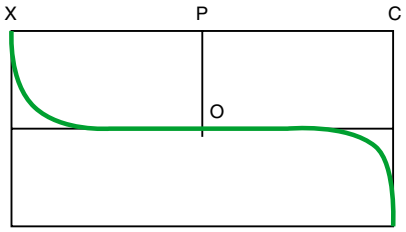
За да се избегнат грешките от блуждаещи токове (галванични постоянни токове или токове на утечка от енергийни и комуникационни мрежи и т.н.) изпитвателният ток трябва да бъде променлив, но с честотата, различна от тази на енергийната система или коя да е нейна хармонична. Като правило апаратите за провеждане на измерването се захранват от генератори с ръчно задвижване, създаващи променливо напрежение с честота (85...135) Hz.
Разстоянията между електродите не са критични и могат да бъдат в различни посоки от заземителя, който се изпитва, съгласно местните условия.
Извършват се определен брой изпитвания при различни разстояния и посоки между електродите, за да се направи кръстосана проверка на резултатите от изпитванията.

■ Използване на омметър с директно отчитане показанието

Такива апарати използват генератор за променлив ток с ръчно задвижване или генератор от електронен тип заедно с два допълнителни електрода. Разстоянието между тях трябва да бъде такова, че зоната на влияние на изпитвания заземител да не припокрива зоната на влияние на контролния електрод C. Контролният електрод C, който е най-отдалечен от изпитвания заземител X, провежда ток през земята и изпитвания заземител. Вторият контролен електрод P контролира напрежението. Това напрежение, измерено между X и P е предизвикано от изпитвателния ток и е мярка за съпротивлението на контакта (изпитван заземител) със земята. Очевидно е, че разстоянието от X до P трябва грижливо да се избира, за да се получат точни резултати. Ако разстоянието от X до C се увеличава, зоните на съпротивление на електродите X и C се отдалечават една от друга и потенциалната крива (напрежение) става по-хоризонтална спрямо т.O. На практика разстоянието от X до C се увеличава до получаване на сходни стойности, снемани от електрода P в три различни точки, т.е. в т. P и приблизително на 5 m от т. P от всяка страна. Обикновено разстоянието то X до P е 0.68 от разстоянието от X до C.



a) Принципът на измерване е основан на предположението за еднородност на почвените условия. Където зоните на влияние на т.C и т.X се припокриват е трудно да се определи местонахождението на изпитвателния електрод P за получаването на задоволителни резултати.



b) Ефект на градиента на потенциала, когато X и P са раздалечени.
Местонахождението на измервателния електрод P не е критично и може лесно да бъде

Фиг. E26: Измерване на съпротивлението земя спрямо заземителя X чрез омметър.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Електрическа уредба

Разпределителните табла, включително главното разпределително табло ниско напрежение (MLVS) са важни при осигуряване надеждността на електрическата уредба. Те трябва да отговарят на съответните стандарти, регулиращи проектирането и конструкцията на нисковолтови комплектни комутационни устройства.

2.1 Разпределителни табла

Разпределителното табло е възел, в който постъпващата електрическа енергия се разделя по отделни вериги, всяка от която се управлява и защитава от комутационната апаратура, намираща се в него. Разпределителното табло е разделено на отделни функционални блокове, всеки от които съдържа необходимите електрически и механични елементи, обединени за съвместно изпълнение на зададена функция. То представлява ключов елемент за надеждността на цялата електрическа уредба.
Затова типа на разпределителното табло трябва да е пригодено перфектно за конкретната област на приложение. Проектът и конструкцията му трябва да съответстват на стандартите и работните процедури.
Обвивката на разпределителното табло осигурява двойна защита:

- Защита на комутационната апаратура, измервателните уреди, релета и др. от механични удари, вибрации и др. външни въздействия, нарушаващи режима на работа (електромагнитни смущения, прах, влага, насекоми и др.).
- Защита на персонала от директно и индиректно поражение от електрически ток (виж кодовете за степен на защита IP и IK в т.3.3 на Глава E).

Типове разпределителни табла

Разпределителните табла могат да се различават според областта на приложение и принципа на проектиране (особено по отношение разположението на сборните шини).

Типове разпределителни табла според областта на приложение

Основните типове разпределителни табла са:

- Главно разпределително табло НН – MLVS (виж **Фиг. E27а**).
- Табла за управление на електродвигатели – MCC (виж **Фиг. E27б**).
- Междинни разпределителни табла (виж **Фиг. E28**).
- Крайни разпределителни табла (виж **Фиг. E29**).

Разпределителните табла за специални области на приложения (например, отопление, асансьори, индустриални процеси) могат да се разполагат:

- Заедно с MLVS, или
- Близо до електрообзавеждането, за което се отнася.

Междинните и крайните разпределителни табла обикновено са разположени из целия обект.

Особеностите на товара определят типа на монтираното разпределително табло.

a

b

Фиг. E27: [a] Главно разпределително табло НН – MLVS (Prisma Plus P) с входящ шинопровод- [b] Табло за управление на електродвигатели - MCC (Okken)

Фиг. E28: Междинно разпределително табло (Prisma Plus G)

a

b

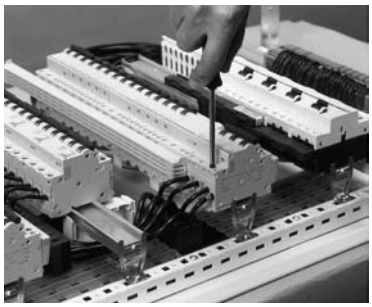
c

Фиг. E29: Крайни разпределителни табла Prisma Plus G Pack [a]; Kaedra [b]; и mini-Pragma [c]

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Електрическа уредба

Различават се два типа табла:
- *Традиционни разпределителни табла, в които комутационната апаратура и мощностните разединители със стопяеми предпазители и др., са закрепени на рама в задната част на обвивката;*
- *Функционални разпределителни табла за специфични области на приложение, изградени с модулна и стандартизирана конструкция.*



Фиг. E30: Монтаж на крайно разпределително табло с фиксирани функционални модули (Prisma Plus G)

Фиг. E31: Разпределително табло със снемаеми функционални модули

Фиг. E32: Разпределително табло с изтегляеми функционални модули в касети (чекмеджета)

Две технологии на разпределителни табла

Традиционни разпределителни табла

Като правило комутационната апаратура, е разположена на рамка в задната част на обвивката. Устройствата за индикация и управление (измервателни апарати, лампи, бутони и др.) са монтирани на лицевата страна на таблото.
Разполагането на компонентите в обвивката изисква много грижлив анализ, отчитащ размерите на всеки елемент, връзките, които трябва да бъдат направени и разстоянията, необходими за осигуряване на безопасност и надеждна работа.

Функционални разпределителни табла

Тези разпределителни табла се изработват от функционални модули, които включват разпределителни устройства заедно със стандартизирани спомагателни устройства за монтаж и съединения, осигуряващи високо ниво на надеждност и голяма гъвкавост при извършване на предпускови и бъдещи изменения.

■ Предимства

Употребата на функционални разпределителни табла е широко разпространена за всички нива на разпределение на електрическа енергия НН, от главното разпределително табло НН (MLVS) до крайните разпределителни табла, поради редица техни предимства:

□ Модулност на системата, която прави възможно обединяване на многобройни функции в едно разпределително табло, включително защита, управление и наблюдаване на електрическите уредби. Освен това, модулната конструкция облекчава техническото обслужване, експлоатацията и разширението на разпределителното табло;

□ Бързо и улеснено проектиране;

□ Възможност за бърз монтаж на отделните компоненти;

□ Освен това, такива разпределителни табла преминават типови изпитвания, което осигурява високи нива на надеждност.

Новите функционални разпределителни табла серия Prisma Plus G и P на Schneider Electric покриват приложения до 3200 A и осигуряват:

□ Гъвкавост и простота при изработване на разпределителните табла;

□ Сертификация на разпределителното табло в съответствие със стандарти БДС EN 60439-1 и IEC 60439 и гаранция за обслужване при безопасни условия;

□ Икономия на време на всички етапи, от проектиране до монтаж, експлоатация и изменения или модернизация;

□ Лека адаптация, например за посрещане на специфични работни условия и стандарти в различни страни.

Фигури E27a, E28 и E29 показват примери на функционални разпределителни табла, за различни номинални мощности, а фиг. E27б показва функционално табло с голяма мощност за индустриални приложения.

■ Основни типове функционални блокове

Три основни технологии се използват при функционалните разпределителни табла:

□ Фиксирани функционални модули (виж **Фиг. E30**)

Тези модули не могат да бъдат изолирани от захранването, така че всяка интервенция за техническо обслужване, внасяне на изменение и др. изискват изключване на цялото разпределително табло. Могат да се използват обаче изваждаеми апарати за минимизация времето на престоя и подобряване непрекъсваемостта на захранването на останалата част от електрическата уредба.

□ Снемаеми функционални модули (виж **Фиг. E31**)

Всеки функционален модул се монтира на разглобяема монтажна рама и се осигурява със средства за разединяване от горестоящата верига (сборни шини) и от долустоящата верига (изходна верига). Затова модулът може да се свали за обслужване без изключване на цялото табло.

□ Изтегляеми функционални модули (виж **Фиг. E32**)

Комутационната апаратура и съответните принадлежности за осигуряване на пълна функционалност са монтирани на изтегляема хоризонтална рама тип чекмедже. Функцията е обикновено комплексна и често се отнася до управление на двигател (моторен прекъсвач, контактор, бутони и т.н.).

Отделянето е възможно от към входната и изходната страна чрез пълно изтегляне на модула, за да се осигури бърза замяна на неизправния модул без прекъсване на електроснабдяването за останалата част от разпределителното табло.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Електрическа уредба

Спазването на използваните стандарти е съществено при осигуряване съответно ниво на надеждност.

Три елемента на стандарта IEC 60439-1 в значителна степен определят надеждността:

- *Ясно определяне на функционални модули;*
- *Типове разделяне между съседни функционални модули, в съответствие с изискванията на потребителя;*
- *Ясно определени заводски и типови изпитвания.*

Стандарти

Специфични стандарти

Разпределителните табла (в частност функционални разпределителни табла) трябва да съответстват на специфични стандарти, съгласно областта на приложение или околната среда.

Използваният международен стандарт е IEC 60439-1 Комплектни комутационни устройства за ниско напрежение - Типово изпитани и частично типово изпитани комплектни комутационни устройства.

Стандарт IEC 60439-1 (Действащият в България стандарт е БДС EN 60439-1, който е еквивалентен и носи същото име).

■ Категории комплектни комутационни устройства (ККУ)

Стандартът IEC 60439-1 определя две категории ККУ:

□ Типово изпитани комплектни комутационни устройства за ниско напрежение (ТТА), които нямат съществени отклонения от установения тип или система, съответствието на които се гарантира от типови изпитвания, предвидени в стандарта;

□ Частично типово изпитани комутационни устройства и възли за ниско напрежение (PTTA), които могат да включват компоненти, не преминали типови изпитвания при условие, че те са получени от типови изпитвани възли.

При реализация от квалифициран персонал в съответствие с професионалните норми и инструкции на производителя такива възли осигуряват същото ниво на безопасност и качество.

■ Функционални модули

Същият стандарт определя функционалните модули:

□ Част от ККУ, включващ всички електрически и механични елементи, обединени за съвместно изпълнение на една и съща функция;

□ Разпределителното табло включва входен функционален модул и един или няколко функционални модули за изходящи вериги в зависимост от експлоатационните изисквания на електрическата уредба.

Освен това технологиите на разпределителното табло използват функционални модули, които могат да бъдат фиксирани, снемаеми и изтегляеми (виж т.3.1. на Глава E).

■ Форми на разделяне (виж **Фиг. E33**)

Разделянето на функционалните модули в таблото, един от друг, се определя чрез т.нар. „форми на разделяне".

Различните форми са означени с цифри от 1 до 4 и букви „a" или „b". Всяка степен (от 1 до 5) е кумулативна, т.е. типът с по-голям номер включва всички характеристики на типовете с по-малки номера. Стандартът включва следните типове:

□ Тип 1: Без разделяне;

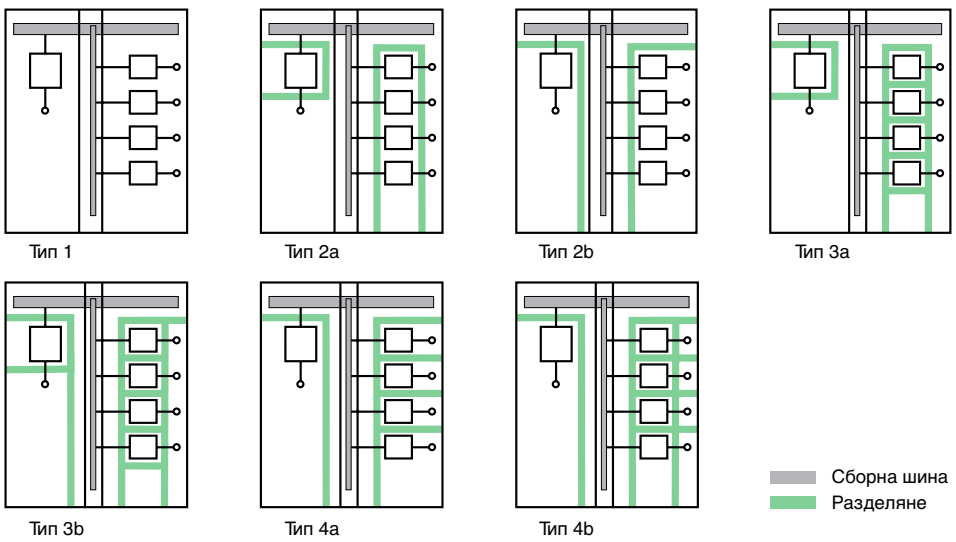
□ Тип 2: Разделяне на сборни шини от функционалните модули;

□ Тип 3: Разделяне на сборни шини от функционалните модули и разделяне на всички функционални модули един от друг, с изключение на техните изходни клеми;

□ Тип 4: Както при тип 3, но с разделяне на изходните клеми на всички функционални модули един от друг.

Решението за избора на типа е основано на договор между производителя и потребителя.

Функционалните разпределителни табла серия Prima Plus предлагат решения за типове 1, 2b, 3b, 4a, 4b.



Фиг. E33: Различни форми на разделяне в разпределителни табла НН

© Schneider Electric - всички права запазени

■ Типови и заводски изпитвания
Те осигуряват съответствие на всяко разпределително табло със стандарта. Достоверността на протоколите от изпитването, сертифицирани от независими организации, е гаранция за потребителите.

Интелигентните разпределителни табла са реалност.

Дистанционен контрол и управление на електрическа уредба

Дистанционният контрол и управление не са ограничават при големи електрически уредби. Тези функции намират все по-широко приложение и осигуряват значително намаляване на разходите.
Основните потенциални преимущества са:
■ Намаляване на сметките за електроенергия.
■ Намаляване разходите за поддържане на уредбата в работно състояние.
■ По-добро използване на инвестицията, в частност оптимизация срока на служба на уредбата.
■ Повишаване нивото на удовлетвореност на потребителите на електроенергия (комунални или индустриални потребители) поради подобряване коефициента на готовност на енергосистемата и/или качеството на доставяната електроенергия.
Предимствата, отбелязани по-горе стават все по-реални, отчитайки текущата дерегулация в електроенергетиката.
Протоколът Modbus намира все по-широко приложение в качеството на отворен стандарт за връзка между компонентите на разпределителното табло и между разпределителното табло и средствата за енергиен контрол и управление, използвани от потребителя. Използват се два типа Modbus: усукана двойка (RS 485) и Ethernet TCP/IP (IEEE 802.3).
На сайта www.modbus.org са представени всички технически характеристики на протокола и постоянно се обновява списъка на изделията и компаниите, използващи отворения индустриален стандарт.
Употребата на web технологии позволява значително да се разшири областта на приложение благодарение рязкото намаляване стойността за достъп до такива функции с употребата на интерфейс, който е вече универсален (web страници) и повишаване нивото на отвореност и възможност за модернизация, които просто не съществуваха преди няколко години.

Възможни са два типа на разпределение:
■ Чрез изолирани проводници и кабели;
■ Чрез шинна магистрала (шинопроводи).

2.2 Кабели и шинопроводи

Разпределение на електрическа енергия чрез изолирани проводници и кабели

Термини
■ Проводник

Проводникът се състои от метално жило с или без изолационна обвивка.
■ Кабел

Кабелът се състои от отделни проводници, електрически разделени, но свързани механично, обикновено разположени в защитна гъвкава обвивка.
■ Кабелопровод

Терминът кабелопровод се отнася към проводници и/или кабели, заедно със средствата за тяхното закрепване и защита и т.н. Например, кабелен канал, тръби, лавици и т.н., наричани всички кабелопроводи.

Маркировка на проводници
Идентификацията на проводника трябва винаги да става в съответствие със следните три правила:
■ Правило 1
Зеленият цвят, в съчетание с жълтия, се използва само за PE и PEN защитни проводници.
■ Правило 2
□ Когато една верига съдържа неутрален проводник N, той трябва да бъде светлосин или маркиран с „1”, за кабели с повече от 5 проводника;
□ Когато една верига няма неутрален проводник, светлосиният проводник може да бъде използван като фазов проводник, ако той е част от кабел, с повече от един проводник.
■ Правило 3
Фазовите проводници могат да бъдат в какъвто и да е цвят без:
□ Зелен в съчетание с жълт;
□ Зелен
□ Жълт

© Schneider Electric - всички права запазени

□ Светлосин (виж правило 2).

Таблица E34: Разпознаване на проводници според типа на веригата

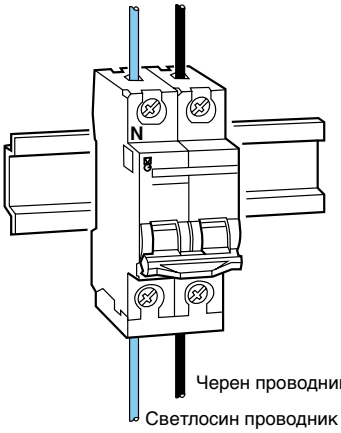
Провод-ници във верига бр.	Верига	Фиксирани кабелопроводи									
		Изолирани проводници					Твърди и гъвкави многожилни кабели				
		Ph	Ph	Pn	N	PE	Ph	Ph	Ph	N	PE
1	Защита или земя					G/Y					
2	Еднофазна и между фази	■	■				BL	LB			
	Еднофазна между фаза и неутрала	■			LB		BL			LB	
	Еднофазна между фаза и неутрала + защитен проводник	■			G/Y		BL			G/Y	
3	Трифазна без неутрала	■	■	■			BL	B	LB		
	Две фази + неутрала	■	■		LB		BL	B		LB	
	Две фази + защитен проводник	■	■			G/Y	BL	LB			G/Y
	Еднофазна между фаза и неутрала + защитен проводник	■			LB	G/Y	BL			LB	G/Y
4	Трифазна с неутрала	■	■	■	LB		BL	B	BL	LB	
	Трифазна без неутрала + защитен проводник	■	■	■		G/Y	BL	B	LB		G/Y
	Две фази + неутрала + защитен проводник	■	■		LB	G/Y	BL	B		LB	G/Y
	Трифазна с PEN проводник	■	■	■	G/Y		BL	B	LB	G/Y	
5	Трифазна + неутрала + защитен проводник	■	■	■	LB	G/Y	BL	B	BL	LB	G/Y
> 5		Защитен проводник: G/Y - Други проводници: BL: с номерация Номер “1” е запазен за неутралния проводник, ако той съществува.									

G/Y: Зелен и жълт BL: Черен ■ : Както е посочено в правило 3 LB: Светлосин B: Кафяв

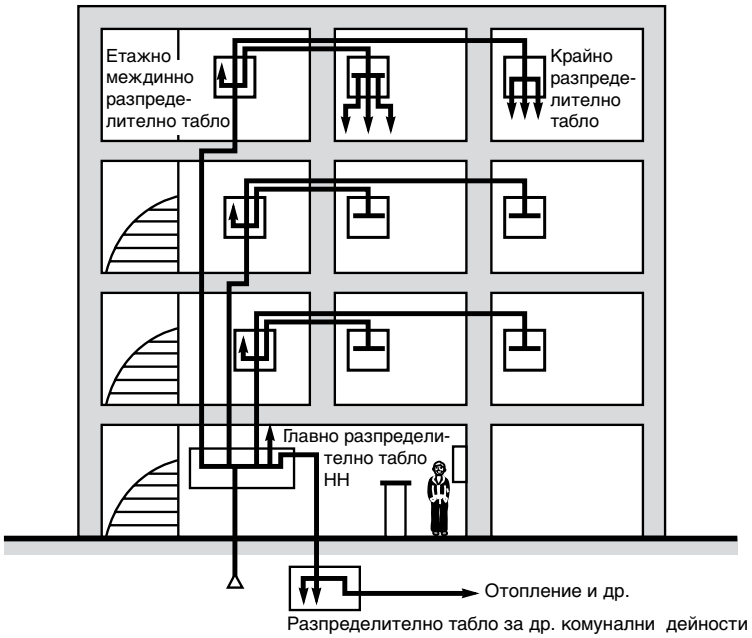
Проводниците в кабела се разпознават по техния цвят или номера (виж **Табл. E34**)
Забележка: Ако веригата включва защитен проводник и ако наличният кабел няма жълтозелен проводник, защитният проводник може да бъде:
- Отделен проводник с редуващи ивици в жълт и зелен цвят
- Син проводник, ако веригата няма неутрален проводник.
- Черен проводник, ако веригата има неутрален проводник.

В последните два случая. използваният проводник трябва да бъде маркиран чрез жълто-зелени ивици или маркировки в двата края и на всички видими участъци на проводника.
Шнуровете на електроуредите са маркирани като многожилни кабели (виж **Фиг. E35**).

Методи за разпределение и монтаж (виж **Фиг. E36**)
Разпределението се осъществява чрез кабелопроводи с изолирани проводници или кабели и включва система за закрепване и механична защита.



Фиг. E35: Разпознаване на фазов и нулев проводник на автоматичен прекъсвач.



Фиг. E36: Радиално електроразпределение чрез кабели в хотел.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Електрическа уредба

Шинопроводите се отличават с бърз и лесен монтаж, гъвкавост и голям брой изходни точки.

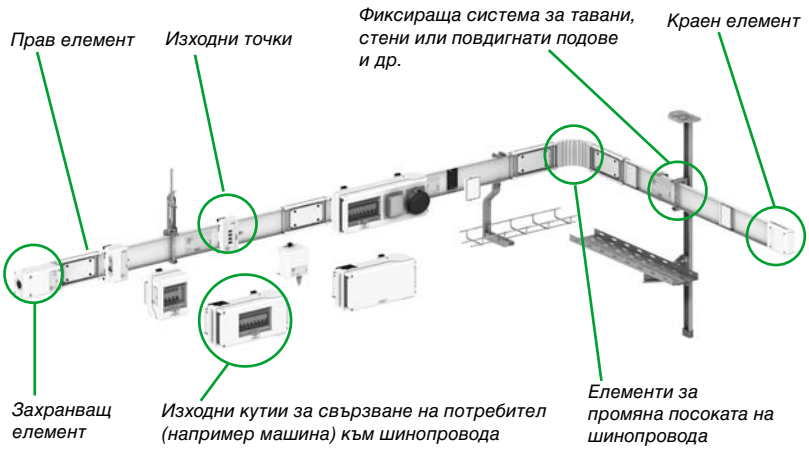
Шинна магистрала (шинопроводи)

Шинопроводите са предназначени за разпределение на ток от 40 до 5000 A и за осветителни системи (в този случай шинопроводът играе двойна роля – за електроснабдяване и закрепване на осветителни тела).

Компоненти на шинопроводната система

Шинопроводната система съдържа комплект от проводници (шини), изолирани помежду си и защитени чрез обвивка (виж Фиг. E37). Използваните за пренасяне и разпределение на електрическа енергия шинопроводни системи имат всички необходими елементи за монтаж: съединители, прави елементи, елементи за промяна посоката на шинопровода, аксесоари за монтаж и др. Изходните точки, разположени на равни интервали, дават възможност за захранване с електрическа енергия на потребители по цялото протежение на шинопровода.

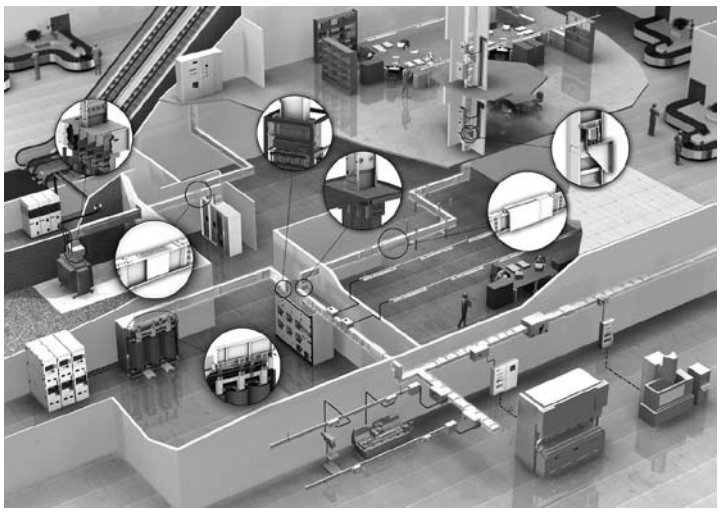
E20



Фиг. E37: Шинопроводи за електроразпределение от 25 до 4000 A

Типове шинопроводи:

Съществуват шинопроводни системи за всяко ниво на електрическо разпределение: от връзката между трансформатора и главното разпределително табло НН (MLVS) до разпределителните вериги за контакти и осветление на офиси или силово разпределение в работилници и цехове.



Фиг. E38: Радиално разпределение, използващо шинопроводи

© Schneider Electric - всички права запазени

Съществуват три основни категории шинопроводи:
■ Шинопровод от трансформатора до главното разпределително табло НН (MLVS).
Инсталацията на шинопровода може да се разглежда като постоянна и рядко се подлага на изменение. Няма изходни точки от шинопровода.
Обикновено се използва за къси разстояния. Почти винаги се използва за номинални токове над (1600…2000) A, т.е. когато употребата на паралелни кабели е невъзможна. Шинопроводите също се използват за връзка между MLVS и долустоящите разпределителни табла.
Характеристиките на такива главни шинопроводи са разчетени за токове от 1000 до 5000 A и токове на късо съединение до 150 kA.
■ Междинен разпределителен шинопровод с ниска или висока плътност на изходящи точки.
Междинният разпределителен шинопровод осигурява захранване на два типа товари:
□ Помещения от среден размер (производствени цехове с преси за леене под налягане и металообработващи машини или големи супермаркети с големи товари). Нивото на тока на късо съединение и работния ток могат да бъдат сравнително високи (съответно от 20 до 70 kA и от 100 до 1000 A);
□ Малки обекти (цехове с металорежещи машини, текстилни фабрики с малки машини, супермаркети с малки товари). Стойностите на тока на късо съединение и работния ток са по-ниски (съответно от 10 до 40 kA и от 40 до 400 A);
Междинният разпределителен шинопровод удовлетворява потребностите на потребителите по отношение на:
□ Възможност за бързо и лесно изменение и модернизация чрез големия брой изходни точки;
□ Функционална надеждност и непрекъснатост на електроснабдяването, тъй като изходните кутии могат да се присъединяват без изключване на захранването при пълна безопасност;
Тези шинопроводи намират приложение и за вертикално електроразпределение от 100 до 5000 A във високи сгради.
■ Разпределителен шинопровод за осветление.
Приложение намират два типа шинопроводи в зависимост от необходимостта да се използва шинопровода за фиксиране на осветителни тела или не:
□ Шинопровод, проектиран за фиксиране на осветителни тела
Тези шинопроводи захранват и фиксират осветителни тела. Те се използват в индустриални сгради, супермаркети, универсални магазини и складове. Тези шинопроводи са твърди и са проектирани за една или две вериги 25 или 40 A и имат отклонения на всеки 1,5 m.
□ Шинопровод, който не е проектиран за фиксиране на осветителни тела
Подобни на предварително изработени кабелни системи, тези шинопроводи се използват да захранят всички типове осветителни тела, закрепени към конструкцията на сградата. Те се използват в административни и търговски сгради (офиси, магазини, ресторанти, хотели и др.) особено в окачени тавани. Шинопроводът е гъвкав и е проектиран за една верига 20 A и има отклонения на всеки 1,5 или 3 m.
Шинопроводните системи отговарят на изискванията на голям брой сгради:
■ Индустриални сгради: гаражи, цехове, ферми, логистични центрове и др.
■ Търговски площи: складове, молове, супермаркети и др.
■ Други сгради: офиси, училища, болници, спортни зали, хотели, големи кораби и др.

Стандарти

Шинопроводните системи трябва да отговарят на изискванията на IEC 60439-2 (БДС EN 60439-2).
Той определя съответствието между техническите параметри и предназначението на шинопроводните системи (температурни характеристики, устойчивост на късо съединение, механична якост и др.), а също и методите за тяхната проверка.
Стандартът IEC 60439-2 определя 13 задължителни типови изпитвания.
При асемблиране на компонентите на системата на място, съгласно инструкциите за монтаж, предприемачът печели от съответствието със стандарта.

Предимства на шинопроводните системи

Гъвкавост
■ Лесна промяна в конфигурацията (бърза модификация на място при промяна на конфигурацията на производствената линия или разширяване на производствените площи).
■ Повторно използване на компоненти (компонентите са непокътнати): когато една уредба се подлага на големи промени, шинопроводът лесно се демонтира и отново се употребява.
■ Разполагаемо захранване в цялата уредба (възможност за разполагане на изходни точки на всеки метър по дължината на шинопровода.
■ Широк избор на изходни модули.

© Schneider Electric - всички права запазени

Простота

■ Проектирането може да бъде извършено независимо от разпределението и схемата на разположение на електрическите потребители.
■ Работните характеристики са независими от изпълнението: употребата на кабели изисква много коефициенти за намаляване на натоварването, отчитащи начина на полагането му и др.
■ Проста схема за разпределение.
■ Намаляване времето за монтаж: шинопроводната система позволява времето за монтаж да бъде намалено до 50 % в сравнение с това при традиционна кабелна инсталация.
■ Гаранция на производителя.
■ Контролирано време за изпълнение: концепцията за шинопроводната система гарантира отсъствието на неочаквани проблеми при монтаж. Времето за монтаж е известно предварително и може да бъде намерено бързо решение за каквито и да са проблеми, възникващи на място с помощта на това адаптируемо и модулно обзавеждане.
■ Лесно изпълнение: модулни компоненти, които са подходящи за ръчен монтаж, бързо и лесно се свързват.

Надеждност

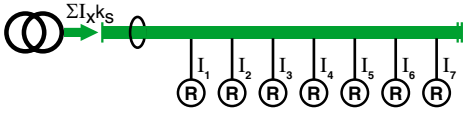
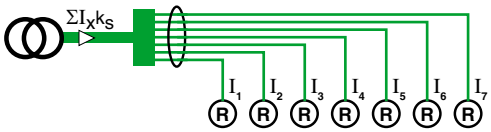
■ Система от фабрично изработени компоненти.
■ Модули, защитени срещу повреди, предизвикани от неправилно манипулиране.
■ Последователното свързване на прави елементи и изходни кутии прави невъзможно допускането на каквито и да са грешки при свързване.

Непрекъснатост на захранването

■ Големият брой изходни точки за разпределение осигурява лесно захранване с електроенергия, на който и да е нов електрически потребител.Присъединяването и изключването е бързо и може да бъде извършено под напрежение при пълна безопасност. Тези две операции (добавяне или модифициране) могат да се извършват, без да се прекъсва захранването на останалата част от уредбата.
■ Бързо и лесно откриване на повредата, тъй като електрическите потребители са близо до захранващата линия.
■ Техническо обслужване не е необходимо или е силно намалено.

Ефективно използване на материалите и опазване на околната среда

■ Шинопроводните системи позволяват веригите да бъдат обединени. Поради концепцията на шинопроводната система, употребата на материали от мед и изолатори е три пъти по-малка, сравнена с традиционна кабелна разпределителна система (виж **Фиг. E39**).

Тип на разпределение	Проводници	Изолатори	Консумация
Шинопровод с отклонения			
	Алуминий: 128 mm² Меден еквивалент: 86 mm²	4 kg	1 000 J
ks: клъстерен коефициент = 0.6			
Централизирано (с кабели)			
	Мед: 250 mm²	12 kg	1 600 J
ks: клъстерен коефициент = 0.6			

Фиг. E39: Пример: шинопроводна система Canalis KS 250 A, с дължина 30 m, с 10 броя изводи за номинален ток 25 A

■ Повторно използване на устройството и всички негови компоненти.
■ Не съдържа PVC и не генерира токсични газове или отпадъци.
■ Намаляване на рисковете от облъчване с електромагнитни полета.

Нови функционални характеристики на шинопроводите Canalis

Шинопроводните системи се усъвършенстват непрекъснато. Сред новите свойства могат да се отбележат:
■ Подобрени характеристики със степен на защита IP 55 и номинални параметри от 160 до 1000 A (KS).
■ Нови оферти за осветление с предварително окабеляване на тела и нови канали за осветление.
■ Нови аксесоари за монтаж. Бързо фиксираща система, кабелни канали, съдържащи комуникационни вериги “VDI” (за пренос на данни, глас и видео).

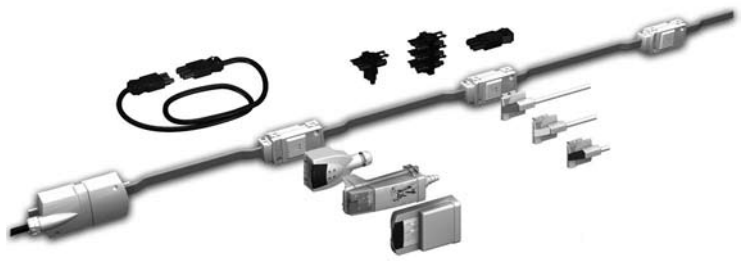
© Schneider Electric - всички права запазени

2 Електрическа уредба

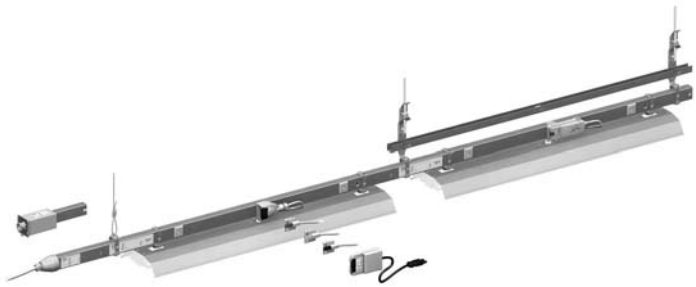
Шинопроводните системи са вписани перфектно в околната среда:

- Белият цвят подобрява работната околна среда, естествено се интегрира с голям брой елементи за разпределение.
- Съответствие с Европейските норми за намаляване на опасни материали (RoHS).

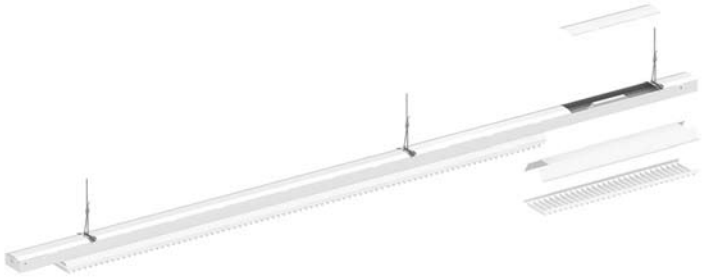
Примери на шинопроводни системи тип Canalis



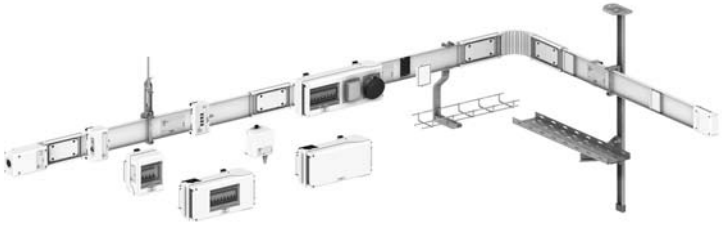
Фиг. E40: Гъвкав шинопровод Canalis KDP (20 A)



Фиг. E41: Твърд шинопровод, предназначен за фиксиране на осветителна арматура: Canalis KBA или KBB (25 - 40 A)



Фиг. E42: Светеща ивица Canalis KBX (25 A)

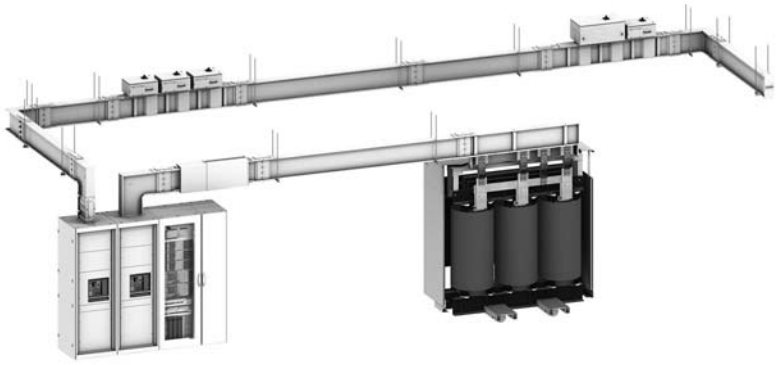


Фиг. E43: Разпределителен шинопровод за средна мощност: Canalis KN (от 40 до 160 A)

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Електрическа уредба

Фиг. E44: Разпределителен канал за средна мощност: Canalis KS (от 100 до 1000 A)



Фиг. E45: Щинопровод за разпределение на голяма мощност: Canalis KT (от 800 до 5000 A)

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Външни въздействия (IEC 60364-5-51)

3.1 Определения

Външните въздействия трябва да се отчитат при избор на:
- *Подходящи мерки за осигуряване безопасност на хората (в частност специални обекти или електрически уредби);*
- *Характеристики на електрообзавеждането, такива като степен на защита (IP), устойчивост на механични въздействия (IK) и др.*

Всяка електрическа уредба работи в околна среда, която определя в различна степен риска за:
- Хората;
- Обзавеждането на електрическата уредба.

Затова околната среда влияе при определяне и избора на подходящо електрообзавеждане и защитни мерки за безопасност на хората.
Условията на околната среда се означават с общия термин „външни въздействия". Много национални стандарти, разглеждащи външните въздействия включват схема за класификация, която е основана или е много подобна на тази в международния стандарт IEC 60364-5-1.

3.2 Класификация

При няколко едновременно действащи външни фактори, оказващи независимо или взаимносвързано въздействие, степента на защита трябва да се избира съгласно посочените особености.

Всеки фактор на външно въздействие е означен с код, включващ група от две главни букви и цифри, както следва:

Първа буква (A, B или C)
Първата буква се отнася към главната категория външно въздействие:
- A = околна среда;
- B = експлоатация;
- C = конструкция на сградите.

Втора буква
Втората буква описва природата на външното въздействие.

Цифра
Цифрата означава класа на всяко външно въздействие.

Допълнителна буква (незадължителна)
Използва се, когато ефективната защита на хората е по-голяма от тази, означена с първата цифра на IP.
Когато трябва да бъде посочена само защитата на хора, двете цифри на IP кода се заместват с XX.
Пример: IP XXB.

Пример
Например кодът AC2 означава:
A = околна среда;
AC = надморска височина;
AC2 = надморска височина по-голяма от 2000 m.

3.3 Списък на външни въздействия

Таблица E46, посочена по-долу, е взета от стандарт IEC 60364-5-1 и служи за справочен документ, когато трябва да се получи подобна информация.

Таблица E46: Списък на външни въздействия (от приложение A на IEC 60364-5-1, продължение на следващата страница)

Код	Външни въздействия			Изисквани характеристики на обзавеждането
A - Околна среда				
AA	**Температура, °C**			
	Мин.	Макс.		
AA1	- 60	+ 5		Специално разработено електрообзавеждане или подходящи мерки
AA2	- 40	+ 5		
AA3	- 25	+ 5		
AA4	- 5	+ 40		Нормални (специални предпазни мерки в определени случаи)
AA5	+ 5	+ 40		Нормални
AA6	+ 5	+ 60		Специално разработено електрообзавеждане или подходящи мерки
AA7	- 25	+ 55		
AA8	- 50	+ 40		

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Външни въздействия (IEC 60364-5-51)

Таблица E46: Списък на външни въздействия (от приложеше A на IEC 60364-5-1, продължение на следващата страница)

Код	Външни въздействия						Изисквани характеристики на обзавеждането
A - Околна среда							
AB	**Климатични условия**						
	Темп. на въздуха, °C		Относит. влажност, %		Абсол. влажност, g/m³		
	Ниска	Висока	Ниска	Висока	Ниска	Висока	
AB1	- 60	+ 5	3	100	0.003	7	Подходящи мерки трябва да бъдат взети
AB2	- 40	+ 5	10	100	0.1	7	
AB3	- 25	+ 5	10	100	0.5	7	
AB4	- 5	+ 40	5	95	1	29	Нормални
AB5	+ 5	+ 40	5	85	1	25	Нормални
AB6	+ 5	+ 60	10	100	1	35	Подходящи мерки трябва да бъдат взети
AB7	- 25	+ 55	10	100	0.5	29	
AB8	- 50	+ 40	15	100	0.04	36	
AC	**Надморска височина**						
AC1	⩽ 2000 m						Нормални
AC2	> 2000 m						Могат да се изискват допълнителни предпазни мерки (коефициент на намаляване стойности)
AD	**Наличие на вода**						
AD1	Незначително		Открито или незащитено от атмосферно въздействие електрообзавеждане				IPX0
AD2	Падане на капки вода						IPX1 or IPX2
AD3	Пръскане с вода						IPX3
AD4	Плискане						IPX4
AD5	Обливане с водна струя		Места, където се използват водни шлангове				IPX5
AD6	Водни вълни		Брегови обекти (кейове, плажове, вълноломи ...)				IPX6
AD7	Потапяне		Водата е на 150 mm над най-горната точка на електрообзавеждането, но не по-вече от 1 m под повърхността ѝ				IPX7
AD8	Под вода		Електрообзавеждането е постоянно и изцяло под вода				IPX8
AE	**Наличие на чужди твърди тела**						
			Минимален размер		Пример		
AE1	Незначително						IP0X
AE2	Малки предмети		2.5 mm		Инструменти		IP3X
AE3	Много малки предмети		1 mm		Проводници		IP4X
AE4	Слабо запрашаване						IP5X, ако провикването на прах не нарушава работата
AE5	Средно запрашаване						IP6X , ако прахът не трябва да проникна в уреда
AE6	Силно запрашаване						IP6X
AF	**Наличие на корозионни вещества или замърсители**						
AF1	Незначително						Нормални
AF2	С атмосферен произход						Според характера на веществото
AF3	Периодично или случайно						Защита от корозия
AF4	Постоянно		Специално разработено електрообзавеждане				
AG	**Механични напрежения**						
AG1	Слаби						Нормални
AG2	Средни						Съгласно използвания стандарт или усилен материал
AG3	Значителни						Усилена защита
AH	**Вибрации**						
AH1	Слаби		Битови или подобни уреди				Нормални
AH2	Средни		Обикновени промишлени условия				Specially designed equipment or special arrangements
AH3	Значителни		Тежки промишлени условия				
AJ	**Други фактори на механични напрежения**						
AK	**Наличие на флора или плесени**						
AH1	Незначително						Нормални
AH2	Опасности						
AL	**Наличие на фауна**						
AH1	Незначително						Нормални
AH2	Опасности						
AM	**Електромагнитни, електростатични или йонизиращи въздействия/нискочестотни електромагнитни явления/хармоници**						
AM1	Хармоници, хармонични съставящи						Виж използваните стандарти на IEC
AM2	Предаване на сигнали за телеуправление						
AM3	Изменения на амплитудата на напрежението						
AM4	Несиметрично напрежение						
AM5	Вариации на честотата на мрежата						
AM6	Индуктирани нискочестотни напрежения						
AM7	Постоянна съставяща в променливотокови мрежи						
AM8	Излъчвани електромагнитни полета						
AM9	Електрически полета						
AM21	Високочестотни електромагнитни явления						

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Външни въздействия (IEC 60364-5-51)

Таблица E46: Списък на външни въздействия (от приложение A на IEC 60364-5-1, край)

Код	Външни въздействия	Изисквани характеристики на обзавеждането
A - Околна среда		
AM22	Внесени еднопосочни преходни в наносекундния обхват	Виж използваните стандарти на IEC
AM23	Внесени еднопосочни преходни в милисекундния или микросекундния обхват	
AM24	Индуктирани краткотрайни колебания	
AM25	Високочестотни излъчвания	
AM31	Електростатични разряди	
AM41	Йонизация	
AN	**Слънчева радиация**	
AN1	Ниска	Нормални
AN2	Средна	
AN3	Висока	
AP	**Сеизмични ефекти**	
AP1	Незначителни	Нормални
AP2	Слаби	
AP3	Средни	
AP4	Силни	
AQ	**Мълнии, керонично ниво**	
AQ1	Незначителни	Нормални
AQ2	Индиректни	
AQ3	Директни	
AR	**Движение на въздуха**	
AR1	Слабо	Нормални
AR2	Средно	
AR3	Силно	
AS	**Вятър**	
AS1	Слаб	Нормални
AS2	Умерен	
AS3	Силен	
B - Експлоатация		
BA	**Компетентност на лицата**	
BA1	Обичайна	Нормални
BA2	Деца	
BA3	Немощни хора	
BA4	Инструктирани	
BA5	Квалифицирани	
BB	**Електрическо съпротивление на човешкото тяло**	
BC	**Контакт на хората с потенциала на земята**	
BC1	Без контакти	Клас на обзавеждане съгласно IEC61140
BC2	Редки контакти	
BC3	Чести контакти	
BC4	Непрекъснати контакти	
BD	**Условия на евакуация при аварийни обстоятелства**	
BD1	Нормални - лесен изход	Нормални
BD2	Трудни - усложнен изход	
BD3	Със задръствания - лесен изход	
BD4	Трудни и със задръствания - усложнен изход	
BE	**Вид на обработваните или съхраняваните материали**	
BE1	Незначителна опасност	Нормални
BE2	Опасност от пожар	
BE3	Опасност от взрив	
BE4	Опасност от замърсяване	
C - Изпълнение на сградите		
CA	**Строителни материали за конструкциите**	
CA1	Негорими	Нормални
CA2	Горими	
CB	**Конструкция на сградите**	
CB1	Незначителна опасност	Нормални
CB2	Разпространение на пожар	
CB3	Подвижност	
CB4	Гъвкавост или нестабилност	

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Външни въздействия (IEC 60364-5-51)

3.4 Защита на електрообзавеждане закрит тип: кодове IP и IK

Определение на код IP (виж **Фиг. E47**)

IP код е система за кодиране, регламентирана в стандарта IEC 60529, с която се означава степента на защита, осигурена чрез обвивка.

Осигурява се защита срещу следните външни въздействия:

- Проникване на твърди частици;
- Защита на хора срещу достъп на части под напрежение;
- Защита срещу проникване на прах;
- Защита срещу проникване на течности.

Забележка: Кодът IP се използва за електрообзавеждане, предназначено за напрежения до 72,5 kV включително.

Елементи на кода IP и техните стойности

Кратко описание на елементите на кода IP е посочено в следната таблица (виж **Табл. E48**).

Елемент	Цифри или букви	Значение за защитата на електрообзавеждането	Значение за защита на хора
Кодови букви	**IP**		
Първа характеристична цифра	**0**	**Защита срещу проникване на твърди чужди тела** (Без защита)	**Защита срещу достъп до опасни части** (Без защита)
	1	Диаметър ⩾ 50 mm	Опако на ръка
	2	Диаметър ⩾ 12.5 mm	Пръст
	3	Диаметър ⩾ 2.5 mm	Инструмент
	4	Диаметър ⩾ 1.0 mm	Тел
	5	Прахозащитена	Тел
	6	Прахонепроницаема	Тел
Втора характеристична цифра	**0**	**Защита срещу проникване на вода** (Без защита)	
	1	Вертикално капеща вода	
	2	Капеща вода (наклон 15°)	
	3	Пръскане	
	4	Плискане	
	5	Водна струя	
	6	Мощна водна струя	
	7	Временно потапяне	
	8	Продължително потапяне	
Добавена буква (незадължителна)	**A**		**Защита срещу достъп до опасни части с:** Опако на ръка
	B		Пръст
	C		Инструмент
	D		Тел
Допълнителна буква (незадължителна)	**H**	**Допълнителна информация, специфична за:** Съоръжения за високо напрежение	
	M	Движение по време на изпитването с вода	
	S	Неподвижност при изпитването с вода	
	W	Атмосферни условия	

Таблица E48: Елементи на кода IP

Когато не е необходимо да се определя характеристична цифра, тя се заменя с буквата X ("XX", ако са пропуснати и двете цифри). Добавените и/или допълнителни букви могат да се изпускат без такава замяна

Фиг. E47: Типово означение на IP код

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Външни въздействия (IEC 60364-5-51)

Определение на код IK

Стандартът IEC 60242 определя IK код, характеризиращ устойчивостта на обзавеждането към механични въздействия (виж **Табл. E49**).

Таблица E49: Елементи на код IK

Код IK	Енергия на удара, J	Код AG
00	0	
01	⩽ 0.14	
02	⩽ 0.20	AG1
03	⩽ 0.35	
04	⩽ 0.50	
05	⩽ 0.70	
06	⩽ 1	
07	⩽ 2	AG2
08	⩽ 5	AG3
09	⩽ 10	
10	⩽ 20	AG4

Кодове IP и IK за разпределителни табла

Степените за защита IP и IK, осигурявани от обвивка, трябва да бъдат посочени в зависимост от различни външни въздействия, определени в стандарт IEC 60364-5-51, в частност:

- Наличие на твърди частици (код AE);
- Наличие на вода (код AD);
- Механични напрежения (без код);
- Характеристика на персонала (код BA);
- …

Разпределителните табла Prisma Plus са предназначени за закрита електрическа уредба.
Ако не е посочено друго в правила, норми и стандарти на конкретната страна Schneider Electric препоръчва следните стойности на IP и IK (виж табл. E.50 и E.51).

Препоръчвани стойности на код IP

Таблица E50: Препоръчвани стойности на код IP

Условия	Предназначение	Кодове IP
Нормални условия без риск от вертикално падаща вода	Технически помещения	30
Нормални условия с риск от вертикално падаща вода	Проходи	31
Крайно тежки условия с риск от пръскаща вода от всички страни (направления)	Цехове	54/55

Препоръчвани стойности на код IK

Таблица E51: Препоръчвани стойности на код IK

Условия	Предназначение	Кодове IK
Без риск от големи ударни натоварвания	Технически помещения	07
Значителен риск от големи ударни натоварвания, които могат да доведат до повреждане на устройствата	Проходи	08 (обвивка с врата)
Максимален риск от ударни натоварвания, които могат да повредят обвивката	Цехове	10

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава F
Защита срещу поражения от електрически ток

Съдържание

1	**Общи сведения**	**F2**
	1.1 Поражения от електрически ток	F2
	1.2 Защита срещу поражения от електрически ток	F3
	1.3 Директен и индиректен допир	F3
2	**Защита срещу директен допир**	**F4**
	2.1 Мерки за защита срещу директен допир	F4
	2.2 Допълнителни мерки за защита срещу директен допир	F5
3	**Защита при индиректен допир**	**F6**
	3.1 Защитни мерки: две нива	F6
	3.2 Автоматично изключване за схема TT	F7
	3.3 Автоматично изключване за схема TN	F8
	3.4 Автоматично изключване при втора повреда за схема IT	F10
	3.5 Мерки за защита срещу директен или индиректен допир без автоматично изключване на захранването	F13
4	**Защита на имущество и материални ценности при пробив в изолацията**	**F17**
	4.1 Мерки за защита срещу опасност от пожар с RDC	F17
	4.2 Защита срещу земно съединение	F17
5	**Изпълнение на схема TT**	**F19**
	5.1 Защитни мерки	F19
	5.2 Координация на RCD	F20
6	**Изпълнение на схема TN**	**F23**
	6.1 Предварителни условия	F23
	6.2 Защита при индиректен допир	F23
	6.3 Високочувствителни RCD	F27
	6.4 Защита на пожароопасни помещения	F28
	6.5 Защита при особено голям импеданс на верига със земно съединение	F28
7	**Изпълнение на схема IT**	**F29**
	7.1 Предварителни условия	F29
	7.2 Защита при индиректен допир	F30
	7.3 Високочувствителни RCD	F34
	7.4 Защита на пожароопасни помещения	F35
	7.5 Защита при особено голям импеданс на верига със земно съединение	F35
8	**Дефектнотокови защити (RCD)**	**F36**
	8.1 Типове RCD	F36
	8.2 Описание	F37
	8.3 Чувствителност на RCD към смущения	F37
	8.4 Препоръки при монтаж на RCD с отделни диференциални токови трансформатори	F41
	8.5 Избор на характеристики на RCD без вградена защита срещу свръхток (RCCB - IEC 61008)	F42

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Общи сведения

1.1 Поражения от електрически ток

Когато през човешкото тяло протича ток, с големина повече от 30 mA, човекът е в сериозна опасност, ако токът не се прекъсне за много кратко време.
Защитата на хора срещу поражение от електрически ток в уредби НН трябва да бъде осигурена съгласно съответните национални стандарти, нормативни правила, официални препоръки и др.
Съответните стандарти на IEC включват: IEC 60364, IEC 60479 серии, IEC 61008, IEC 61009 и IEC 60947-2.

Под поражения от електрически ток се разбира патофизиологичното въздействие на електрическия ток, протичащ през тялото на човек.

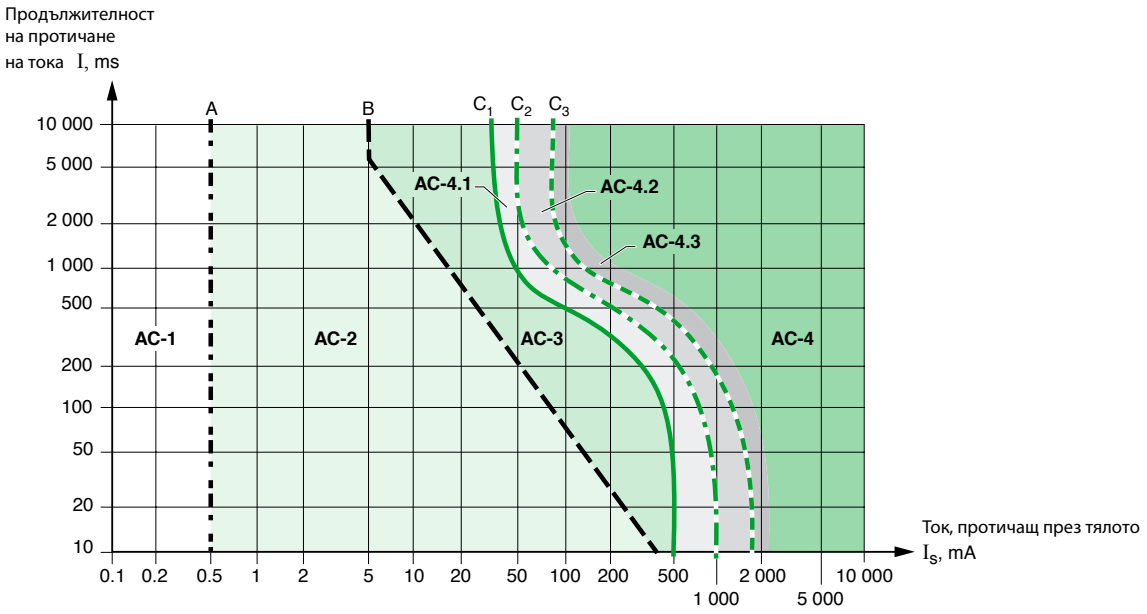
Неговото протичане влияе съществено на мускулната и дихателната функции и функцията за кръвообращение, и понякога предизвиква сериозни изгаряния. Степента на опасност за жертвата зависи от големината на тока, от частите на тялото, през които той протича и продължителността му.

В стандарт IEC 60479-1, изменен и допълнен през 2005 г., са определени четири зони в координата система големина на тока/продължителност на протичане. За всяка от тях са описани патофизиологичните ефекти (виж Фиг. F.1). Всеки човек, влязъл в контакт с метална част, намираща се под напрежение, рискува да бъде поразен от електрически ток.

Крива C1 показва, че ако силата на тока е по-голяма от 30 mA и преминава през тялото на човека от едната ръка към другата, е вероятно той да загине, ако токът не се изключи за относително кратко време.

Точката с координата 500 ms/100 mA върху кривата C1 съответства на вероятност 0,14 % за фибрилация на сърцето.

Защитата на хора срещу поражение от електрически ток в електрическите уредби НН трябва да се осигурява съгласно съответните национални стандарти, нормативни правила, официални препоръки и ведомствени правилници и др. Съответните международни стандарти включват серии IEC 60364, IEC 60479, IEC 606755, IEC 61008, IEC 61009 и IEC 60947-2.



Зона **AC-1**: Неосезаемо въздействие
Зона **AC-2**: Осезаемо въздействие
Зона **AC-3**: Обратими ефекти: мускулно съкращение
Зона **AC-4**: Възможност за необратими ефекти
Зона **AC-4.1**: Вероятност за фибрилация на сърцето до 5 %
Зона **AC-4.2**: Вероятност за фибрилация на сърцето до 50 %
Зона **AC-4.3**: Вероятност за фибрилация на сърцето над 50 %

Крива **A**: Прагов усещан ток
Крива **B**: Прагов ток на мускулна реакция на не отпускане
Крива C_1: Праг на нулева вероятност за вентрикуларна фибрилация (вентрикуларна тахикардия)
Крива C_2: Праг на 5 % вероятност за вентрикуларна фибрилация (вентрикуларна тахикардия)
Крива C_3: Праг на 50 % вероятност за вентрикуларна фибрилация (вентрикуларна тахикардия)

Фиг. F1: Зони на въздействие в зависимост от продължителността на протичане на AC ток и неговата големина през човешко тяло по веригата лява ръка-крака

© Schneider Electric - всички права запазени

1.2 Защита срещу поражения от електрически ток

Основното правило за защита срещу поражения от електрически ток е изложено в IEC 61140, който се отнася за електрически уредби и електрическо обзавеждане.

Опасните части, намиращи се под напрежение не трябва да бъдат достъпни, а достъпните токопроводими части не трябва да се оказват под опасно напрежение.

Това изискване се отнася при:

- Нормални условия, и
- При повреда на изолацията

Защитата при нормални услови съответства на защитата срещу директен допир, а защитата при повреда на изолацията съответства на защита при индиректен допир. Комплексната защита осигурява защита и при двата случая.

1.3 Директен и индиректен допир

Директен допир

Често се използват две защитни мерки срещу опасност от директен допир, тъй като на практика едната от тях може да откаже.

Директният допир се отнася за човек, оказал се в контакт с проводник, който при нормални условия се намира под напрежение (виж **Фиг. F2**).

В стандарта IEC 61140 терминът „защита срещу директен допир" е заменен с термина „основна защита". Първият термин е запазен за информация.

Индиректен допир

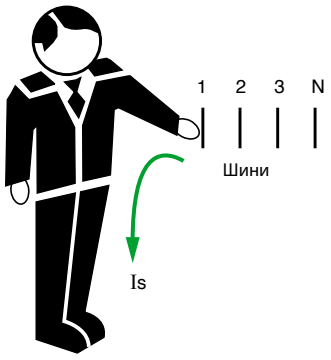
В стандартите и нормативните правила се различават два вида опасни контакти:
- *директен допир;*
- *индиректен допир,*

и съответните на тях защитни мерки.

Индиректният допир се отнася за човек, оказал се в контакт с достъпна токопроводима част, която обикновено не се намира под напрежение, но която случайно се е оказала под напрежение (поради дефект на изолацията или някаква друга причина).

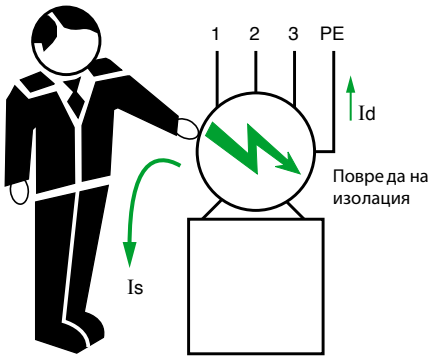
Токът на късо съединение предизвиква поява на напрежение на достъпната токопроводима част, което може да се окаже опасно, в случай на контакт на човека с тази достъпна токопроводима част и да предизвика протичане тока на допиране Is (виж **Фиг. F3**).

В стандарта IEC 61140 терминът „защита при индиректен допир" е заменен с термина „защита при повреда". Първият термин е запазен за информация.



Is: Ток на допир ане

Фиг. F2: Директен допир



Id: Ток при повре да на изо лацият а

Фиг. F3: Индиректен допир

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Защита срещу директен допир

За защита срещу поражение от директен допир се използват две взаимнодопълващи се мерки:

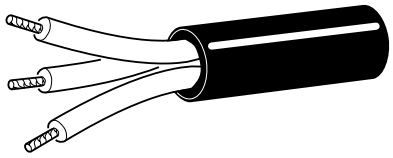
- Физическо предотвратяване на контакт с части, нормално намиращи се под напрежение, чрез ограждения, изолация, разполагане извън зоната на досегаемост и др.
- Допълнителна защита в случай, че настъпи директен допир, независимо от използването на посочените по-горе мерки или в резултат на техен отказ. Тази защита е основана на използването на дефектнотокова защита, притежаваща висока чувствителност ($I\Delta n \leq 30$ mA) и малко време на задействане. Тези устройства са високоефективни в повечето случаи на директен допир.

2.1 Мерки за защита срещу директен допир

Международните (IEC) и националните стандарти различват два типа защити:
- *Пълна (изолация, обвивки);*
- *Частична или специална.*

Защита чрез изолация на части, нормално намиращи се под напрежение

Тази защита се състои от изолация, удовлетворяваща съответните стандарти (виж **Фиг. F4**). Боите, лаковете и грундове не осигуряват адекватна защита.



Фиг. F4: Основна защита срещи директен допир чрез изолация на трифазен кабел с външна обвивка

Защита чрез прегради или обвивки

Тази мярка широко се използва, тъй като много компоненти и материали са разположени в шкафове, възли, пултове за управление и разпределителни табла (виж **Фиг. F5**).

Фиг. F5: Пример за изолация чрез защитна обвивка

За да се разглеждат като ефективна защита срещу директен допир такива устройства трябва да осигуряват ниво на защита, еквивалентно поне на IP 2X или IP XXB (виж т. 3.4 на Глава E).

Освен това отваряне на обвивката (врата, панел, изтеглям шкаф и др.) трябва да се осъществява само:

- С помощта на ключ или специален инструмент, предвиден за тази цел, или
- След прекъсване захранването на тоководещите части в обвивката, или
- С автоматично поставяне на допълнителна преграда, отстраняването на която е възможно само с помощта на ключ или специален инструмент. Металната обвивка и всички метални подвижни екрани трябва да бъдат присъединени към защитния проводник на уредбата.

Частични защитни мерки

- Защита чрез поставяне на ограждения или разполагане извън зоната на досегаемост.

Тази защита е предназначена само за местата, до които имат достъп само квалифициран или инструктиран персонал. Въвеждането на тази защитна мярка е разгледано в IEC 60364-4-41.

Специални защитни мерки

- Защита чрез използване на безопасно свръхниско напрежение (SELV) или ограничаване енергията на заряда.

Тези мерки се използват във вериги с малка мощност и при особени обстоятелства (виж т. 3.5).

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Защита срещу директен допир

Допълнителна мярка за защита срещу поражения при директен допир е използването на дефектнотокова защита с ток на задействане 30 mA или по-малко, която се отнасят към RCD с висока чувствителност.

Фиг. F6: Високочувствителна дефектнотокова защита

2.2 Допълнителни мерки за защита срещу директен допир

Всички разгледани до сега защитни мерки са превантивни. Обаче, както показва опита, поради различни причини те не могат да се разглеждат като напълно надеждни. Сред тези причини могат да се посочат:

- Отсъствие на подходящо техническо обслужване;
- Непредпазливост, небрежност;
- Нормално (или ненормално) износване или изтриване на изолация; например огъване и износване на съединителни проводници;
- Случайно докосване до тоководещи части;
- Потапяне във вода и др. Ситуация, в която изолацията не може повече да бъде ефективна.

При такива обстоятелства, за да се защитят потребителите, се използват високочувствителни бързодействащи дефектнотокови защити. Тяхното действие е основано на откриване на диференциални токове на утечка към земя (които могат да протичат или да не протичат през човека или животното). Те автоматично и с достатъчна бързина изключват захранващата верига, предотвратявайки по този начин поражение на човека или негова смърт (виж **Фиг. F6**).

Тези устройства работят на принципа на измерване на диференциалния ток, при който всяка разлика между тока, влизащ във веригата и тока, излизащ от нея (за система, захранвана от заземен източник) ще протича към земя или през повредена изолация, или в резултат на контакт със заземена част. Например, през тяло на човек, докоснал се до проводник под напрежение.

Стандартните дефектнотокови устройства, означавани като RCDs, притежаващи достатъчна чувствителност за защита срещу директен допир, имат диференциален ток на задействане 30 mA.

Съгласно IEC 60364-4-41 допълнителна защита чрез RCDs ($I\Delta n \leqslant$ 30 mA) трябва да бъде осигурена за вериги, захранващи щепселни съединения с обявен ток, не по-голям от 20 A, за всички места и за вериги, захранващи подвижни обзавеждане с номинален ток $\leqslant$ 32 A за външна употреба.

В редица страни, тази допълнителна защита, е предназначена за щепселни съединения с номинален ток до 32 A, и дори по-голям, ако те са монтирани във влажни места и/или временни електрически уредби (например на строителна площадка).

Препоръчва се също така да се ограничи броя на щепселните съединения, защитавани чрез RCDs (например, до 10 щепселни съединения за една RCD).

В раздел 3 на Глава P се изброяват различни места, в които RCDs с с висока чувствителност са задължителни за използване (в някои страни). Във всеки случай, се препоръчва силно използването на RCDs като ефективна защита срещу директен и индиректен допир.

Важно!

В България Наредба №3 за Устройството на електрическите уредби и електропроводните линии изисква задължително използване на дефектнотокови защити с чувствителност 30 mA в следните случаи:

- За защита на токови кръгове, захранващи контактни излази, в които могат да се включват преносими електрически уреди – чл. 1789. На практика това са всички контактни излази с общо предназначение в жилищни сгради, хотелски стаи, офис сгради, сервизни помещения и др.
- За защита на токови кръгове, захранващи контакти в помещения с повишена опасност и особено опасни помещения – бани, мокри помещения, помещения с влага и подобни – чл. 1799.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита при индиректен допир

Откритите токопроводими части, използвани при изработване на електротехническо обзавеждане, се изолират от токопроводимите части на това обзавеждане чрез „основа изолация”. В случай на пробив на тази изолация достъпните токопроводими части могат да се окажат под напрежение.

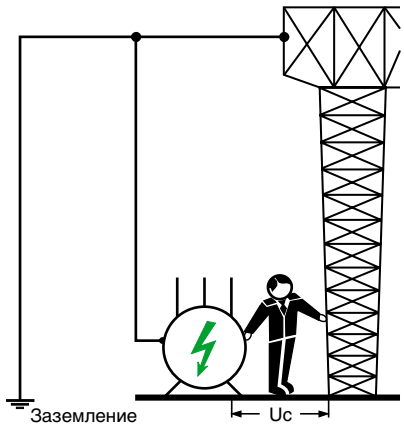
Докосването до част от електрическо обзавеждане, която нормално не се намира под напрежение, но се оказва под напрежение в резултата на дефект на електрическата изолация се нарича индиректен допир.

Защита при индиректен допир чрез автоматично изключване на захранването може да бъде осигурена при условия на надеждно заземяване на достъпни токопроводими части.

3.1 Защитни мерки: две нива

Съществуват две нива на защитни мерки:

- 1-во ниво: Заземяване на всички достъпни токопроводими части в електрическата уредба и създаване на система за изравняване на потенциалите (виж раздел 6 на Глава G).
- 2-ро ниво: Автоматично изключване на захранването от съответна секция на електрическата уредба по такъв начин, че изискванията за безопасност по отношение на времето за изключване и допирното напрежение се спазват при всяко ниво на допирно напрежение Uc (1) (виж **Фиг. F7**).



Фиг. F7: Илюстрация на опасно допирно напрежение

Колкото е по-голяма стойността на Uc, толкова по-голяма трябва да бъде скоростта на изключване на захранването за осигуряване на ефективна защита (виж **Фиг. F8**). Максималната стойност на допирното напрежение Uc, което може да бъде издържано от човек неограничено дълго време, е 50 V.

Максимално допустимо време за изключване

Таблица F8: Максимално допустима продължителност на действие на променливотоково допирно напрежение Uo, s

Uo, V		50 < Uo ⩽ 120	120 < Uo ⩽ 230	230 < Uo ⩽ 400	Uo > 400
Схема	TN или IT	0.8	0.4	0.2	0.1
	TT	0.3	0.2	0.07	0.04

(1) Допирното напрежение Uc е напрежението, съществуващо (в резултат на пробив в изолацията) между достъпна токопроводима част и кой да е токопроводим елемент в зоната на досегаемост, която е с друг потенциал (обикновено потенциала на земята).

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита при индиректен допир

3.2 Автоматично изключване за схема TT

Автоматично изключване за схема TT се постига чрез използване на RCD, имаща диференциален ток на задействане

$$I_{\Delta n} \leqslant \frac{50}{R_A},$$

където R_A е съпротивлението на заземителя на електрическата уредбата.

Принцип на действие

В тази схема всички достъпни токопроводими части и външни проводници на електрическата уредба трябва да бъдат задължително свързани към общ заземител. Неутралната точка на източника на захранване обикновено се заземява в точка, намираща се извън зоната на влияние на заземителя на електрическата уредба, но това не е задължително. Съпротивлението на земно съединение се състои главно от съпротивленията на двата заземителя (т.е. на заземителите на захранващия източник и на електрическата уредба), съединени последователно. Затова големината на тока на земно съединение е много малка, за да предизвика заработване на автоматичните прекъсвачи или на стопяемите предпазители и използването на RCD е задължително.

Даденият принцип на защита е приложим и при използване само на един общ заземител. Например, в случай на местна подстанция, разположена в границите на територията на електрическата уредба, когато поради ограниченост на пространството се налага необходимостта от използване на схема на заземяване TN, но при това не е възможно да се изпълнят всички останали условия, изисквани от схема TN.

Защитата чрез автоматично изключване на захранването в схема TT се осигурява от RCD с чувствителност: $I_{\Delta n} \leqslant \frac{50}{R_A}$,

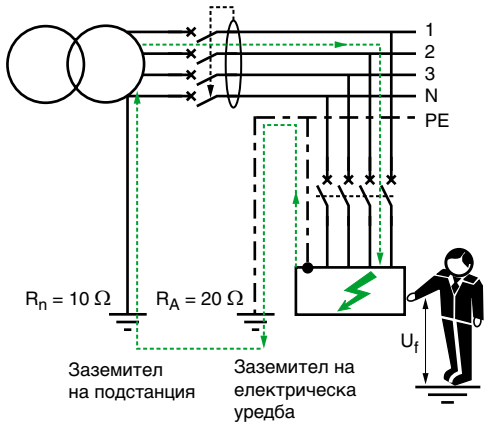
където R_A е съпротивлението на заземителя на уредбата, Ω.

$I_{\Delta n}$ – номиналният ток на чувствителност, A.

За случай на временно електроснабдяване (на строителни площадки и др.) и селскостопански и оранжерийни предприятия стойността на Uc = 50 V се заменя с Uc = 25 V.

Пример (виж **Фиг. F9**)

- Съпротивлението на заземителя на неутралата на подстанцията е 10 Ω.
- Съпротивлението на заземителя на електрическата уредба е 20 Ω.
- Токът на земно съединение I_d = 7.7 A.
- Напрежението $U_f = I_d \times R_A$ = 154 V и следователно е опасно, но $I_{\Delta n}$ = 50/20 = 2.5 A и затова стандартна RCD с $I_{\Delta n}$ = 300 mA, ще заработи след 30 ms, без време закъснение, и ще отстрани повредата, в резултат на която на достъпната токопроводима част се е появило опасно напрежение.



Фиг. F9: Автоматично изключване на захранването в схема TT

Таблица F10: Максимално време за изключване на крайни вериги AC, изчислени за ток, ненадхвърлящ 32 A

Uo (1), V	T, s
50 < Uo ⩽ 120	0.3
120 < Uo ⩽ 230	0.2
230 < Uo ⩽ 400	0.07
Uo > 400	0.04

(1) Uo номиналното фазно напрежение

Нормативно максимално време за изключване

Времето за изключване на RCDs е обикновено по-малко то това, което се изисква в по-голяма част от националните стандарти. То облекчава тяхното използване и позволява да се прилага ефективна селективна защита.

Стандартът IEC 60364-4-41 определя максималното време на заработване на защитни устройства, използвани в схема TT за защита при индиректен допир:

- За всички крайни вериги с номинален ток не повече от 32 A максималното време за изключване, не трябва да прехвърля стойности, посочени на **Фиг. F10**.
- За всички други вериги максималното време за изключване е фиксирано на 1 s. Тази стойност осигурява селективност при заработване на няколко RCD, монтирани последователно.

RCD е общ термин за всички устройства, работещи на принципа на диференциални токове. Автоматичните прекъсвачи, задействани от остатъчен ток (остатъчни токове) без интегрална защита срещу свръхток за битова и подобна употреба, определени в стандартите IEC 61008 са специфичен клас RCD. Дефектнотокови защити тип G (общ) и тип S (селективен), описани в IEC 61008, имат времетокови характеристики, както е показано в **Табл. F11** на следващата страница. Тези характеристики осигуряват определена степен на селективно изключване на няколко RCDs с различни комбинации от номинални стойности и типове, както е показано по-долу в т.4.3. Съгласно стандарт IEC 60947-2, промишленият тип RCD, осигурява повече възможности за селективно заработване, поради регулиране на времезакъснението.

© Schneider Electric - всички права запазени

Таблица F11: Максимално време на задействане на RCD, s

x $I_{\Delta n}$		1	2	5	> 5
Битови	Мигновено действие	0.3	0.15	0.04	0.04
RCD	Тип S	0.5	0.2	0.15	0.15
Индустриални	Мигновено действие	0.3	0.15	0.04	0.04
RCD	Времезакъснение (0.06)	0.5	0.2	0.15	0.15
	Времезакъснение (друго)	Определя се от производителя			

3.3 Автоматично изключване за схема TN

Принцип на действие

Автоматичното изключване за схема TN се постига чрез максималнотокови защити или чрез RCD.

В тази схема всички достъпни и чужди токопроводими части на електрическата уредба трябва да бъдат присъединени към заземената точка на захранващия източник чрез защитни проводници.
Както се отбеляза в т.2.2 на Глава E, начинът на изпълнение на съединението зависи от това каква схема на заземяване TN се използва (TN-C, TN-S или TN-C-S). На фиг. F.12 е показана схема TN-C, в която нулевият работен проводник се използва в качеството на нулев и защитен проводник (PEN).
Във всички схеми TN всеки пробив на изолация към земя предизвиква късо съединение между фаза и неутрала. Големите токове на земно съединение позволяват да се използва максималнотокова защита, но могат да доведат в мястото на пробив на изолация на допирно напрежение, превишаващо 50 % напрежението между фазата и нулата в течение на времето за изключване на късото съединение.
На практика в мрежата на електроснабдителното предприятие се използват обикновено заземители, монтирани на равни разстояния по дължината на защитния проводник (PE или PEN) на тази мрежа, а от потребителя често се изисква да инсталира заземител на входа. В големите електрически уредби често се предвиждат допълнителни заземители, разпределени по територията така, че максимално да се намали допирното напрежение. В многоетажните жилищни сгради на всяко ниво всички чужди токопроводими части са свързани към защитния проводник на всеки етаж. За да се осигури адекватна защита токът на земно съединение е
$Id = \frac{Uo}{Zs}$ или $0.8\frac{Uo}{Zc}$ трябва да е по-голям или равен на Ia, където:

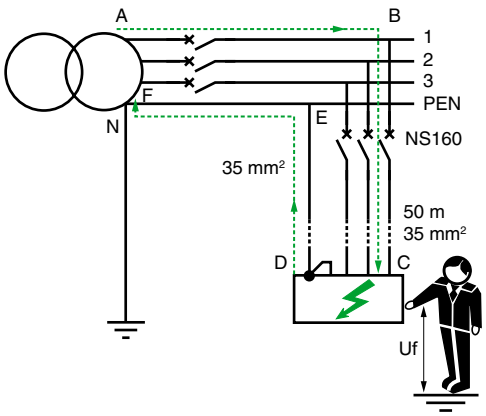
- Uo е номиналното фазно напрежение;
- Id – токът на земно съединение;
- Ia – стойността на тока, необходим за заработване на защитното устройство за нормираното време;
- Zs – пълното съпротивление на веригата на късо съединение към земя (веригата фаза-PE), равно на сумата от съпротивленията на захранващия източник, на фазовите проводници до мястото на късо съединение, на защитните проводници от мястото на късо съединение до захранващия източник.
- Zc – пълното съпротивление на неизправната верига (виж „традиционния метод" в т.6.2.)

Забележка: Веригата през заземителите до захранващия източник включва заземители, които обикновено имат много по-големи стойности на съпротивлението, отколкото посочените по-горе и то не е необходимо да се отчита.

Пример (виж **Фиг. F12**)
Напрежението $Uf = \frac{230}{2} = 115$ V и е опасно.
Съпротивлението на веригата на късо съединение е $Zs = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{DE} + Z_{EN} + Z_{NA}$.
Ако Z_{BC} и Z_{DE} значително надвишават останалите членове, тогава:
$Zs = 2\rho\frac{L}{S} = 64.3\ m\Omega$, така че
$Id = \frac{230}{64.3 \times 10^{-3}} = 3{,}576$ A (≈ 22 In за автоматичен прекъсвач NS 160).
Настройката на магнитната защита (отсечката) на автоматичния прекъсвач е значително по-малка от стойността на тока на късо съединение. Така се гарантира безотказното заработване за възможно най-малко време.

Забележка: Някои органи използват при такива пресмятания допускането, че по веригата BANE се получава пад на напрежение до 20 %.
Този препоръчван метод, е пояснен в т.6.2. на Глава F „традиционен метод". При неговото използване в дадения пример оценяваната стойност на тока на късо съединение е:

$\frac{230 \times 0.8 \times 10^3}{64.3} = 2{,}816$ A (≈ 18 In).



Фиг. F12: Автоматично изключване в схема TN

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита при индиректен допир

Нормативно максимално време за изключване

TСтандартът IEC 60364 определя максималното време за задействане на защитни устройства, използвани в схеми TN, за защита при индиректен допир:

- За всички крайни вериги с номинален ток не повече от 32 A максималното време за изключване на веригите не трябва да превишава стойностите, посочени в **Табл. F13**.
- За всички останали вериги максималното време за изключване е 5 s. Тази стойност осигурява селективност на задействани на защитните устройства, монтирани в разпределителните вериги.

Забележка: Употребата на RCD може да бъде необходимо за схеми TN. Употребата на RCD в схеми TN-C-S означава, че на участъка от верига, разположен над дефектнотоковата защита, защитният и нулевият проводници трябва да бъдат разделени, като след това не трябва да се свързват. Това разделяне обикновено се прави на входа на таблото или уредбата

Таблица F13: Максимално време за изключване на крайни вериги за променлив ток, не по-голям от 32 A

Uo(1) (V)	T (s)
50 < Uo ⩽ 120	0.8
120 < Uo ⩽ 230	0.4
230 < Uo ⩽ 400	0.2
Uo > 400	0.1

(1) Uo е номиналното фазно напрежение

Когато защитата трябва да се осигури с автоматичен прекъсвач, е достатъчно, токът на късо съединение винаги да надвишава стойността на тока на настройка на изключващия елемент с мигновено действие или задействащ с времезакъснение (Im).

Защита чрез автоматичен прекъсвач (виж **Фиг. F14**)

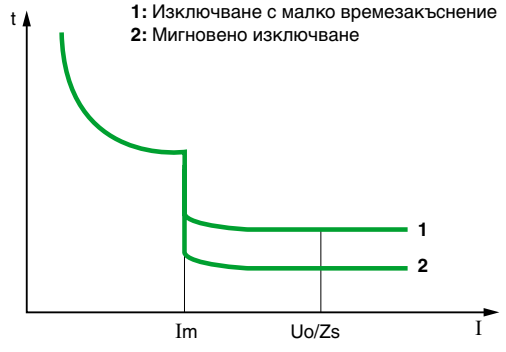
Изключвателят с мигновено действие на автоматичния прекъсвач отстранява късото съединение към земя за време по-малко от 0,1 s.

В резултат на това винаги се гарантира автоматично изключване на захранването в течение на максималнодопустимото време, тъй като всички типове изключващи елементи (електромагнитни или електронни, с мигновено действие или с малко времезакъснение) са подходящи: Ia = Im. Винаги трябва да се отчита максималния допуск, разрешен от съответния стандарт. Следователно достатъчно е токът на земно съединение $\frac{Uo}{Zs}$ или $0.8\frac{Uo}{Zc}$ определен чрез изчисления (или чрез оценка на мястото на експлоатация) да бъде по-голям от тока на настройка на изключвателя с мигновено действие или от прага на задействане на изключвателя с малко времезакъснение.

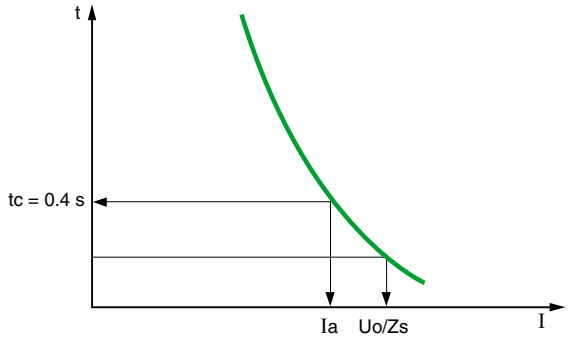
Стойността на тока Ia може да бъде определена от времетоковата характеристика на предпазителя. Защита със стопяеми предпазители не може да бъде изпълнена, в случай, че съпротивлението Zs или Zc надвишава определена стойност.

Защита чрез стопяеми предпазители (виж **Фиг. F15**)

Стойността на тока, гарантиращ правилното задействане на стопяемия предпазител, може да бъде определена от времетоковата характеристика на съответния предпазител. Токът на късо съединение $\frac{Uo}{Zs}$ или $0.8\frac{Uo}{Zc}$ определен по-горе трябва да е значително по-голям от стойността, необходима за гарантирано задействане на предпазителя. Както се вижда от **Фиг. F15** това условие се спазва, когато $Ia < \frac{Uo}{Zs}$ или $0.8\frac{Uo}{Zc}$.



Фиг. F14: Изключване с автоматичен прекъсвач в схема TN



Фиг. F15: Изключване с предпазители в схема TN

© Schneider Electric - всички права запазени

Пример: Номиналното фазно напрежение на мрежата е 230 V, а максималното време за изключване, отчетено от графиката на **Фиг. F15** – 0,4 s.
От същата графика може да се бъде определена и съответната стойност на тока Ia. Използвайки стойностите на напрежението 230 V и токът Ia, пълното съпротивление на контура или съпротивлението на веригата фаза-PE могат да бъдат определени от изразите $Zs = \frac{230}{Ia}$ или $Zc = 0.8\frac{230}{Ia}$. Тази стойност на съпротивлението не трябва да се надвишава и за сигурно задействане на стопяеми предпазители трябва да бъде значително по-малко.

Защита на вериги TN-S чрез дефектнотокови защити

Дефектнотоковите защити трябва да се използват в случаите когато:

- Импедансът на контура фаза-защитен проводник не може да се определи прецизно.
- Токът на земно съединение е толкова малък, че използването на устройство за максималнотокова защита не осигурява нормативното време за изключване.

Нивото на тока на земно съединение винаги значително надвишава номиналния ток на изключване на дефектнотоковата защита, което гарантира сигурно изключване за време, по-малко от нормираното.

3.4 Автоматично изключване при втора повреда за схема IT

В схемата от този тип:

- Неутралната точка на захранващия източник е изолирана или съединена със земята през голямо съпротивление.
- Всички достъпни и чужди токопроводими части са заземени чрез заземителя на електрическата уредба.

Първо земно съединение

Първата повреда в схема IT не трябва да предизвиква никакви изключвания.

Когато се получи съединение към земя, наричано „първа повреда", токът на земно съединение е много малък и затова се изпълнява условието Id x $R_A \leqslant 50$ V (виж т.3.2 на Глава F) и не могат да се появят опасни допирни напрежения.
В реални условия токът Id е малък и затова не е опасен нито за персонала, нито за електрическата уредба.
В тази система обаче:

- Трябва да се осъществява постоянен контрол за нивото на изолацията спрямо земя в съчетание с подаване на предупредителен сигнал (звуков и/или мигаща светлина и др.) в случай на първо земно съединение (виж **Фиг. F16**).
- Задължително е бързото откриване и отстраняване на първото съединение.

Това позволява в пълна степен да се реализират предимствата на схемата на заземяване IT – непрекъснато подаване на електрозахранването.

Фиг. F16: Устройство за непрекъснат контрол на изолацията, задължително в IT схема

За мрежа, изградена от нови проводници с дължина 1 km съпротивлението на утечка (капацитивно) към земя Zf е от порядъка на 3,500 Ω за фаза. Тогава при нормални условия на експлоатация капацитивния ток(1) към земя:

$$\frac{Uo}{Zf} = \frac{230}{3,500} = 66 \text{ mA}$$ за фаза.

При съединение на фаза към земя, както е показано на **Фиг. F17**, токът протичащ през съпротивлението на заземителя Rna е векторна сума от капацитивните токове в двете изправни фази. В резултат на земното съединение напрежението в изправните фази се увеличава с $\sqrt{3}$ в сравнение с номиналното фазно напрежение и затова капацитивните токове се увеличават със същата големина. Тези токове са изместени един спрямо друг на 60°, и затова при векторното събиране сумарният ток в дадения пример е 3 x 66 mA = 198 mA.

Съответно напрежението Uf е 198 x 5 x 10^{-3} = 0.99 V, което очевидно е безопасно.

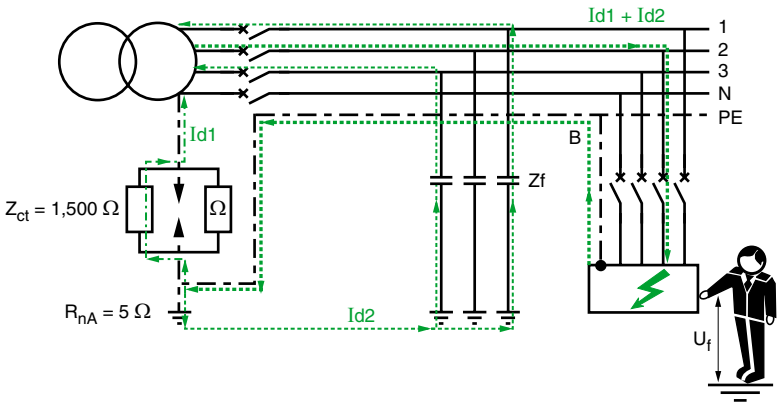
Токът в късо съединената верига към земя се определя от векторното сумиране на тока през резистора на неутрала Id1=153 mA и капацитивния ток Id2=198 mA.

Тъй като достъпните токопроводими части на електрическата уредба са свързани директно със земята, импедансът на неутралата Zct практически не влияе върху големината на допирното напрежение.

(1) В дадения пример се предполага, че активния ток на утечка към земя през изолацията е пренебрежимо малък.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита при индиректен допир



Фиг. F17: Път на електрическия ток при първа повреда в схема IT

F11

Едновременното съществуване на две земни съединения (ако и двете не са към една и съща фаза) е опасно и трябва бързо да се отстрани чрез стопяеми предпазители или автоматични прекъсвачи в зависимост от типа на схемата на заземяване и дали отделни заземители са използвани или не в разглежданата електрическа уредба.

Второ земно съединение

При поява на втора повреда в изолацията, на друга фаза, или на неутрален проводник, е наложително бързото изключване на захранването. Отстраняването на повредата се извършва различно във всеки от случаите:

Първи случай

Той се отнася за уредба, при която всички достъпни токопроводими части са свързани с общ PE проводник, както е показано на **Фиг. F18**.

В този случай, заземителите не влизат в контура на тока на земно съединение, в резултат на което протича голям ток на земно съединение и се използват стандартни устройства за максималнотокова защита, т.е. автоматични прекъсвачи и предпазители.

Първата повреда може да се получи в края на веригата в отдалечена част на електрическата уредба, а втората повреда би могла да се появи в противоположния край на същата уредба.

Поради тази причина, обичайна практика е, при пресмятане стойността на тока на настройка на устройства за максималнотокова защита(-и) да се удвои импеданса на веригата.

Когато системата включва допълнителен неутрален проводник към 3-те фази, най-малък ток на късо съединение се получава, ако една от двете повреди е от неутралния проводник към земята (всички 4 проводника са изолирани от земята при IT схема). По тази причина в четирипроводни IT схеми, за оценяване нивото на защита от ток на късо съединение, трябва да се използва фазното напрежение, т.е. $0.8\frac{Uo}{2\,Zc} \geqslant Ia$ (1),

където Uo е фазното напрежение;

Zc – импедансът на веригата с повреда (виж F3.3);

Ia – стойността на тока на изключване.

При липса на неутрален проводник, за изчисляване тока на късо съединение, трябва се използва линейното напрежение, т.е. $0.8\frac{\sqrt{3}\,Uo}{2\,Zc} \geqslant Ia$ (1)

■ Максимални времена за изключване

Времената за изключване при IT схема, зависят от това как са свързани заземителите на различните уредби и подстанции.

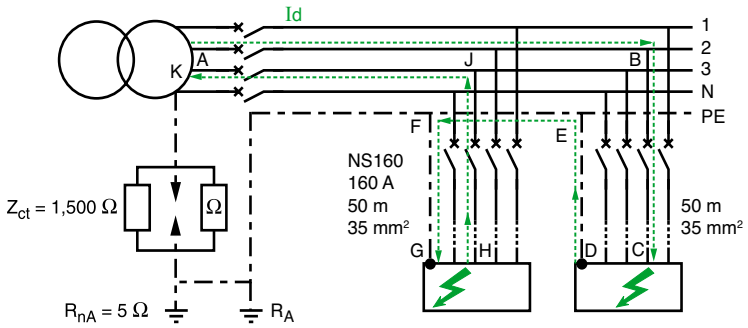
За крайни вериги, захранващи електрическо обзавеждане, с номинален ток не надвишаващ 32 A, чиито достъпни токопроводими части са свързани със заземителя на подстанцията, максималното време за изключване е дадено в **Табл. F8**. За други вериги, в същата група на свързване между достъпни токопроводими части, максималното време за изключване е 5 s. Това се дължи на факта, че всяка двойна повреда в тази група ще доведе до ток на късо съединение както в схема TN.

За крайни вериги, захранващи електрическо обзавеждане с номинален ток не надвишаващ 32 A, чиито достъпни токопроводими части са свързани към заземител, нямащ електрическа връзка с този на захранващия източник в подстанцията, максималното време на изключване е дадено на **Фиг. F13**. За другите вериги, в същата група на несвързани достъпни токопроводими части, максималното време на изключване е 1 s. Това се дължи на факта, че всяка двойна повреда в резултат от пробив в изолацията на тази група и друга повреда на изолацията в друга група ще генерира ток, големината на който зависи от съпротивленията на различните заземители, както в схема TT.

(1) На основата на традиционен метод, посочен в първия пример на т. 3.3.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита при индиректен допир



Фиг. F18: Изключване на захранването чрез автоматичен прекъсвач в случай на двойно земно съединение, когато достъпните токопроводими части са свързани с общ заземителен проводник

F12

■ Защита чрез автоматичен прекъсвач

В случая, показан на **Фиг. F18**, трябва да бъдат определени настройките на максималнотоковата защита за мигновено изключване и за изключване с кратко времезакъснение (мигновената и бързодействащата защита). Препоръчваните по-горе времена на изключване могат да бъдат лесно осигурени. Защитата от късо съединение, осигурена от автоматичен прекъсвач NS 160 е подходяща за изключване на междуфазови къси съединения, появяващи се в краищата на разглежданите вериги.

Напомняне: Предполага се, че при схема IT двете вериги, участващи в междуфазно късо съединение имат еднаква дължина и сечение на проводниците, а защитните PE проводници имат същото сечение, както фазните проводници.

В този случай импедансът на контура на късо съединение, при използване на „традиционния метод" (т. 6.2) ще бъде два пъти по-голям от това, което е пресметнато за една от веригите в примера за схема TN, разгледан в т. 3.3 на Глава F.

Съпротивлението на контура на късо съединение, в mΩ:

$FGHJ = 2R_{JH} = 2\rho\frac{L}{a}$,

където ρ е специфичното съпротивление на меден проводник с дължина 1m и напречно сечение 1 mm², mΩ

L – дължината на веригата, m;

a – сечението на проводника, mm²

FGHJ = 2 x 22.5 x 50/35 = 64.3 mΩ

Съпротивлението на контура B, C, D, E, F, G, H, J ще бъде 2 x 64.3 = 129 mΩ,

а тока на късо съединение - $0.8 \times \sqrt{3} \times 230 \times 10^3/129 = 2\,470$ A.

■ Защита чрез стопяеми предпазители

Токът Ia, при който стопяемия предпазител трябва да заработи за времето, посочено по-горе, може да се определи с помощта на работните криви на предпазителя, посочени на **Фиг. F15**.

Посоченият ток трябва да бъде значително по-малък от тока при повреда, изчислени за разглежданата верига.

■ Защита чрез комбинирани устройства автоматичен прекъсвач и дефектнотокова защита (RCCB)

За ниски стойности на тока на късо съединение е необходимо да се използват RCCB. Защитата при индиректен допир може да бъде постигната чрез използване на едно комбинирано устройство автоматичен прекъсвач и дефектнотокова защита (RCCB) за всяка верига.

Втори случай

■ Той се отнася за достъпни токопроводими части, които се заземяват или отделно (всяка част има собствен заземител) или в отделни групи (един заземител за всяка група).

Ако всички достъпни токопроводими части не са съединени към обща система за заземяване тогава може да се допусне, че второто земно съединение става в друга група или в отделно заземени апарати. Освен защитата, описана в случая 1, се изисква допълнителна защита RCD, добавена към автоматичен прекъсвач, който контролира всяка група и всеки отделно заземен апарат.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита при индиректен допир

Причината за такова изискване е, че заземителите на отделните групи са “съединени” чрез земята. Поради това токът при междуфазно късо съединение, преминаващ през заземлението, ще бъде ограничен по големина от контактното съпротивление на заземителите. Това прави ненадеждна защитата при използване на устройства за максималнотокова защита. Затова е необходимо да се използват RCDs, при които номиналният ток на задействане на RCDs трябва да е по-голям от тока, който се получава при първото земно съединение (виж **Табл. F19**).

Таблица F19: Съответствие между капацитета на изолация спрямо земя и тока на първо земно съединение

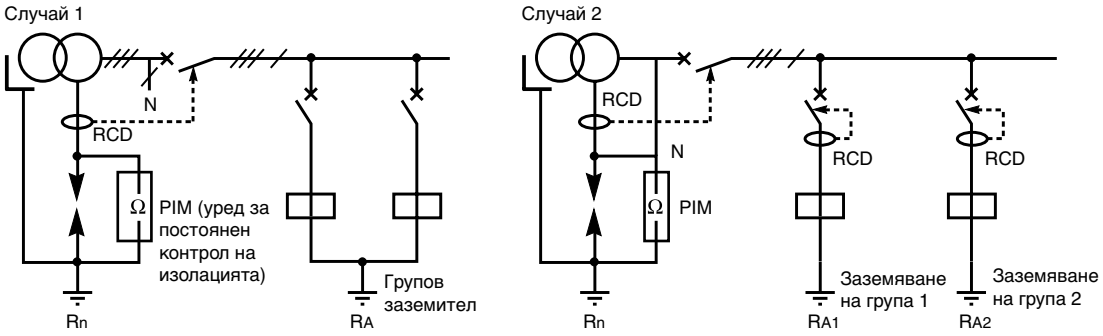
Капацитет на утечка (на изолация), μF	Ток при първа повреда, A
1	0.07
5	0.36
30	2.17

Забележка: Четирипроводна кабелна линия с дължина 1 km има капацитет на утечка 1 μF.

В случай на второ съединение, ставащо в група, имаща обща система за заземяване максималнотоковата защита заработва така, както е описано по-горе за случай 1.

Забележка 1: Виж т. 7.2 на Глава G: “Защита на нулевия проводник”.

Забележка 2: В трифазни четирипроводни електрически уредби максималнотоковата защита в нулевия проводник се осигурява понякога с помощта на тороидален токов трансформатор, монтиран на едножилния нулев проводник (виж **Фиг. F20**).



Фиг. F20: Приложение на RCDs, когато в схема IT достъпните токопроводими части са заземени поотделно или в група

3.5 Мерки за защита срещу директен или индиректен допир без автоматично изключване на захранването

Безопасно свръхниско напрежение (SELV) се използва там, където рисковете са големи: плувни басейни, преносими лампи и други преносими битови електроуреди, предназначени за работа на открито и др.

Използване на безопасно свръхниско напрежение (SELV) (1)

Системата SELV се използва в тези случаи, когато експлоатацията на електрическото обзавеждане представлява сериозна опасност (плувни басейни, паркове с атракциони и др.).

Тази мярка е основана на подаване на захранване със свръхниско напрежение от вторичните намотки на разделящи трансформатори за безопасност, специално разработени в съответствие с национален или на международен (IEC 60472) стандарт. Нивото на импулсното напрежение, издържано от изолацията между първичната и вторичната намотка е много високо. Понякога между тези намотки се поставя заземен метален екран. Напрежението на вторичната намотка никога не превишава ефективна стойност 50 V.

Три условия на експлоатация трябва да се спазват, за да се осигури адекватна защита при индиректен допир:

- Тоководещите проводници в система SELV не трябва да се свързват със земя.
- Достъпните токопроводими части, захранвани от система SELV, не трябва да се съединяват със земя с други достъпни токопроводими части или чужди токопроводими части.
- Всички токопроводими части на вериги, захранвани от SELV или други вериги с по-високо напрежение, трябва да бъдат отделени на разстояние, равно поне на разстоянието между първичната и вторичната намотка на трансформатора за безопасност.

(1) Българско означение БСНН.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита при индиректен допир

Тези мерки изискват:
- Във веригите SELV трябва да се използват кабелни канали, предвидени изключително за тях, освен ако се използват кабели, които са изолирани за най-високото напрежение на другите вериги.
- Щепселните съединения за система SELV не трябва да имат защитни контакти. Щепселите и контактите за система SELV са с конструкция, която не допуска включване към контакти или щепсели с други напрежения.

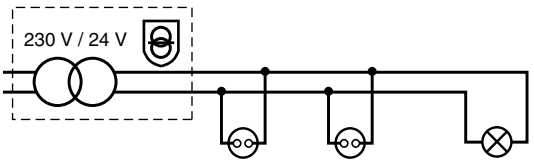
Забележка: В нормални условия, когато напрежението на система SELV е по-малко то 25 V, отпада необходимостта от защита срещи директен допир. Конкретните изисквания са разгледани в т. 3 на Глава P: “Специални места”.

Използване на предпазно свръхниско напрежение (PELV)(1)

(виж **Фиг. F21**)

Тази система е предназначена главно за употреба там, където ниско напрежение е необходимо или се предпочита поради причини, свързани с безопасност. Изключение правят местата с повишен риск, разгледани по-горе. Нейната концепция е аналогична на система SELV, но вторичната верига е заземена в една точка.

Стандартът IEC 60364-4-41 определя прецизно особеностите и предимствата при използване на системата PELV. Защита срещу директен допир обикновено не се прилага, ако: електрообзавеждането се намира в зоната на действие на системата за изравняване на потенциали и номиналното напрежение не превишава ефективна стойност 25 V; електрообзавеждането се използва нормално само в сухи места и се очаква голяма контактна площ на човешко тяло с части, които могат да се окажат под напрежение. За всички други случаи, ефективната стойност 6 V е максималното допустимо напрежение, когато не е предвидена защита срещу директен допир.



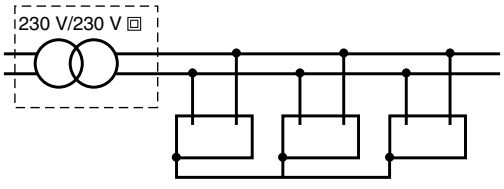
Фиг. F21: Захранване с ниско напрежение от разделящ трансформатор за безопасност

Използване на функционално свръхниско напрежение (FELV) (2)

Когато, поради функционални причини се използва напрежение 50 V или по-малко, но не всички изисквания, отнасящи се до система SELV или PELV са изпълнени, за осигуряване на защита срещу директен и индиректен допир трябва да се използват съответни мерки, описани в стандарта IEC 60364-4-41, с отчитане на местоположението и използването на тези вериги.

Забележка: Такива условия се срещат, когато веригата има електрообзавеждане (трансформатори, релета, дистанционни превключватели, контактори и др.), недостатъчно изолирано спрямо веригите с по-високо напрежение.

Електрическото разделяне на вериги се използва за относително къси кабели и високи нива на изолационно съпротивление. То се предпочита да бъде използвано за индивидуален уред.



Фиг. F22: Безопасно захранване от разделящ трансформатор клас II

Електрическо разделяне на вериги (виж **Фиг. F22**)

Принципът на електрическо разделяне на вериги (обикновено еднофазни) за целите на електробезопасността се базира на следните съображения.

Двата проводника от незаземената еднофазна вторична намотка на разделящия трансформатор се изолират от земя. При директен допир към единия проводник, то през човека, осъществил контакта, ще протече малък ток през земята и обратно през капацитивната проводимост на другия проводник спрямо земя. Тъй като капацитета на проводника спрямо земя е много малък този ток е под стойността на тока на усещане. С увеличаване дължината на кабелната линия токът при директен допир постепенно ще се величава до стойност, при която се наблюдава опасно поражение от електрически ток.

Даже ако малката дължина на кабела предотвратява каква и да е опасност от капацитивния ток, ниската стойност на изолационното съпротивление спрямо земя може да доведе до опасност. В този случай токът протича през човека, докоснал се до тоководеща част, земята и обратно към другия проводник през неговото малко изолационно съпротивление спрямо земя.

Поради тези причини, в системи с разделяне е необходимо да се използват относително къси добре изолирани кабели.

Специално за тази цел са разработени трансформатори с висока степен на изолация между първичната и вторичната намотка или с еквивалентна защита, например със заземен метален екран, монтиран между тези намотки. Конструкцията на такъв трансформатор съответства на изискванията на изолация от клас II.

(1) Българско означение ПСНН.
(2) Българско означение ФСНН.

© Schneider Electric - всички права запазени

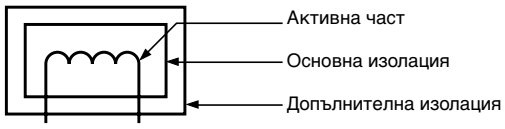
3 Защита при индиректен допир

Както се посочва по-горе, за успешна реализация на този принцип се изисква:
■ Нито един проводник или достъпна токопроводима част не трябва да бъдат свързани към земя,
■ Дължината на кабелите, включени към вторичната намотка, трябва да бъде ограничена, за да се избегнат големи стойности на капацитета(1),
■ Голямо изолационно съпротивление на кабелите и битовите електрически уреди.
Тези условия обикновено ограничават приложението на тези мерки за безопасност за отделен битов електроуред.
В случая, когато няколко уреда се захранват от един разделящ трансформатор е необходимо да се изпълнят следните изисквания:
■ Достъпните токопроводими части на всички уреди трябва да бъдат свързани заедно с изолиран защитен проводник, нямащ електрическа връзка със земя,
■ Щепселните съединения трябва да имат защитен контакт. Такъв защитен контакт се използва в случая само за осигуряване на съединение между всички достъпни токопроводими части.
В случай на второ земно съединение максималнотоковата защита трябва автоматично да изключи при същите условия, които се изискват за схема IT.

Изделия от клас II

Условно означение на електрически изделия от клас II:

Тези уреди се наричат още уреди с “двойна изолация” тъй като в битовите електроуреди от клас II освен основна изолация се използва и допълнителна изолация (виж **Фиг. F23**).
Проводимите части на уред от клас II не трябва да бъдат свързани към защитен проводник:
■ Голяма част от преносимото или полустационарно обзавеждане, определени лампи и някои типове трансформатори се проектират с двойна изолация. Важно е да се вземат специални мерки при използване на изделия от клас II и редовно достатъчно често да се проверява изпълнението на изискванията за клас II (отсъствие на повредена външна обвивка и др.). Електронните устройства, радио- и телевизионните приемници имат ниво на електробезопасност, еквивалентно на клас II, но формално те не се отнасят към изделия от клас II.
■ Допълнителна изолация в електрическа уредба: по-подробно необходимите мерки за осигуряване на допълнителна изолация в процеса на монтаж на електрически уредби са описани в стандарта IEC 60364-4-41 (Раздел 413-2) и някои национални стандарти, например френския стандарт NF C 15-100.



Фиг. F23: Принцип за осигуряване на изолация на изделия от клас II

Прост пример е полагането на кабел в PVC тръби. Методите са също описани за разпределителни табла.
■ За разпределителни табла и подобно обзавеждане, IEC 60439-1 описва комплект от така наречени изисквания “пълна изолация”, еквивалентни на клас II.
■ В много национални стандарти някои кабели се разглеждат като еквивалентни на клас II.

Разполагане извън зоната на досегаемост и поставяне на ограждения

По принцип осигуряването на електробезопасност чрез разполагане на токопроводими части, към които е възможен едновременно достъп извън зоната на досегаемост, или поставяне на ограждения изисква също нетокопроводящ под и не е проста задача.

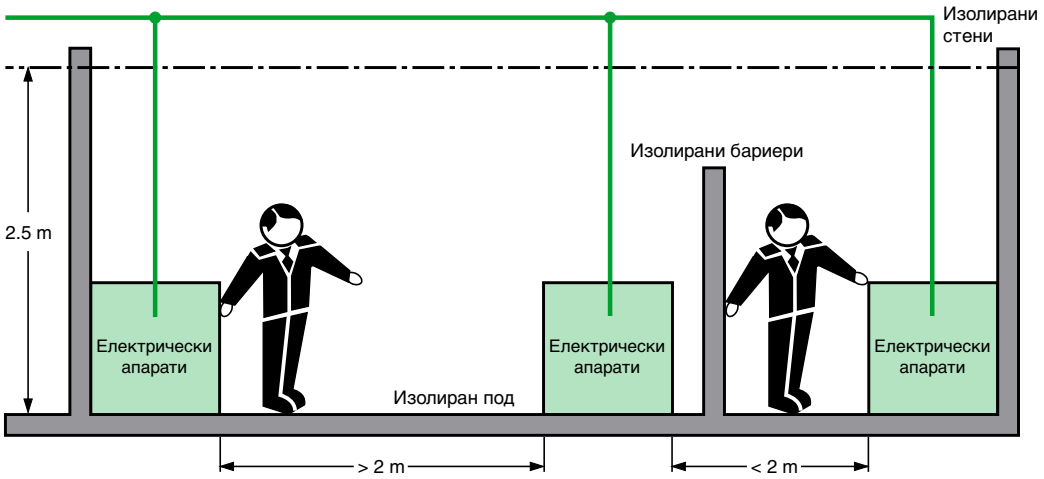
С помощта на тези средства може да се постигне много ниска вероятност за докосване до достъпна токопроводима част, намираща се под напрежение, при едновременно докосване до чужда токопроводима част, с потенциал на земята (виж **Фиг. F24**). На практика тази мярка може да се използва само в сухи помещения и се изпълнява при следните условия:
■ Подът и стената на помещението да бъдат нетокопроводими, т.е във всяка точка съпротивлението спрямо земя трябва да бъде:
□ > 50 kΩ (за напрежение на електрическа уредба ⩽ 500 V);
□ > 100 kΩ (за напрежение на електрическа уредба от 500 до 1000 V).
Съпротивлението се измерва с помощта на мегаомметър (с ръчно задвижван генератор или електронен апарат с автономно захранване) между електрод, разположен на пода или срещу стената и земята, т.е. най-близкият защитен заземител. Налягането на контролната площ на електрода трябва да бъде еднакво при всички изпитвания.
Различните производители на измервателни апарати предлагат специални електроди за своите собствени уреди и затова е необходимо да се обръща внимание дали използваните електроди съответстват на тези, които се препоръчват от производителя.

(1) В стандарта IEC 60364-4-41 се препоръчва произведението от номиналното напрежение във веригата, във V, и дължината проводника, в m, да не превишава 100 000, като дължината на проводника да не е по-голяма от 500 m.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита при индиректен допир

■ Разполагането на обзавеждане и бариери трябва да бъде такова, че да се изключва възможността за едновременно докосване от човек до две достъпни токопроводими части или между достъпна токопроводима част и чужда токопроводима част.
■ Открит защитен проводник не трябва да се въвежда в такова ограждение (камера).
■ Входовете в такова ограждение трябва да бъдат направени така, че влизащите в него хора да не се подлагат на опасност. Например, човек стоящ на токопроводим под извън границите на това ограждане не трябва да бъде в състояние да достигне през вратата до достъпна токопроводима част (като ключ за осветление, монтиран в метална разпределителна кутия).

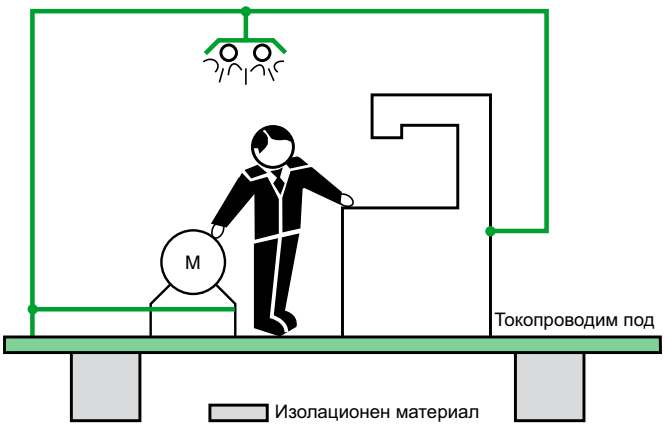


Фиг. F24: Защита чрез разполагане извън зоната на досегаемост и поставяне на непроводими бариери

Незаземените еквипотенциални камери се отнасят към специални електрически уредби (лаборатории и др.) и тяхната практическа реализация е свързана с редица трудности.

Незаземени еквипотенциални ограждения

В такава схема всички отрити токопроводящи части, включително пода(1), се съединяват с проводници с достатъчно голямо сечение така, че да не се получи значителна разлика в потенциалите между две точки. Пробивът на изолация между тоководещ проводник и металната обвивка на уреда предизвиква повишаване на напрежението в това “ограждение” до фазното напрежение, но ток на късо съединение не протича. Ако човек влезе в такова ограждение той ще се окаже в опасност, тъй като той или тя ще са стъпили на под, намиращ се под напрежение.
За защита на персонала от такава опасност трябва да бъдат взети съответни предпазни мерки (например, непроводящ под на входа и др.). Освен това се изискват специални защитни устройства за откриване на пробив в изолацията в случай на отсъствие на голям ток на късо съединение.



Фиг. F25: Еквипотенциално съединение на всички едновременно достъпни токопроводими части

(1) Чужди токопроводими части, влизащи (или излизащи) в еквипотенциалното пространство (такива като водопроводни тръби и др.) трябва да бъдат обвити с подходящ изолационен материал и изключени от еквипотениалната мрежа. Причината е, че такива части някъде другаде в дадената електрическа уредба могат да бъдат съединени със защитни (заземени) проводници.

© Schneider Electric - всички права запазени

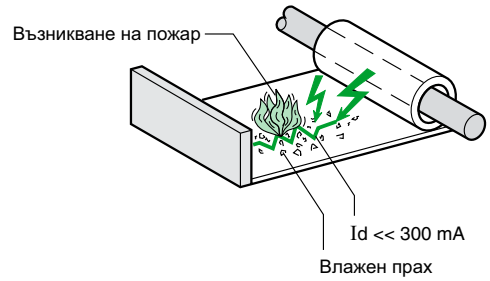
4 Защита на имущество и материални ценности при пробив в изолацията

Съвременните стандарти оценяват като значителен риска от поражение на имущество и материални ценности поради пожар, предизвикан от повреди в изолацията. Затова в места в голяма опасност от пожар се използват RCD с номинален ток на чувствителност 300 mA. За други помещения някои стандарти препоръчват да се използват метод, наречен “защита срещу земно съединение”.

Дефектнотоковите защити са много ефективни средства за защита срещу опасност от пожар, предизвикана от пробив в изолацията. Те могат да открият токове на утечка към земя (например 300 mA), които са твърде малки, за да бъдат открити от други средства за защита, но достатъчни за да предизвикват пожар.

4.1 Мерки за защита срещу опасност от пожар с RCD

Дефектнотоковите защити осигуряват много ефективна защита срещу опасност от пожар, предизвикан от пробив в изолацията. Възникващият при това ток на утечка е много малък, за да може да бъде открит с други защитни устройства (максималнотокова защита и др.).
За схеми TT, IT и TN-S, в които може да възникне ток на утечка към земя, използването на RCD с ток на чувствителност 300 mA осигурява добра защита срещу опасност от пожар, предизвикана от такъв тип повреда.
Изследванията показват, че стойността на загубите от пожари в сгради от промишления или административния сектор може да бъде много голяма.
Анализът на това явление показва, че рискът от пожар, в резултат на повреда в електрическата мрежа е свързан с прегряване. То е предизвикано от несъгласуване на максималния номинален ток в кабела (или изолирания проводник) и настройката на максималнотоковата защита.
Освен това причина за прегряването може да бъде изменение в монтажа на електрическата уредба. Например, добавяне на кабели в едно и също трасе.
Във влажна среда такова прегряване може да предизвика нарушаване на изолацията и възникване на електрическа дъга. Подобни електрически дъги се появяват, когато съпротивлението на веригата на тока на повредата е по-голямо от 0.6 Ω и съществуват там, където е настъпил пробива в изолация.
Някои изпитвания показват, че ток на утечка 300 mA може да предизвика реална опасност от пожар (виж **Фиг. F26**).



Редица изпитвания показват, че много малък ток на утечка (няколко mA) може да нарасне и след 300 mA да предизвика пожар в прашна и влажна среда..

Фиг. F26: Възникване на пожар в сгради

4.2 Защита срещу земно съединение

Различен тип устройства за защита от земни съединения

(виж **Фиг. F27**)

В зависимост от инсталираните устройства са възможни три типа защитни устройства срещу земни съединения:

- Система за измерване на диференциален ток (RS).

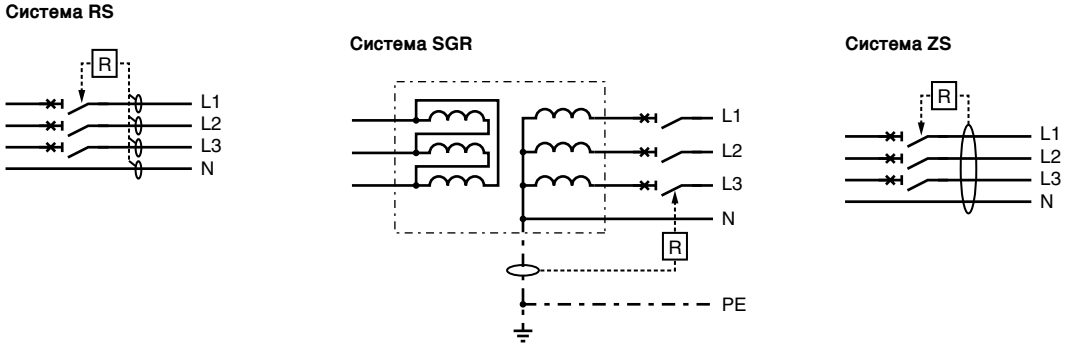
Токът на “земно съединение” се изчислява чрез векторно сумиране на токовете във вторичните намотки на токовите трансформатори. Токовият трансформатор на неутралния проводник се разполага извън блока на автоматичния прекъсвач.

- Система за измерване на тока през земя (SGR).

Токът на “земно съединение” се измерва в линията неутрала-земя на трансформатора НН. Използваният трансформатор е извън блока на автоматичния прекъсвач.

- Система за измерване на ток с нулева последователност (ZS).

Токът на “земно съединение” се измерва непосредствено на първичната намотка на трансформатора, чрез сумиране на токовете в тоководещите проводници. Този тип устройства се използват само при малки токове на земно съединение.



Фиг. F27: Различни типови защити срещу земни съединения

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Защита на имущество и материални ценности при пробив в изолацията

Разполагане на защитни устройства срещу земни съединения в електрическа уредба

Тип/Ниво на уредбата	Главно разпре-делително табло	Междинно разпре-делително табло	Забележки
Система SGR	□		Използват се
Система RS	□	■	Често се използват
Система ZS	□	■	Рядко се използват

□ Могат да се използват
■ Препоръчва се използване или използването е необходимо.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Изпълнение на схема TT

5.1 Защитни мерки

Защита при индиректен допир

Общ случай

Защитата при индиректен допир се изпълнява от RCDs, чиято чувствителност по ток IΔn удовлетворява условието $I\Delta n \leqslant \frac{50\ V}{R_A}$ (1).

Изборът на чувствителността на RCDs зависи от съпротивлението на заземителя R_A на електрическата уредба (**Табл. F28**).

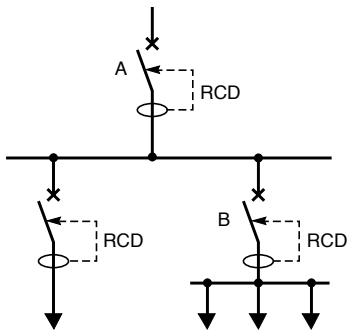
Таблица F28: Горна граница на съпротивлението на заземителя на електрическата уредба, която не трябва да се надвишава при дадено ниво на чувствителност на RCDs и максимални допирни напрежения U_L за 50 и 25 V

IΔn	Максимално съпротивление на заземителя	
	U_L = 50 V	U_L = 25 V
3 A	16 Ω	8 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
300 mA	166 Ω	83 Ω
30 mA	1666 Ω	833 Ω

Случай на разпределени вериги (виж **Фиг. F29**)

Международният стандарт IEC 60364-4-41 и редица национални стандарти регламентират максимално време на изключване за разпределителни вериги на електрическа уредба 1 s (за разлика от крайните вериги). Това позволява да бъде постигната степен на чувствителност:

- На ниво A: RCD със зададено времезакъснение, например тип „S";
- На ниво B: RCD с мигновено действие.



Фиг. F29: Разпределителни вериги

Случай на съединяване на достъпни токопроводими части на електрически апарат или група електрически апарати с отделен заземител (виж **Фиг. F30**)

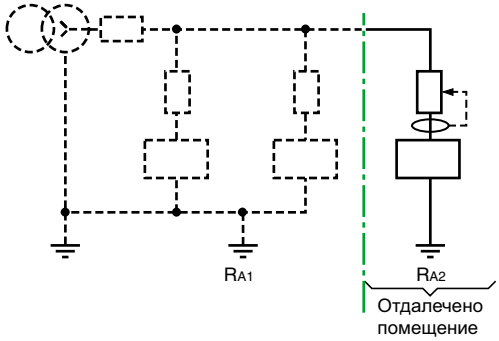
Защита при индиректен допит чрез RCD на ниво автоматичен прекъсвач, защитаващ всяка група от електрически уреди или отделно заземен електрически уред.

Във всеки случай чувствителността на RCD трябва да се избира в зависимост от съпротивлението на съответния заземител.

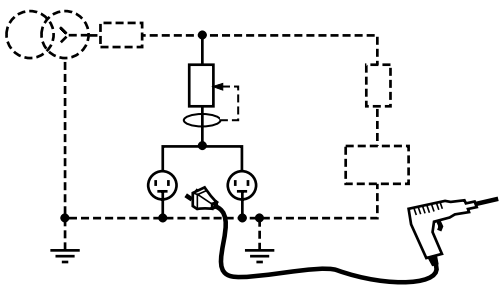
RCD с висока чувствителност (виж **Фиг. F31**)

Съгласно IEC 60364-4-41, RCD с висока чувствителност (IΔn ⩽ 30 mA) трябва да бъдат използвани за защита на всички щепселни съединения, с обявен ток, не по-голям от 20 A. Употребата на такива RCD се препоръчва още в следните случаи:

- Щепселни съединения във вериги за мокри помещения, независимо от големината на номиналния ток.
- Щепселни съединения във вериги на временни електрически уредби.
- Вериги, захранващи перални помещения и плувни басейни.
- Вериги, захранващи работни площадки, каравани, плавателни съдове и подвижни щандове (виж т. 2.2 и Раздел 3 на Глава P).



Фиг. F30: Отделен заземител



Фиг. F31: Захранваща верига на щепселни съединения

(1)25 V за електрически уредби на работни площадки, селскостопански предприятия и др.

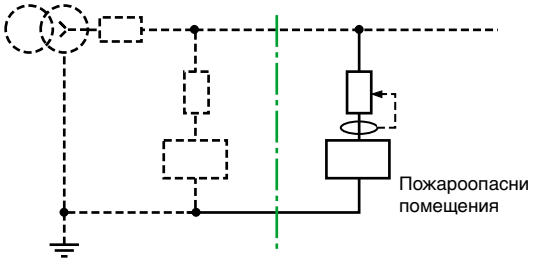
© Schneider Electric - всички права запазени

Пожароопасни места (виж **Фиг. F32**)

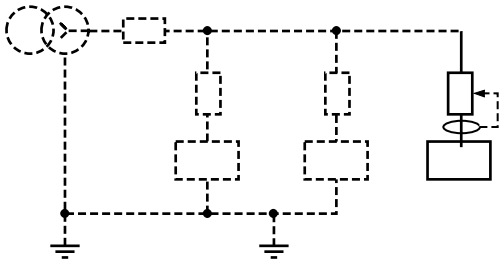
При помещения с повишен риск от пожар трябва да се предвижда дефектнотокова защита. В много страни такова използване на RCD е задължително.
Чувствителността на RCD трябва да бъде IΔn ⩽ 500 mA. Препоръчва се IΔn = 300 mA.

Защита на чужди токопроводими части, които не са съединени със земя (виж **Фиг. F33**)

(Когато съществуващата електрическа уредба е разположена в сухо помещения и осигуряване на заземяване е невъзможно, или в случай на прекъсване на защитен проводник).
RCD с висока чувствителност (IΔn ⩽ 30 mA) осигурява защита както при индиректен допир, така и допълнителна защита срещу директен допир.



Фиг. F32: Пожароопасни помещения



Фиг. F33: Незаземени достъпни токопроводими части (A)

5.2 Координация на RCD

Селективно изключване се постига чрез времезакъснение или секциониране на вериги, които се защитават поотделно или на групи, или чрез комбинация от двата метода.

Такава селективност предотвратява заработването на произволна RCD с изключение на тази, която се намира непосредствено над мястото на повредата във веригата:

- Със съвременните дефектнотокови защити се осигурява възможност за селективно защитно изключване на три или четири различни нива на разпределение на електрическата енергия:
  - На главното разпределително табло;
  - На местни табла;
  - На междинни разпределителни табла;
  - На щепселни съединения за отделни битови електрически уреди.

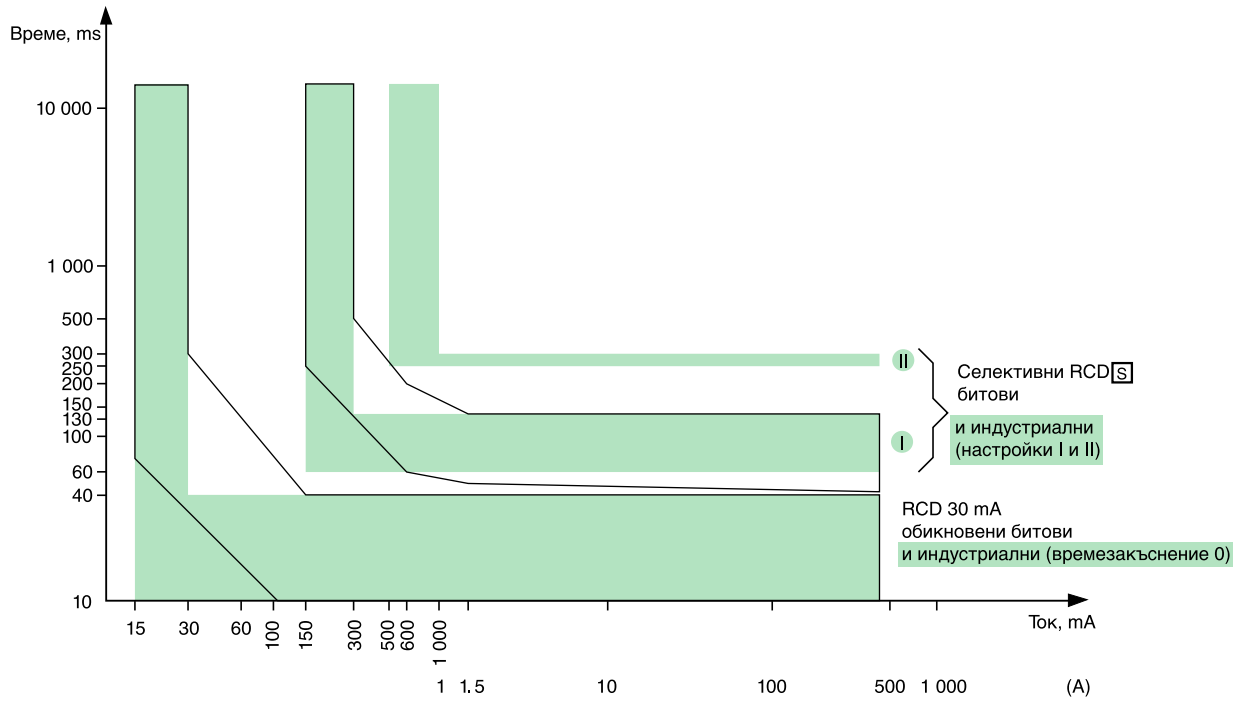
Селективност на RCD

Общите изисквания за осигуряване на пълна селективност на задействане между две RCDs се изразява в следното:

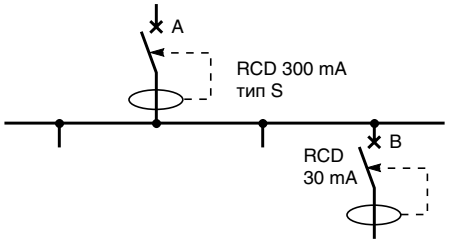
- Отношението между номиналните токове на задействане трябва да бъде по-голямо от 2;
- Осигуряване времезакъснение при заработване на горестоящата RCD.

Селективността се постига чрез използване на няколко стандартни нива на чувствителност: 30, 100, 300, 500 и 1000 mA и съответните времена за изключване, както е показано на следващата страница на **Фиг. F34**.

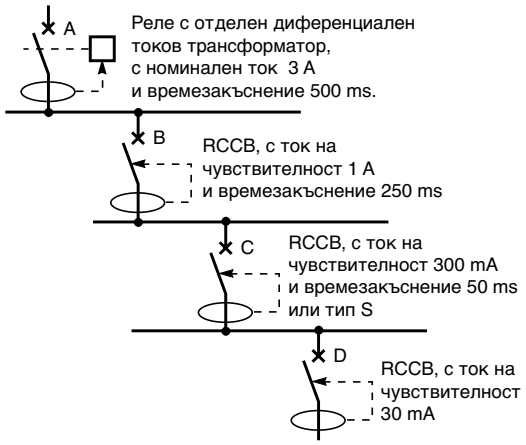
© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. F34: Пълна селективност на две нива



Фиг. F35: Пълна селективност на две нива



Фиг. F36: Пълна селективност на три или четири нива

Селективност на две нива (виж **Фиг. F35**)

Защита

- Ниво A: RCD с времезакъснение, настройка I (индустриален тип) или тип S (битов тип) за защита при индиректен допир.
- Ниво B: RCD с мигновено действие, с висока чувствителност, за вериги захранващи щепселни съединения или уреди с висок риск (перални и др.). Виж също раздел 3 на Глава P.

Решения на Schneider Electric

- Ниво A: Автоматичен прекъсвач Compact или Multi 9 с присъединяем RCD модул (Vigi NS160 или Vigi NS100), настройка I или тип S.
- Ниво B: Автоматичен прекъсвач с вградена RCD (DPN Vigi) или присъединяем RCD модул (например Vigi C60 или Vigi C120) или Vigi Compact.

Забележка: Настройката на горестоящото комбинирано устройство автоматичен прекъсвач и дефектнотокова защита (RCCB) трябва да съответства на изискванията за селективност и да отчита всички токове на утечка към земя на долустоящите участъци от мрежата.

Селективност на три или четири нива (виж **Фиг. F36**)

Защита

- Ниво A: RCD с времезакъснение (настройка III)
- Ниво B: RCD с времезакъснение (настройка II)
- Ниво C: RCD с времезакъснение (настройка I) или тип S
- Ниво D: RCD с мигновено действие

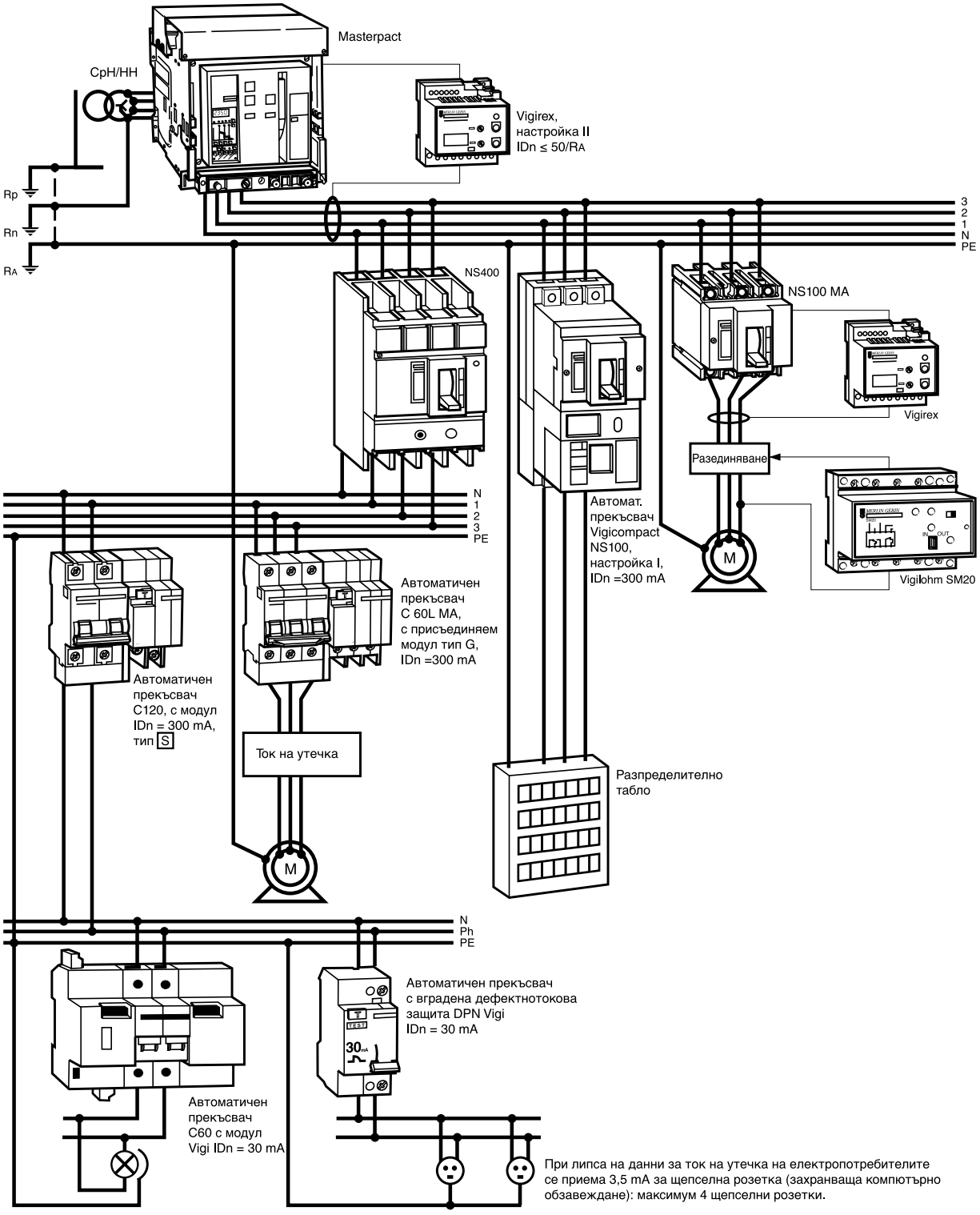
Решения на Schneider Electric

- Ниво A: Автоматичен прекъсвач, обединен с RCD и отделен тороидален токов трансформатор (Vigirex RH45A)
- Ниво B: Vigicompact или Vigirex
- Ниво C: Vigirex, Vigicompact или Vigi C120 или Vigi C60, ID
- Ниво D:
  - Vigicompact или
  - Vigirex или
  - Multi 9 с вграден или присъединен RCD модул: Vigi 60 или DPN Vigi

Забележка: Настройката на горестоящото RCCB трябва да съответства на изискванията за селективност и да отчита всички токове на утечка към земя на долустоящите участъци от мрежата.

© Schneider Electric - всички права запазени

Селективна защита на три нива (виж **Фиг. F37**)



Фиг. F37: Типична електрическа уредба на три нива в схема TT, показваща защита на веригите. Единият от двигателите е със специална защита.

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Изпълнение на схема TN

6.1 Предварителни условия

На стадий проектиране е необходимо да се пресметне максимално допустимата дължина на кабел, разположен под защитния автоматичен прекъсвач (или комплекта стопяеми предпазители).

Трябва да се спазват определи условия, изброени по-долу и показани на **Фиг. F38**.

1. PE проводника трябва да бъде периодично, колкото се може по-често, свързан към земята.

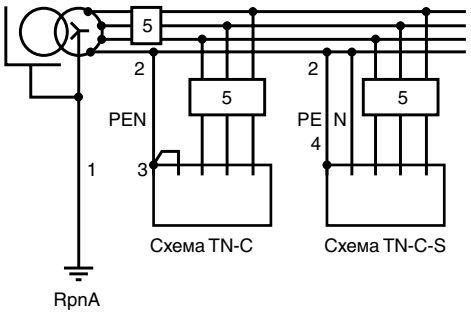
2. PE проводника не трябва да се монтира във феромагнитен кабелопровод, канал и т.н., или да бъде монтиран на метални конструкции, тъй като индуктивните и/или взаимно индуктивните явления могат да увеличат неговото пълно съпротивление.

3. В случай на PEN проводник (защитен неутрален проводник) свързването трябва да бъде направено директно към защитната клема на трифазния електрически уред (виж 3 на **Фиг. F38**), а след това към клемата на неутралата на същия апарат.

4. Ако сечението на проводника е по-малко от 6 mm^2 за мед и 10 mm^2 за алуминий, или ако кабела е подвижен, нулевият и защитният проводник трябва да бъдат разделени, т.е. за разглежданата уредба трябва да се избере схема TN-S.

5. Земните съединения могат да бъдат отстранени с устройства за максималнотокова защита, т.е. чрез стопяеми предпазители и автоматични прекъсвачи.

В този списък са посочени условия, които трябва да се спазват при реализация на схема TN за осигуряване защита на хора при индиректен допир.



Забележка:

■ При използване на схема TN неутралата на вторичната намотка на трансформатора CpH/HH, достъпните токопроводими части на трафопоста и електрическата уредба, чуждите токопроводими части на трафопоста и електрическата уредба, трябва да бъдат свързани към обща заземителна система.

■ За подстанция, в която отчитането на електроенергия се осъществява на страна HH, на входа на електрическата уредба HH се изисква използване на устройство за разделяне. Това разделяне трябва да бъде видимо.

■ PE проводникът не трябва да се прекъсва при никакви обстоятелства.
Комутационните апарати за схеми TN трябва да бъдат:

□ Триполюсни, ако се използва PEN проводник (схема TN-C);

□ Препоръчва се четириполюсен (3 фази + неутрала), ако тази верига съдържа неутрала с отделен PE проводник (схема TN-S).

Фиг. F38: Изпълнение на схема TN

6.2 Защита при индиректен допир

Методи за определяне нивата на тока на късо съединение

Обикновено се използват три метода за изчисляване:
■ Метод на импедансите, основан на векторното сумиране на пълните съпротивления на системата
■ Композиционен метод
■ Традиционен метод, основан на предполагаем пад на напрежение и използване на специални таблици

При схеми TN, по късо съединената верига към земя, по принцип, винаги протича ток с достатъчна големина за заработване на максималнотокова защита.

Импедансите на захранващия източник и захранващата мрежа са много по-ниски от съпротивленията на веригите на електрическата уредба. Затова всяко ограничаване на големината на тока на късо съединение ще зависи от съпротивлението на проводниците на електрическата уредба (дългите гъвкави проводници, отиващи към електрическите апарати, значително увеличават импеданса на веригата на късо съединение и съответно намалява стойността на тока на късо съединение).

Най-новите IEC препоръки по отношение защитата при индиректен допир в схеми TN само дават връзката между максимално допустимите времена за изключване и номиналното напрежение на системата (виж **Фиг. F12** в т.3.3).

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Изпълнение на схема TN

За подобни пресмятания в съвременната практика все по-често се използват софтуери. Обикновено те са базирани на метода на импедансите. Schneider Electric предлага софтуера Ecodial, който осигурява бързо и лесно пресмятане на токовете на късо съединение и земно съединение в електрически уредби НН.

Посочените препоръки са основани на следното. За да се повиши потенциала на достъпна токопроводима част до 50 V или повече токът, който трябва да протича във веригите при схема TN е толкова голям, че може да се случи:
- Веригата на късо съединение да прегори практически мигновено, или
- Става метално късо съединение на проводника и токът е достатъчно голям, за да предизвика заработване на максималнотокова защита.

В последния случай, за да се осигури правилно заработване на защитното устройство от свръх ток, на етапа на проектиране е необходимо да се извърши достатъчно точна оценка на нивата на токовете на късо съединение към земя. Грижливият анализ предвижда използване на метода на симетрични съставящи на всяка верига по ред. Даденият метод е прост, но обемът от изчисления е много голям, особено ако се отчете, че на типична електрическа уредба НН е много трудно да се определят с приемлива степен на точност пълните съпротивления с нулева последователност.

Предпочитат се други опростени методи, осигуряващи приемлива точност. По-долу са описани три такива практически метода:
- **Метод на импедансите** – основан на сумиране на всички пълни съпротивления (само с права последователност) на всеки елемент от веригата на съединение към земя.
- **Композиционен метод** – представлява оценка на тока на късо съединение на по-далечния край на веригата при известен ток на късо съединение в близкия край на веригата.
- **Традиционен метод** – пресмята минималните стойности на тока на късо съединение към земя с използване на таблици със стойности за получаване на бързи резултати.

Тези методи дават надеждни оценки само в случай, че кабелите, образуващи веригата на късо съединение към земя са в непосредствена близост един от друг и не са разделени с феромагнитни материали.

Метод на импедансите

При този метод се сумират пълните съпротивления с права последователност за всеки елемент от веригата на съединяване към земя (кабел, PE проводник, трансформатор и др.), на основата на което се определя тока късо съединение към земя по следната формула:

$$I = \frac{U}{\sqrt{\left(\sum R\right)^2 + \left(\sum X\right)^2}} \quad ,$$

където $(\Sigma R)^2$ е сумата от квадратите на всички активни съпротивления във веригата на тока на късо съединение към земя;

$(\Sigma X)^2$ – сумата от квадратите на всички реактивни съпротивления във веригата на тока на късо съединение към земя;

U – номиналното фазно напрежение.

Използването на този метод понякога се затруднява от това, че трябва да са известни стойностите на всички параметри на системата и характеристиката на елементите по веригата на земното съединение. Националните нормативни документи могат да съдържат препоръки за типови стойности на параметрите за целите на оценката.

Композиционен метод

Даденият метод позволява да се определи тока на късо съединение на далечния край на веригата при известна стойност на тока на късо съединение на близкия край на тази верига с помощта на формулата:

$$I = Isc \frac{U}{U + Zs.Isc}$$

където Isc е токът на късо съединение на горестоящия участък на веригата;

I – токът на късо съединение на далечния край на веригата;

U – номиналното фазно напрежение в системата;

Zs – пълното съпротивление на веригата.

Забележка: За разлика от „Метода на импедансите" в даденият метод пълните съпротивления на отделните вериги се сумират аритметически(1).

Традиционен метод

Този метод позволява достатъчно точно да се определят максимално допустимите дължини на кабелите.

Принцип

Принципът на метода е основан на пресмятане на тока на късо съединение и предполага, че на входа на разглежданата верига напрежението остава на ниво 80 % или повече от номиналното фазно напрежение. Тази стойност, заедно със стойността на пълното съпротивление на веригата се използва за пресмятане на тока на късо съединение.

(1) Това предизвиква намаляване стойността на изчисления ток спрямо фактическия. Ако настройките на максималнотоковата защита са основани на тази изчислена стойност, заработването на прекъсвача или стопяемия предпазител се гарантира.

© Schneider Electric - всички права запазени

Този коефициент отчита целия пад на напрежение в участъците, разположени във веригата над разглежданата точка. В кабелите НН, когато всичките проводници от трифазната четирипроводна верига се намират близо един до друг (това е най-често срещания случай) индуктивното съпротивление както на самите проводници, така и между тях е пренебрежимо малко в сравнение с активното съпротивление на кабела. Такова допускане е справедливо за кабели със сечение до 120 mm². Над това сечение активното съпротивление R се увеличава по следния начин:

Сечение на жилото, mm²	Стойност на съпротивлението
S = 150 mm²	R+15%
S = 185 mm²	R+20%
S = 240 mm²	R+25%

Максималната дължина на всяка електрическа верига при използване на схема на заземяване TN е: $\frac{0.8\ Uo\ Sph}{\rho(1+m)Ia}$

Максималната дължина на всяка верига, в схема TN, се дава чрез формулата:

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ Sph}{\rho(1+m)Ia},$$

където Lmax е максималната дължина, m;

Uo = 230 V – фазното напрежение за система 230/400 V;

ρ – специфичното съпротивление при нормална работна температура, Ω.mm²/m (за мед ρ = 22.5 10^{-3} Ω.mm²/m; за алуминий ρ = 36 10^{-3} Ω.mm²/m);

Ia – стойността на тока на настройка мигновената защита на автоматичния прекъсвач, A, или

Ia – стойността на тока на изключване на стопяемия предпазител, която се гарантира за нормативното време, A;

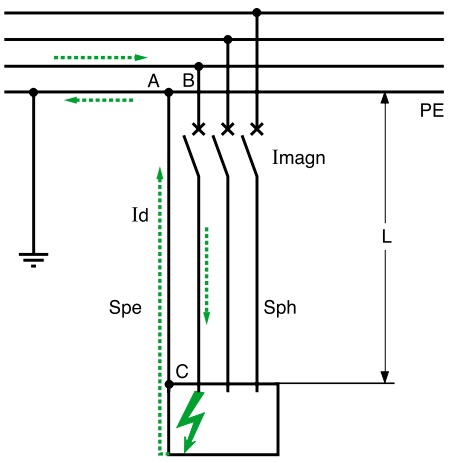
$$m = \frac{Sph}{S_{PE}}$$

Sph е сечението на фазовите проводници в съответната верига, mm²;

S_{PE} – сечението на защитния проводник в съответната верига, mm².

(виж **Фиг. F39**)

В следващите таблици е показана дължината на веригата, която не трябва да се надвишава, за да може да се осигури защита на хора при индиректен допир с помощта на защитни устройства.



Фиг. F39: Към изчисляване максималната дължина Lmax на верига за схема TN при използване на традиционен метод

Таблици

Посочените по-долу таблици за система TN са съставени с помощта на описания по-горе традиционен метод. В тях са показани максималните дължини на веригите, при превишаването на които активното съпротивление на проводниците ограничава стойността на тока на късо съединение до ниво, под което заработването на автоматичния прекъсвач или стопяемия предпазител не става с достатъчна бързина, за да се осигури безопасност при индиректен допир.

Корекционен коефициент m

В **Табл. F40** е посочен корекционния коефициент, който трябва да се използва за стойностите, дадени в **Табл. F41** до **Табл. F44**, на следващите страници. Стойността му се отчита в зависимост от отношението Sph/SPE, типа на веригата и материала на проводника.

В тези таблици се отчита:

- Типа на защитата: автоматични прекъсвачи или стопяеми предпазители
- Настройката на тока на заработване
- Сеченията на фазните и защитни проводници
- Типа на схемата за заземяване (виж **Фиг. F45** на стр. F27)
- Типа на автоматичния прекъсвач (например, криви на изключване B, C или D)(1)

Таблиците могат да бъдат използвани за система с напрежение 230/400 V.

Еквивалентните таблици за защита с помощта на автоматични прекъсвачи тип Compact или Multi9 (Schneider Electric), са включени в съответните каталози.

Таблица. F40: Корекционен коефициент за дължини на вериги, дадени в Табл. F41 до Табл. F44

Верига	Материал на проводника	m = Sph/S_{PE} (or PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3P + N or P + N	Мед	1	0.67	0.50	0.40
	Алуминий	0.62	0.42	0.31	0.25

(1) За термина криви на изключване B, C или D на автоматични прекъсвачи виж т. 4.2. на Глава H.

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Изпълнение на схема TN

Вериги, защитавани с автоматични прекъсвачи с общо предназначение (виж **Табл. F41**)

Таблица F41: Максимални дължини на верига, в m, за различни номинални сечения на меден проводник и настройка на тока за мигновено изключване при използване на автоматични прекъсвачи с общо предназначение в схеми TN 230/240 V с корекционен коефициент m = 1

Номинално сечение на проводниците	Ток на изключване на мигновената или бързодействащата защита на автоматичния прекъсвач Im, A																												
mm²	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	560	630	700	800	875	1000	1120	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000	6300	8000	10000	12500
1.5	100	79	63	50	40	31	25	20	16	13	10	9	8	7	6	6	5	4	4										
2.5	167	133	104	83	67	52	42	33	26	21	17	15	13	12	10	10	8	7	7	5	4								
4	267	212	167	133	107	83	67	53	42	33	27	24	21	19	17	15	13	12	11	8	7	5	4						
6	400	317	250	200	160	125	100	80	63	50	40	36	32	29	25	23	20	18	16	13	10	8	6	5	4				
10			417	333	267	208	167	133	104	83	67	60	53	48	42	38	33	30	27	21	17	13	10	8	7	5	4		
16					427	333	267	213	167	133	107	95	85	76	67	61	53	48	43	33	27	21	17	13	11	8	7	5	4
25							417	333	260	208	167	149	132	119	104	95	83	74	67	52	42	33	26	21	17	13	10	8	7
35								467	365	292	233	208	185	167	146	133	117	104	93	73	58	47	36	29	23	19	15	12	9
50									495	396	317	283	251	226	198	181	158	141	127	99	79	63	49	40	32	25	20	16	13
70												417	370	333	292	267	233	208	187	146	117	93	73	58	47	37	29	23	19
95														452	396	362	317	283	263	198	158	127	99	79	63	50	40	32	25
120																457	400	357	320	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32
150																	435	388	348	272	217	174	136	109	87	69	54	43	35
185																		459	411	321	257	206	161	128	103	82	64	51	41
240																				400	320	256	200	160	128	102	80	64	51

Вериги, защитавани с автоматични прекъсвачи Compact или Multi 9 за битова или индустриална употреба (виж **Табл. F42**)

Таблица F42: Максимални дължини на верига, в m, за различни номинални сечения на меден проводник и номинални токове на автоматични прекъсвачи тип B (1) за еднофазна или трифазна система TN с напрежение 230/240 V и корекционен коефициент m = 1

Sph	Номинален ток, A															
mm²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1.5	1200	600	400	300	200	120	75	60	48	37	30	24	19	15	12	10
2.5		1000	666	500	333	200	125	100	80	62	50	40	32	25	20	16
4			1066	800	533	320	200	160	128	100	80	64	51	40	32	26
6				1200	800	480	300	240	192	150	120	96	76	60	48	38
10						800	500	400	320	250	200	160	127	100	80	64
16							800	640	512	400	320	256	203	160	128	102
25									800	625	500	400	317	250	200	160
35										875	700	560	444	350	280	224
50												760	603	475	380	304

Таблица F43: Максимални дължини на верига, в m, за различни номинални сечения на меден проводник и номинални токове на автоматични прекъсвачи тип C (1) за еднофазна или трифазна система TN с напрежение 230/240 V и корекционен коефициент m = 1

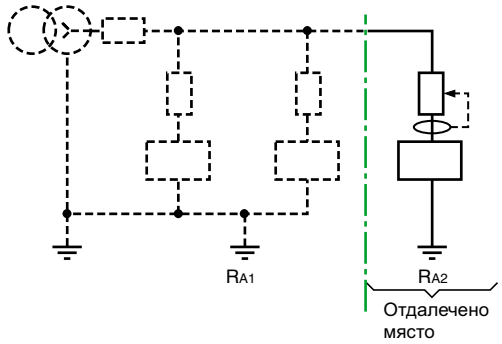
Sph	Номинален ток, A															
mm²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1.5	600	300	200	150	100	60	37	30	24	18	15	12	9	7	6	5
2.5		500	333	250	167	100	62	50	40	31	25	20	16	12	10	8
4			533	400	267	160	100	80	64	50	40	32	25	20	16	13
6				600	400	240	150	120	96	75	60	48	38	30	24	19
10					667	400	250	200	160	125	100	80	63	50	40	32
16						640	400	320	256	200	160	128	101	80	64	51
25							625	500	400	312	250	200	159	125	100	80
35							875	700	560	437	350	280	222	175	140	112
50									760	594	475	380	301	237	190	152

(1) За термина криви на изключване тип B, C или D на автоматични прекъсвачи виж т.4.2. на Глава H.

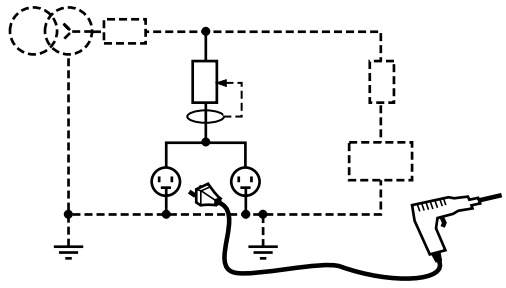
© Schneider Electric - всички права запазени

Таблица F44: Максимални дължини на верига, в m, за различни номинални сечения на меден проводник и номинални токове на автоматични прекъсвачи тип D (1) за еднофазна или трифазна система TN с напрежение 230/240 V и корекционен коефициент m = 1

Sph	Номинален ток, A															
mm²	1	2	3	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1.5	429	214	143	107	71	43	27	21	17	13	11	9	7	5	4	3
2.5	714	357	238	179	119	71	45	36	29	22	18	14	11	9	7	6
4		571	381	286	190	114	71	80	46	36	29	23	18	14	11	9
6		857	571	429	286	171	107	120	69	54	43	34	27	21	17	14
10			952	714	476	286	179	200	114	89	71	57	45	36	29	23
16					762	457	286	320	183	143	114	91	73	57	46	37
25						714	446	500	286	223	179	143	113	89	71	57
35							625	700	400	313	250	200	159	125	80	100
50								848	543	424	339	271	215	170	136	109



Фиг. F45: Отделен заземител



Фиг. F46: Електрическа верига, захранваща щепселни съединения

Пример

Трифазна четирипроводна електрическа уредба с напрежение 230/400 V е заземена по схема TN-C.

Веригата е защитена с автоматичен прекъсвач тип B с номинален ток на задействане 63 A, и е изградена от кабел с тоководещи жила със сечение от 50 mm² за фазовите проводници и от 25 mm² за неутралния проводник PEN.

Каква е максималната дължина на веригата, от която се осигурява гарантирана защита на хора при индиректен допир с помощта на електромагнитния изключвател с мигновено действие на автоматичния прекъсвач?

От **Табл. F42** за сечение на проводника 50 mm² и за автоматичен прекъсва тип B с номинален ток 63 A, се получава дължина 603 m. Тя трябва да бъде коригирана с корекционен коефициент 0,42 (от Табл. F40 $m = \frac{Sph}{SPE} = 2$).

Следователно максималната дължина на веригата е:

603 x 0.42 = 253 m.

Частен случай, когато една или няколко достъпни токопроводими части са свързани към отделен заземител

Защитата при индиректен допир трябва да бъде осигурена чрез монтаж на RCD на входа на всяка верига, захранваща битов електрически уред или група битови електроуреди, достъпните токопроводими части, на които са заземени към отделен заземител.

Чувствителността на тази RCD трябва да бъде съгласувана със съпротивлението на заземителя (RA2 на **Фиг. F45**). Виж техническите изисквания за схема TT.

6.3 Високочувствителни RCD (виж **Фиг. F31**)

Съгласно IEC 60364-4-41, високочувствителни RCD ($I\Delta n \leqslant 30$ mA) трябва да бъдат използвани за защита на щепселни съединения, с обявен номинален ток, не по-голям от 20 A, за всички помещения. Употребата на такива RCDs се препоръчва още в следните случаи:

- Щепселни съединения във вериги за мокри помещения, независимо от големината на номиналния ток;
- Щепселни съединения във вериги на временни електрически уредби;
- Вериги захранващи перални помещения и плувни басейни;
- Вериги захранващи работни площадки, каравани, плавателни съдове и подвижни щандове (виж т.2.2 и раздел 3 на Глава P).

В България Наредба №3 за Устройството на електрическите уредби и електропроводните линии изисква задължително използване на дефектнотокови защити с чувствителност 30 mA в следните случаи:

- За защита на токови кръгове, захранващи контактни излази, в които могат да се включват преносими електрически уреди – чл. 1789. На практика това са всички контактни излази с общо предназначение в жилищни сгради, хотелски стаи, офис сгради, сервизни помещения и др.
- За защита на токови кръгове, захранващи контакти в помещения с повишена опасност и особено опасни помещения – бани, мокри помещения, помещения с влага и подобни – чл. 1799.

(1) За термина крива на изключване D на автоматични прекъсвачи виж т.4.2. на Глава H

© Schneider Electric - всички права запазени

6.4 Защита на пожароопасни помещения

Съгласно IEC 60364-422-3.10, веригите в помещения, в които риска от пожар е голям, трябва да бъдат защитени с RCD с чувствителност IΔn ⩽ 500 mA. Това изключва употребата на схема TN-C и следва да се използва схема TN-S. Препоръчваната чувствителност IΔn = 300 mA на RCD е задължителна в някои страни (виж **Фиг. F47**).

6.5 Защита при особено голям импеданс на верига със земно съединение

Когато токът на земно съединение е ограничен от високото съпротивление на веригата на земно съединение и поради тази причина максималнотоковата защита не може да изключи веригата в продължение на нормираното време, трябва да се избере една от следните възможности:

Първо предложение (виж **Фиг. F48**)

■ Да се монтира автоматичен прекъсвач с намален праг на задействане на електромагнитния изключвател с мигновено действие, например:
2In ⩽ Irm ⩽ 4In
Това осигурява защита от индиректен допир във вериги с много голяма дължина. При това трябва да се провери дали големите преходни токове, например пускови токове на електродвигатели, не предизвикват лъжливи изключвания.
■ Решения на Schneider Electric:
□ Автоматичен прекъсвач Compact тип G (2Im ⩽ Irm ⩽ 4Im)
□ Автоматичен прекъсвач Multi 9 тип B.

Второ предложение (виж **Фиг. F49**)

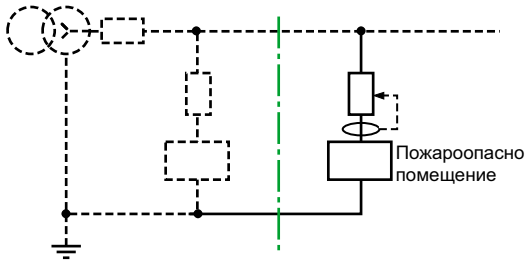
■ Да се монтира RCD във веригата. Това устройство не е необходимо да бъде с висока чувствителност (от няколко A до няколко десетки A). Ако е предвидено да се използват щепселни съединения то във всеки случай определени вериги трябва да бъдат защитени с RCD с висока чувствителност
(IΔn ⩽ 30 mA), обикновено едно RCD се монтира за няколко щепселни съединения във веригата.
■ Решения на Schneider Electric:
□ Модул RCD за Multi 9 и NG125: IΔn = (1 ... 3) A
□ Модул Vigicompact: IΔn = (3 ... 30) A
□ Автоматичен прекъсвач Multi 9 крива на изключване B.

Трето предложение

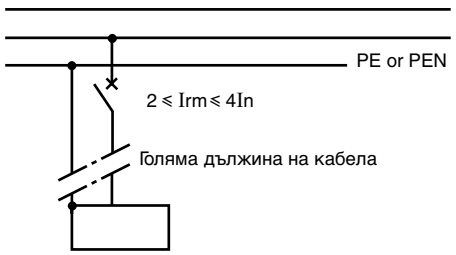
Да се увеличи сечението на PE или PEN проводниците и/или на фазовите проводници, за да се намали съпротивлението на веригата при земно съединение.

Четвърто предложение

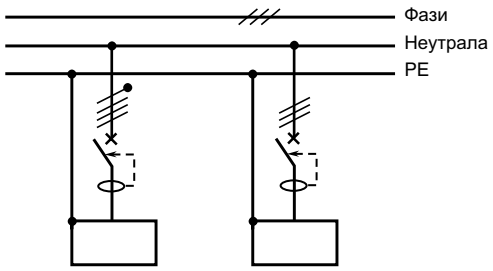
Да се монтират допълнителни проводници за изравняване на потенциалите. Това ще има подобен ефект на този, описан в трето предложение, т.е. намаляване съпротивлението на веригата при земно съединение. Едновременно с това ще се подобрят съществуващите мерки за защита на хора срещу допирни напрежения. Ефективността на това подобряване може да се провери чрез измерване на съпротивлението между всяка достъпна токопроводима част и местния главен защитен проводник.
За електрически уредби, реализирани по схема TN-C, свързване, както е показано на **Фиг. F50** не се допуска и трябва да се изпълни третото предложение.



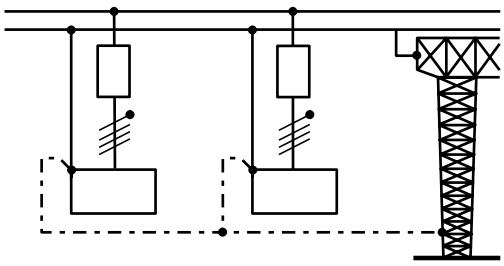
Фиг. F47: Защита на пожароопасно помещение



Фиг. F48: Автоматичен прекъсвач с намален праг на задействане на електромагнитния изключвател с мигновено действие



Фиг. F49: Защита с RCD при схема на заземяване TN с голям импеданс на веригата на земно съединение



Фиг. F50: Подобрена схема за изравняване на потенциали

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Изпълнение на схема IT

Основната особеност на схема IT е, че при случай на късо съединение към земя, системата може да продължи да работи без прекъсване на захранването. Тази повреда се нарича „първо късо съединение".
При тази схема всички достъпни токопроводими части на електрическата уредба са съединени чрез PE проводника към заземителя на електрическата уредба.
Неутралната точка на захранващия трансформатор е:
- Изолирана от земя, или
- Свързана към земя през достатъчно голямо съпротивление (обикновено 1000 Ω или повече).

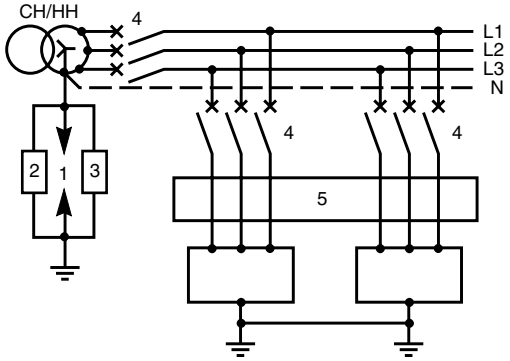
Това означава, че токът на земно съединение ще бъде от порядъка на mA и затова не предизвиква сериозни повреди в мястото на късо съединение. Той не предизвиква появата на опасни допирни напрежения и не създава опасност от пожар. Следователно системата може да работи нормално дотогава, докато не се появи възможност за изолиране на повредения участък и ремонтирането му. Това осигурява непрекъснатост на електрозахранването.
На практика, за успешна експлоатация на такава схема на заземяване, се изисква използване на специални мерки:
- Постоянен контрол за състоянието на изолацията спрямо земя с подаване на сигнал (звуков или светлинен) в случай на първо късо съединение.
- Устройство за ограничаване на напрежението, което може да възникне в неутралната точка на захранващия трансформатор спрямо земя.
- Отработена процедура за намиране на мястото на първо късо съединение от висококвалифициран ремонтен персонал. Търсенето на мястото на първо късо съединение се улеснява значително чрез използване на автоматични устройства.
- В случай, че до отстраняване на първото късо съединение се появи „второ късо съединение" съответните автоматични прекъсвачи трябва да заработят. Второто късо съединение (по дефиниция) е земно съединение през друг проводник под напрежение, а не през този, по който протича тока на първото късо съединение (фазов или неутрален проводник).

Второто съединение води до късо съединение през земя и/или през PE проводниците на системата за изравняване на потенциали.

7.1 Предварителни условия (виж **Табл. F51 и Фиг. F52**)

Таблица. F51: Основни функции на вериги в схема IT и примери за реализация с изделия на Schneider Electric

Минимални изисквани функции	Компоненти и устройства	Примери
Защита от пренапрежения с честота на захранващата мрежа	(1) Ограничител на напрежение	Искрова междина C
Резистор във веригата за заземяване на неутралата (за изменение на импеданса)	(2) Резистор	Импеданс Zx
Общ контрол на изолацията към земя с подаване на предупредителен сигнал в случай на първо късо съединение	(3) Устройство за постоянен контрол на изолацията PIM с подаване на предупредителен сигнал	Vigilohm TR22A или XM 200
Автоматично изключване на късото съединение при второ съединение и максималнотокова защита на нулевия проводник	(4) Четириполюсни автоматични прекъсвачи Всички четири полюса са с изключващ елемент	Автоматичен прекъсвач или RCD със средна чувствителност
Откриване мястото на първо късо съединение	(5) С устройство за откриване на мястото на късо съединение в системата под напрежение или чрез последователно изключване на вериги	Система Vigilohm



Фиг. F52: Местоположение на компонентите и устройствата за осигуряване на минимални изискуеми функции с апаратура на Schneider Electric

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Изпълнение на схема IT

7.2 Защита при индиректен допир

Модерните системи за контрол на изолацията значително облекчават намирането на мястото на първо късо съединение и неговото отстраняване.

Първо късо съединение

Токът, който протича към земя, при първо късо съединение, е от порядъка на mA. Напрежението на късо съединение, спрямо земя, е произведение на този ток и съпротивлението на заземителя на електрическата уредба и PE проводника (от повредения елемент до заземителя). Това напрежение не е опасно и в най-лошия случай може да бъде от порядъка на няколко волта. Например, ако неутралната точка на захранващия трансформатор е свързана към земя през съпротивление 1000 Ω ще протече ток 230 mA(1), а на неефективния заземител на уредбата със съпротивление 50 Ω, напрежението ще бъде 11,5 V.
Устройството за постоянен контрол на изолацията (PIM) подава аварийен сигнал.

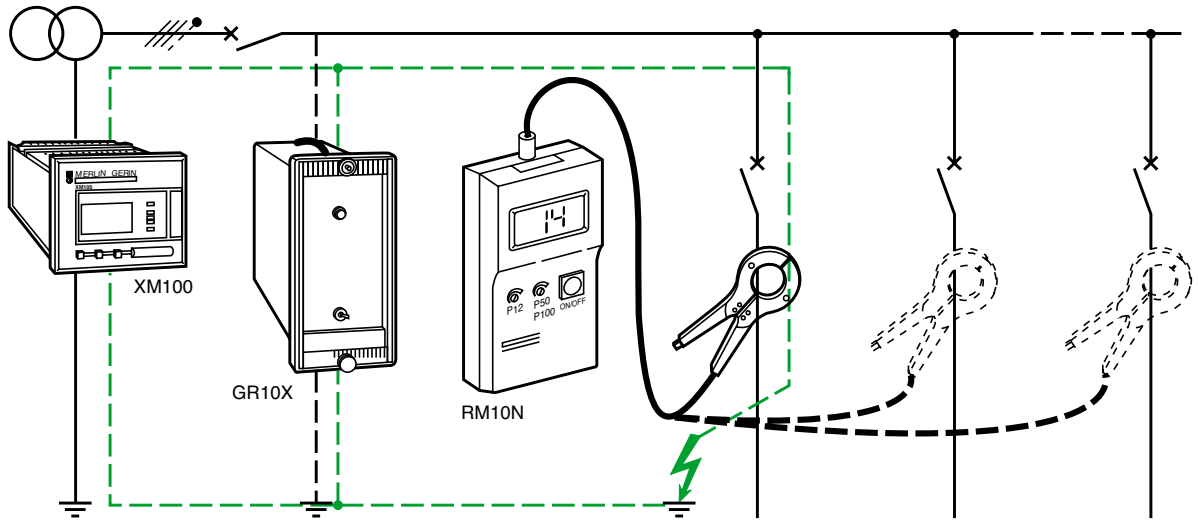
Принцип на контрола на изолацията

Генератор за променлив ток с много малка честота или на постоянен ток (за намаляване на ефекта на капацитета на кабелите) прилага напрежение между неутралата на захранващия трансформатор и земята. Това напрежение предизвиква протичането на малки токове, чиято големина зависи от съпротивлението на изолацията към земята на цялата инсталация плюс на включените консуматори.
Прибори, работещи на ниска честота могат да се използват при променливотокови системи, които генерират преходни постояннотокови компоненти при земно съединение. Някои модели могат да различават активната и капацитивната компонента на тока на утечка през изолацията.
Съвременното обзавеждане позволява измерването на изменението на тока на утечка във времето, така че да се реагира превантивно на първо земно съединение.

Системите за локализиране на земни сединения се изпълняват съгласно стандарт IEC 61157-9.

Примери за електрообзавеждане

■ Ръчно търсене мястото на късо съединение (виж **Фиг. F53**)
Генераторът може да бъде стационарен (например, XM100) или портативен (например, GR10X, позволяващ проверката на вериги без напрежение) и портативен приемник, заедно с тороидален феромагнитен преобразувател от клещови тип.



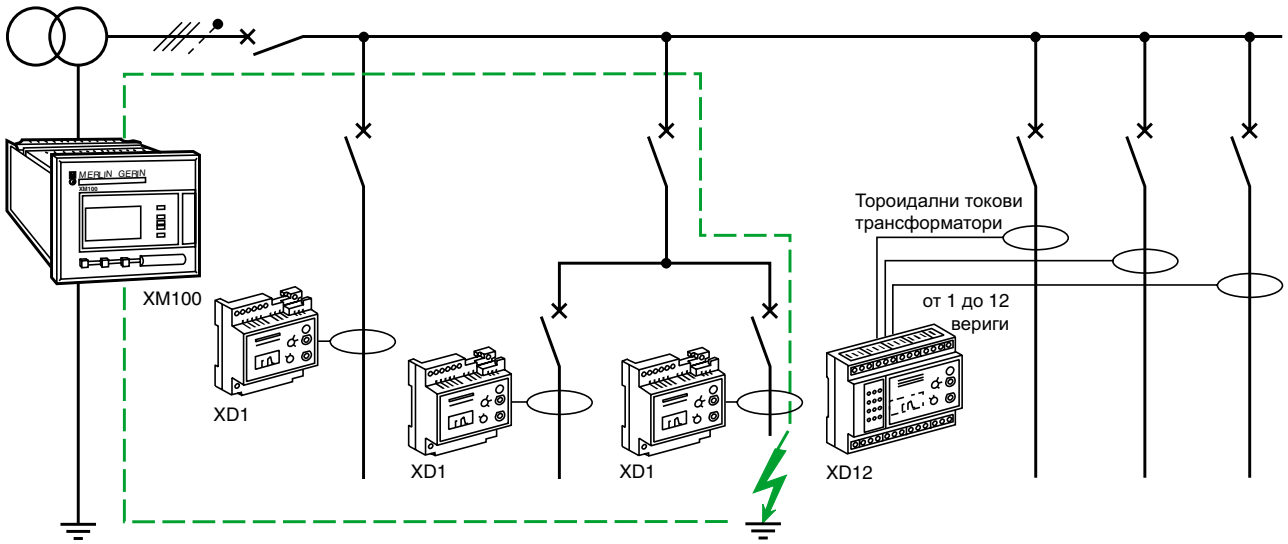
Фиг. F53: Ръчно търсене мястото на късо съединение

■ Автоматично (стационарно) търсене мястото на земно съединение (виж **Фиг. F54** на следващата страница)
Контролното реле XM100, заедно със стационарните устройства XD1 или XD12 (всеки, от които, свързан към тороидален трансформатор за токове с нулева последователност, обхващаш проводниците от съответната верига) образува система за автоматично търсене мястото на земно съединение на електрическата уредба, намираща се под напрежение.
Освен това за всяка контролирана верига се показва нивото на съпротивление на изолация. Контролират се две нива: първото ниво предупреждава за необичайно ниско съпротивление на изолация така, че да бъдат взети съответни превантивни мерки, а второто ниво показва наличието на земно съединение и подава предупредителен сигнал.

(1)За трифазна система 230/400 V.

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Изпълнение на схема IT



Фиг. F54: Автоматично (стационарно) търсене мястото на земно съединение

■ Автоматичен контрол, регистрация и търсене мястото на земно съединение (виж **Фиг. F55**)

Системата Vigilohm осигурява достъп до принтер и/или персонален компютър, осъществяващ пълен контрол за състоянието на нивото на изолацията на цялата разглеждана уредба и регистрира хронологично изменението на нивото на изолацията във всяка верига.

Централното устройство за контрол XM100, заедно със стационарните устройства XD08 и XD16, свързани с тороидалните трансформатори за токове с нулева последователност, както е показано на **Фиг. F55**, осигуряват автоматично откриване на земно съединение.

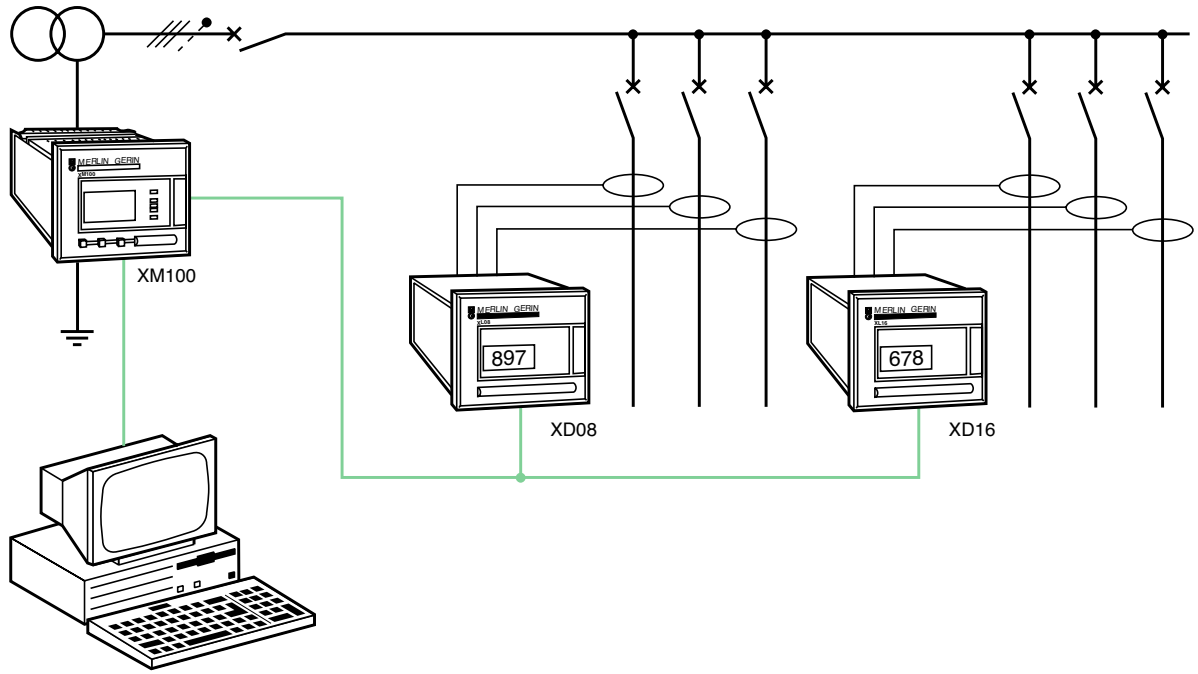
Реализация на устройства за постоянен контрол на изолацията (PIM)

■ Свързване

Устройството обикновено се свързва между неутралната (или изкуствената неутрала) точка на захранващия трансформатор и неговия заземител.

■ Захранване

Захранването към устройството за контрол на изолацията трябва да се извърши от надежден източник на захранване. На практика, това обикновено се осъществява от контролираната електрическа уредба чрез автоматичен прекъсвач.



Фиг. F55: Автоматичен контрол, регистрация и търсене мястото на земно съединение

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Изпълнение на схема IT

■ Настройки

Някои национални стандарти препоръчват да се използва първа настройка на ниво 20 % под нивото на изолация на нова електрическа уредба. Тази стойност позволява да се открие влошаване качеството на изолацията и в ситуация на оформящ се отказ да се предприемат превантивни ремонтни мерки.

Праговото ниво за подаване на предупредителен сигнал, за съединение към земя, ще съответства на много по-ниска стойност на съпротивление.

Например, такива две нива могат да бъдат:

□ Ниво на изолация на нова електрическа уредба: 100 kΩ

□ Безопасен ток на утечка: 500 mA (риск от пожар при ток на утечка > 500 mA)

□ Нива на индикация, зададени от потребителя:

- праг за превантивно техническо обслужване: 0.8 x 100 = 80 kΩ
- праг за подаване на сигнал за земно съединение: 500 Ω

Забележки:

□ След продължителен период на временно изключване на електрическата уредба, по време на който цялата или част от електрическата уредба са били без напрежение, поради овлажняване може да настъпи намаляване на общото ниво на съпротивление на изолацията. Такава ситуация, предизвикана главно от тока на утечка по овлажнената повърхност на неповредената изолация, не означава аварийно състояние на изолацията. Съпротивлението на изолацията бързо се възстановява, след намаляване повърхностната влажност на изолацията, в резултат на нормалното повишаване на температурата на проводниците от протичащия през тях ток.

□ Устройството за контрол на изолацията тип XM може да измерва поотделно активната и капацитивната съставяща на ток на утечка към земя. Това позволява на основата на пълния постоянен ток на утечка да се определи истинското съпротивление на изолацията.

Второ земно съединение

Второто земно съединение в схема IT (ако то не става към същия проводник, както и първото) представлява междуфазно късо съединение или съединение между фаза и неутрала. Независимо от това, дали става в същата верига, както първото земно съединение или друга верига, устройствата за максималнотокова защита (стопяеми предпазители или автоматични прекъсвачи) нормално задействат, което води до автоматично отстраняване на късото съединение.

Настройките за изключване на максималнотоковите защити и номиналните токове на заработване на стопяемите предпазители са основни параметри, които определят максималната практическа дължина на веригата, която може да бъде удовлетворително защитена (виж т.6.2).

Забележка: При нормални обстоятелства, токът на късо съединение протича по общия PE проводник, свързващ всички достъпни токопроводими части на електрическата уредба и затова съпротивлението на веригата на земно съединение е достатъчно ниско, и осигурява необходимото ниво на тока на късо съединение.

В случай на много дълги вериги и особено, ако електрическите уреди са заземени поотделно (така, че тока на късо съединение протича през два заземителя), надеждно изключване от максималнотоковата защита може да се окаже невъзможно.

В този случай се препоръчва инсталиране на RCD във всяка от веригите на електрическата уредба.

Обаче, в случай, че схемата IT е заземена през съпротивление, е необходимо да се следи за това, RCD да няма висока чувствителност. В противен случай първото късо съединение може да доведе до нежелано изключване. Изключването от RCD, които удовлетворяват IEC стандартите, може да стане при стойности от 0.5 IΔn до IΔn, където IΔn е обявеният остатъчен задействащ ток.

Обикновено се използват три метода за изчисляване:
■ Метод на импедансите, основан на векторното сумиране на пълните съпротивления на системата
■ Композиционен метод
■ Традиционен метод, основан на предполагаем пад на напрежение и използване на специални таблици

Методи за определяне нивата на тока на късо съединение

Достатъчна точна оценка за нивата на тока на късо съединение трябва да се извърши на етап проектиране на обекта.

Грижлив анализ не се изисква, тъй като стойностите на токовите са важни само за съответните защитни устройства (т.е. няма необходимост от определяне на фазовите ъгли). Затова обикновено се използват опростени приблизителни методи:

■ **Метод на импедансите** – основан на векторно сумиране на всички пълни съпротивления (само с права последователност) на веригата на късо съединение;

■ **Композиционен метод** – дава приблизителна оценка на тока на късо съединение в по-далечния край на веригата при известен ток на късо съединение в близкия край на веригата. При този метод пълните съпротивления се събират аритметически;

■ **Традиционен метод** – при него се предполага, че минималната стойност на напрежението на входа на повредената верига е 80 % от номиналното напрежение на мрежата, а дължината на веригите се определя с помощта на таблици, основани на това допускане.

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Изпълнение на схема IT

Софтуерът Ecodial 3 е основан на „метода на импедансите”

Максималната дължина на верига със схема на заземяване IT е:

■ *За трифазна трипроводна система*

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ \sqrt{3}\ Sph}{2\ \rho Ia(1+m)}$$

■ *За трифазна четирипроводна*

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ S1}{2\ \rho Ia(1+m)}$$

Тези методи дават надеждни оценки само в случай, че кабелите, образуващи веригата на късо съединение към земя са в непосредствено близост един от друг и не са разделени с феромагнитни материали.

Метод на импедансите

Този метод, описан в т.6.2, е идентичен за схеми на заземяване IT и TN.

Композиционен метод

Този метод, описан в т.6.2, е идентичен за схеми на заземяване IT и TN.

Традиционен метод (виж **Фиг. F53**)

Принципът на този метод за схема IT е аналогичен на този, описан в т.6.2 за схема TN: пресмятането на максималните дължини на веригите, разположени под автоматичния прекъсвач или стопяемите предпазители, при които може да бъде осигурена защита чрез максималнотокови защитни апарати.

Очевидно е, че е невъзможно да се провери дължината на веригите за всяка възможна комбинация от две съвпадащи във времето къси съединения.

Всички случаи обаче могат да се отчетат, ако настройката за изключване по максимален ток е основана на допускането, че първото късо съединение става в отдалечения край на разглежданата верига, а второто късо съединение – на отдалечен край на идентична верига, както е вече е отбелязвано в т.3.4. Като цяло това може да доведе само до едно изключване (във верига с по-ниско ниво на настройка за изключване по максимален ток) в резултат, на което системата остава в състояние на първо късо съединение, но с една изключена неизправна верига.

■ В случай на трифазна трипроводна електрическа уредба второто късо съединение може да предизвика само междуфазно късо съединение. Затова във формулата за максимална дължина на веригата трябва да се използва напрежение със стойност $\sqrt{3}$ Uo.

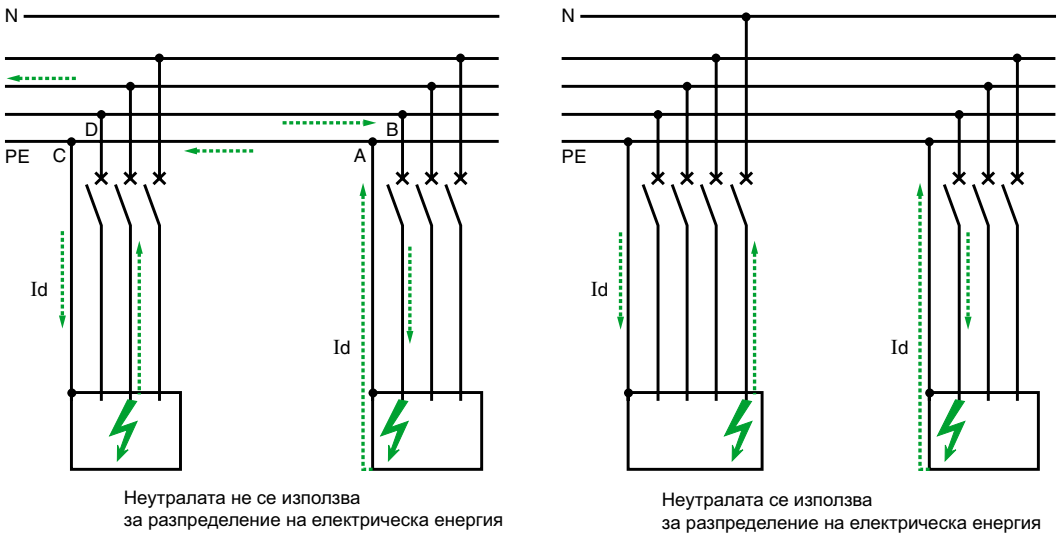
Тогава максималната дължина на веригата, в m, е:

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ \sqrt{3}\ Sph}{2\ \rho Ia(1+m)}.$$

■ В случай на трифазна четирипроводна електрическа уредба най-малката стойност на тока на късо съединение е тогава, когато едно от съединенията е съединение с нулевия проводник. Тогава при пресмятане на максималната дължина на веригата се използва напрежението Uo, в m,

$$Lmax = \frac{0.8\ Uo\ S1}{2\ \rho Ia(1+m)},$$

т.е. само 50 % от дължината на кабела, разрешена за схема TN[1].



Фиг. F56: Изчисляване на Lmax за схема IT. Показан е пътя на тока за случай на двойно земно съединение

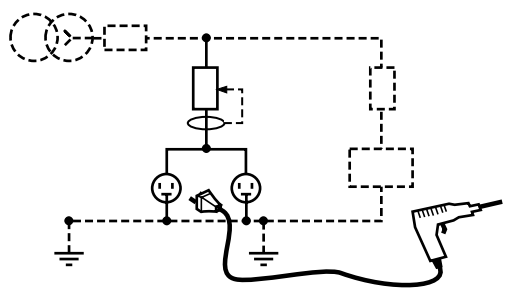
(1) Напомняне: Дължината на веригата при схема TT не се ограничава, защото защитата се осигурява чрез използване на RCD с висока чувствителност.

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Изпълнение на схема IT

В следващите таблици(1) е показана дължината на веригата, която не трябва да се надвишава, за да може да се осигури защита на хора при индиректен допир с помощта на защитни устройства.

Както беше отбелязано при схема TN в България според изискванията на Наредба №3 високочувствителни дефектнотокови защити с чувствителност 30 mA са задължителни за защита на токови кръгове, захранващи контактни излази, в които могат да се включват преносими електрически уреди и за защита на токови кръгове, захранващи контакти в помещения с повишена опасност и особено опасни помещения – бани, мокри помещения, помещения с влага и подобни.



Фиг. F62: Верига за захранване на щепселни съединения

(1) Тези таблици са приложени в т.6.2 (от **Табл. F41** до **Табл. F44**). Обаче, таблицата за корекционните коефициенти (**Табл. F57**), в която се отчита отношението Sph/SPE, типа на веригата (трифазна трипроводна, трифазна четирипроводна, еднофазна двупроводна) както и материала на проводника са специфични за схема IT. **Таблица F57** се отличава от съответната за схема TN.

В посочените по-горе формули:
Lmax е максималната дължина, m;
Uo = 230 V – фазното напрежение за система 230/400 V;
ρ – специфичното съпротивление при нормална работна температура, Ω.mm²/m
(за мед ρ = 22.5 10^{-3} Ω.mm²/m; за алуминий ρ = 36 10^{-3} Ω.mm²/m)
Ia – максималната стойност на тока на настройка за изключване, A, или
Ia – стойността на тока на изключване на стопяемия предпазител, при която се гарантира за нормативното време, A.

$$m = \frac{Sph}{S_{PE}}$$

SPE – сечението на защитния проводник в съответната верига, mm²;
S1 – сечението на нулевия проводник, ако разглежданата верига има такъв, mm²;
S1 – сечението на фазовите проводници, ако разглежданата верига не включва нулев проводник, mm².

Таблици

Посочените по-долу таблици са съставени с помощта на описания по-горе "традиционен метод".
В тях са показани максималните дължини на веригите, при превишаването на които активното съпротивление на проводниците ограничава стойността на тока на късо съединение до ниво, недостатъчно за да предизвика изключване на автоматичния прекъсвач или стопяемия предпазител за достатъчно кратко време, осигуряващо защитата срещу индиректен допир. В таблиците се отчита:
- Типа на защитата: автоматични прекъсвачи или стопяеми предпазители, настройките на тока на заработване.
- Напречно сечение на фазните и защитни проводници
- Типа на схемата за заземяване
- Корекционен коефициент: В **Табл. F57** е посочен корекционния коефициент, който трябва да се използва за стойностите, дадени в **Табл. F4**1 до T**абл. F44**, при схема на заземяване IT.

Таблица. F57: Корекционен коефициент за дължини на вериги, дадени от Табл. F41 до Табл. F44 за схема TN

Верига	Материал на проводника	m = Sph/SPE (or PEN)			
		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4
3 фази	Мед	0.86	0.57	0.43	0.34
	Алуминий	0.54	0.36	0.27	0.21
3фази + N или 1фаза + N	Мед	0.50	0.33	0.25	0.20
	Алуминий	0.31	0.21	0.16	0.12

Пример

Трифазна трипроводна електрическа уредба с напрежение 230/400 V е заземена по схема IT.

Една от нейните вериги е защитена с автоматичен прекъсвач тип B с номинален ток на задействане 63 A, и е изградена от кабел с алуминиеви жила със сечение от 50 mm² за фазовите проводници. Използва се алуминиев PE проводник със сечение 25 mm².

Каква е максималната дължина на веригата, до която се осигурява гарантирана защита на хора при индиректен допир с помощта на електромагнитния изключвател с мигновено действие на автоматичния прекъсвач?

От **Табл. F42** за сечение на проводника 50 mm² и за автоматичен прекъсва тип B с номинален ток 63 A, се получава дължина 603 m. Тя трябва да бъде коригирана с корекционен коефициент 0,36 (m = 2 от **Табл. F40**).

Следователно максималната дължина на веригата е 603 x 0.36=217 m.

7.3 Високочувствителни RCD

Съгласно IEC 60364-4-41, високочувствителни RCD (IΔn ⩽ 30 mA) трябва да бъдат използвани за защита на щепселни съединения, с обявен номинален ток, не по-голям от 20 A, за всички помещения. Употребата на такива RCD се препоръчва още в следните случаи:
- Щепселни съединения във вериги за мокри помещения, независимо от големината на номиналния ток
- Щепселни съединения във вериги на временни електрически уредби
- Вериги захранващи перални помещения и плувни басейни
- Вериги захранващи работни площадки, каравани, плавателни съдове и подвижни щандове (виж т.2.2 и раздел 3 на Глава P).

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Изпълнение на схема IT

7.4 Защита на пожароопасни помещения

В някои страни защитата чрез RCD с IΔn ⩽ 500 mA, монтирана на входа на веригата захранваща пожароопасни помещения е задължителна (виж **Фиг. F59**). Препоръчваната чувствителност IΔn = 300 mA на RCD позволява да се осигури защита срещу пожар.

7.5 Защита при особено голям импеданс на верига със земно съединение

Когато токът на земно съединение е ограничен от високото съпротивление на веригата на земно съединение и поради тази причина максималнотоковата защита не може да изключи веригата в продължение на нормираното време, трябва да се избере една от следните възможности:

Първо предложение (виж **Фиг. F60**)

■ Да се монтира автоматичен прекъсвач с намален праг на задействане на електромагнитния изключвател с мигновено действие, например:

2In ⩽ Irm ⩽ 4In

Това осигурява защита на хора от поражения от ток във вериги с много голяма дължина. При това трябва да се провери дали големите преходни токове, например пускови токове на електродвигатели, не предизвикват лъжливи изключвания.

■ Решения на Schneider Electric:

□ Автоматичен прекъсвач Compact тип G (2Im ⩽ Irm ⩽ 4Im)

□ Автоматичен прекъсвач Multi 9 тип B.

Второ предложение (виж **Фиг. F61**)

Да се монтира RCD във веригата. Това устройство не е необходимо да бъде с висока чувствителност (от няколко A до няколко десетки A). Ако е предвидено да се използват щепселни съединения то във всеки случай определени вериги трябва да бъдат защитени с RCDs с висока чувствителност (IΔn ⩽ 30 mA). Обикновено една RCD се монтира за няколко щепселни съединения във веригата.

■ Решения на Schneider Electric:

□ Модул Vigi за C60 или C120, ID, DPN Vigi;

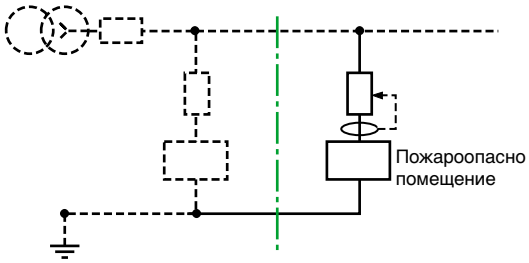
□ Vigicompact: IΔn = 3 или 30 A.

Трето предложение

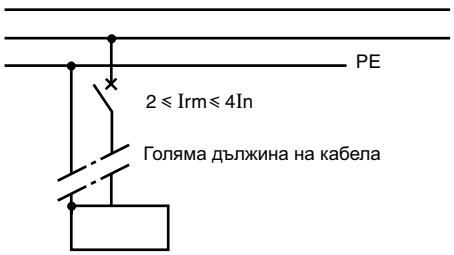
Да се увеличи сечението на PE или PEN проводниците и/или на фазовите проводници, за да се намали съпротивлението на веригата при земно съединение.

Четвърто предложение (виж **Фиг. F62**)

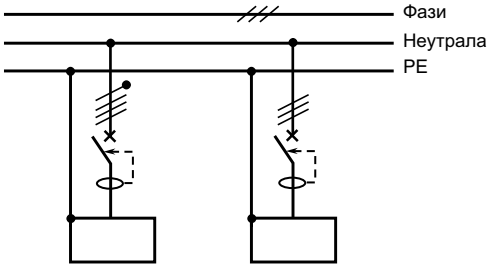
Да се монтират допълнителни проводници за изравняване на потенциалите. Това ще има подобен ефект на този, описан в трето предложение, т.е. намаляване съпротивлението на веригата при земно съединение. Едновременно с това ще се подобрят съществуващите мерки за защита на хора срещу допирни напрежения. Ефективността на това подобряване може да се провери чрез измерване на съпротивлението между всяка достъпна токопроводима част и местния главен защитен проводник.



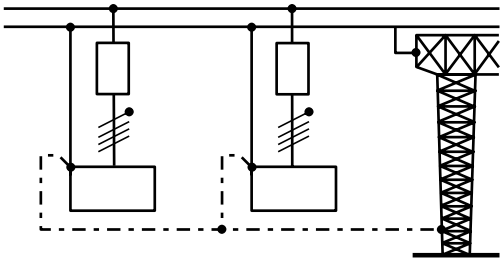
Фиг. F59: Защита на пожароопасно помещение



Фиг. F60: Автоматичен прекъсвач с намален праг на задействане за електромагнитен изключвател с мигновено действие



Фиг. F61: Защита с помощта на RCD



Фиг. F62: Усъвършенствана схема за изравняване на потенциали

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Дефектнотокови защити (RCD)

8.1 Типове RCD

Дефектнотоковите защити обикновено са вградени в следните прекъсвачи или се свързват с тях:
- Автоматични прекъсвачи в лят корпус (MCCB) за индустриални приложения, съответстващи на стандарт IEC 60947-2 и неговите приложения B и M
- Миниатюрни автоматични прекъсвачи (MCB) за индустриални приложения, съответстващи на стандарт IEC 60947-2 и неговите приложения B и M
- Битови и за подобни приложения миниатюрни автоматични прекъсвачи (MCB), съответстващи на стандартите IEC 60898, IEC 61008 и IEC 61009
- Релета с отделни тороидални токови трансформатори, съответстващи на приложение M на стандарт IEC 60947-2.

Дефектнотоковите защити се монтират задължително на входа на електрически уредби със схема на заземяване TT. Чрез съгласуване с други RCD се осигурява възможност за селективно изключване на захранването и се поддържа съответно необходимото ниво на непрекъснатост на електроснабдяване.

Индустриални автоматични прекъсвачи с вградени дефектнотокови защити, описани в стандарт IEC 60947-2 и неговото приложение B

Автоматични прекъсвачи с вграден или присъединен модул RCD за индустриални приложения (виж **Фиг. F63**)

Автоматичен прекъсвач Vigi Compact

Автоматичен прекъсвач C60, за монтаж на DIN шина, с присъединяем модул RCD тип Vigi

Фиг. F63: Комбинация от автоматичен прекъсвач и модул за дефектнотокова защита

Съществуват автоматични прекъсвачи, в това число прекъсвачи, монтирани на DIN шина (например, Compact или C60, C120), към които може да бъде присъединен допълнителен модул RCD (например Vigi).

Такава комбинация прекъсвачи осигурява широка гама от защитни функции (разединяване, защита срещу къси съединения, срещу претоварвания и срещу земни съединения).

RCD за битова и подобна употреба са описани в стандарт IEC 60898, IEC 61008 и IEC 61009.

RCD за битова и подобна употреба с и без вградена защита срещу свръхток (виж **Фиг. F64**)

Разединител с дефектнотокова защита тип ID Domae

Автоматични прекъсвачи с дефектнотокова защита тип DPN Vigi (моноблок)

Фиг. F64: Автоматични прекъсвачи за дефектнотокова защита без вградена защита срещу свръхток (RCCB) и с вградена защита срещу токове на претоварване и късо съединение.

© Schneider Electric - всички права запазени

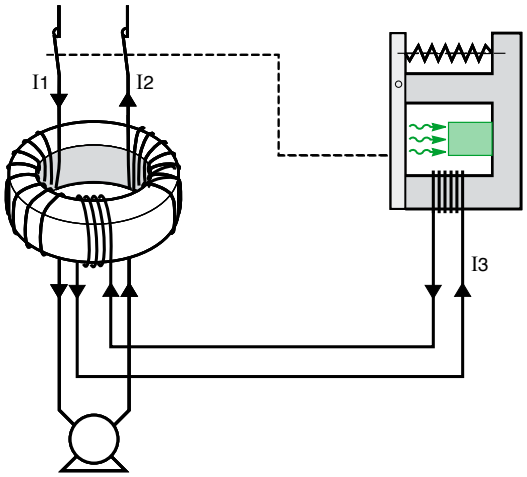
8 Дефектнотокови защити (RCD)

RCD с отделен тороидален токов трансформатор са стандартизирании в IEC 60947-2, приложение M.

Дефектнотокови защити с отделен тороидален токов трансформатор (виж **Фиг. F65**)

RCDs с отделни тороидални токови трансформатори могат да бъдат изпозлвани заедно с автоматични прекъсвачи или контактори.

Фиг. F64: RCDs с отделни тороидални токови трансформатори



Фиг. F66: Принцип на действие на RCD

8.2 Описание

Принцип на действие на дефектнотоковите защити

Принципът на действие е показан схематично на Фиг. F.66.

Тороидалният магнитопровод обхваща всички тоководещи проводници от електрическата верига. Магнитният поток, създаван в магнитопровода зависи във всеки момент от време от аритметичната сума на токовете. Всички токове, влизащи в една посока се разглеждат като положителни (I1), а излизащите в противоположна посока – като отрицателни (I2).

В изправна електрическа верига сумата от токовете I1 + I2 = 0, в магнитопровода не се възбужда магнитен поток, а във вторичната намотка е.д.н. е нула.

Токът на земно съединение Id ще протича към мястото на късо съединение през магнитопровода и ще се връща обратно към захранващия източник през земята или през защитните проводници в случай на схема на заземяване TN.

Затова във проводниците, преминаващи през магнитопровода, се нарушава баланса на токовете и се образува разлика, която предизвиква поява на магнитен поток в магнитопровода.

Тази токова разлика е известна като “остатъчен” ток, а даденият принцип на действие се нарича “принцип на остатъчния ток”.

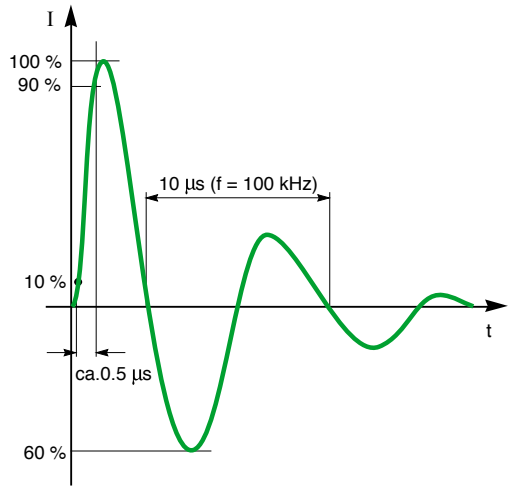
Резултантният променлив магнитен поток във магнитопровода индуктира в намотката е.д.н. и затова в работната намотка на изключващото устройство протича ток I3. Ако този остатъчен ток надхвърли стойността, необходима за заработване на даденото изключващо устройство, то съединеният с него автоматичен прекъсвач, непосредствено или чрез електронно реле, изключва веригата.

8.3 Чувствителност на RCD към смущения

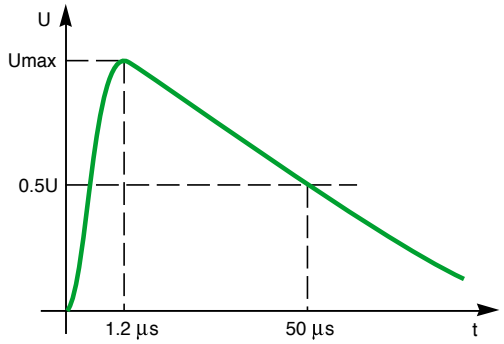
В определени случаи условията на околната среда могат да предизвикат смущения в нормалната работа на RCD:

- **Нежелани изключвания:** Прекъсване в електрозахранването без ситуацията да е опасна. Този тип изключване се среща често и причинява главно неудобство и влошаване качеството на доставяната електроенергия за потребителите.
- **Неизключване при опасност:** Това неизключване се случва сравнително рядко в сравнение с първия случай. Тези неизправности трябва все още да бъдат изучени грижливо, тъй като те намаляват безопасността на потребителя. Ето защо международните стандарти определят три категории RCD според тяхната устойчивост срещу този тип смущения (виж по-долу).

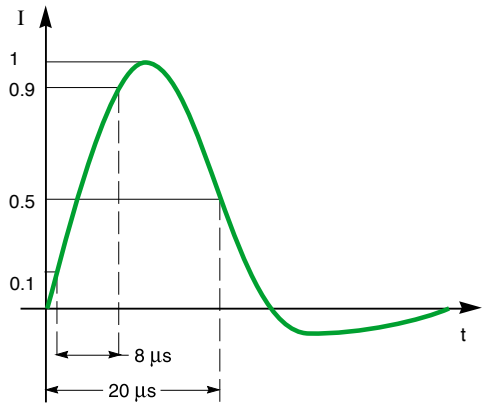
© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. F67: Стандартна форма на вълна на преходен ток 0.5 µs/100 kHz



Фиг. F68: Стандартна форма на импулсна вълна на преходно напрежение1.2/50 µs



Фиг. F69: Стандартна форма на импулсна вълна на преходен ток 8/20 µs

Основни типови смущения

Постоянни токове на утечка към земя

Всяка уредба НН има постоянен ток на утечка към земя, предизвикан от:

- Небалансиран собствен капацитет между тоководещите проводници и земята в трифазни вериги, или
- Капацитет между тоководещи проводници и земята в еднофазни вериги.

Колкото е по-голяма електрическата уредба, толкова е по-голям е нейния капацитет и следователно токовете на утечка.

Капацитивният ток към земя нараства значително заради филтриращите кондензатори, използвани в електронното обзавеждане (автоматични, информационни, компютърни системи и др.).

При липса на по-точни данни, постоянният ток на утечка в разглежданата верига може да се приеме въз основа на следните величини, измерени при 230 V, 50 Hz:

Еднофазна или трифазна верига: 1.5 mA /100m

- Подово отопление: 1mA / kW
- Факс, принтер: 1 mA
- Микрокомпютър, работна станция: 2 mA
- Копирна машина: 1.5 mA

Дефектнотоковите защити, тип AC, съответстващи на IEC стандартите сработват при ток на утечка в интервала 0.5 IΔn - IΔn, където IΔn е номиналния ток на сработване на RCD. Следователно, за да се избягват нежелани изключвания постоянния ток на утечка на консуматорите и веригите след RCD не трябва да надвишава стойността 0.5 IΔn. При наличие на консуматори, генериращи големи постоянни токове на утечка към земя, например компютърно обзавеждане Schneider Electric предлага дефектнотокови защити тип Si, намаляващи риска от нежелани изключвания, предизвикани от постоянни токове на утечка към земя.

Високочестотни компоненти (хармоници, импулси и др.) се срещат често при захранвания на компютри, преобразуватели, двигатели с регулируема скорост, луминесцентни лампи и около високомощностни комутиращи устройства и кондензаторни уредби.

Част от тези високочестотни токове могат да протичат към земя през паразитни капацитети (линия, обзавеждане и др.). Въпреки, че няма опасност за потребителя тези токове могат да причинят изключване на RCD.

Зареждане

Първоначалното зареждане на капацитетите, споменати по-горе, предизвиква протичане на високочестотни импулсни токове с много малка продължителност подобно на показаното на **Фиг. F69.**

Внезапното появяване на първо късо съединение в схема IT, предизвиква също високочестотни преходни токове на утечка към земя в резултат на рязкото повишаване на напреженията на двете изправни фази спрямо земя до ниво на линейното напрежение.

Пренапрежения от общ вид

Електрическите мрежи са подложени на пренапрежения поради удари от мълния или резки изменения на условията на експлоатация на системата (къси съединения, заработване на предпазители, комутации и др.). Тези внезапни изменения често причиняват големи преходни напрежения и токове в индуктивните и капацитивните вериги. На основата на събрани данни е установено, че в разпределителни системи НН пренапреженията остават обикновено под 6 kV и могат да бъдат адекватно представени чрез стандартна форма на импулсна вълна 1.2/50 µs, (виж **Фиг. F68**). Тези пренапрежения предизвикват появяване на преходни токове, представени чрез импулсна вълна на тока със стандартна форма 8/20 µs имаща пикова стойност от няколко десетки ампера (виж **Фиг. F69**).

Преходните токове протичат към земя през капацитетите на електрическата уредба.

Несинусоидални токове на повреда

Дефектнотоковата защита трябва да бъде избрана в зависимост от типа на захранвания товар. Това се отнася в частност за полупроводникови устройства, за които токовете при повреда не са винаги синусоидални.

Тип AC, A, B

Стандартът IEC 60755 (Основни изисквания за дефектнотокови защити) определя три типа RCD в зависимост от характеристиките на тока на повреда:

- Тип AC

RCD за която изключването е сигурно за синусоидални остатъчни променливи токове.

- Тип A

RCD, за която изключването е сигурно:

- ☐ за остатъчни синусоидални променливи токове;
- ☐ за остатъчни пулсиращи токове.

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Дефектнотокови защити (RCD)

■ Тип B
RCD, за която изключването е сигурно:
□ като за тип A;
□ за чисти постоянни токове, които се получават от трифазни изправители.

Ниска температура: В случай на температури под -5 °C много чувствителните електромеханични релета в RCD могат да "залепнат" поради замръзване на конденза.
Защитите от тип "Si" могат да работят при температури до -25 °C.

Атмосфера с високо съдържание на химикали или прах: специалните сплави, използвани при изработване на RCD могат да бъдат особено чувствителни към корозия. Прахът може също така да блокира движението на подвижните части.

Вижте мерките, които могат да бъдат взети, съгласно нивата, дефинирани от нормите, дадени в **Табл. F70**.

Основните справочни текстове са както следва:

■ Стандарт IEC 60364-3:
□ Той дава класификация (AFx) за външните въздействия на съществуващите корозионни или замърсяващи субстанции;
□ Той дефинира избора на материали съгласно очакваните максимални въздействия.

Устойчиво ниво на RCD на фирмата Schneider Electric

Таблица F70: Класификация на външните влияния съгласно стандарт IEC 60364-3

Замърсена мрежа **Въздействие на електрическата мрежа** **Чиста мрежа**	Супер устойчиви **RCDs тип A ако:** ~ Стандартно устойчиви **RCD тип AC**	SiE ~ RCDs	SiE ~ RCD + Подходяща допълнителна защита (херметизирана кутия или единица)	SiE ~ RCD + Подходяща допълнителна защита (херметизирана кутия или единица + свръх налягане)
	AF1	AF2	AF3	AF4
	■ Външни въздействия: пренебрежими	■ Външни въздействия: присъствие на корозионни или замърсяващи атмосферни вещества	■ Външни въздействия: периодично или случайно действие на прости химикали	■ Външни въздействия: постоянно действие на корозионни или замърсяващи химикали
	■ Характеристика на обзавеждането: нормално	■ Характеристика на обзавеждането: съгласно с изпитванията за солена мъгла или атмосферно замърсяване	■ Характеристика на обзавеждането: корозионна защита.	■ Характеристика на обзавеждането: специфично изучаване съгласно типа на продуктите.

Примери на незащитени места	Външни въздействия
Железни и стоманени съоръжения.	Присъствие сяра, серни пари и сероводород.
Морски, търговски пристанища, плавателни съдове, крайбрежни линии, корабостроителници.	Солена атмосфера, висока влажност, ниска температура.
Плувни басейни, болници.	Хлорирани компаунди.
Нефтохимични.	Водород, горими газове, азотни окиси.
Фермерско обзавеждане, сметища	Сероводород.

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Дефектнотокови защити (RCD)

Schneider Electric предлага богата гама от RCD, позволяващи защитата срещу токове на утечка да бъде адаптирана за различни приложения. В **Табл. F71** е показан избора, който трябва да се направи съгласно вида на очакваното смущение в част от електрическата уредба.

Таблица F71: RCD на Schneider Electric

Тип на устройство-то	Смущения при изключване	Неизключване			
	Високо-честотен ток на утечка	Ток при повреда		Ниски температури (до -25 °C)	Корозия, прах
		От промен-ливотоков изправител	Чист постоянен ток		
AC	■				
A	■	■		■	
SI	■ ■ ■	■		■	
SiE	■ ■ ■	■		■	■
B	■ ■ ■	■	■	■	

Устойчивост към смущения при изключване

Дефектнотокови защити от типа Si/SiE са проектирани за да се избегнат смущения при изключване или неизключване в случай на замърсена мрежа, електромагнитен ефект при мълнии, високочестотни токове, радиочестотни вълни и др. **Таблица F72** показва нивата на изпитване, на които се подлагат този тип RCD.

Таблица F72: Изпитвания за устойчивост към смущения при изключване на RCD, препоръчвани от Schneider Electric

Тип на смущението	Номинална изпитвателна вълна	Устойчивост Multi9 : ID, DPN Vigi, Vigi C60, Vigi C120, Vigi NG125 SI / SiE type
Продължителни смущения		
Хармоници	1 kHz	Ток на утечка към земя = 8 x IΔn
Импулсни смущения		
Пренапрежения, индуктирани от мълнии	1.2 / 50 µs импулс (IEC/EN 61000-4-5)	4.5 kV между проводници 5.5 kV / земя
Свръхток, индуктиран от мълнии	8 / 20 µs импулс (IEC/EN 61008)	5 kA пик на импулса
Импулсни вълни от комутация, токове индуктирани от мълнии	0.5 µs / 100 kHz “затихваща вълна” (IEC/EN 61008)	400 A пик на импулса
Искрене на вентилни отводи	импулс 10 ms	500 A
Електромагнитна съвместимост		
Изключвания на индуктивен товар, луминесцентни лампи, двигатели и др.	Repeated bursts (IEC 61000-4-4)	4 kV / 400 kHz
Луминесцентни лампи, вериги с тиристори и др.	RF conducted waves (IEC 61000-4-6)	66 mA (15 kHz to 150 kHz) 30 V (150 kHz to 230 MHz)
Радиочестотни вълни (телевизионни, радио, телекомуникации и др.)	Радиочестотни излъчвания от 80 MHz до 1 GHz (IEC 61000-4-3)	30 V / m

© Schneider Electric - всички права запазени

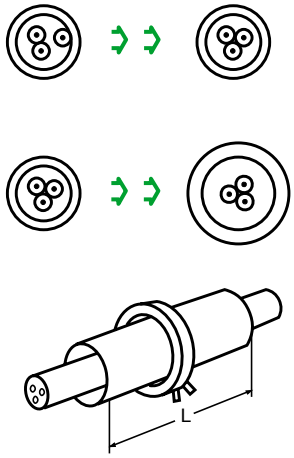
8.4 Препоръки при монтаж на RCD с отделни диференциални токови трансформатори

Преобразувателят на остатъчен ток е токов трансформатор с пръстеновиден (тороидален) магнитопровод, представляващ затворен магнитопровод (обикновено кръгов) с много висока магнитна проницаемост, на който има навита намотка.

Тъй като магнитопровода има много висока магнитна проницаемост при големи товарови токове (пускови токове на електродвигатели, скок на тока при включване на трансформатори и др.) всички незначителни отклонения от симетричното разположение на проводниците в този магнитопровод и наблизо разположените детайли от черни метали (стоманена кутия, елементи от шаси и др.) могат да повлияят върху равновесието на магнитните сили в магнитопровода дотолкова, че да настъпи погрешно заработване на RCD.

Ако не се предприемат специални мерки отношението на номиналния диференциален изключващ ток IΔn и номиналния фазов ток Iph (max.) обикновено е по-малко от 1/1,000.

Това гранично отношение може значително да се увеличи (т.е. да се намали чувствителността) чрез мерки, показни на **Фиг. F73** и обобщени в **Табл. F74**.



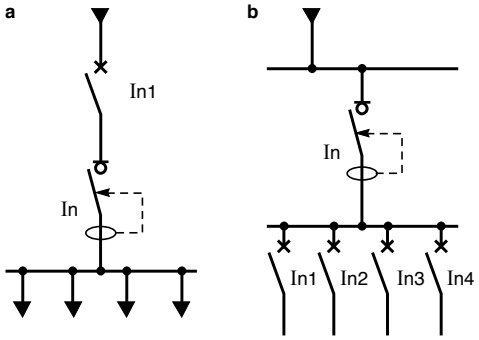
Фиг. F73: Три начини за намаляване на отношението IΔn/Iph (max.)

Таблица. F74: Начини за намаляване на отношението IΔn/Iph (max.)

Мерки	Диаметър, mm	Коефициент на намаляване на чувствителността
Внимателно центриране на кабелите в тороидалния магнитопровод	3	
Увеличаване на номиналния размер на тороидалния магнитопровод	ø 50 → ø 100	2
	ø 80 → ø 200	2
	ø 120 → ø 300	6
Използване на защитна гилза от стомана или меко желязо:	ø 50	4
■ С дебелина на стената 0,5 mm	ø 80	3
■ С дължина равна на удвоения вътрешен диаметър на тороидалния магнитопровод	ø 120	3
■ Пълно покриване на проводниците и обхващащия магнитопровод по равно от двата му края	ø 200	2

Тези мерки могат да се използват комбинирано. Ако магнитопровод с диаметър 50 mm е достатъчно голям, чрез грижливо центриране на кабелите в тороидален магнитопровод с диаметър 200 mm и използване на защитна гилза отношението от 1/1000 може да стане 1/30000.

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. F75: RCD без вградена защита срещу свръхток (RCCB)

8.5 Избор на характеристики на RCD без вградена защита срещу свръхток (RCCB – IEC 61008)

Номинален ток

Номиналният ток на RCCB се избира в зависимост от максималния установен ток на товара:

- Ако RCCB е свързан последователно с автоматичен прекъсвач, разположен над него във веригата, номиналният ток на двата прекъсвача е еднакъв, т.е. In ⩾ In1(1) (виж **Фиг. F75а**)
- Ако RCCB е разположен пред група вериги, защитавани с автоматични прекъсвачи, както е показано на **Фиг. F75б** номиналният ток на RCCB ще се определи с израза:

In ⩾ ku x ks (In1 + In2 + In3 + In4)

Изисквания към електродинамичната устойчивост на контактите

Защитата срещу къси съединения трябва да се осигури от горестоящо устройство за защита от къси съединения (SCPD). Заедно с това, ако RCCB е разположен в същото разпределително табло, а автоматичните прекъсвачи или стопяемите предпазители са разположени надолу по веригата, защитата на изходящите линии срещу къси съединения, осигурявана от тези устройства се смята също за приемлива. Съгласуването на характеристиките между RCCB и SCPD е необходимо и затова производителите предлагат таблици, отнасящи се за RCCB, работещи с автоматични прекъсвачи или стопяеми предпазители (виж **Табл. F76**).

Таблица F76: Съгласуване на характеристики на RCCB с автоматични прекъсвачи и предпазители (продукти на Schneider Electric)

Горестоящ автоматичен прекъсвач		Multi9							Compact	
		C60N	C60H	C60L	C120N C120H	NG125N	NG125H	NG125L	NS100	NS160
Долустоящ RCCB тип ID										
2P (230 V)	25 A	20	30	50	10	15	15	15	6	
	40 A	20	30	45	10	15	15	15	6	6
	63 A	20	30	30	10	15	15	15	6	6
	80 A				10	15	15	15	6	6
	100 A				10	7			6	6
4P (400 V)	25 A	10	15	25	7	15	15	15	4	
	40 A	10	15	20	7	15	15	15	4	4
	63 A	10	15	15	7	15	15	15	4	4
	80 A				7	15	15	15	4	4
	100 A				7	7		10	4	4

Горестоящ предпазител gI или gG (A)		16	25	32	40	50	63	80	100
Долустоящ RCCB тип ID									
2P (230 V)	25 A	100	100						
	40 A	100	100	100	80				
	63 A	100	100	100	80	50	30		
	80 A	100	100	100	80	50	30	20	
	100 A	100	100	100	80	50	30	20	30
4P (400 V)	25 A	100	100						
	40 A	100	100	100	80				
	63 A	100	100	100	80	50	30		
	80 A	100	100	100	80	50	30	20	
	100 A	100	100	100	80	50	30	20	10

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава G
Оразмеряване и защита на проводници

Съдържание

1 Общи положения G2
1.1 Методология и определения G2
1.2 Принципи на защита срещу токови претоварвания G4
1.3 Практически стойности на схемите за защита G4
1.4 Разположение на защитни устройства G6
1.5 Паралелно свързване на проводници G6

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини G7
2.1 Общи положения G7
2.2 Общ метод за полагане на кабели G7
2.3 Препоръчван опростен метод за определяне сечението на кабели G16
2.4 Изолирани шинопроводи G18

3 Определяне пада на напрежение G20
3.1 Максимално допустим пад на напрежение G20
3.2 Изчисляване пада на напрежение в режими на постоянен товар G21

4 Ток на късо съединение G24
4.1 Ток на късо съединение на клемите на вторична намотка на разпределителен трансформатор CpH/HH G24
4.2 Ток на трифазно късо съединение (Isc) в произволна точка на електрическа уредба ниско напрежение G25
4.3 Ток на трифазно късо съединение (Ik) в края на захранващата линия в зависимост от тока на трифазно късо съединение в нейното начало G28
4.4 Ток на късо съединение при захранване от генератор за променлив ток или инвертор (честотен преобразувател) G29

5 Частни случаи на къси съединения G30
5.1 Изчисляване минималните стойности на тока на късо съединение G30
5.2 Проверка на кабели по ток на късо съединение (на термична устойчивост при къси съединения) G35

6 Защитен заземяващ проводник G37
6.1 Схема на свързване и избор на проводника G37
6.2 Оразмеряване на проводника G38
6.3 Защитен проводник между понижаващ трансформатор CpH/HH и главно разпределително табло G40
6.4 Проводник за изравняване на потенциалите G41

7 Неутрален проводник G42
7.1 Оразмеряване на неутрален проводник G42
7.2 Защита на неутралния проводник G44
7.3 Изключване на неутралния проводник G44
7.4 Изолация (разединяване) на неутралния проводник G44

8 Работен пример за изчисляване на кабели G46

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Общи положения

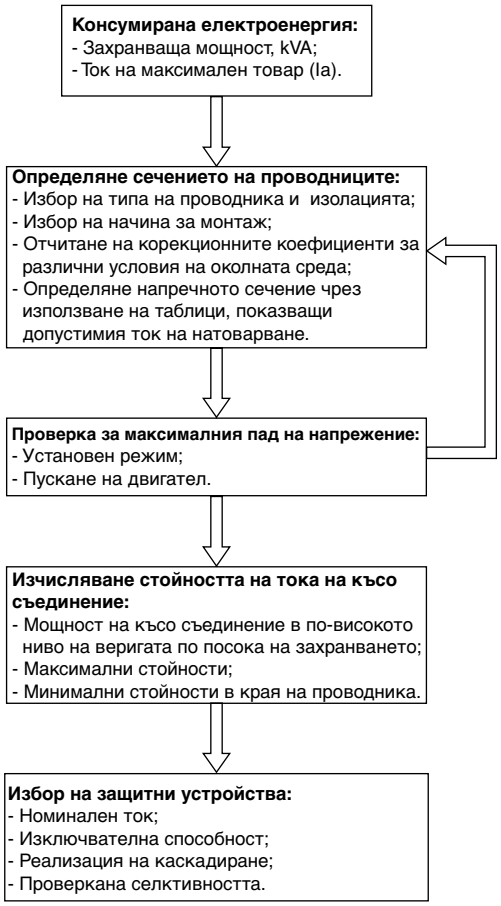
1.1 Методология и определения (виж **Фиг. G1**)

Елементите на електрическата мрежа и тяхната защита се определят с отичане изпълнението на всички нормални и аварийни експлоатационни условия

След предварителен анализ на потребяваната мощност от уредбата, който е описан в т.4 на Глава B, се извършва изучаване на кабелната мрежа(1) и нейната електрическа защита като се започва от източника, през междинните степени към крайните вериги.
Кабелната мрежа и нейната защита на всяко ниво трябва да удовлетворяват едно временно няколко условия за да се осигури безопасност и надеждност на уредбата. Например, тя:
- Трябва да издържа ток на пълно натоварване и нормални кратковременни токове на претоварвания
- Не трябва да предизвиква падове на напрежение, което да предизвика ниска производителност при определени товари. Например: прекалено дълъг пусков процес на двигател и т.н.

Освен това защитните устройства (автоматични прекъсвачи или предпазители) трябва:
- Да защитават кабелните мрежи и шини от токови претоварвания и токове на къси съединения
- Да осигуряват защита на персонала при индиректен допир особено в схемите TN и IT, където дължината на веригата може да ограничи тока на късо съединение по такъв начин, че да забави автоматичното изключване. Трябва да се запомни, че уредби със схема TT са защитени задължително на входа чрез дефектнотокова защита (RCD), обикновено с настройка 300 mA.

Напречните сечения на проводниците се определят по общ метод, описан в т.1.2 на тази Глава. Освен този метод, някои национални стандарти могат да препоръчват минимална стойност на сечението, което трябва да се спазва, за да се осигури необходимата механическа якост. Определени товари (както се посочва в Глава M) изискват захранващия кабел да има увеличено сечение, а защитата на веригата да бъде модифицирана по определен начин.



Фиг. G1: Блокова схема за избор на сечение на кабел и на защитно устройство за дадена верига

(1) Терминът „кабелна мрежа" в тази Глава се използва за всички изолирани проводници, включително многожилни и едножилни кабели и изолирани проводници, положени в тръби и др.

© Schneider Electric - всички права запазени

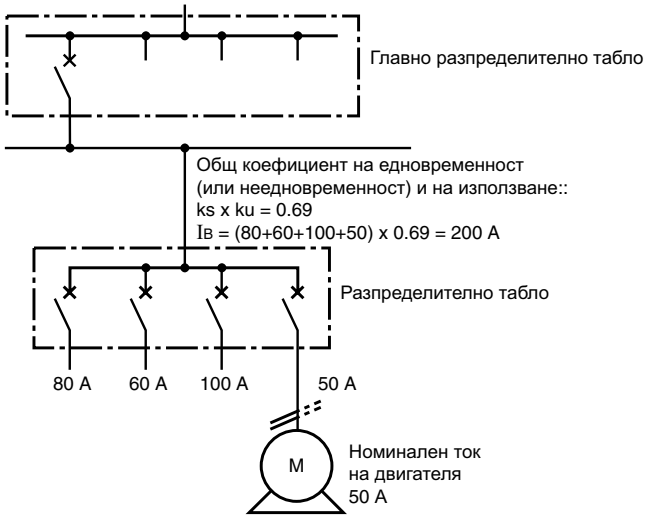
1 Общи положения

Определения

Максимален ток на натоварване: I_B

■ На последното ниво на веригата, този ток съответства на номиналната мощност на товара. В случай на пускане на двигател или други товари, при които възниква голям начален пусков ток, и особено там, където става често пускане (например, двигатели на асансьори, точкова заварка и др.), трябва да бъде отчетено сумарното топлинно действие на токовите претоварвания. На това въздействие се подлагат както кабелите, така и термичните релета.

■ На всички горни нива на веригата този ток съответства на пълната потребявана мощност, с отчитане коефициентите на едновременност (неедновременност) и използване, съответно ks и ku, както е показано на **Фиг. G2.**



Фигура G2: Изчисляване максималния ток на двигателя IB

Максимално допустим ток: I_Z

Това е максималният ток, който кабела може да провежда неограничено дълго време, без да се намали номиналния му срок на служба.

Токът, за дадено сечение на проводниците, зависи от няколко параметъра:

■ Тип на кабела и на кабелната линия (медни или алуминиеви проводници; изолация от PVC или пропилен и др.; брой на жилата);

■ Температура на околната среда;

■ Начин на монтаж;

■ Влияние на съседни вериги.

Токови претоварвания

Токово претоварване възниква всеки път, когато стойността на тока превиши максималната стойност на тока на натоварване I_B.

Този ток трябва да се изключи бързо в зависимост от неговата амплитуда, за да не се получи постоянна повреда в кабелната линия (и обзавеждането, ако токовото претоварване е предизвикано от неизправен елемент на товара).

Токови претоварвания с относително малка продължителност могат да възникнат и по време на нормална работа; различават се два типа токови претоварвания:

■ Претоварвания

Тези токови претоварвания могат да възникнат в изправни електрически вериги, например поради малки кратковременни претоварвания, случайно възникващи от време на време; натоварвания при пускане на двигател и др. Ако всяко от тези условия продължи повече от зададеното време (в зависимост от настройката на защитните релета и параметрите на предпазителите) веригата ще бъде автоматично изключена.

■ Токове на късо съединение

Тези токове са резултат от пробив в изолацията между проводници под напрежение или/и между проводници под напрежение и земя (в системи с неутрален проводник, заземен през ниско съпротивление) при всяка комбинация, а именно:

□ Трифазно късо съединение (и с неутралата и/или земята, или не);

□ Двуфазно късо съединение (и с неутралата и/или земята, или не);

□ Еднофазно късо съединение с неутралата (и/или с земята).

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Общи положения

1.2 Принципи на защита срещу токови претоварвания

Защитно устройство е поставено на входа на разглежданата верига (виж **Фиг. G3** и **Фиг. G4**). То:

- изключва за време по-малко от определеното с характеристиката I^2t на кабела, но
- допуска протичане на максимален ток на натоварване I_B неограничено дълго време.

Характеристиките на изолираните проводници, когато по тях протичат токове на късо съединение, за интервал от време до 5 s след възникване на късо съединение, могат да бъдат приблизително определени по формулата:

$I^2t = k^2 S^2$.

Формулата показва, че допустимото количество отделена топлина е пропорционално на квадрата на напречното сечение на проводника.

където t е продължителността на тока на късо съединение, s;

S – сечението на изолирания проводник, mm^2;

I – ефективната стойност на тока на късо съединение, A;

k – константата на изолирания проводник (стойностите на k^2 са показани на **Фиг. G54**).

За даден изолиран проводник максимално допустимият ток се изменя в зависимост от околната среда. Например, при висока температура на околната среда

($\theta a1 > \theta a2$), I_{z1} е по-малко от I_{z2} (виж **Фиг. G5**). Със символа θ е означена температурата.

Забележка:

- I_{SC}: трифазният ток на късо съединение;
- I_{SCB}: номиналният ток на изключване на автоматичния прекъсвач в режим на трифазно късо съединение
- Ir (или Irth)(1): регулируемата „номинална" стойност на тока; например, автоматичен прекъсвач за номинален ток 50 A може да бъде настроен в определен защитен диапазон, (виж **Фиг. G6** на следваща страница).

1.3 Практически стойности на схемите за защита

Следните методи са основани на правила, изложени в стандартите на IEC, и се използват на практика в много страни.

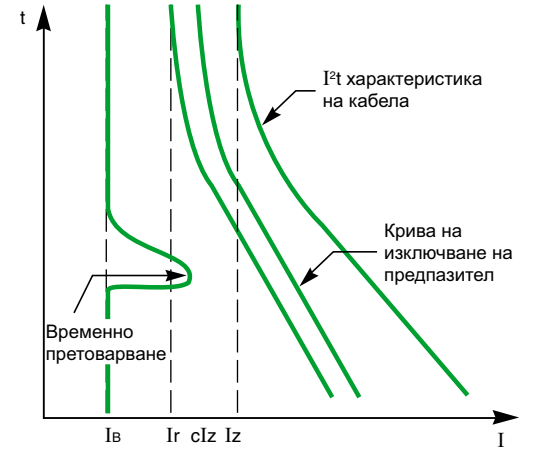
Общи правила

Защитното устройство (автоматичен прекъсвач или предпазител) работи коректно ако:

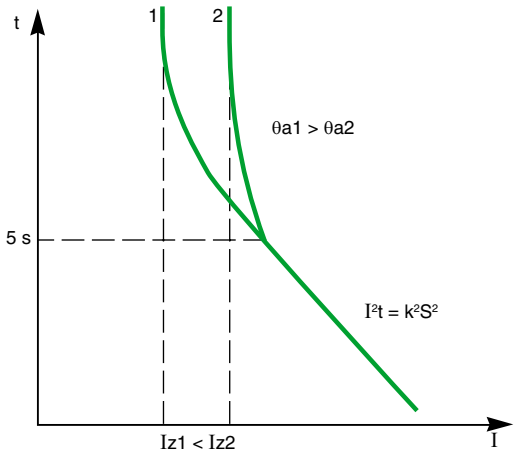
- Неговият номинален ток или тока на настройка In е по-голям от тока на максимален товар I_B, но по-малък от максимално допустимия ток Iz за веригата, т.е. $I_B \leqslant In \leqslant I_z$, което съответства на зона „a" на **Фиг. G6**;
- Стандартната настройка на неговия ток на изключване I2 е по-малка от 1.45 Iz, което съответства на зона "b" на **Фиг. G6**.

Стандартната настройка на времето за изключване може да бъде 1 или 2 часа, съгласно местния стандарт и фактическата стойност, избрана за I2. За предпазители I2 е токът (означен с If), при който предпазителя заработва със стандартно времезакъснение;

Фигура G3: Защита на верига с автоматичен прекъсвач



Фигура G4: Защита на верига предпазители

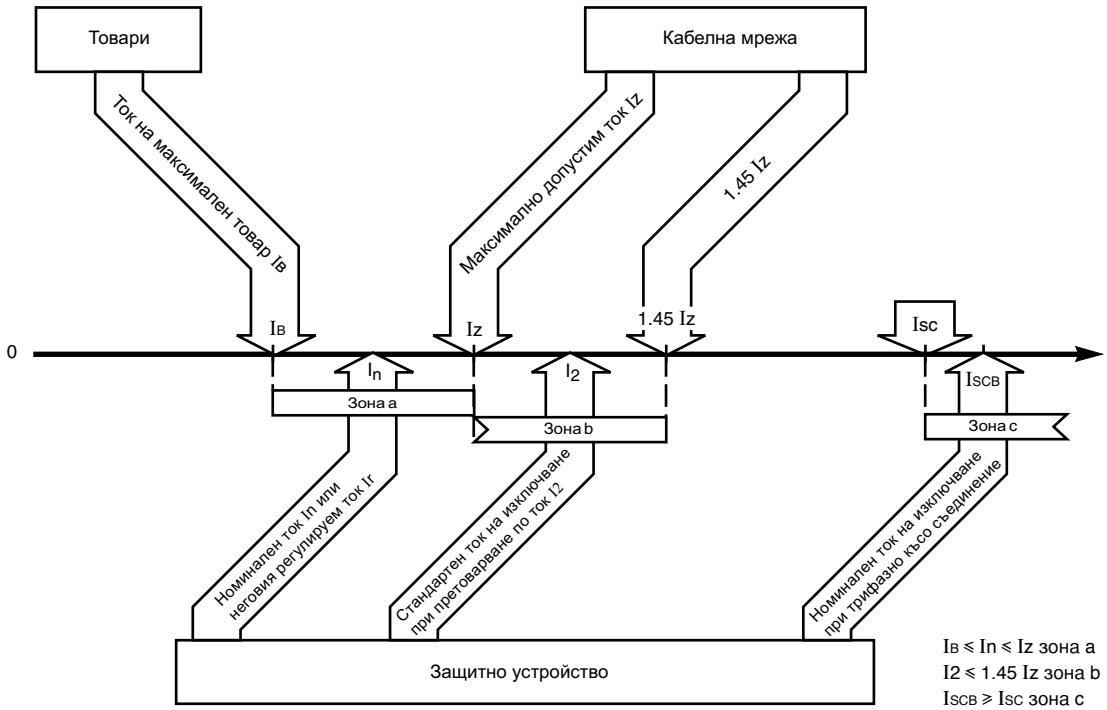


Фигура G5: Характеристика I^2t на изолиран проводник за две различни температури на околната среда

(1) И двете означения са обикновено използвани в различни стандарти.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Общи положения



Фигура G6: Стойности на тока за определяне характеристиките на автоматичен прекъсвач или предпазител

Критерии за автоматични прекъсвачи:
Iв ⩽ In ⩽ Iz и Iscв ⩾ Isc.

Критерии за предпазители:
Iв ⩽ In ⩽ Iz/k3 и Iscf ⩾ Isc.

■ Неговият номинален ток на изключване за трифазно късо съединение е по-голям от тока на трифазно късо съединение в мястото на неговия монтаж. Това съответства на зона „c" на **Фиг. G6**.

Приложения

■ Защита с автоматичен прекъсвач

Поради високото ниво на точност токът I2 е винаги по-малък от 1.45 In (или 1.45 Ir). Затова условието I2 ⩽ 1.45 Iz (както е посочено по-горе в „Общи правила") се изпълнява винаги.

□ Частен случай

Ако автоматичният прекъсвач не защитава от претоварване, е необходимо, за времето на най-малката стойност на тока на късо съединение, да се осигури изправна работа на устройството за максимално токова защита, защитаващо веригата. Този частен случай е разгледан в т.5.1.

■ Защита с предпазители

Трябва да бъде взето под внимание следното условие I2 ⩽ 1.45 Iz,
където I2 е токът на изгаряне на предпазителя (нивото на изгаряне), A,
I2 =k2 x In , където k2 =(1.6 ...1.9) е коефициентът, чиято стойност се определя в зависимост от вида на предпазителя.
Допълнителният коефициент k3 е въведен с израза ($k3 = \frac{k2}{1.45}$), за да се изпълни условието I2 ⩽ 1.45 Iz при In ⩽ Iz/k3.

За предпазители тип gG:
In < 16 A → k3 = 1.31
In ⩾ 16 A → k3 = 1.10
Освен това, изключвателната възможност на тока на късо съединение на предпазителя Iscf трябва да е по-голяма от тока на трифазно късо съединение в мястото на монтажа на предпазителя.

■ Комбинация от различни защитни устройства

Използването на защитни устройства, чиято изключвателна възможност е по-ниска от токовете на късо съединение, съществуващи в мястото на техния монтаж, е разрешено от IEC и много национални стандарти при изпълнение на следните условия:
□ На горното ниво на веригата е разположено друго защитно устройство, което има необходимите параметри на задействане при къси съединения и
□ Токът и времето на задействане на това устройство, т.е. количеството предавана енергия (I^2t), постъпващо в разположената след него уредба (защитни устройства, кабели, обзавеждане) да бъде по-малко от това, което може да издържи обзавеждането на защитаваната уредба.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Общи положения

На практика токова съчетание обикновено се използва в:

□ Комбинация автоматични прекъсвачи/предпазители

□ Техниката на изпълнение, известна като „каскадиране", при която високите показатели за ограничаване на тока на късо съединение на някои автоматични прекъсвачи ефективно улесняват изключвателната възможност на долустоящите автоматични прекъсвачи.

Възможните комбинации, които са изпитани в лаборатории, са посочени в съответните каталози на производителя.

1.4 Разположение на защитни устройства

Общо правило (виж **Фиг. G7a**)

Защитно устройство е необходимо, в общия случай, на входа на всяка верига

Защитно устройство е необходимо на входа на всяка верига, където възниква намаляване на допустимата стойност на максималния ток.

Възможни варианти на разположение при някои определени обстоятелства (виж **Фиг. G7b**)

Защитното устройство може да се разположи в коя да е точка по веригата:

■ Ако до веригата AB няма наблизо горящи материали и

■ Ако по веригата AB няма контактни излази или отклонения.

На практика могат да се използват три случая (виж **Фиг. G7b**):

■ Случай 1

□ Веригата AB ⩽ 3 m, и

□ Веригата AB е монтирана с цел да намали до практически минимум риска от възникване на късо съединение (например, проводник, положен в дебелостенна стоманена тръба)

■ Случай 2

□ Устройството „P1" на горно ниво защитава участъка AB от къси съединения в съответствие с т. 5.1

■ Случай 3

□ Устройството за защита от претоварване "S" е разположено близо до потребителя. Такова разполагане е подходящо за вериги на електрически двигател. Устройството "S" осъществява защита и управление (пускане/спиране) и защита от претоварване на двигателя, а „SC" е автоматичен прекъсвач (предвиден за защита на електрически двигател), или предпазители от типа „aM";

□ Защитата от късо съединение „SC", е разположена на входа на веригата и отговаря на принципите, изложени в т.5.1.

Вериги без защита (виж **Фиг. G7c**)

Или

■ Защитното устройство „P1" е калибрирано за защита на кабела „S2" от претоварване и къси съединения

или

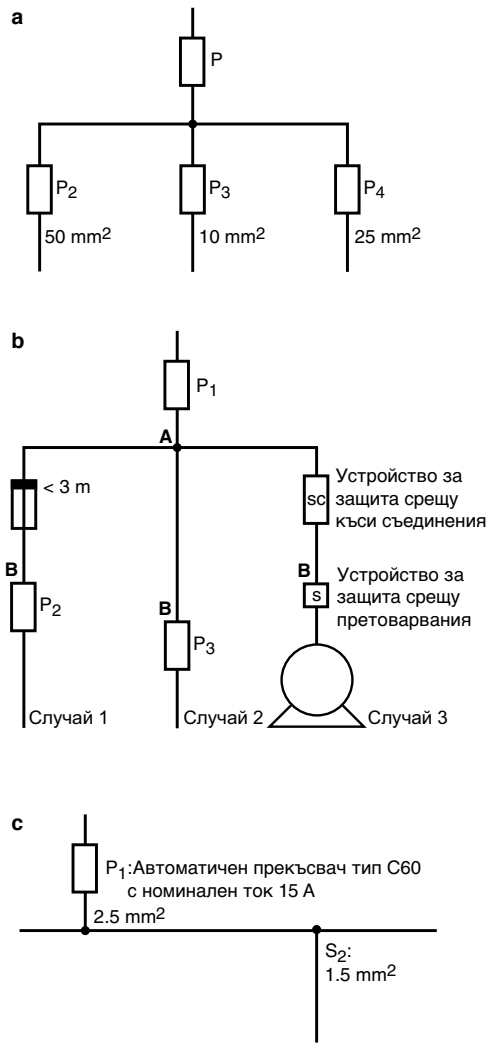
■ Там, където изключването на веригата може да предизвика опасност, например:

□ Възбудителни вериги на въртящи машини;

□ Вериги на големи подемни електромагнити;

□ Вторични вериги на токови трансформатори.

Изключване на веригите не се допуска и затова защитата на кабела има второстепенно значение.



Фигура G7: Разположение на защитни устройства

1.5 Паралелно свързване на проводници

Проводници с еднакво сечение, еднаква дължина и от еднакъв материал могат да бъдат съединени паралелно.

Максимално допустимия ток е равен на сумата от максималните токове на жилата във всеки отделен проводник, с отчитане на явлението взаимно нагряване, начин на монтаж и др. Защитата срещу претоварване и къси съединения е аналогична на защитата на еднопроводни вериги.

Необходимо е да се вземат следните предпазни мерки за избягване опасността от възникване на къси съединения на паралелно свързаните кабели:

■ Допълнителна защита срещу механични повреди и влага чрез въвеждане на допълнителни защити;

■ Кабелното трасе не трябва да преминава в непосредствена близост до горими материали.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

2.1 Общи положения

Изучаването на кабелна мрежа става в съответствие със стандарта IEC 60364-5-52 „Електрически уредби в сгради – Раздел 5-52 Избор и изграждане на електрическо обзавеждане – Система от проводници”.

В този раздел се разглеждат изискванията на дадения стандарт с примери за най-често разпространените методи за монтаж. Стойността на допустимия продължителен ток за всички различни варианти на монтаж са посочени в приложение А към стандарта. Опростен метод за използване на дадените таблици в приложение А е представено в информационното приложение В на същия стандарт.

2.2 Общ метод за полагане на кабели

Възможни методи за монтаж на различни типове проводници или кабели

Методите за монтаж на различни типове проводници и кабели са показани в **Табл. G8**.

Таблица G8: Избор на типа проводници и начина на полагане (табл. 52-1 на IEC 60364-5-52)

Проводници и кабели		Метод за монтаж							
		Без закрепване	Закрепване, непосредствено с помощта на скоби	В кабелен канал	В тръба	Кабелено трасе	Кабелна лавица Кабелен скара Кабелни скоби	На изолатори	Носещо въже
Неизолирани проводници		–	–	–	–	–	–	+	–
Изолирани проводници		–	–	+	+	+	–	+	–
Кабели с обвивка (в това число бронирани кабели и кабели с обвивка, импрегнирана с минерално масло)	Многожилен	+	+	+	+	+	+	0	+
	Едножилен	0	+	+	+	+	+	0	+

+ Разрешен.

– Не е разрешен.

0 Не се използва или обикновено не се използва на практика.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Възможни методи за монтаж за различни ситуации:

Различни методи за монтаж могат да се използват в зависимост от ситуацията. Възможните комбинации са показани в **Табл. G9**.

Номерът, посочен в **Табл. G9**, означава различни проводникови системи (виж още **Табл. G10**)

Таблица G9: Изграждане на проводникови системи (табл. 52-2 на IEC 60364-5-52)

роводници и кабели	**Метод за монтаж**							
	Без закреп-ване	**Закрепване, непосред-ствено с помощта на скоби**	**В тръба**	**В кабелен канал**	**Кабелено трасе**	**Кабелна лавица Кабелен скара Кабелни скоби**	**На изолатори**	**Носещо въже**
Кухини в сгради	40, 46, 15, 16	0	15, 16, 41, 42	–	43	30, 31, 32, 33, 34	–	–
Кабелен канал	56	56	54, 55	0	44, 45	30, 31, 32, 33, 34	–	–
Подземно полагане	72, 73	0	70, 71	–		70, 71	0	–
Замонолитена в строителни елементи	57, 58	3	1, 2, 59, 60	50, 51, 52, 53	44, 45	0	–	–
Открит монтаж	–	20, 21	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 22, 23	6, 7, 8, 9	30, 31, 32, 33, 34	36	–
Въздушно полагане	–	–	0	10, 11	–	30, 31, 32 33, 34	36	35
Потопен монтаж	80	80	0	–	0	0	–	–

– Не е разрешен.

0 Не се използва или обикновено не се използва на практика.

© Schneider Electric - всички права запазени

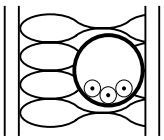
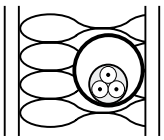
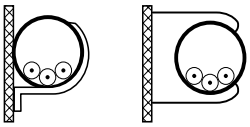
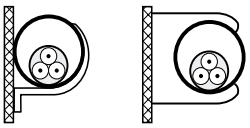
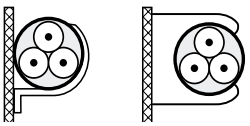
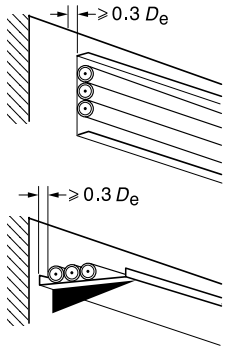
2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Примери за различни начини на полагане на кабели и проводници

На **Табл. G10** са показани някои от многобройните варианти на методи за монтаж.

Определени са няколко основни метода (означени с буквен код от A до G), обединени в групи методи за монтаж с еднакви характеристики по отношение на пропускателната способност по ток на системата от проводници.

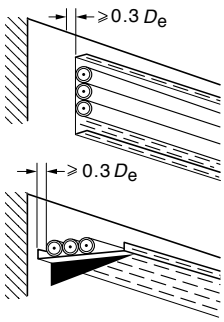
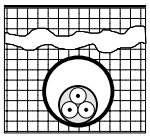
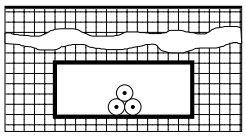
Таблица G10: Примери на методи за монтаж (част от табл. 52-3 на IEC 60364-5-52) (продължава на следваща страница)

Номер на варианта	Методи за монтаж	Описание	Основен метод за монтаж, използван за постигане пропускателната способност по ток
1	 Помещение	Изолирани проводници или едножилни кабели, положени в тръба в стена с термоизолация	A1
2	 Помещение	Многожилни кабели, положени в тръба в стена с термоизолация	A2
4		Изолирани проводници или едножилни кабели в тръба на дървена стена, по мазилка или положени на разстояние от стената, по-малко от 0,3 x диаметъра на тръбата	B1
5		Многожилни кабели в тръба на дървена стена, на мазилка или положени на разстояние от стената, по-малко от 0,3 x диаметъра на тръбата	B2
20		Едножилни или многожилни кабели: - прикрепени или положени на разстояние от дървена стена, по-малко от 0,3 x диаметъра на кабела	C
30		На неперфорирана кабелна скара	C

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Таблица G10: Примери на методи за монтаж (част от табл. 52-3 на IEC 60364-5-52) (продължение)

Номер на варианта	Методи за монтаж	Описание	Основен метод за монтаж, използван за постигане пропускателната способност по ток
31		На перфорирана кабелна скара	E за многожилни **или** F за едножилни
36		Неизолирани или изолирани проводници, положени на изолатори	G
70		Многожилни кабели, положени в кабелен канал или в тръби, намиращи се в земя	D
71		Едножилен кабел, положен в кабелен канал или в тръби, намиращи се в земя	D

G10

Максимална работна температура:

Стойностите на допустимия продължителен ток, посочени в следващите таблици, са определени така, че максималната температура на изолацията да не бъде превишавана в продължителен период от време.

В **Табл. G11** са посочени максимално допустими температури за различни типове изолационни материали.

Таблица G11: Стойности на максималната работна температура за различни типове изолации (табл. 52-4 на IEC 60364-5-52)

Тип на изолация	Гранична температура, °C
Поливинилхлорид (PVC)	70 - за тоководещото жило
Омрежен полиетилен (XLPE) и етилен пропиленов каучук (EPR)	90 - за тоководещото жило
Минерална (покритие с PVC или неизолирана, за открит достъп)	70 - за обвивката
Минерална (неизолирана, без открит достъп и без контакт с леснозапалими материали)	105 - за обвивката

Корекционни коефициенти:

За да се отчетат условията на околната среда, или особените условия при полагане на кабели и проводници се използват корекционни коефициенти. Напречното сечение на кабелите се определя чрез използване номиналната стойност на тока на натоварване I_B, разделен на различни корекционни коефициенти: k_1, k_2, ...:

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_2 ...}$$

където I'_B е коригираната стойност на тока на натоварване, която се сравнява с пропускателната способност по ток на съответния

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

■ Температура на околната среда

Изчисляване на пропускателната способност по ток на кабели, положени във въздух, се основава на средна стойност на температурата на въздуха 30 °C.
За други стойности на температурата се използват корекционни коефициенти, посочени в **Табл. G12**, за изолация от PVC, етилен пропиленов каучук (EPR) и омрежен полиетилен (XLPE).
По-долу са посочени стойностите на корекционния коефициент k_1.

Таблица G12: Корекционни коефициенти за температура на околната среда, различна от 30 °C, използвани за изчисляване пропускателната способност по ток на кабели, положени във въздух (на открито) (табл. A. 52-14 на IEC 60364-5-52)

Температура на околната среда, °C	Изолация	
	Поливинилхлорид PVC	Омрежен полиетилен (XLPE) и етилен пропиленов каучук (EPR)
10	1.22	1.15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
35	0.94	0.96
40	0.87	0.91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0.61	0.76
60	0.50	0.71
65	-	0.65
70	-	0.58
75	-	0.50
80	-	0.41

Пресмятането на пропускателната способност на кабели, положени в земя, се основава на средна стойност на температурата на почвата 20 °C. За други стойности на температурата се използват корекционни коефициенти, посочени в **Табл. G13**, за изолация от PVC, етилен пропиленов каучук (EPR) и омрежен полиетилен (XLPE).
По-долу са посочени стойностите на корекционния коефициент k_2.

Таблица G13 Корекционни коефициенти за температура на почвата, различна от 20 °C, използвани за изчисляване пропускателната способност по ток на кабели, положени в канали в земя (табл. A. 52-15 на IEC 60364-5-52)

Температура на земята, °C	Изолация	
	Поливинилхлорид PVC	Омрежен полиетилен (XLPE) и етилен пропиленов каучук (EPR)
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.80
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	-	0.60
70	-	0.53
75	-	0.46
80	-	0.38

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

■ Специфично топлинно съпротивление на почвата

Пресмятането на пропускателната способност на кабели, положени в земя, се основава на използване на специфично топлинно съпротивление на почвата 2.5 K.m/W. За други стойности се използват корекционни коефициенти, посочени в **Табл. G14**.

По-долу са посочени стойностите на корекционния коефициент k_3.

Таблица G14: Корекционни коефициенти за кабели, положени в канали в земя, при специфично топлинно съпротивление на почвата различно от 2.5 K.m/W, използвани за изчисляване пропускателната способност по ток на кабели, с помощта на еталонен метод D (табл. A. 52-16 на IEC 60364-5-52)

Специфично топлинно съпротивление на почвата, K.m/W	1	1.5	2	2.5	3
Корекционен коефициент	1.18	1.1	1.05	1	0.96

Опитът показва, че съществува корелация между типа на почвата и нейното специфичното топлинно съпротивление. Затова в **Табл. G15** са посочени емпирични стойности на корекционния коефициент k3 в зависимост от типа на почвата.

Таблица G15: Корекционен коефициент k3 в зависимост от типа на почвата

Тип на почвата	k3
Много влажна (наситена)	1.21
Много влажна	1.13
Влажна	1.05
Суха	1.00
Много суха (изпечена)	0.86

■ Обединяване на проводници и кабели

Стойностите на пропускателната способност по ток, посочени по-долу в таблиците се отнасят за едноконтурни схеми, състоящи се от следния брой проводници:

- Два изолирани проводника или два едножилни кабела или един двужилен кабел (използват се в еднофазни вериги);
- Три изолирани проводника или три едножилни кабела или един трижилен кабел (използват се в трифазни вериги).

Когато при полагане се обединяват в група по-голям брой изолирани проводници или кабели, се използва коефициент на намаляване (отбелязан с k4).

В **Таблици от G16 до G18** са дадени примери за различни конфигурации (с указания за методите за монтаж и условията за полагане – на открито или в земя).

Таблица G16 дава стойностите на корекционния коефициент k4 за различни конфигурации на негорими кабели или проводници, групирани в повече от една верига или многожилни кабели.

Таблица G16: Коефициенти за намаляване за групи, съдържащи повече от една верига или един многожилен кабел (табл. A. 52-17 на IEC 60364-5-52)

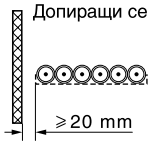
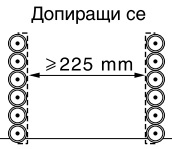
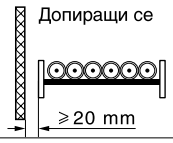
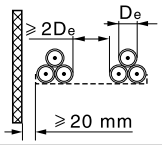
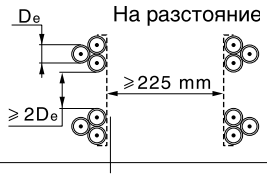
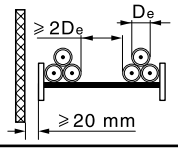
Разположение на кабелите (допиращи се)	Брой на веригите или многожилните кабели												Методи за монтаж
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
Кабелен сноп на открито, на стена, зазидан или защитна обвивка	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45	0.41	0.38	Методи от A до F
Един слой по стена, по под или на неперфорирана кабелна скара	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	Няма стойности на коефициента за намаляване за групи, съдържащи повече от девет вериги или многожилни кабели.			Метод C
Един слой, закрепен непосредствено под дървен таван	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61				
Един слой на перфорирана хоризонтална и вертикална кабелна скара	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72				Методи E и F
Един слой на кабелна лавица, на скоби и др.	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78				

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

В **Таблица G17** са дадени стойности на корекционния коефициент k_4 за различни конфигурации групи от кабели или проводници, съдържащи повече от една верига, положени на открито.

Таблица G17: Коефициенти за намаляване за групи, съдържащи повече от една верига едножилни кабели, използвани като нормирани стойности за една верига едножилни кабели, положени на открито, метод на монтаж F (табл. A. 52-21 на IEC 60364-5-52)

Метод за монтаж			Скари, бр.	Трифазни вериги, бр.			Използва се като множител на номиналната стойност за:
				1	2	3	
На перфорирани скари	31		1 2 3	0.98 0.96 0.95	0.91 0.87 0.85	0.87 0.81 0.78	Три кабела, разположени хоризонтално
На вертикални перфорирани скари	31		1 2	0.96 0.95	0.86 0.84		Три кабела, разположени вертикално
На кабелна лавица конзоли, скоби и др.	32 33 34		1 2 3	1.00 0.98 0.97	0.97 0.93 0.90	0.96 0.89 0.86	Три кабела, разположени хоризонтално
На перфорирани скари	31		1 2 3	1.00 0.97 0.96	0.98 0.93 0.92	0.96 0.89 0.86	Три кабела, разположени във вид на трилистник
На вертикални перфорирани скари	31		1 2	1.00 1.00	0.91 0.90	0.89 0.86	
На кабелни лавици, конзоли, скоби и др.	32 33 34		1 2 3	1.00 0.97 0.96	1.00 0.95 0.94	1.00 0.93 0.90	

G13

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

В **Таблица G18** са дадени стойности на корекционния коефициент k4 за различни конфигурации на кабели или проводници, положени непосредствено в земя.

Таблица G18: Коефициенти за намаляване за повече от една верига едножилни или многожилни кабели, положени непосредствено в земя. Метод на монтаж D (табл. A. 52-18 на IEC 60364-5-52)

Вериги, бр.	Разстояние между кабелите (a)[a], m				
	Нула (допиращи се без въздушна междина)	На разстояние един Ø	0.125	0.25	0.5
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

[a] Многожилни кабели

[a] Едножилни кабели

■ Ток на хармонична съставяща

Изчисляването на пропускателната способност по ток на трифазни четири- или петжилни кабели, се основава на допускането, че само трите проводника имат пълно натоварване.

Независимо от това, поради циркулация на хармонични токове, може да възникне значителен ток в неутралата, чиято стойност може да бъде по-голяма дори от стойността на фазните токове. Това се обуславя от факта, че третите хармоници на тока в трите фази не се компенсират, а се сумират в неутралния проводник.

Това, разбира се, влияе на пропускателната способност по ток на кабела, поради което е необходимо да се използва корекционен коефициент k5, стойностите на който са показани по-долу.

Освен това, ако третият хармоник на тока е по-голям от 33 %, то тока през нулевия проводник е по-голям от номиналния фазов ток. Затова сечението на кабела трябва да се избира на основата на стойността на тока в неутралата. Трябва да се отчита и топлинното действие на хармоничните токове във фазовите проводници.

В **Таблица G19** са дадени стойностите на коефициента k5 в зависимост от третия хармоник.

Таблица G19: Стойности на корекционния коефициент k5 за хармоничните съставящи на тока в четири- и петжилни кабели (табл. D. 52-1 на IEC 60364-5-52)

Относителна големина на третия хармоник спрямо фазовия ток, %	Корекционен коефициент	
	Сечение на кабел, определено по стойността на фазовия ток	Сечение на кабел, определено по стойността на тока в неутралата
0 - 15	1.0	
15 - 33	0.86	
33 - 45		0.86
> 45		1.0

Допустим ток в зависимост от номиналната стойност на сечението на проводниците

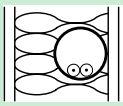
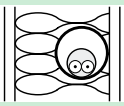
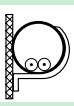
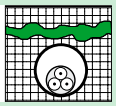
В стандарта IEC 60364-5-52 се съдържа подробна информация, съставена във вид на таблици с указание за допустимите стойности на тока в зависимост от сечението на кабелите. При това се отчитат много параметри, например метод за монтаж, типа на изолационния материал, броя на проводниците под товар.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Като пример, в **Табл. G20,** са дадени стойности на пропускателната способност по ток за различни методи на монтаж, на трижилни медни или алуминиеви проводници с PVC изолация, положени на открито или в земя.

Таблица G20: Стойности на пропускателната способност по ток, в A, за различни методи на монтаж на трижилни медни или алуминиеви проводници с PVC изолация, при температура на проводниците: 70 °C, температура на въздуха 30 °C, температура на почвата 20 °C (табл. A. 52-4 на IEC 60364-5-52)

Номинално напречно сечение на проводниците, mm²	Методи за монтаж					
	A1	A2	B1	B2	C	D
						
1	2	3	4	5	6	7
Мед						
1.5	13.5	13	15.5	15	17.5	18
2.5	18	17.5	21	20	24	24
4	24	23	28	27	32	31
6	31	29	36	34	41	39
10	42	39	50	46	57	52
16	56	52	68	62	76	67
25	73	68	89	80	96	86
35	89	83	110	99	119	103
50	108	99	134	118	144	122
70	136	125	171	149	184	151
95	164	150	207	179	223	179
120	188	172	239	206	259	203
150	216	196	-	-	299	230
185	245	223	-	-	341	258
240	286	261	-	-	403	297
300	328	298	-	-	464	336
Алуминий						
2.5	14	13.5	16.5	15.5	18.5	18.5
4	18.5	17.5	22	21	25	24
6	24	23	28	27	32	30
10	32	31	39	36	44	40
16	43	41	53	48	59	52
25	57	53	70	62	73	66
35	70	65	86	77	90	80
50	84	78	104	92	110	94
70	107	98	133	116	140	117
95	129	118	161	139	170	138
120	149	135	186	160	197	157
150	170	155	-	-	227	178
185	194	176	-	-	259	200
240	227	207	-	-	305	230
300	261	237	-	-	351	260

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

2.3 Препоръчван опростен метод за определяне сечението на кабели

За улесняване избора на сечението на кабели, положени на открито или скрито, се предлагат две опростени таблици.
В тези таблици са представени най-разпространените конфигурации, което позволява да се увеличи достъпа до информация.

- Кабели, положени на открито:

Таблица G21a: Стойности на пропускателната способност по ток, в A, (табл. B.52-1 на IEC 60364-5-52)

Методи за монтаж	**Брой на активни проводници и тип на изолация**											
A1		2 PVC	3 PVC		3 XLPE	2 XLPE						
A2	3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE							
B1				3 PVC	2 PVC		3 XLPE		2 XLPE			
B2			3 PVC	2 PVC		3 XLPE	2 XLPE					
C					3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE		
E						3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE	
F							3 PVC		2 PVC	3 XLPE		2 XLPE
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Сечение, mm² Мед												
1.5	13	13.5	14.5	15.5	17	18.5	13.5	22	23	24	26	-
2.5	17.5	18	19.5	21	23	25	27	30	31	33	36	-
4	23	24	26	28	31	34	36	40	42	45	49	-
6	29	31	34	36	40	43	46	51	54	58	63	-
10	39	42	46	50	54	60	63	70	75	80	86	-
16	52	56	61	68	73	80	85	94	100	107	115	-
25	68	73	80	89	95	101	110	119	127	135	149	161
35	-	-	-	110	117	126	137	147	158	169	185	200
50	-	-	-	134	141	153	167	179	192	207	225	242
70	-	-	-	171	179	196	213	229	246	268	289	310
95	-	-	-	207	216	238	258	278	298	328	352	377
120	-	-	-	239	249	276	299	322	346	382	410	437
150	-	-	-	-	285	318	344	371	395	441	473	504
185	-	-	-	-	324	362	392	424	450	506	542	575
240	-	-	-	-	380	424	461	500	538	599	641	679
Алуминий												
2.5	13.5	14	15	16.5	18.5	19.5	21	23	24	26	28	-
4	17.5	18.5	20	22	25	26	28	31	32	35	38	-
6	23	24	26	28	32	33	36	39	42	45	49	-
10	31	32	36	39	44	46	49	54	58	62	67	-
16	41	43	48	53	58	61	66	73	77	84	91	-
25	53	57	63	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	-	-	-	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	-	-	-	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	-	-	-	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	-	-	-	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	-	-	-	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150	-	-	-	-	226	245	261	283	304	324	346	389
185	-	-	-	-	256	280	298	323	347	371	397	447
240	-	-	-	-	300	330	352	382	409	439	470	530

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

В **Табл. G21b** са дадени корекционни коефициенти за групи от няколко вериги или многожилни кабели:

Таблица G21b: Коефициенти за намаляване за групи от няколко вериги или многожилни кабели (табл. B. 52-3 на IEC 60364-5-52)

Разположение на кабелите	Брой на веригите или многожилните кабели								
	1	2	3	4	6	9	12	16	20
Зазидани или в защитна обвивка	1.00	0.80	0.70	0.70	0.55	0.50	0.45	0.40	0.40
Един слой по стена, по под или на неперфорирана скара	1.00	0.85	0.80	0.75	0.70	0.70	-	-	-
Един слой, закрепен непосредствено под дървен таван	0.95	0.80	0.70	0.70	0.65	0.60	-	-	-
Един слой на перфорирана хоризонтална или вертикална кабелна скара	1.00	0.90	0.80	0.75	0.75	0.70	-	-	-
Един слой на кабелна лавица, на скоби и др.	1.00	0.85	0.80	0.80	0.80	0.80	-	-	-

■ Скрито полагане:

Таблица G22: Стойности на пропускателната способност по ток, в A, (табл. B. 52-1 на IEC 60364-5-52)

Метод за монтаж	Сечение, mm^2	Брой на активни проводници и тип на изолация			
		Два PVC	Три PVC	Два XLPE	Три XLPE
D	**Мед**				
	1.5	22	18	26	22
	2.5	29	24	34	29
	4	38	31	44	37
	6	47	39	56	46
	10	63	52	73	61
	16	81	67	95	79
	25	104	86	121	101
	35	125	103	146	122
	50	148	122	173	144
	70	183	151	213	178
	95	216	179	252	211
	120	246	203	287	240
	150	278	230	324	271
	185	312	258	363	304
	240	361	297	419	351
	300	408	336	474	396
D	**Алуминий**				
	2.5	22	18.5	26	22
	4	29	24	34	29
	6	36	30	42	36
	10	48	40	56	47
	16	62	52	73	61
	25	80	66	93	78
	35	96	80	112	94
	50	113	94	132	112
	70	140	117	163	138
	95	166	138	193	164
	120	189	157	220	186
	150	213	178	249	210
	185	240	200	279	236
	240	277	230	322	272
	300	313	260	364	308

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

2.4 Изолирани шинопроводи

Да се избере шинопровод е много просто, ако се използват данните, представени от производителя. Методът за монтаж, типът на изолационния материал, корекционните коефициенти са основни параметри за тази технология.

Пресмятането на напречното сечение на шините за всеки зададен модел се извършва от производителя, като се използват следните параметри:
- Номинален ток;
- Температура на околния въздух, равна на 35 °C;
- Три работни шини.

Номинален ток

Номиналният ток може да бъде изчислен въз основа на:
- Планът на разполагане на шините;
- Консумираният ток при различни товари, свързани към шинната система.

Външна температура

Корекционният коефициент трябва да бъде използван при температури по-високи от 35 °C. В **Табл. G23a** е даден корекционния фактор за вериги.

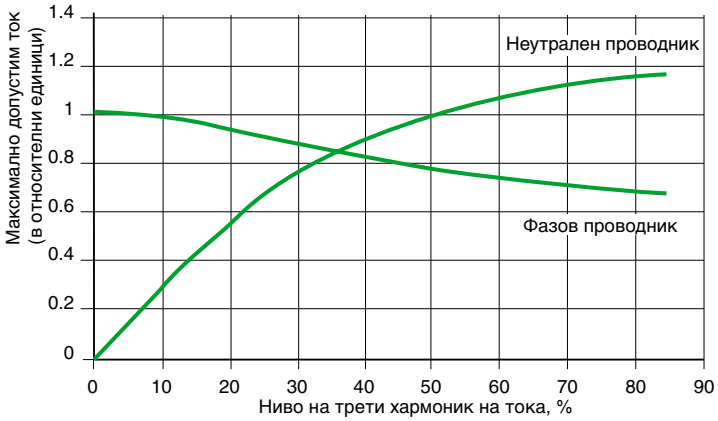
Таблица G23a: Корекционен коефициент за температура на въздуха над 35 °C

Температура на въздуха°C	35	40	45	50	55
Корекционен коефициент	1	0.97	0.93	0.90	0.86

Неутрален проводник

Неутралният проводник може да бъде натоварен със значителен ток, когато протичат третите хармоници на тока. Съответните допълнителни загуби на мощност трябва да бъдат взети под внимание.

Фигура G23b представя зависимостта на максимално допустимия фазов ток и тока в неутралния проводник (в относителни единици) в шинопровод с голяма мощност в зависимост от нивото на третия хармоник.



Фиг. G23b: Зависимост на максимално допустими токове (в относителни единици) в шинопровод от нивото на третия хармоник на тока.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Практически метод за определяне на най-малкото допустимо сечение на проводници, кабели и шини

Планът на разположение на шинопровода зависи от мястото на потребителите, мястото на захранващия източник и възможностите за закрепване на системата:
- Шинопроводът се състои от прави елементи за пренос (за пренасяне на енергия) и за разпределение (с фабрично подготвени отклонения) с дължини от 2 до 5м, елементи за промяна на посоката, захранващи и крайни елементи;
- Защитните устройства за потребителите са разположени в кутии, свързани непосредствено към изходните точки за разпределение;
- Една отделна линия, захранва потребители с различна мощност.

След уточняване на плана на разположение на шинопровода е възможно да се изчисли консумирания ток I_n в разпределителната линия.

Токът I_n е равен на сумата от консумираните токове от потребителите:
$I_n = \Sigma I_B$.
Потребителите не работят едновременно и постоянно с пълен товар. Затова трябва да се използва коефициента на едновременност k_S: $I_n = \Sigma (I_B . k_S)$.

Таблица G24: Стойности на коефициента на едновременност ks в зависимост от броя на потребителите

Приложение	Потребители, бр.	Стойност на коефициента ks
Осветление, отопление		1
Разпределение (работилници, цехове)	2...3	0.9
	4...5	0.8
	6...9	0.7
	10...40	0.6
	40 и повече	0.5

Забележка: *За промишлени уредби, получената стойност на In трябва да се повиши, като по този начин се отчита бъдещото обновяване на базата. За разпределително табло, се препоръчва това увеличение да е 20 %, т.е:*
$I_n \leq I_B \times k_s \times 1.2$.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Определяне пада на напрежение

Съпротивлението на проводниците във веригата е малко, но не трябва да се пренебрегва. При преминаване на товарния ток се наблюдава пад на напрежение между началото на веригата и мястото на включване на товара.
Правилната работа на потребителя (двигател, верига за осветление и др.) зависи от това дали напрежението на неговите клеми се поддържа до ниво, близко до номиналната стойност. Следователно необходимо е да се оразмеряват проводниците от веригата така, че при ток на пълно натоварване, напрежението на клемите на товара да остава в допустими граници.

В този Раздел се разглеждат методи за определяне пада на напрежение с цел осигуряване на:
- Съответствия с действащи стандарти и правила;
- Изисквания от страна на потребителя;
- Съществени изисквания към работата на електрообзавеждането.

3.1 Максимално допустим пад на напрежение

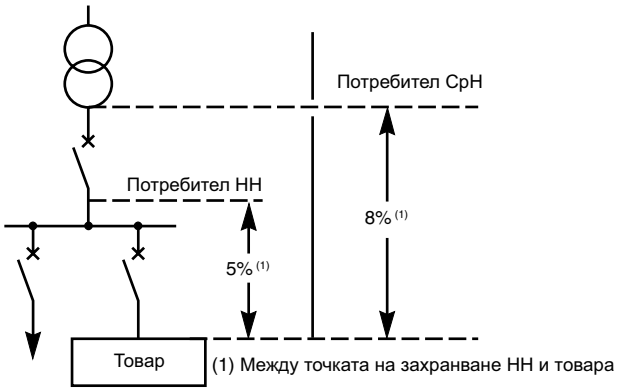
Максимално допустимите граници на пада на напрежение са различни в отделните страни. Типовите стойности за електрически уредби НН са дадени по-долу в **Табл. G25**.

Таблица G25: Максимално допустим пад на напрежение между точката на присъединяване към мрежата и точката на потребление

Тип на уредбите	Осветителни вериги	Други (отопление и силови вериги)
Включване към разпределителна мрежа НН	3%	5%
Потребители на подстанция СрН/НН, захранвани от разпределителна мрежа СрН	6%	8%

Посочените граници на пада на напрежение се отнасят за нормално установен работен режим и не се използват за моменти на пускане на двигатели, едновременно включване (случайно) на няколко товари и т.н., както това е описано в т.4.3 на Глава B (Коефициент на едновременност и т.н.). Ако пада на напрежение надвиши стойностите, дадени в **Табл. G25** се използват проводници с по-голямо сечение, за да се коригира тази ситуация.
Ако се допусне пад на напрежение 8 % това може да доведе до проблеми в работата на двигателите, например:
- Обикновено, за удовлетворителната работа на двигателя е необходимо напрежението да бъде в границите ± 5% от номиналната стойност в установен режим на работа;
- Пусковият ток на двигателя може да бъде от 5 до 7 пъти по-голям от неговия номинален ток (или даже по-висок). Ако падът на напрежение е 8 % при пълен товар, то по време на пускане на двигателя, може да се наблюдава намаление на напрежението до 40 %, или повече. При такива условия двигателят:
  - или не може да се пусне (остава неподвижен поради недостатъчен въртящ момент, неспособен да преодолее съпротивителния момент на товара), което ще доведе до прегряване на двигателя и до неговото изключване;
  - или ще се ускорява много бавно, така че големият товарен ток (с възможни нежелани въздействия на намаленото напрежение върху друго обзавеждане) да продължи по-дълго, отколкото при нормален период на развъртане.
- И накрая 8 % пад на напрежение представлява постоянна загуба на мощност, която при продължителен товар предизвиква значителни загуби на енергия (отчитана).

Поради тази причина се препоръчва максималния пад на напрежение 8 % в установен работен режим да не се допуска във вериги, чувствителни към понижено напрежение.



Фигура G26: Максимално допустим пад на напрежение

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Определяне пада на напрежение

3.2 Изчисляване пада на напрежение в режими на постоянен товар

Формули

В **Табл. G27** по-долу са дадени формули, които обикновено се използват за изчисляване пада на напрежение във верига с дължина L km.

Където:

- $I_в$ е пълният ток на товара, A;
- L – дължината на кабела, km;
- R – активното съпротивление на кабел с дължина 1 km, Ω/km:

$$R = \frac{22.5\ \Omega\ mm^2/km}{S(\text{сечението в } mm^2)}$$ за мед

$$R = \frac{36\ \Omega\ mm^2/km}{S(\text{сечението в } mm^2)}$$ за алуминий

Забележка: R може да се пренебрегне, ако сечението на проводника е над 500 mm^2.

- X - индуктивното съпротивление на кабел с дължина 1 km, Ω/km.

Забележка: X може да се пренебрегне, ако сечението на проводника е под 50 mm^2. При отсъствие на всяка друга информация се приема X=0.08 Ω/km.

- φ - фазовият ъгъл между напрежението и тока в разглежданата верига, обикновено:
  - За осветителна верига с лампи с нажежаема жичка: $\cos\varphi = 1$.
  - За захранване на двигател:

- при пускане: $\cos\varphi = 0.35$;
- в режим на нормална работа: $\cos\varphi = 0.8$.

- Un – напрежението между фазите, V;
- Vn – напрежението между фаза и нула, V.

За кабелопроводи и шинопроводи заводско изпълнение, стойността на активното и индуктивното съпротивление се дава от производителя.

Таблица G27: Формули за пресмятане пада на напрежение

Верига	Пад на напрежение (ΔU),	
	във V	в %
Една фаза: Фаза/фаза	$\Delta U = 2 I_в (R\cos\varphi + X\sin\varphi) L$	$\frac{100\ \Delta U}{Un}$
Една фаза: Фаза/нула	$\Delta U = 2 I_в (R\cos\varphi + X\sin\varphi) L$	$\frac{100\ \Delta U}{Vn}$
Балансирана трифазна: три фази с или без неутрала	$\Delta U = \sqrt{3}\, I_в (R\cos\varphi + X\sin\varphi) L$	$\frac{100\ \Delta U}{Un}$

Опростена таблица

Пресмятанията могат да се избегнат чрез използване на **Табл. G28**, показана на следващата страница. Тя дава с адекватно приближение стойността на пада на междуфазно напрежение на кабел с дължина 1 km при товар 1 A в зависимост от:

- Вида на веригата: захранваща верига на двигател с $\cos\varphi$ приблизително 0.8, или осветителна верига с $\cos\varphi$ приблизително равен на 1.
- Типа на кабела: едножилен или трижилен.

Падът на напрежение ΔU в кабела може да се изчисли по:

$\Delta U = K \times I_в \times L$

където K е коефициентът, отчитан от **Табл. G28**;

$I_в$ – пълният ток на товара, A;

L – дължината на кабела, km.

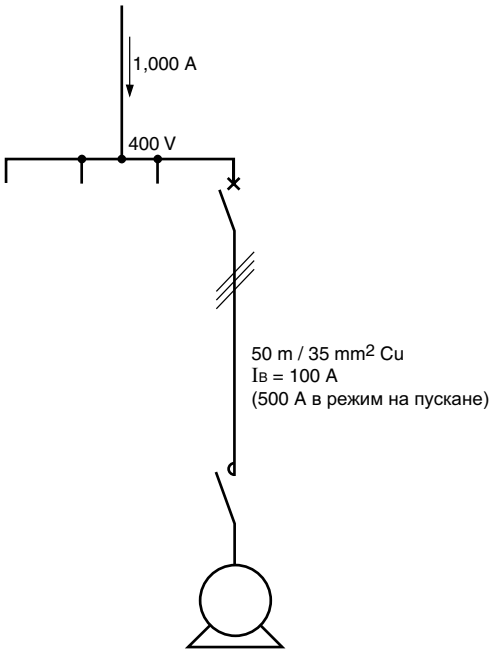
Колоната „Ток на двигателя - $\cos\varphi = 0.35$” на **Табл. G28** може да се използва за изчисление на пада на напрежение по време пусковия период (виж пример №1 след **Табл. G28**).

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Определяне пада на напрежение

Таблица G28: Пад на напрежение между фазите ΔU, във V/A.km

Сечение, mm²		Еднофазна верига			Балансирана трифазна верига		
		Захранване на двигател		Осветление	Захранване на двигател		Осветление
		Работен режим	Пусков режим		Работен режим	Пусков режим	
Cu	Al	cos φ = 0.8	cos φ = 0.35	cos φ = 1	cos φ = 0.8	cos φ = 0.35	cos φ = 1
1.5		24	10.6	30	20	9.4	25
2.5		14.4	6.4	18	12	5.7	15
4		9.1	4.1	11.2	8	3.6	9.5
6	10	6.1	2.9	7.5	5.3	2.5	6.2
10	16	3.7	1.7	4.5	3.2	1.5	3.6
16	25	2.36	1.15	2.8	2.05	1	2.4
25	35	1.5	0.75	1.8	1.3	0.65	1.5
35	50	1.15	0.6	1.29	1	0.52	1.1
50	70	0.86	0.47	0.95	0.75	0.41	0.77
70	120	0.64	0.37	0.64	0.56	0.32	0.55
95	150	0.48	0.30	0.47	0.42	0.26	0.4
120	185	0.39	0.26	0.37	0.34	0.23	0.31
150	240	0.33	0.24	0.30	0.29	0.21	0.27
185	300	0.29	0.22	0.24	0.25	0.19	0.2
240	400	0.24	0.2	0.19	0.21	0.17	0.16
300	500	0.21	0.19	0.15	0.18	0.16	0.13



Фигура G29: Пример 1

Примери

Пример 1 (виж **Фиг. G29**)

Трижилен меден кабел със сечение 35 mm² и дължина 50 m подава напрежение 400 V към трифазен двигател, консумиращ:

- 100 A при cos φ = 0.8 и постоянен товар;
- 500 A (5 In) при cos φ = 0.35 в режим на пускане.

Приема се, че падът на напрежение в началото на кабела, свързващ трифазния двигател при нормални обстоятелства (т.е. на разпределително табло от **Фиг. G29**, разпределящо общ товар от 1,000 A) е 10 V.

Колко е падът на напрежение на клемите на двигателя:

- в работен режим?
- в пусков режим?

Решение:

- Пад на напрежение в режим на нормална работа:

$$\Delta U\% = 100\frac{\Delta U}{Un}$$

От **Табл. G28** се отчита K = 1 V/A.km (за меден проводник със сечение 35 mm² и cos φ = 0.8 при трифазна верига):
Следователно:
за кабела: ΔU = 1 x 100 x 0.05 = 5 V
Общ пад на напрежение: ΔU = 10 + 5 = 15 V, т.е.

$$\frac{15}{400} \text{x } 100 = 3.75\%$$

Тази стойност е по-малка от разрешената 8 % и следователно е приемлива.

- Пад на напрежение в режим на пускане:

От **Табл. G28** се отчита K = 0.52 V/A.km (за меден проводник със сечение 35 mm² и за cos φ = 0.35 при трифазна верига):
Следователно:
за кабела: ΔU= 0.52 x 500 x 0.05 = 13 V.
Поради допълнителният ток, консумиран по време на пускане на двигателя, падът на напрежение на разпределителното табло ще бъде по-голям от 10 V.
Ако се предположи, че тока, протичащ през разпределителното табло по време на пускане на двигателя е 900 + 500 = 1,400 A следователно падът на напрежение на разпределителното табло ще се увеличи до

$$\frac{10 \text{ x } 1{,}400}{1{,}000} = 14 \text{ V}$$

Следователно:
за разпределителното табло: ΔU = 14 V;
за кабела, захранващ двигателя: ΔU = 13 V;
Общ пад на напрежение: ΔU = 13 + 14 = 27 V, т.е.

$$\frac{27}{400} \text{x } 100 = 6.75\%$$

Тази стойност е подходяща за пусков режим.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Определяне пада на напрежение

Пример 2 (виж **Фиг. G30**)
По трифазна четирипроводна линия от медни проводници със сечение 70 mm^2 и дължина 50 m протича ток 150 A. Линията захранва, освен други товари, три еднофазни вериги за осветление, всяка от които се състои от меден проводник със сечение 2.5 mm^2, дължина 20 m и пропуска ток 20 A.
Предполага се, че токът в кабелната линия със сечение 70 mm^2 е балансиран и трите осветителни вериги са свързани към линията в една и съща точка.
Колко е падът на напрежение в крайните точки във веригите за осветление?
Решение:

■ Падът на напрежение в четирипроводната линия е:

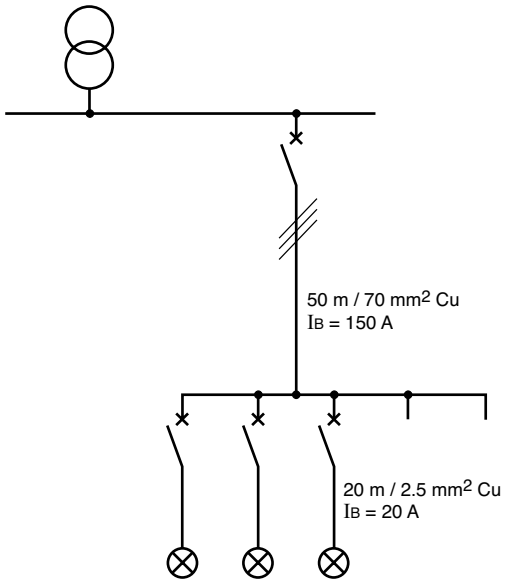
$$\Delta U\% = 100\frac{\Delta U}{Un}$$

От **Табл. G28** се отчита K = 0.55 V/A.km (за меден проводник със сечение 70 mm^2 и за cos φ =1 при трифазна верига).
Следователно:
за кабела: $\Delta U = 0.55 \times 150 \times 0.05 = 4.125$ V,
което съответства на пад на напрежение между фаза и нула: $\frac{4.125}{\sqrt{3}} = 2.38$ V

■ Падът на напрежение във всяка от еднофазните вериги за осветление е:
От **Табл. G28** се отчита K = 18 V/A.km (за меден проводник със сечение 2.5 mm^2 и за cos φ = 1 при еднофазна верига):
Следователно:
за кабела: $\Delta U = 18 \times 20 \times 0.02 = 7.2$ V
Общият пад на напрежение е:
7.2 + 2.38 = 9.6 V

$$\frac{9.6\text{ V}}{230\text{ V}} \times 100 = 4.2\%$$

Тази стойност е удовлетворителна, тъй като е по-малко от максимално допустимата стойност на пада на напрежение 6%.



Фигура G30: Пример 2

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Ток на късо съединение

Познаването на стойностите на симетричните токове при трифазно късо съединение в различни точки на уредбата е необходимо за нейното проектиране.

Познаването на стойностите на симетричните токове при трифазно късо съединение (Isc) в стратегически точки на уредбата е необходимо, за да се изчислят параметрите на разпределителното устройство (номинален ток на късо съединение), кабели (номинален ток на топлинна устойчивост), защитни устройства (настройка селективността на защитата) и др.
В следващите примери ще бъде разгледан трифазен ток на късо съединение с нулево съпротивление (така наречения ток на късо съединение при болтово съединение), подаван през типов понижаващ разпределителен трансформатор СрН/НН. Поради необикновените обстоятелства, този тип повреда е най-сериозен и много прост за изчисляване.
Токовете на късо съединение във веригата, захранвана от генератор за променлив ток и постояннотокови вериги, се разглеждат в Глава М.
Най-простите изчисления и практически правила, които трябва да се спазват, дават резултати с достатъчна точност, които в повечето случаи са подходящи за целите при проектиране на уредбата.

4.1 Ток на късо съединение на клемите на вторична намотка на разпределителен трансформатор СрН/НН

В случай на един трансформатор

■ С първо приближение, съпротивлението на високоволтовата верига се приема пренебрежимо малко и затова:

$$Isc = \frac{In \times 100}{Usc},$$

където $In = \frac{S \times 10^3}{U_{20}\sqrt{3}}$ и:

S - номиналната мощност на трансформатора, kVA;
U_{20} – линейното напрежение на празен ход на вторичната намотка, V;
In – номиналният ток, A;
Isc – токът на късо съединение, A;
Usc – напрежението на късо съединение, %.

Типовите стойности на Usc за разпределителни трансформатори са дадени в **Табл. G31**.

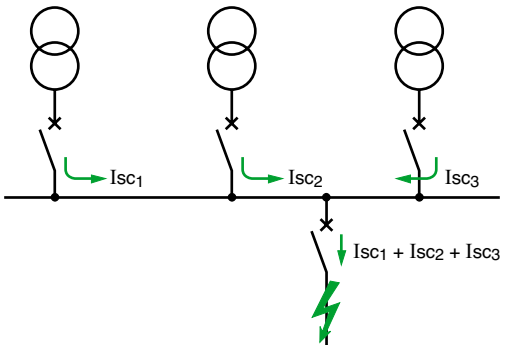
Таблица G31: Типични стойности за Usc за различни номинални мощности на силови трансформатори с напрежение на първичната намотка у 20 kV

Номинална мощност на трансформатора, kVA	Usc, %	
	Силов маслен трансформатор	Силов сух трансформатор с лята изолация
50 до 750	4	6
800 до 3 200	6	6

■ **Пример**

За трансформатор със S = 400 kVA, U_{20} = 420 V, Usc = 4%

$$In = \frac{400 \times 10^3}{420 \times \sqrt{3}} = 550\ A \qquad Isc = \frac{550 \times 100}{4} = 13.7\ kA$$



Фиг. G32: Случай на няколко трансформатора, работещи в паралел

В случай на паралелно свързани трансформатори, захранващи шини

Стойността на тока на късо съединение в началото на линията, излизаща от сборни шини (виж **Фиг. G32**), може да се оцени като сума от токовете Isc, изчислени отделно за всеки трансформатор.

Предполага се, че всички трансформатори се захранват от една мрежа СН. В този случай стойностите, получени от **Табл. G31**, при събиране ще дадат малко по-голяма стойност на тока на късо съединение от действителния.

Други фактори, които не са били взети под внимание, са съпротивлението на сборните шини и на автоматичните прекъсвачи.

Обаче, получената стойност на тока на късо съединение, е достатъчно точна за целите на проектирането на уредбата. Изборът на автоматичните прекъсвачи и на вградените защитни устройства, срещу токове на късо съединение, е описан в т.4.4 на Глава Н.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Ток на късо съединение

4.2 Ток на трифазно късо съединение (Isc) в произволна точка на електрическа уредба ниско напрежение

Токът Isc в произволна точка на трифазна уредба, се намира чрез израза:

$$Isc = \frac{U_{20}}{\sqrt{3}\ Z_T}$$

където U_{20} е линейното напрежение на празен ход на вторичната намотка на захранващия трансформатор(-и), V;

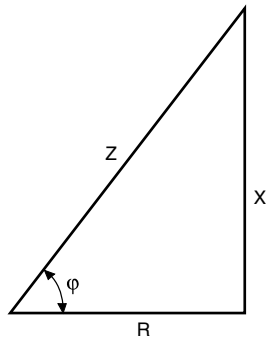
Z_T – пълното съпротивление на една фаза от електрическата уредба от трансформатора до точката на повреда, Ω.

Метод за изчисляване на Z_T

Всеки компонент на уредбата (мрежа СрН, трансформатор, кабел, автоматичен прекъсвач, сборна шина и др.), се характеризира със своето пълно съпротивление Z_T. То се състои от активно съпротивление R и индуктивно съпротивление X.

Може да се отбележи, че капацитивните съпротивления не се отчитат при изчисляване на тока на късо съединение.

Параметрите R, X и Z се измерват в Ω и са представени чрез страните на правоъгълен триъгълник (виж **Фиг. G33**).



Фиг. G33: Триъгълник на съпротивленията

Методът се състои в разделяне на мрежата на подходящи участъци и изчисляване стойностите на R и X за всеки един от тях.

Когато участъците от веригата са съединени последователно всички елементи на съпротивленията в участъците се сумират аритметично, както и реактивните съпротивления, и се получават стойностите на R_T и X_T. Пълното съпротивление Z_T за съединените елементи, се изчислява по формулата:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

Всеки два участъка от мрежата, съединени паралелно може, ако те са преимуществено активни (или и двете са индуктивни), да се обединят и да се получи едно еквивалентно активно (или реактивно) съпротивление, както е показано по-долу.

Нека R1 и R2 са две съпротивления, свързани в паралел. Тогава еквивалентното активно съпротивление R3 се намира по формулата:

$$R_3 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$ или за реактивното съпротивление $$X_3 = \frac{X_1 \times X_2}{X_1 + X_2}$$

Необходимо е да се отбележи, че изчисляването на X3 се отнася само за отделна верига, без да се отчита явлението взаимна индукция. Ако паралелните вериги са разположени близо една до друга, стойността на X3 ще бъде значително по-голяма.

Определяне пълното съпротивление на всеки компонент

■ **Мрежа СрН, към която е включена първичната намотка на трансформатор СрН/НН** (виж **Табл. G34**)

Стойността на трифазния ток на късо съединение **Isc**, в kA или мощността P_{SC}, в MVA(1) се дава от доставчика на енергия, от където може да се изчисли еквивалентното пълно съпротивление.

Таблица G34: Пълно съпротивление на мрежа СрН спрямо нисковолтовите изводи на понижаващ трансформатор СрН/НН

Psc	Uo, V	Ra, mΩ	Xa, mΩ
250 MVA	420	0.07	0.7
500 MVA	420	0.035	0.351

Формулата, която позволява да се изчисли тази стойност и едновременно привежда пълното съпротивление към неговия еквивалент на страна ниско напрежение е:

$$Zs = \frac{U_0^2}{Psc}$$

където Zs е пълното съпротивление на мрежата СрН, mΩ;

Uo – линейното напрежение на празен ход на нисковолтовата верига, V;

Psc – мощността на трифазно късо съединение, kVA.

Съпротивлението Ra на захранващата мрежа СрН е обикновено нищожно в сравнение със съответното съпротивление Xa. Приема се, че Xa = Za. За по-точни пресмятания се приема Xa = 0,995 Za и Ra = 0,1Xa.

Таблица G34 дава стойностите на Ra и Xa, съответстващи на най-разпространените мощности (а именно 250 и 500 MVA) на късо съединение в разпределителни мрежи СрН(2).

(1) Мощност на трифазно късо Psc = $\sqrt{3}$ E_L x Isc, в MVA, където:
- E_L е линейното номинално напрежение на системата, kV;
- Isc - номиналният ток на трифазно късо съединение, kA.

(2) До 36 kV.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Ток на късо съединение

■ Трансформатори (виж **Табл. G35**)

Пълното съпротивление на трансформатора Ztr на страна ниско напрежение се намира чрез формулата:

$$Ztr = \frac{U_{20}^2}{Sn} x \frac{Usc}{100}$$

където U_{20} е линейното напрежение на празен ход на вторичната намотка, V;

Sn – номиналната мощност на трансформатора, kVA;

Usc – напрежението на късо съединение на трансформатора, %.

Активното съпротивление на намотките на трансформатора Rtr може да се изчисли от общите загуби чрез уравнението:

$$Pcu = 3In^2 x\ Rtr, \text{ така че } Rtr = \frac{Pcu \times 10^3}{3In^2}$$

където Pcu са общите загуби на мощност, W;

In – номиналният ток, A;

Rtr – съпротивлението на една фаза на трансформатора, **m**Ω (в тази стойност са отчетени съпротивлението на намотката НН и на съответната намотка СрН за една фаза).

$$Xtr = \sqrt{Ztr^2 - Rtr^2}$$

При приблизителни изчислявания стойността на Rtr може да се пренебрегне, тъй като X ≈ Zn в стандартните разпределителни трансформатори.

Таблица G35: Стойности на активното, реактивното и пълното съпротивление за типови разпределителни трансформатори 400 V с напрежение на първичните намотки СН у 20 kV

Номинална	Силов маслен трансформатор				Силов сух трансформатор			
мощност, kVA	Usc, %	Rtr, mΩ	Xtr, mΩ	Ztr, mΩ	Usc, %	Rtr, mΩ	Xtr, mΩ	Ztr, mΩ
100	4	37.9	59.5	70.6	6	37.0	99.1	105.8
160	4	16.2	41.0	44.1	6	18.6	63.5	66.2
200	4	11.9	33.2	35.3	6	14.1	51.0	52.9
250	4	9.2	26.7	28.2	6	10.7	41.0	42.3
315	4	6.2	21.5	22.4	6	8.0	32.6	33.6
400	4	5.1	16.9	17.6	6	6.1	25.8	26.5
500	4	3.8	13.6	14.1	6	4.6	20.7	21.2
630	4	2.9	10.8	11.2	6	3.5	16.4	16.8
800	6	2.9	12.9	13.2	6	2.6	13.0	13.2
1,000	6	2.3	10.3	10.6	6	1.9	10.4	10.6
1,250	6	1.8	8.3	8.5	6	1.5	8.3	8.5
1,600	6	1.4	6.5	6.6	6	1.1	6.5	6.6
2,000	6	1.1	5.2	5.3	6	0.9	5.2	5.3

■ Автоматични прекъсвачи

Във веригите НН е необходимо да се отчита пълното съпротивление на автоматичните прекъсвачи, разположени над точката на късо съединение. Стойността на реактивното съпротивление условно се приема 0.15 mΩ за автоматичен прекъсвач. Стойността на активното съпротивление може да се пренебрегне.

■ Сборни шини

Активното съпротивление на сборни шини е нищожно. Практически пълното съпротивление е реактивно и е приблизително 0.15 mΩ/m(1) дължина на сборни шини НН (удвояването на разстоянието между шините, увеличава реактивното съпротивление само с 10 %).

■ Проводници

Активното съпротивление на проводник с намира по формулата:

$$Rc = \rho \frac{L}{S}$$

където ρ е специфичното обемно съпротивление на материала на проводника при нормална работна температура:

- ρ = 22.5 mΩ.mm²/m за мед;
- ρ = 36 mΩ.mm²/m за алуминий;

L – дължината на проводника, m;

S – сечението на проводника, mm².

(1) За мрежа с честота f = 50 Hz.
За мрежа с честота f = 60 Hz ρ = 0.18 mΩ/m.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Ток на късо съединение

Стойността на реактивното съпротивление на кабели може да се получи от производителите. За кабел със сечение по-малко от 50 mm² стойността на реактивното съпротивление може да се пренебрегне. При отсъствие на друга информация може да се използва стойността 0.08 mΩ/m (за мрежи с честота f = 50 Hz) или 0.096 mΩ/m (за мрежи с честота f = 60 Hz). В случай на фабрично изработени шинопроводи и подобни кабелопроводи в канали, се обърнете за данни към производителя.

■ **Двигатели**

При късо съединение, работещия двигател ще действа (в продължение на малък интервал от време) като генератор и ще захранва с ток мястото на повредата. В общия случай, това увеличение на тока на късо съединение може да се пренебрегне. Обаче, за по-точни изчисления, обикновено в случай на големи двигатели и/или голям брой малки двигатели общото увеличение на тока може да се оцени от формулата:

Iscm = 3.5 In за всеки двигател, т.е. 3.5mIn за m подобни двигатели, работещи едновременно.

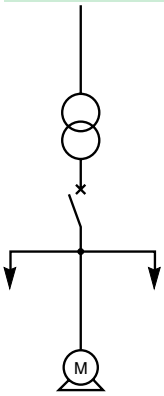
Разглежданите двигатели са само трифазни. Участието на еднофазни двигатели в увеличаването на тока е малко.

■ **Съпротивление на електрическата дъга в мястото на повредата**

Късите съединения обикновено предизвикват електрическа дъга, която притежава определено съпротивление. Нейното съпротивление не е стабилно и средната му стойност е малка, но при малко напрежение това съпротивление е достатъчно, за да намали в определена степен тока на повреда. Практиката показва, че може да се очаква намаляване на тока с 20 %. Това явление ефективно облекчава работата на автоматичния прекъсвач при изключване на веригата, но не оказва никакво влияние на неговия ток на включване.

■ Справочна таблица (виж **Табл. G36**).

Таблица G36: Справочна таблица за пълните съпротивления на различни елементи от захранващата система

Елементи от захранващата система		R, mΩ	X, mΩ
	Захранваща мрежа Фиг. G34	$\frac{Ra}{Xa} = 0.1$	$Xa = 0.995\ Za;\ Za = \frac{U_{20}^2}{Psc}$
	Трансформатор Фиг. G35	$Rtr = \frac{Pcu \times 10^3}{3In^2}$ Rtr често може да се пренебрегне в сравнение с Xtr за трансформатори със Sn > 100 kVA	$\sqrt{Ztr^2 - Rtr^2}$ със $Ztr = \frac{U_{20}^2}{Pn} \times \frac{Usc}{100}$
	Автоматичен прекъсвач	Може да се пренебрегне	X_D = 0.15 mΩ/pole
	Сборни шини	Може да се пренебрегне за S > 200 mm² във формулата: $R = \rho\frac{L}{S}$ (1)	X_B = 0.15 mΩ/m
	Проводници(2)	$R = \rho\frac{L}{S}$ (1)	Кабели: Xc = 0.08 mΩ/m
	Двигатели	Виж т.4.2 Двигатели(често може да се пренебрегне за случай на НН)	
	Ток на трифазно късо съединение, kA	$Isc = \frac{U_{20}}{\sqrt{3}\ \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$	

U_{20}: линейно напрежение на празен ход на вторичната намотка на понижаващ трансформатор СрН/НН, V;
Psc: мощност на трифазно късо съединение на клеми СрН на трансформатор СрН/НН, kVA;
Pcu: общи загуби на трифазна мощност на трансформатор СрН/НН, W;
Sn: номинална мощност на трансформатор СрН/НН, kVA;
Usc: напрежение на късо съединение на трансформатор СрН/НН, %;
R_T: общо активно съпротивление, Ω. X_T: общо реактивно съпротивление, Ω.

(1) ρ: специфично обемно съпротивление на проводници при нормална температура:

■ ρ = 22.5 mΩ x mm²/m за мед;
■ ρ = 36 mΩ x mm²/m за алуминий;

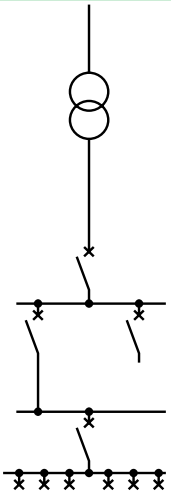
(2) Ако за дадена фаза няколко проводници са свързани в паралел, разделете активното съпротивление на единия проводник на броя на проводниците. Стойността на реактивното съпротивление остава практически постоянна.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Ток на късо съединение

■ Пример за изчисляване тока на късо съединение (виж **Фиг. G37**).

Таблица G37: Пример за изчисляване на тока на късо съединение за нисковолтова уредба, захранвана с номинално напрежение 400 V от трансформатор CpH/HH със S=1000 kVA.

Уредба НН		**R**, mΩ	**X**, mΩ	**RT**, mΩ	**XT**, mΩ	$Isc = \frac{420}{\sqrt{3}\sqrt{RT^2 + XT^2}}$
	Мрежа СН Psc = 500 MVA	0.035	0.351			
	Трансформатор 20 kV/420 V Sn = 1000 kVA Usc = 5% Pcu = 13.3 x 10^3 W	2.24	8.10			
	Едножилни кабели 5 m мед 4 x 240 mm^2/фаза	$Rc = \frac{22.5}{4} x \frac{5}{240} = 0.12$	Xc = 0.08 x 5 = 0.40	2.41	8.85	Isc1 = 26 kA
	Главен автоматичен прекъсвач	RD = 0	XD = 0.15			
	Сборни шини 10 m	RB = 0	XB = 1.5	2.41	10.5	Isc2 = 22 kA
	Трижилен кабел 100 m 95 mm^2 мед	$Rc = 22.5 x \frac{100}{95} = 23.68$	Xc = 100 x 0.08 = 8	26.1	18.5	Isc3 = 7.4 kA
	Кабел 20 m със сечение 10 mm^2 на медното жило за крайни вериги	$Rc = 22.5 x \frac{20}{10} = 45$	Xc = 20 x 0.08 = 1.6	71.1	20.1	Isc4 = 3.2 kA

4.3 Ток на трифазно късо съединение (Isc) в края на захранващата линия в зависимост от тока на трифазно късо съединение в нейното начало

Мрежата, показана на **Фиг. G38** представлява типичен случай за използване на **Табл. G39** на следващата страница, която е съставена по „метода на композицията" (описан в т.6.2 на Глава F). Такива таблици позволяват бързо да се получи доста-тъчно точна стойност на тока на късо съединение в точка от мрежата знаейки:

■ Стойността на тока на късо съединение в точка над мястото на повредата;

■ Дължината и състава на веригата между точката, в която е известна стойността на тока на късо съединение и точката, в която той трябва да се определи.

След това е достатъчно да се избере автоматичен прекъсвач, който има стойност на тока на късо съединение, по-голяма от стойността, посочена в таблицата. Ако са нужни по-точни стойности може да се направи подробно изчисляване (виж т.4.2) или да се използва програма, например Ecodial. Освен това, в този случай се препоръчва да се разгледа възможността за използване на каскадна технология. При нея монтирането на токоограничаващ автоматичен прекъсвач на горно ниво във веригата, позволява на всички автоматични прекъсвачи, монтирани надолу по веригата, да имат номинален ток на късо съединение много по-малък, от колкото е необходимо при други условия (виж т.4.5 на Глава H).

Описание на метода (виж **Фиг. G38**)

От **Табл. G39** изберете сечение на проводника от колоната за медни проводници (в дадения пример проводника е със сечение 47,5 mm^2 и дължина 20 m).

Изберете от реда, съответстващ на 47,5 mm^2, дължина на проводник, равна на дължината на изчисляваната верига (или най-близката до нея по-малка дължина).

Спуснете се вертикално по колоната, където е посочена тази дължина и се спрете на реда в средната секция (от трите секции, отделени в таблицата), която съответства на известния ток на късо съединение, посочен в първата колона (или на най-близката до нея по-голяма стойност).

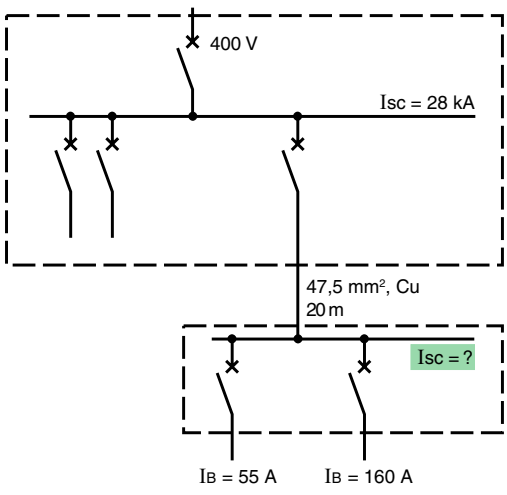
В дадения случай 30 kA е най-близката по-голяма стойност до известната стойност 28 kA. Стойността на тока на късо съединение в началото на 20 m верига се получава чрез пресичане на вертикалната колона, в която е разположена дължината и хоризонталния ред, съответстващ на тока Isc в точката нагоре по веригата (или най-близката до нея по-голяма стойност).

В дадения пример се отчита стойност 14,7 kA.

Процедурата за определяне на тока на късо съединение при алуминиеви проводници е подобна, но трябва да се извърши придвижване от третата секция нагоре към средната.

В резултат може да се използва автоматичен прекъсвач, монтиран на шина DIN, с номинален ток 63 A и Isc = 25 kA (например автоматичен прекъсвач NG125N) за верига с ток 55 A (виж **Фиг. G38**).

Автоматичен прекъсвач Compact с номинален ток 160 A и Isc = 25 kA (например прекъсвач NS160) може да се използва за защита на верига 160 A.



Фиг. G38: Определяне стойността на тока на късо съединение Isc на долно ниво, чрез използване на Табл. G39

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Ток на късо съединение

Таблица G39: Определяне на Iscв точка надолу по веригата при известни стойност на тока на късо съединение нагоре по веригата, дължина и напречно сечение на проводниците, в трифазна верига с номинално напрежение 230/400 V

Медни проводници 230 V/400 V																							
Сечение на фазовия проводник, mm²	**Дължина на веригата, m**																						
1.5														1.3	1.8	2.6	3.6	5.2	7.3	10.3	14.6	21	
2.5												1.1	1.5	2.1	3.0	4.3	6.1	8.6	12.1	17.2	24	34	
4											1.2	1.7	2.4	3.4	4.9	6.9	9.7	13.7	19.4	27	39	55	
6											1.8	2.6	3.6	5.2	7.3	10.3	14.6	21	29	41	58	82	
10										2.2	3.0	4.3	6.1	8.6	12.2	17.2	24	34	49	69	97	137	
16								1.7	2.4	3.4	4.9	6.9	9.7	13.8	19.4	27	39	55	78	110	155	220	
25						1.3	1.9	2.7	3.8	5.4	7.6	10.8	15.2	21	30	43	61	86	121	172	243	343	
35						1.9	2.7	3.8	5.3	7.5	10.6	15.1	21	30	43	60	85	120	170	240	340	480	
47.5					1.8	2.6	3.6	5.1	7.2	10.2	14.4	20	29	41	58	82	115	163	231	326	461		
70					2.7	3.8	5.3	7.5	10.7	15.1	21	30	43	60	85	120	170	240	340				
95				2.6	3.6	5.1	7.2	10.2	14.5	20	29	41	58	82	115	163	231	326	461				
120		1.6	2.3	3.2	4.6	6.5	9.1	12.9	18.3	26	37	52	73	103	146	206	291	412					
150	1.2	1.8	2.5	3.5	5.0	7.0	9.9	14.0	19.8	28	40	56	79	112	159	224	317	448					
185	1.5	2.1	2.9	4.2	5.9	8.3	11.7	16.6	23	33	47	66	94	133	187	265	374	529					
240	1.8	2.6	3.7	5.2	7.3	10.3	14.6	21	29	41	58	83	117	165	233	330	466	659					
300	2.2	3.1	4.4	6.2	8.8	12.4	17.6	25	35	50	70	99	140	198	280	396	561						
2x120	2.3	3.2	4.6	6.5	9.1	12.9	18.3	26	37	52	73	103	146	206	292	412	583						
2x150	2.5	3.5	5.0	7.0	9.9	14.0	20	28	40	56	79	112	159	224	317	448	634						
2x185	2.9	4.2	5.9	8.3	11.7	16.6	23	33	47	66	94	133	187	265	375	530	749						
553x120	3.4	4.9	6.9	9.7	13.7	19.4	27	39	55	77	110	155	219	309	438	619							
3x150	3.7	5.3	7.5	10.5	14.9	21	30	42	60	84	119	168	238	336	476	672							
3x185	4.4	6.2	8.8	12.5	17.6	25	35	50	70	100	141	199	281	398	562								
Ток Isc нагоре по веригата, kA	**Ток Isc надолу по веригата, kA**																						
100	93	90	87	82	77	70	62	54	45	37	29	22	17.0	12.6	9.3	6.7	4.9	3.5	2.5	1.8	1.3	0.9	
90	84	82	79	75	71	65	58	51	43	35	28	22	16.7	12.5	9.2	6.7	4.8	3.5	2.5	1.8	1.3	0.9	
80	75	74	71	68	64	59	54	47	40	34	27	21	16.3	12.2	9.1	6.6	4.8	3.5	2.5	1.8	1.3	0.9	
70	66	65	63	61	58	54	49	44	38	32	26	20	15.8	12.0	8.9	6.6	4.8	3.4	2.5	1.8	1.3	0.9	
60	57	56	55	53	51	48	44	39	35	29	24	20	15.2	11.6	8.7	6.5	4.7	3.4	2.5	1.8	1.3	0.9	
50	48	47	46	45	43	41	38	35	31	27	22	18.3	14.5	11.2	8.5	6.3	4.6	3.4	2.4	1.7	1.2	0.9	
40	39	38	38	37	36	34	32	30	27	24	20	16.8	13.5	10.6	8.1	6.1	4.5	3.3	2.4	1.7	1.2	0.9	
35	34	34	33	33	32	30	29	27	24	22	18.8	15.8	12.9	10.2	7.9	6.0	4.5	3.3	2.4	1.7	1.2	0.9	
30	29	29	29	28	27	27	25	24	22	20	17.3	14.7	12.2	9.8	7.6	5.8	4.4	3.2	2.4	1.7	1.2	0.9	
25	25	24	24	24	23	23	22	21	19.1	17.4	15.5	13.4	11.2	9.2	7.3	5.6	4.2	3.2	2.3	1.7	1.2	0.9	
20	20	20	19.4	19.2	18.8	18.4	17.8	17.0	16.1	14.9	13.4	11.8	10.1	8.4	6.8	5.3	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	0.9	
15	14.8	14.8	14.7	14.5	14.3	14.1	13.7	13.3	12.7	11.9	11.0	9.9	8.7	7.4	6.1	4.9	3.8	2.9	2.2	1.6	1.2	0.9	
10	9.9	9.9	9.8	9.8	9.7	9.6	9.4	9.2	8.9	8.5	8.0	7.4	6.7	5.9	5.1	4.2	3.4	2.7	2.0	1.5	1.1	0.8	
7	7.0	6.9	6.9	6.9	6.9	6.8	6.7	6.6	6.4	6.2	6.0	5.6	5.2	4.7	4.2	3.6	3.0	2.4	1.9	1.4	1.1	0.8	
5	5.0	5.0	5.0	4.9	4.9	4.9	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.3	4.0	3.7	3.4	3.0	2.5	2.1	1.7	1.3	1.0	0.8	
4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.3	3.1	2.9	2.6	2.2	1.9	1.6	1.2	1.0	0.7	
3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.3	2.1	1.9	1.6	1.4	1.1	0.9	0.7	
2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0	0.8	0.6	
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	
Алуминиеви проводници 230 V/400 V																							
Сечение на фазовия проводник, mm²	**Дължина на веригата, m**																						
2.5														1.4	1.9	2.7	3.8	5.4	7.6	10.8	15.3	22	
4												1.1	1.5	2.2	3.1	4.3	6.1	8.6	12.2	17.3	24	35	
6												1.6	2.3	3.2	4.6	6.5	9.2	13.0	18.3	26	37	52	
10											1.9	2.7	3.8	5.4	7.7	10.8	15.3	22	31	43	61	86	
16										2.2	3.1	4.3	6.1	8.7	12.2	17.3	24	35	49	69	98	138	
25								1.7	2.4	3.4	4.8	6.8	9.6	13.5	19.1	27	38	54	76	108	153	216	
35							1.7	2.4	3.4	4.7	6.7	9.5	13.4	18.9	27	38	54	76	107	151	214	302	
47.5						1.6	2.3	3.2	4.6	6.4	9.1	12.9	18.2	26	36	51	73	103	145	205	290	410	
70						2.4	3.4	4.7	6.7	9.5	13.4	19.0	27	38	54	76	107	151	214	303	428		
95					2.3	3.2	4.6	6.4	9.1	12.9	18.2	26	36	51	73	103	145	205	290	411			
120					2.9	4.1	5.8	8.1	11.5	16.3	23	32	46	65	92	130	184	259	367				
150					3.1	4.4	6.3	8.8	12.5	17.7	25	35	50	71	100	141	199	282	399				
185				2.6	3.7	5.2	7.4	10.4	14.8	21	30	42	59	83	118	167	236	333	471				
240	1.2	1.6	2.3	3.3	4.6	6.5	9.2	13.0	18.4	26	37	52	73	104	147	208	294	415					
300	1.4	2.0	2.8	3.9	5.5	7.8	11.1	15.6	22	31	44	62	88	125	177	250	353	499					
2x120	1.4	2.0	2.9	4.1	5.8	8.1	11.5	16.3	23	33	46	65	92	130	184	260	367	519					
2x150	1.6	2.2	3.1	4.4	6.3	8.8	12.5	17.7	25	35	50	71	100	141	200	282	399						
2x185	1.9	2.6	3.7	5.2	7.4	10.5	14.8	21	30	42	59	83	118	167	236	334	472						
2x240	2.3	3.3	4.6	6.5	9.2	13.0	18.4	26	37	52	74	104	147	208	294	415	587						
3x120	2.2	3.1	4.3	6.1	8.6	12.2	17.3	24	34	49	69	97	138	195	275	389	551						
3x150	2.3	3.3	4.7	6.6	9.4	13.3	18.8	27	37	53	75	106	150	212	299	423	598						
3x185	2.8	3.9	5.5	7.8	11.1	15.7	22	31	44	63	89	125	177	250	354	500	707						
3x240	3.5	4.9	6.9	9.8	13.8	19.5	28	39	55	78	110	156	220	312	441	623							

Забележка: за трифазна мрежа с линейно напрежение 230V разделете посочените дължини на $\sqrt{3}$

4.4 Ток на късо съединение при захранване от генератор за променлив ток или инвертор (честотен преобразувател) (виж Глава N)

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Частни случаи на къси съединения

5.1 Изчисляване минималните стойности на тока на късо съединение

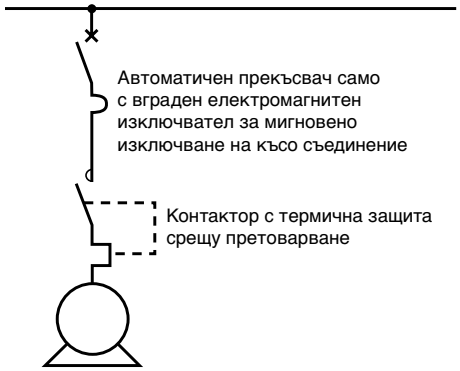
Ако защитното устройство трябва да защитава само срещу къси съединения, е необходимо, то да задейства при най-ниското възможно ниво на тока на късо съединение, възникващ във веригата.

Обикновено, във веригите НН, едно защитно устройство защитава всички нива на токове – от праговото ниво на претоварване до максималния ток на късо съединение, при които става изключване.

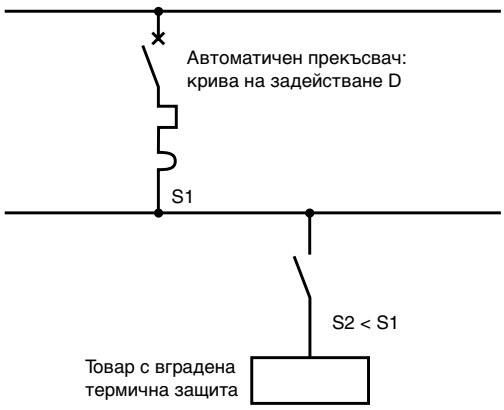
В определени случаи обаче, се използват отделни устройства срещу претоварване и срещу къси съединения.

Примери на такива случаи

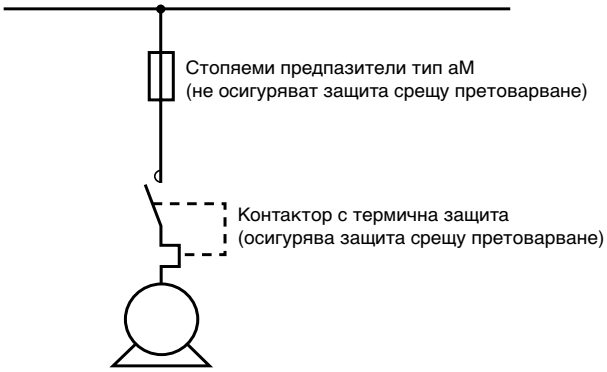
На **Фиг. G40** до **G42** са показани няколко най-разпространени случаи, където се изпълнява защита срещу претоварване и къси съединения чрез различни устройства.



Фиг. G41: Верига, защитена от автоматичен прекъсвач без термична защита срещу претоварване



Фиг. G42a: Автоматичен прекъсвач, с крива на задействане D, осигуряващ защита срещу къси съединения и претоварване



Фиг. G40: Верига, защитена със стопяеми предпазители тип aM

Най-често веригите, в които се използват отделни устройства за контрол и защита, се отнасят за двигатели (виж **Фиг. G40** и **Фиг. G.41**).

На **Фиг. G42a** е показан още един специфичен случай на защита, който често се използва при фабрични изолирани шинопроводи, за осветление и др.

Регулируемо задвижване с честотен регулатор

Таблица G42b показва защитните функции, осигурявани при регулируемо задвижване, а при необходимост и някои допълнителни функции, изпълнявани от автоматичен прекъсвач, топлинно реле, RCD.

Таблица G42b: Защита, която трябва да бъде осигурена при използване на регулируемо задвижване

Необходима защита	Защита, осигурявана от честотния регулатор	Допълнителна защита
Претоварване на кабел	Да = (1)	Не е необходима, ако е (1)
Претоварване на двигател	Да = (2)	Не е необходима, ако е (2)
Късо съединение надолу по веригата	Да	
Претоварване на честотния регулатор	Да	
Пренапрежение	Да	
Минимално напрежение	Да	
Загуба на фаза	Да	
Късо съединение нагоре по веригата		Автоматичен прекъсвач (изключване при късо съединение)
Вътрешно късо съединение		Автоматичен прекъсвач (изключване при късо съединение и претоварване)
Късо съединение към земя надолу по веригата (индиректен допир)	(самозащита)	RCD ≥ 300 mA
Директен допир		RCD ≤ 30 mA

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Частни случаи на къси съединения

Защитното устройство трябва да изпълнява следните условия:
b Настройка за моментно изключване
Im < Isc$_{min}$ за защита на верига с автоматичен прекъсвач;
b Със стопяем предпазител Ia < Isc$_{min}$.

Условия, които трябва да бъдат изпълнени

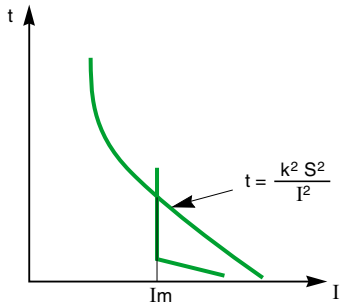
Защитното устройство трябва да удовлетворява следните две условия:

- Номиналният ток на изключване на късо съединение трябва да бъде по-голям от трифазния ток на късо съединение (Isc) в точката на повреда в уредбата.
- Изключване на минимално възможния ток на късо съединение, за време tc, съответстващо с параметрите на топлинна устойчивост на проводниците във веригата:

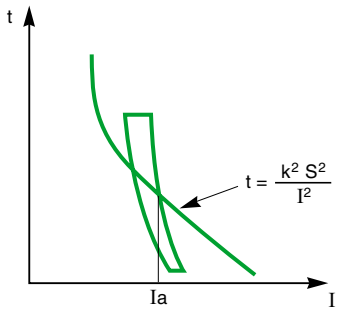
$$tc \leq \frac{K^2S^2}{Isc_{min}^2}$$ (валидно за tc < 5 s)

Сравняването на кривите на изключване на автоматичните прекъсвачи или на стопяемите предпазители, с граничните криви на термична устойчивост, показва че това условие е спазено, ако:

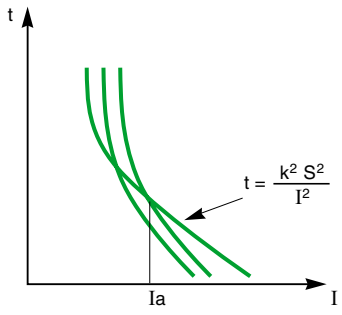
- Isc (min) > Im, където Im е токът на настройка на автоматичния прекъсвач за мигновено или с незначително времезакъснение при изключване на веригата (виж **Фиг. G45**).
- Isc (min) > Ia, при защита със стопяеми предпазители. Стойността на тока Ia съответства на точката на пресичане на кривата на стопяемия предпазител и кривата на термична устойчивост на кабела (виж **Фиг. G46** и **Фиг. G47**).



Фиг. G45: Защита с автоматичен прекъсвач



Фиг. G46: Защита със стопяеми предпазители тип aM



Фиг. G47: Защита със стопяеми предпазители тип gL

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Частни случаи на къси съединения

На практика това означава, че дължината на веригата след защитното устройство в мрежата не трябва да бъде по-голяма от максималната изчислена дължина:

$$L_{max} = \frac{0.8\ U\ Sph}{2\rho Im}$$

Практически метод за изчисляване на Lmax

Трябва да бъде проверено граничното влияние на пълното съпротивление на проводниците в дълга верига върху стойността на тока на късо съединение и в съответствие с това да бъде ограничена дължината на веригата.
Методът за изчисляване на максимално допустимата дължина вече беше показан при схеми на заземяване TN и IT, съответно за първо и второ земно съединение (виж т.6.2 и 7.2 на Глава F). Тези два случая се разглеждат по-долу:

1 - Изчисляване на L_{max} за трифазна трипроводна верига

Минималният ток на късо съединение се появява тогава, когато възниква късо съединение между два фазови проводника в отдалечения край на веригата (виж **Фиг. G48**).

Фиг. G48: Определяне на L за трифазна трипроводна верига

При използване на традиционния метод се приема, че напрежението в мястото, където е разположена защитата P, е 80 % от номиналното напрежение по време на късо съединение, т.е. 0,8.U = Isc.Zd,
където Zd е пълното съпротивление на веригата на тока на късо съединение, Ω;
Isc – токът на късо съединение (фаза-фаза), A;
U – номиналното линейно напрежение, V.
За кабели със сечение Sph ⩽ 120 mm², индуктивното съпротивление може да бъде пренебрегнато, така че

$$Zd = \rho\frac{2L}{Sph}\ ^{(1)}$$

където ρ е специфичното електрическо съпротивление на медта[2] при средна температура по време на късо съединение,
Sph – сечението на фазовия проводник, mm²
L – дължината, m

Защитата на кабела се осигурява при Im ⩽ Isc, където Im е настройката на тока на задействане на автоматичния прекъсвач, A.
В резултат $Im \leqslant \frac{0.8\ U}{Zd}$ или $L \leqslant \frac{0.8\ U\ Sph}{2\rho Im}$
където U = 400 V.
ρ = 1,25 x 0,018 = 0,023 Ω.mm²/m[3]
Lmax – максималната дължина на веригата, която може да бъде защитена, m.

$$L_{max} = \frac{k\ Sph}{Im}$$

2 - Изчисляване на Lmax за трифазна четирипроводна верига при напрежение 230/400 V

Минимална стойност на Isc ще се получи, когато късото съединение е между фазовия и неутралния проовдник.
Необходимото изчисление е подобно на това, в пример 1, но се използва следната формула (за кабели Sph ⩽ 120 mm² [1]).

■ Ако сеченията на фазовия и неутралния проводник са равни Sn = Sph

$$L_{max} = \frac{3{,}333\ Sph}{Im}$$

■ Ако Sn < Sph, тогава:

$$L_{max} = 6.666\frac{Sph}{Im}\frac{1}{1+m} \text{ където } m = \frac{Sph}{Sn}$$

За по-големи сечения от тези, стойността на индуктивното съпротивление трябва да бъде събрана със стойността на активното съпротивление, за да се получи пълното съпротивление (виж **Табл. G49)**. Индуктивното съпротивление на кабели може да се приеме 0,08 mΩ/m (при f = 50 Hz) и
0.096 mΩ/m (при f = 60 Hz).

(1) При по-голямо сечение, изчисленото съпротивление на проводниците, трябва да бъде увеличено поради неоднородната плътност на тока (от „скин" ефекта и от ефекта на „близост", създаван от непосредствено разположените натоварени с ток проводници).
Използват се следните стойности:
150 mm²: R + 15%;
185 mm²: R + 20%;
240 mm²: R + 25%;
300 mm²: R + 30%.
(2) Или за алуминий в съответствие с материала на проводника.
(3) Високата стойност на специфично съпротивление се предизвиква от повишената температура на проводника при протичане на тока на късо съединение.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Частни случаи на къси съединения

Таблични стойности за Lmax

В **Табл. G49** са дадени максималните дължини на вериги (Lmax), m, за:

- Трифазни четирипроводни вериги с напрежение 400 V (три фази и неутрала);
- Еднофазни двупроводни вериги с напрежение 230 V,

защитени с автоматични прекъсвачи с общо предназначение.

В други случаи, за определяне на максималните дължини се препоръчва използването на корекционен коефициент (виж **Фиг. G53**). Изчисленията се основават на показаните по-горе методи, а тока на задействане на автоматичния прекъсвач трябва да бъде в границите ± 20% от регулируемата стойност Im.

За сечения 50 mm², изчисленията се основават на реално сечение 47.5 mm².

Таблица G49: Максимални дължини Lmax за медни проводници, m (за алуминиеви проводници дължините трябва да бъдат умножени с 0.62)

Ниво на задействане на тока Im на електромагнитния изключвател с мигновено действие, A	Номинално сечение на проводниците, mm²														
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
50	100	167	267	400											
63	79	133	212	317											
80	63	104	167	250	417										
100	50	83	133	200	333										
125	40	67	107	160	267	427									
160	31	52	83	125	208	333									
200	25	42	67	100	167	267	417								
250	20	33	53	80	133	213	333	467							
320	16	26	42	63	104	167	260	365	495						
400	13	21	33	50	83	133	208	292	396						
500	10	17	27	40	67	107	167	233	317						
560	9	15	24	36	60	95	149	208	283	417					
630	8	13	21	32	63	85	132	185	251	370					
700	7	12	19	29	48	76	119	167	226	333	452				
800	6	10	17	25	42	67	104	146	198	292	396				
875	6	10	15	23	38	61	95	133	181	267	362	457			
1000	5	8	13	20	33	53	83	117	158	233	317	400	435		
1120	4	7	12	18	30	48	74	104	141	208	283	357	388	459	
1250	4	7	11	16	27	43	67	93	127	187	253	320	348	411	
1600		5	8	13	21	33	52	73	99	146	198	250	272	321	400
2000		4	7	10	17	27	42	58	79	117	158	200	217	257	320
2500			5	8	13	21	33	47	63	93	127	160	174	206	256
3200			4	6	10	17	26	36	49	73	99	125	136	161	200
4000				5	8	13	21	29	40	58	79	100	109	128	160
5000				4	7	11	17	23	32	47	63	80	87	103	128
6300					5	8	13	19	25	37	50	63	69	82	102
8000					4	7	10	15	20	29	40	50	54	64	80
10000						5	8	12	16	23	32	40	43	51	64
12500						4	7	9	13	19	25	32	35	41	51

От **Табл. G50** до **Табл. G52**, показани на следваща страница, са дадени максималните дължини на вериги Lmax, в m, за:

- Трифазни четирипроводни вериги с напрежение 400V (три фази и неутрала);
- Еднофазни двупроводни вериги с напрежение 230 V,

защитени и в двата случая с автоматични прекъсвачи за битови цели или с автоматични прекъсвачи, имащи подобни времетокови характеристики.

В други случаи, за определяне на максималните дължини се препоръчва използването на корекционен коефициент. Стойностите на този коефициент са показани на **Фиг. G53** на следваща страница.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Частни случаи на къси съединения

Таблица G50: Максимална дължина на вериги с медни проводници, защитени с автоматични прекъсвачи с крива на задействане B

Номинален ток на автоматични прекъсвачи, A	Сечение на проводниците, mm²								
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50
6	200	333	533	800					
10	120	200	320	480	800				
16	75	125	200	300	500	800			
20	60	100	160	240	400	640			
25	48	80	128	192	320	512	800		
32	37	62	100	150	250	400	625	875	
40	30	50	80	120	200	320	500	700	
50	24	40	64	96	160	256	400	560	760
63	19	32	51	76	127	203	317	444	603
80	15	25	40	60	100	160	250	350	475
100	12	20	32	48	80	128	200	280	380
125	10	16	26	38	64	102	160	224	304

Таблица G51: Максимална дължина на вериги с медни проводници, защитени с автоматични прекъсвачи с крива на задействане C

Номинален ток на автоматични прекъсвачи, A	Сечение на проводниците, mm²								
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50
6	100	167	267	400	667				
10	60	100	160	240	400	640			
16	37	62	100	150	250	400	625	875	
20	30	50	80	120	200	320	500	700	
25	24	40	64	96	160	256	400	560	760
32	18.0	31	50	75	125	200	313	438	594
40	15.0	25	40	60	100	160	250	350	475
50	12.0	20	32	48	80	128	200	280	380
63	9.5	16.0	26	38	64	102	159	222	302
80	7.5	12.5	20	30	50	80	125	175	238
100	6.0	10.0	16.0	24	40	64	100	140	190
125	5.0	8.0	13.0	19.0	32	51	80	112	152

Таблица G52: Максимална дължина на вериги с медни проводници, защитени с автоматични прекъсвачи с крива на задействане D

Номинален ток на автоматични прекъсвачи, A	Сечение на проводниците, mm²								
	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50
1	429	714							
2	214	357	571	857					
3	143	238	381	571	952				
4	107	179	286	429	714				
6	71	119	190	286	476	762			
10	43	71	114	171	286	457	714		
16	27	45	71	107	179	286	446	625	848
20	21	36	57	86	143	229	357	500	679
25	17.0	29	46	69	114	183	286	400	543
32	13.0	22	36	54	89	143	223	313	424
40	11.0	18.0	29	43	71	114	179	250	339
50	9.0	14.0	23	34	57	91	143	200	271
63	7.0	11.0	18.0	27	45	73	113	159	215
80	5.0	9.0	14.0	21	36	57	89	125	170
100	4.0	7.0	11.0	17.0	29	46	71	100	136
125	3.0	6.0	9.0	14.0	23	37	57	80	109

Таблица G53: Корекционен коефициент за дължини, отчетени от Табл. G50 до Табл. G52

Описание на веригата		
Трифазна трипроводна верига с напрежение 400V или (без неутрала)		1.73
Еднофазна двупроводна верига (фаза и нула) с напрежение 230 V		1
Трифазна четирипроводна верига с напрежение 230/400 V или	S фаза / S неутрала = 1	1
двуфазна трипроводна верига с напрежение 230/400V (т.е. с неутрала)	S фаза / S неутрала = 2	0.67

Забележка: Стандартът IEC 60898 дава интервал с горна граница на изключване при ток на късо съединение равна на (10...50) In за автоматични прекъсвачи с крива на задействане D. Европейските стандарти и **Табл. G52** обаче са разработени за интервал (10...20) In, който е подходящ за по-голяма част от битовите и подобни на тях уредби.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Частни случаи на къси съединения

Примери

Пример 1

В еднофазна двупроводна уредба, защитата се извършва чрез автоматичен прекъсвач 50A, тип NS80HMA. Настройката на задействане на автоматичния прекъсвач е 500 A (± 20%), т.е. в най-лошия случай веригата трябва да се изключи при 600 A. Сечението на кабела е 10 mm^2, а проводника е изработен от мед. Колко е максималната дължина на веригата, която може да бъде защитена при тези условия?

От **Табл. G49** и колоната за Im, при стойност за Im = 500 A, се прекарва хоризонтална линия. За сечение на проводника 10 mm^2, се спуска вертикална линия и пресечната точка показва стойността на Lmax = 67 m. Следователно автоматичният прекъсвач ще защитава кабела от къси съединение при условие, че дължината на веригата не надвишава 67 m.

Пример 2

В трифазна трипроводна верига с напрежение 400 V (без неутрален проводник), защитата се извършва чрез автоматичен прекъсвач 220 A, тип NS250H. Настройката на мигновената защита при ток на късо съединение за устройства от типа MA е 2000 A (± 20%), т.е. в най-лошия случай изключването трябва да стане при 2400 A. Сечението на кабела е 120 mm^2, а проводника е изработен от мед. Колко е максималната дължина на веригата, която може да бъде защитена при тези условия?

От **Табл. G49** и колоната за Im, при стойност за Im = 2000 A, се прекарва хоризонтална линия . За сечение на проводника 120 mm^2, се спуска вертикална линия и пресечната точка показва стойността на Lmax = 200 m. Тъй като това е трифазна трипроводна верига с напрежение 400 V без неутрален проводник, трябва да се използва корекционен коефициент от **Табл. G53**. Този коефициент е 1,73. Следователно автоматичният прекъсвач ще защитава кабела от къси съединение, ако дължината на веригата не надвишава 200.1,73= 346 m.

Обикновено проверка за термична устойчивост на кабели не се изисква освен в случаите, когато кабели с малко сечение са разположени близо до главното разпределително табло или са свързани непосредствено него.

5.2 Проверка на кабели по ток на късо съединение (на термична устойчивост при къси съединения)

Топлинни ограничения

Когато токът на късо съединение не е продължителен (от няколко десетки части от секундата до максимум 5 s) отделената топлина остава в проводника и той се нагрява.

Ако се приеме, че процеса на нагряване е адиабатичен, то това предположение опростява пресмятанията и води до песимистични резултати, тъй като температурата на проводника се получава по-висока, отколкото е в действителност, защото на практика известно количество топлина напуска проводника и преминава в изолационния материал.

За период от 5 s или по-малко равенството $I^2t = k^2S^2$ показва времето в секунди, за което проводник със сечение S, в mm^2, може да издържи ток I, в A, преди температурата му да се повиши толкова, че да повреди изолационния материал. Коефициентът k^2 е показан в **Табл. G54** по-долу.

Методът за проверка се състои в проверяване на условието топлинната енергия

Таблица G54: Стойност на коефициента k^2

Изолация	Меден проводник	Алуминиев проводник
PVC	13,225	5,776
XLPE	20,449	8,836

I^2t от проводниковия материал, която пропуска автоматичния прекъсвач (от каталога на производителя) да бъде по-малка от установената разрешена енергия I^2t за даден проводник (виж **Табл. G55**).

Таблица G55 Максимално допустимо термично натоварване на кабели $I^2t, A^2.s.10^6$

СечениеS, mm^2	PVC		XLPE	
	Мед	Алуминий	Мед	Алуминий
1.5	0.0297	0.0130	0.0460	0.0199
2.5	0.0826	0.0361	0.1278	0.0552
4	0.2116	0.0924	0.3272	0.1414
6	0.4761	0.2079	0.7362	0.3181
10	1.3225	0.5776	2.0450	0.8836
16	3.3856	1.4786	5.2350	2.2620
25	8.2656	3.6100	12.7806	5.5225
35	16.2006	7.0756	25.0500	10.8241
50	29.839	13.032	46.133	19.936

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Частни случаи на къси съединения

Пример

Може ли автоматичен прекъсвач C60N надеждно да защити кабел със сечение 4 mm^2 и изолация от типа XLPE?

Таблица G55 показва, че термичната устойчивост на кабела I^2t е $0,3272.10^6$. В същото време, максималната „пропускателна" способност на C60N е $I^2t < 0,1.10^6$ A^2s. Следователно $0,1.10^6 < 0,3272.10^6$ и кабелът ще бъде надеждно защитен от автоматичния прекъсвач при неговата пълна номинална изключвателна способност.

Ограничения по условия на динамично действие на тока на късо съединение

За всички типови вериги (отделни проводници или шини), е важно да се отчита електродинамичния фактор.

За да издържат електродинамичните натоварвания, проводниците трябва да бъдат здраво закрепени и съединени.

За шинопроводи и магистрални електропроводи, е важно да се провери, че характеристиките на електродинамична устойчивост, при протичане на ток на късо съединение са удовлетворителни. Максималната стойност на тока, ограничавана от автоматичния прекъсвач или стопяемия предпазител, трябва да бъде по-малка от съответната номинална стойност за шините. Като правило, производителите публикуват таблици с указания на адекватни условия на защита и експлоатация, което е основно предимство за тези системи.

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Защитен заземяващ проводник (PE)

6.1 Схема на свързване и избор на проводника

Защитните заземяващи проводници (PE) осигуряват непрекъснато съединение между всички достъпни принадлежащи и чужди токопроводими части на уредбата, за да създадат непрекъсната еквипотенциална система. По такива проводници протича електрически ток при пробив в изолацията (между фазов проводник и достъпна токопроводима част) към заземената неутрала на източника. Защитните проводници се свързват към главната заземителна клема на уредбата.

Главната заземителна клема е свързана към заземителя (виж Глава E) чрез заземяващ проводник (в САЩ – проводник на заземяващия електрод).

Заземяващи проводници трябва да бъдат:

- Покрити с изолационен материал и оцветени в жълт и зелен цвят (на ивици);
- Защитени от механични и химични въздействия.

За схема на заземяване IT и TN се препоръчва PE проводниците да се полагат в непосредствена близост до тоководещите кабели на съответните вериги (т.е. в една тръба, в същите канали, на същата кабелна скара и др.). Това разположение осигурява минимално възможно индуктивно съпротивление във веригите, по които протича тока на земно съединение. Необходимо е да се отбележи, че това условие винаги се изпълнява при шинопроводните системи.

Свързване

Защитните проводници трябва:

- Да не включват никакви устройства, които могат да нарушат непрекъснатостта на веригата (например, прекъсвач, изваждаеми елементи и др.).
- Да присъединяват индивидуално достъпните токопроводими части към главния PE проводник, при това паралелно, а не последователно (виж **Фиг. G56**).
- Да имат отделна клема на главните заземителни шини в разпределителните табла

При TT схема

Защитният проводник (PE) не трябва задължително да се полага в непосредствена близост до тоководещ проводник от съответната верига, тъй като не се изискват големи стойности на тока на земно съединение, за да заработи дефектнотокова защита (RCD), която се използва при уредби със схема на заземяване TT.

При IT и TN схеми

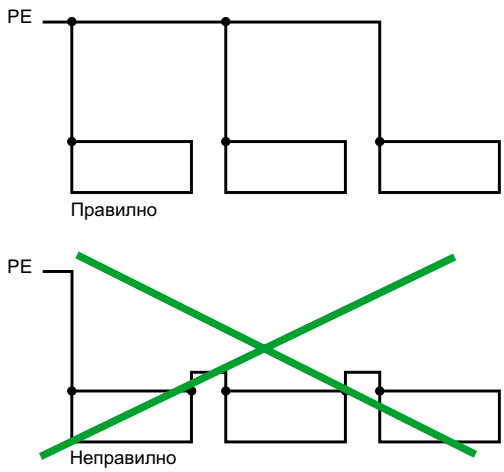
Защитният (PE) или защитният неутрален (PEN) проводник, както се отбеляза по-рано трябва да се полагат колкото се може по-близо до съответните тоководещи проводници на веригата и между тях не трябва да има феромагнитен материал. Защитният неутрален проводник (PEN) винаги трябва да се свързва непосредствено към заземителната клема на устройството и има с връзка между клемите на неутралата и на заземяването на самото устройство (**виж Фиг. G57**).

- Схемата TN-C (неутралният и защитният проводник са обединени в един общ защитен неутрален проводник (PEN))

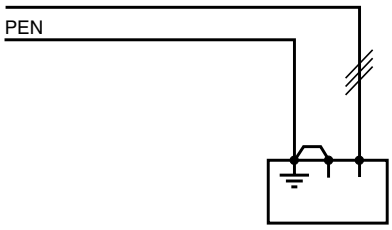
Защитната функция на PEN проводника е с по-висок приоритет и затова всички правила, използвани към защитните проводници, се прилагат стриктно към PEN проводници.

- Преминаване от TN-C в схема TN-S

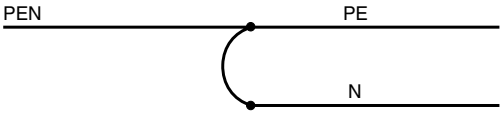
Защитният проводник (PE) се свързва към PEN клемата или шината обикновено на входа на уредбата (виж **Фиг. G58**). След точката на разделяне, PE-проводникът не трябва да се съединява с неутралния проводник (N).



Фиг. G56: Не се допуска последователно свързване на уреди чрез PE-проводник



Фиг. G57: Директно свързване на PEN-проводник към заземителна клема на устройство



Фиг. G58: Схема TN-C-S

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Защитен заземяващ проводник (PE)

Типове на материали

Всички материали, изброени по-долу в **Табл. G59**, могат да се използват за заземяващи проводници при условие, че изпълняват условията, посочени в последната колона.

Таблица G59: Избор на защитни проводници (PE)

Тип на защитния проводник (PE)		Схема IT	Схема TN	Схема TT	Условия, които трябва да се изпълняват
Допълнителен проводник	В същия кабел заедно с фазовите проводници или в същото кабелно трасе	Препоръчва се силно	Препоръчва се силно	Правилно	Защитният проводник (PE) трябва да има същото ниво на изолация, както и фазовите проводници
	Независимо от фазовите проводници	Възможно (1)	Възможно (1) (2)	Правилно	■ Защитният проводник (PE) може да бъде неизолиран или изолиран (2) ■ Непрекъснатостта на проводника трябва да бъде осигурена от защита срещу повреди, свързани с механични, химични и електро-механични въздействия ■ Тяхната електропроводимост трябва да бъде адекватна
Метален кожух на шинопровод или други изолирани токопроводи (5)		Възможно (3)	Възможен PE проводник (3) Възможен PEN проводник (8)	Правилно	
Външно покритие на открити проводници с минерална изолация (например, кабели тип «pyrotenax»)		Възможно (3)	Възможен PE проводник (3) Не се препоръчва PEN проводник (2) (3)	Възможно	
Определени чужди токопроводими елементи (6), например: ■ Стоманени строителни конструкции ■ Основи на машини ■ Водопроводи (7)		Възможно (4)	Възможен PE проводник (4) Забранен PEN проводник	Възможно	
Метални кабелопроводи, такива като тръбопроводи (9), канали, скари, лавици и др.		Възможно (4)	Възможен PE проводник (4) Не се препоръчва PEN проводник (2)(4)	Възможно	
Забранява се използването в качеството на PE проводници на: метални тръбопроводи(9), газопроводи, тръбопроводи за гореща вода, защитната метална обвивка на кабел (ленти или оплетки)(9)					

(1) В схемите TN и IT, изключването при ток на повреда обикновено се осъществява от устройства за максималнотокова защита (стопяем предпазител или прекъсвач). Затова съпротивлението на контура на тока на повреда трябва да бъде достатъчно малко, за да осигури правилна работа на защитното реле. Най-надеждното средство да се осигури малко съпротивление на контура е да се използва допълнителен проводник в същия кабел за веригата (или да се положи по същото трасе на веригата). Този подход минимизира индуктивното съпротивление, а следователно и пълното съпротивление на контура.

(2) PEN-проводникът е неутрален проводник, който се използва и за защитен заземяващ проводник. Това означава, че токът може да протича в него по всяко време (при отсъствие на земно съпротивление). Поради тази причина в качество на PEN-проводник се препоръчва използването на изолиран проводник.

(3) Производителят предоставя необходимите стойности за елементите на съпротивленията R и X (фаза/PE, фаза/PEN), които се включват при изчисляване пълното съпротивление на контура на късо съединение към земя.

(4) Възможно е, но не се препоръчва, тъй като пълното съпротивление на контура на късо съединение към земя, на стадий проектиране е неизвестно. Провеждане на измервания на вече изградената уредба е единственото практическо средство за осигуряване на адекватна защита на хората срещу поражения с електрически ток.

(5) Трябва да има възможност за включване на други заземяващи проводници. Забележка: Тези елементи трябва да имат цветова индикация под формата на жълти и зелени ивици, с дължина от 15 до 100 mm (или буквена маркировка „PE" на разстояние до 15 cm от всеки край).

(6) Тези елементи могат да се демонтират, само ако са установени други елементи, осигуряващи непрекъснатост на защитата.

(7) При съгласие на съответните органи, отговарящи за водоснабдяване.

(8) В изолираните шинопроводи и др. подобни елементи, металният кожух може да се използва, като PEN-проводник, включен паралелно със съответната шина или друг заземяващ проводник в дадения кожух.

(9) Забранено е само в някои страни. Обикновено е позволено да се използват като допълнителни еквипотенциални проводници.

6.2 Оразмеряване на проводника

Данните в **Табл. G60** са от стандарт IEC 60364-5-54. Тази таблица осигурява два метода за определяне подходящо сечение на PE- или PEN-проводника.

Таблица G60: Минимално сечение на защитни проводници5

	Сечение на фазови проводници Sph, mm²	Минимално сечение на PE-проводник, mm²	Минимално сечение на PEN-проводник, mm²	
			Cu	Al
Опростен метод (1)	$S_{ph} \leqslant 16$	S_{ph} (2)	S_{ph} (3)	S_{ph} (3)
	$16 < S_{ph} \leqslant 25$	16	16	
	$25 < S_{ph} \leqslant 35$			25
	$35 < S_{ph} \leqslant 50$	$S_{ph}/2$	$S_{ph}/2$	
	$S_{ph} > 50$			$S_{ph}/2$
Адиабатичен метод	Всеки размер	$S_{PE/PEN} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$ (3) (4)		

(1) Данните са валидни, ако предлагания проводник е изпълнен от същия материал, както и фазовия проводник. В противен случай е необходимо да се използва корекционен коефициент.
(2) Когато PE-проводникът е отделен от фазовите проводници на веригата е необходимо да се спазват следните минимални стойности:
■ 2.5 mm² ако PE-проводникът е механически защитен;
■ 4 mm² ако PE-проводникът не е механически защитен;
(3) От условието за механическа якост PEN-проводникът трябва да има сечение не по-малко от 10 mm², ако е изпълнен от мед, или 16 mm² , ако е изпълнен от алуминий.
(4) Използването на дадената формула е показно в **Табл. G55.**

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Защитен заземяващ проводник (PE)

Описание на двата метода:

■ Адиабатичен (съвпада с описания в IEC 60724)

Този метод, достатъчно икономичен и осигуряващ защита на проводника от прегряване, дава в резултат по-малки стойности на сечения в сравнение с фазовите проводници на веригата. Понякога, резултатът е несъвместим с необходимостта в схеми IT и TN да се минимизира пълното съпротивление на контура на късо съединение към земя, за да се осигури правилна работа на бързодействащите максималнотокови релета. Този метод се използва на практика за уредби от типа TT и за определяне размера на заземяващия проводник (1).

■ Опростен

Този метод е основан на връзката между сеченията на защитните проводници и сеченията на фазните проводници на съответната верига, и предполага, че във всеки случай се използва един и същи материал за проводника.

По такъв начин в **Табл. G60** за:

$Sph \leqslant 16\ mm^2$ $S_{PE} = Sph$

$16 < Sph \leqslant 35\ mm^2$ $S_{PE} = 16\ mm^2$

$Sph > 35\ mm^2$ $S_{PE} = \frac{Sph}{2}$

Забележка: Когато в схема TT заземителят на уредбата се намира извън зоната на влияние на заземителя на източника, сечението на защитния проводник може да се ограничи до 25 mm^2 (за мед) или 35 mm^2 (за алуминий).

Неутралният проводник може да се използва като PEN-проводник само тогава, когато неговото сечение е равно или по-голямо от 10 mm^2 (за мед) или 16 mm^2 (за алуминий).

Освен това, използването на PEN-проводник от гъвкав кабел не се разрешава. Тъй като PEN-проводникът също действа в качеството си на неутрален проводник, неговото сечение във всеки случай не може да бъде по-малко, от сечението, необходимо за неутралния проводник, съгласно т.7.1 на тази Глава. Това сечение не може да бъде по-малко от сечението на фазовите проводници освен в случаите:

■ Номиналната мощност, в kVA, на еднофазни товари е по-малка от 10 % от общата стойност на товара, в kVA.

■ Токът Im, който се очаква да протича през неутралата при нормални обстоятелства е по-малък от тока, допустим за избраното сечение на кабела.

Освен това, неутралният проводник се защитава със същите защитни устройства, както и фазовите проводници (виж т.7.2 на тази Глава).

Стойности на коефициента k при използване в формулата (виж Табл. G60)

Тези стойности са еднакви за няколко национални стандарти. Диапазоните на превишаване на температурата, отчетени със стойностите на коефициента k и горните граници на температурата за различни класове на изолация, съответстват на стойностите, публикувани в IEC 60724 (1984). Данните, представени в **Табл. G61**, се използват най-често при проектиране на уредба НН.

Таблица G61: Стойности на коефициента k за защитни PE-проводници НН, обикновено използвани в национални стандарти и удовлетворяващи стандарт IEC 60724

Стойности на коефициента k		Тип на изолация	
		Поливинилхлорид (PVC)	Омрежен полиетилен (XLPE) Етилен-пропиленов каучук (EPR)
Крайна температура, °C		160	250
Начална температура, °C		30	30
Изолиран проводник, невграден в кабел, или неизолиран проводник в контакт с обвивка на кабел	Мед	143	176
	Алуминий	95	116
	Стомана	52	64
Проводник на многожилен кабел	Мед	115	143
	Алуминий	76	94

(1) Заземителен проводник.

© Schneider Electric - всички права запазени

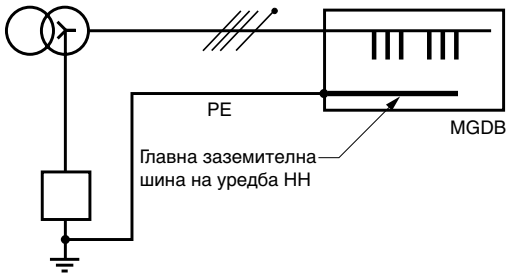
6 Защитен заземяващ проводник (PE)

6.3 Защитен проводник между понижаващ трансформатор СрН/НН и главно разпределително табло (MGDB)

Тези проводници трябва да бъдат оразмерени съгласно приетите национални практики.

Всички фазови и неутрални проводници, разположени нагоре по веригата от главния входен автоматичен прекъсвач, който контролира и защитава главното разпределително табло (MGDB) са защитени с устройства, разположени на страна СрН на трансформатора. Тези проводници, включително и защитния проводник, трябва да бъдат подходящо оразмерени. Определянето на размерите на фазовите и неутралният проводници, излизащи от трансформатора, е обяснено с примери в т.8 от тази Глава (за верига C1 от системата, показана на **Фиг. G68**).

Препоръчваните размери за изолирани и неизолирани PE-проводници, излизащи от звездния център на трансформатор, показан на **Фиг. G62**, са изчислени по-долу в **Табл.G63**. Отчитаната номинална мощност, в kVA, е сума от всички (ако са повече от един) мощности на трансформаторите, включени към общо MGDB.



Фиг. G62: Защитен PE-проводник към главна заземителна шина на главно разпределително табло (MGDB)

Таблицата показва сечението на PE-проводниците, в mm², в зависимост от:

- Номиналната мощност на понижаващия трансформатор, в kVA;
- Времето за отстраняване на повредата от високоволтови релета за защита, в s;
- Типът на изолацията и на материалите на проводниците.

Ако защитата СрН е изпълнена със стопяеми предпазители използвайте колонка „0,2 s".

В схемите IT, ако се монтира защитно реле срещу увеличено напрежение (между нулевата точка на трансформатора и земята), размерите на проводниците за свързване с устройството трябва да бъдат определени по същия начин, както е описано по-горе за PE-проводниците.

Таблица G63: Сечение на PE-проводника между понижаващия трансформатор и главното разпределително табло в зависимост от номиналната мощност на трансформатора и времето за отстраняване на повредата t, в s

Номинална мощност, kVA	Материал на проводника	Неизолирани проводници			Проводници с изолация от PVC			Проводници с изолация от XLPE		
(230/400 V)	Мед t,s	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-
	Алуминий t, s	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5	-	0.2	0.5
⩽100	Сечение на	25	25	25	25	25	25	25	25	25
160	PE-проводни-	25	25	35	25	25	50	25	25	35
200	ците S_{PE}, mm²	25	35	50	25	35	50	25	25	50
250		25	35	70	35	50	70	25	35	50
315		35	50	70	35	50	95	35	50	70
400		50	70	95	50	70	95	35	50	95
500		50	70	120	70	95	120	50	70	95
630		70	95	150	70	95	150	70	95	120
800		70	120	150	95	120	185	70	95	150
1,000		95	120	185	95	120	185	70	120	150
1,250		95	150	185	120	150	240	95	120	185

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Защитен заземяващ проводник (PE)

6.4 Проводник за изравняване на потенциалите

Главен еквипотенциален проводник

Обикновено този проводник трябва да има сечение, равно, поне на половината от сечението на най-големия PE-проводник. То не трябва да превишава 25 mm^2 (за мед) или 35 mm^2 (за алуминий). Минималното сечение на проводника е 6 mm^2 (за мед) или 10 mm^2 (за алуминий).

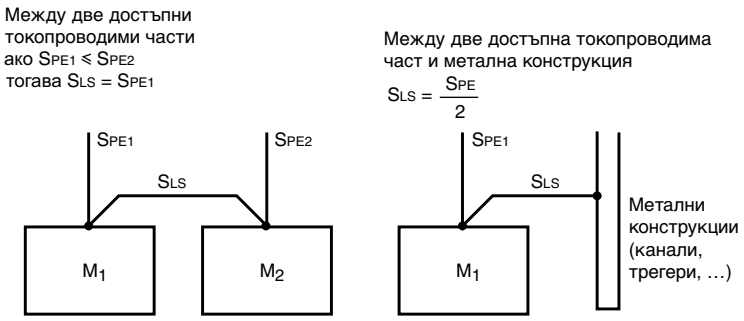
Допълнителен еквипотенциален проводник

Този проводник позволява да се съединят достъпни токопроводими части, които са отдалечени от главния еквипотенциален проводник (PE-проводник), към местния защитен проводник. Неговото сечение трябва да бъде равно, поне на половината от сечението на защитния проводник, към който той е свързан.

Ако той съединява две достъпни токопроводими части (M1 и M2 на **Фиг. G64**), неговото сечение трябва да бъде поне равно или по-малко, от сечението на двата PE-проводника (за M1 и M2). Еквипотенциалните проводници, които не са вградени в кабела, трябва да бъдат защитени от механични повреди (полагане в канали, тръби и др.), там, където това е възможно.

Друга важна цел при използване на допълнителни еквипотенциални проводници е намаляването на пълното съпротивление на контура към земя, особено за схеми за защита срещу индиректен допир в уредби със заземяване TN или IT, и специални места с повишен риск от поражение от електрически ток (съгласно IEC 60364-4-41).

G41



Фиг. G64: Допълнителни еквипотенциални проводници

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Неутрален проводник

Сечението и защитата на неутралния проводник освен от изискванията за пропускателна способност по ток, зависят от следните фактори:

- Тип на схемата за заземяване – TT, TN и др.;
- Хармонични токове;
- Метод за защита срещу индиректен директен допир, в съответствие с методите, описани по-горе.

Неутралният проводник, съгласно правилата, трябва да бъде в син цвят. Изолираният проводник трябва да се означи по един от следните начини:

- Жълто зелена ивица по цялата дължина, и синя маркировка в двата края, или
- Син по цялата дължина, и допълнително жълто зелени маркировки на двата края.

7.1 Оразмеряване на неутрален проводник

Влияние на типа на схемата за заземяване

Схеми TT и TN-S

- Еднофазни вериги или такива със сечение на проводниците ⩽ 16 mm^2 (за мед) и 25 mm^2 (за алуминий): сечението на неутралния проводник трябва да бъде равно на сечението на фазовия проводник.
- Трифазни вериги със сечение на проводниците > 16 mm^2 (за мед) и > 25 mm^2 (за алуминий): сечението на неутралния проводник може да бъде:
  - равно на сечението на фазовите проводници, или
  - по-малко при условие, че:

- токът, който се очаква, че ще протича през неутралата при нормални условия, е по-малък от допустимата стойност Iz. Влиянието на хармоници, кратни на три(1) трябва да се отчита, или
- неутралният проводник трябва да бъде защитен от късо съединение в съответствие с т.7.2
- минималното сечение на неутралния проводник е 16 mm^2 (за мед) и 25 mm^2 (за алуминий).

Схема TN-C

В теорията се използват същите условия, които са описани по-горе, но на практика неутралния проводник не трябва да бъде прекъснат в никакъв случай, тъй като изпълнява функциите на PE- и N-проводник (виж **Табл. G60** колона „Сечение на PEN-проводника").

Схема IT

Като цяло, не се препоръчва да се разпределя неутралния проводник, т.е. трифазната трипроводна схема е за предпочитане. Когато е необходима трифазна четирипроводна уредба, се използват условията, описани по-горе за схеми TT и TN-S.

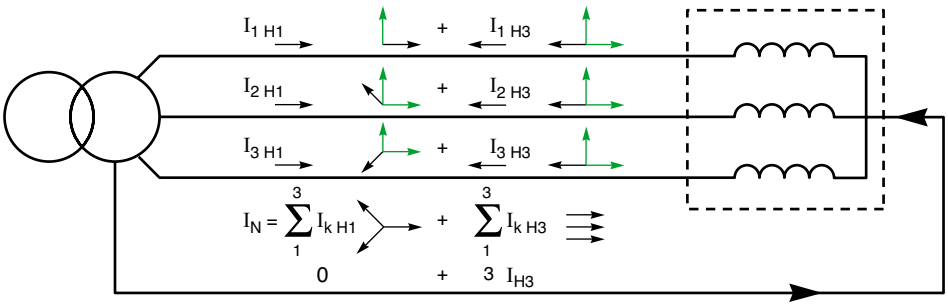
Влияние на хармоничните токове

Влияния на трети хармоник и неговите кратни

Хармоничните токове се генерират от нелинейни товари, включени към уредбата (компютри, луминесцентно осветление, изправители, електронни прекъсвачи) и могат да предизвикат големи токове в неутралния проводник. Особено третият хармоник и неговите кратни, в трифазни уредби проявяват тенденция да се сумират в неутралата, тъй като:

- Основните токове са дефазирани на ъгъл 120° и затова тяхната сума е нула;
- От друга страна, хармониците от трети ред на всички фази винаги се позиционират по еднакъв начин спрямо своите основни токове и затова съвпадат по фаза един с друг (виж **Фиг. G65a**).

(1) Хармоници от трети ред и кратните им.



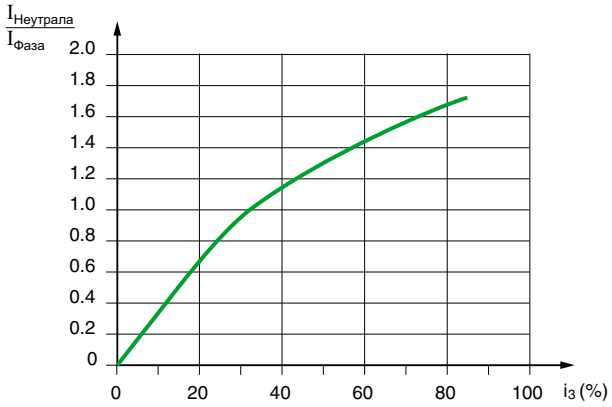
Фиг. G65a: Хармониците от трети ред съвпадат по фаза и се сумират в неутралния проводник

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Неутрален проводник

Фигура G65b показва зависимостта на коефициента на натоварване на неутрален проводник от наличието на трети хармоник на тока.

На практика, максималната стойност на коефициента на натоварване не може да е по-голяма от $\sqrt{3}$.



Фиг. G65b: Зависимост между коефициента на натоварване на неутралния проводник и третия хармоник на тока

Коефициенти на намаляване за хармонични токови в четири- и петжилни кабели, когато протича ток по четири жила

Базовите пресмятания на кабели се отнасят само за кабели с три тоководещи жила, т.е. по неутралния проводник не протича ток. Но поради третия хармоник на тока, в неутралния проводник протича ток. В резултат, този ток в неутралния проводник повишава температурата на фазовите проводници и следователно е необходимо да се използва коефициент на намаляване при оразмеряване на фазовите проводници (виж **Табл. G66**).
Коефициентите на намаляване, използвани при изчисляване на пропускателната способност по ток на кабел с три тоководещи проводника, дават пропускателна способност на кабел с четири тоководещи проводника, когато в четвъртия проводник протича хармоничен ток. Коефициентите на намаляване се вземат под внимание при нагряване на проводници поради хармонични токове:

- Там, където се очаква, че токът в неутралата ще бъде по-голям от тока във фазовите проводници, сечението на кабела трябва да се определя от тока в неутралния проводник;
- Там, където сечението на жилото на кабела е определено от тока в неутралата, който незначително надвишава фазовия ток, е необходимо да се намали стойността на пропускателната способност по ток за трите фазови жила;
- Ако токът в неутралния проводник е по-голям от 1,35 пъти от фазовите токове и сечението на кабела се избира от тока в неутралата, трите фазови проводници няма да бъдат напълно натоварени.

Намаляването на топлината, отделяна от фазовите проводници намалява топлината, отделяна от неутралния проводник до такава степен, че не е нужно да се използва коефициент на намаляване пропускателната способност по ток за трите натоварени проводника.

Таблица G66: Коефициенти на намаляване поради хармонични токове в четири- и петжилни кабели (съгласно IEC 60364-5-52)

Трета хармонична съставяща на фазовия ток, %	Коефициент на намаляване	
	Оразмеряване, отчитащо големината на тока във фазовия проводник	Оразмеряване, отчитащо големината на тока в неутралния проводник
0 - 15	1.0	-
15 - 33	0.86	-
33 - 45	-	0.86
> 45	-	1.0

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Неутрален проводник

Примери

Разглежда се трифазна верига с изчислителен товар 37 A, в която се използва четирижилен кабел с изолация от PVC, закрепен към стена, метод на монтаж „C”. Съгласно **Табл. G24**, кабел с медни проводници и сечение 6 mm² има пропускателна способност по ток 40 A и е допустим, ако във веригата не присъстват хармоници.

■ Ако третият хармоник на тока е с големина 20 % се използва коефициент на намаляване 0,86 и за разчетния товар се получава: 37/0,86 = 43 A.

За този товар трябва да се използва меден кабел със сечение 10 mm².

■ Ако третият хармоник на тока е с големина 40 %, сечението на кабела се избира в зависимост от стойността на тока в неутралния проводник, който е: 37 x 0,4 x 3 = 44,4 A. При коефициент на намаляване 0,86, се получава изчислителен товар: 44,4/0,86 = 51,6 A.

За този товар трябва да се използва меден кабел със сечение 10 mm².

■ Ако третият хармоник на тока е с големина 50 %, сечението на кабела се избира в зависимост от стойността на тока в неутралния проводник, който е: 37 x 0,5 x 3 = 55,5 A. В този случай коефициентът на намаляване е 1 трябва да се използва меден кабел със сечение 16 mm².

7.2 Защита на неутралния проводник

(виж **Табл. G67** на следваща страница)

Защита срещу претоварване

Ако сечението на неутралния проводник е избрано правилно (отчетени хармоници), не е нужна специална защита на неутралния проводник. Той се защитава от устройствата за защита на фазовите проводници.
Обаче, на практика, ако сечението на неутралния проводник е по-малко от сечението на фазовия проводник, трябва да бъде монтирана защита на неутралния проводник срещу претоварване.

Защита срещу късо съединение

Ако сечението на неутралния проводник е по-малко от сечението на фазовия проводник той трябва да бъде защитен срещу късо съединение.
Ако сечението на неутралния проводник е равно или по-голямо от сечението на фазовия проводник, не се изисква специална защита на неутралния проводник. Той се защитава от устройствата за защита на фазовите проводници.

7.3 Изключване на неутралния проводник

(виж **Табл. G67** на следваща страница)

Необходимостта да се изключва или не неутралния проводник, е свързана със защитата срещу индиректен допир.

В схема TN-C

Неутралният проводник при никакви обстоятелства не трябва да се прекъсва, тъй като той изпълнява функциите на защитен и неутрален проводник.

В схема TT, TN-S и IT

В случай на авария автоматичният прекъсвач на веригата изключва всички полюси, включително и неутралния.
В случай на защита със стопяеми предпазители, това действие може да бъде постигнато само чрез косвен начин, когато задействането на един или повече предпазители, води до механично разединяване на всички полюси в съответния последователно свързан товаров прекъсвач.

7.4 Изолация (разединяване) на неутралния проводник

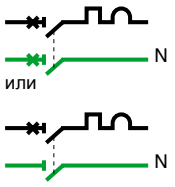
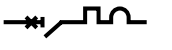
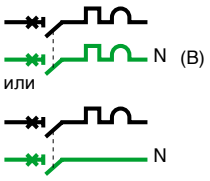
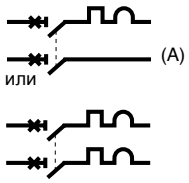
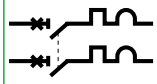
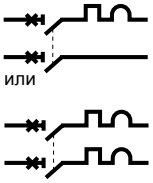
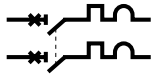
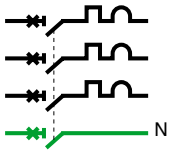
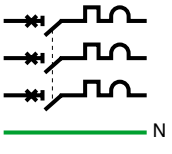
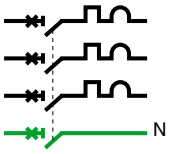
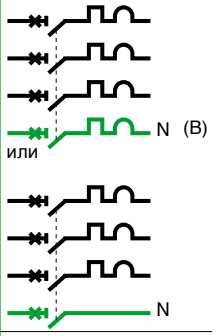
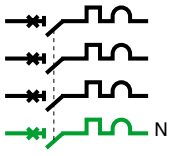
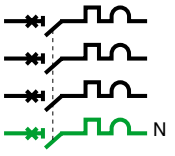
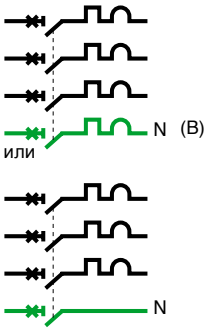
(виж **Табл. G67** на следваща страница)

Смята се за добра практика, когато всяка верига има изолация (разединяване) на неутралния проводник.

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Неутрален проводник

Таблица G67: Различни ситуации, свързани с предназначението на неутралния проводник

	TT	TN-C	TN-S	IT
Една фаза (фаза-нула)				
Една фаза (фаза-фаза)				
Три фази четири проводника Sn ≥ Sph				
Три фази четири проводника Sn < Sph				

(A) Разрешена за схеми TT или TN-S, ако е монтирана дефектнотокова защита (RCD) в началото на веригата, или по-нагоре, и отсъства допълнителен неутрален проводник по веригата след точката на защита.

(B) Защитата на неутралния проводник от претоварване по ток не е необходима:

- Ако неутралният проводник е защитен от късо съединение с помощта на устройства, монтирани нагоре по веригата, или
- Ако веригата им защита тип RCD, чувствителността на която е под 15 % от допустимия ток в неутралата.

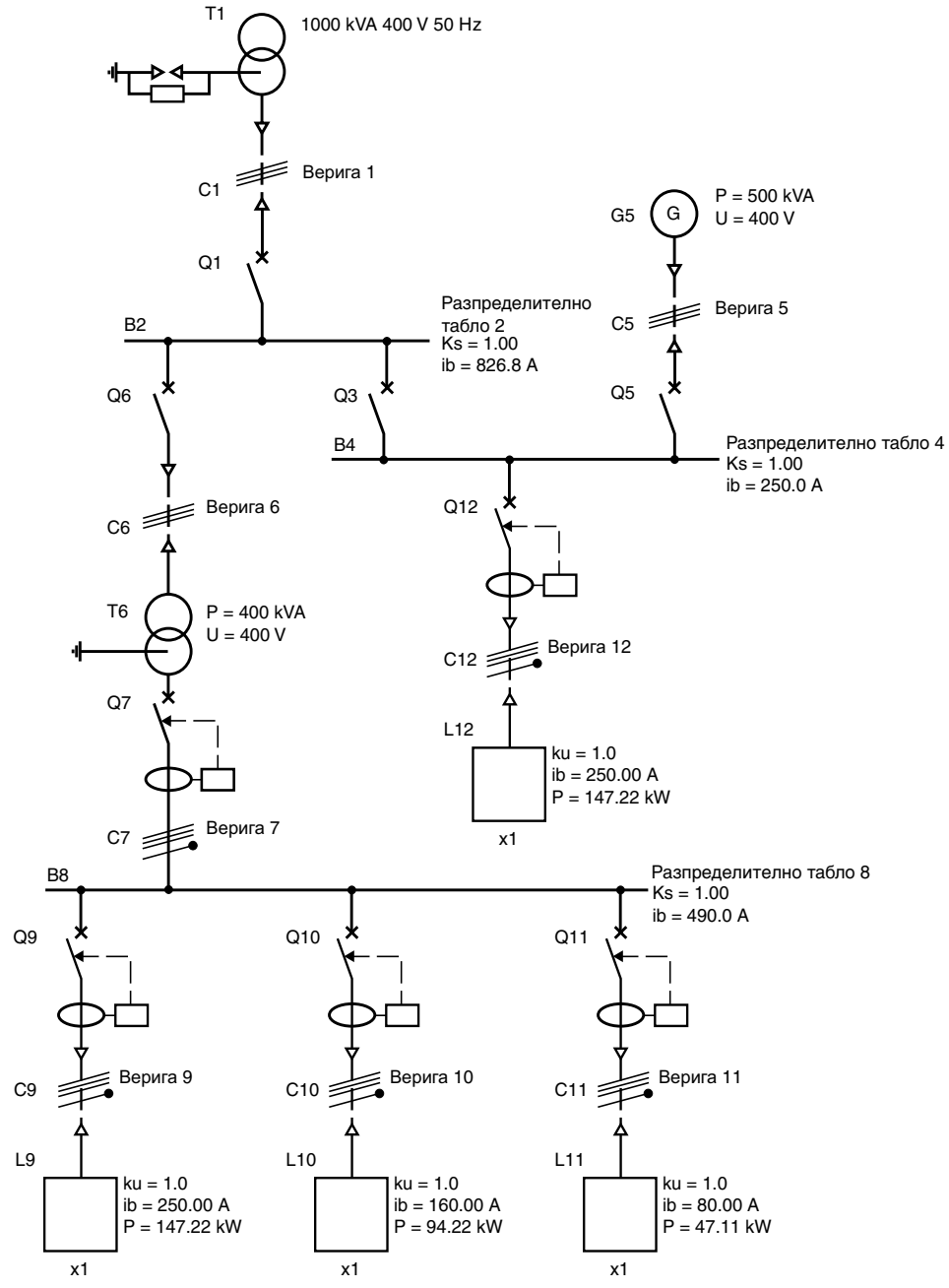
© Schneider Electric - всички права запазени

8 Работен пример за изчисляване на кабели

Работен пример за оразмеряване на кабели (виж **Фиг. G68**)

Уредбата получава захранване от трансформатор с номинална мощност 1000 kVA. Процесът изисква висока степен на непрекъсваемост на електрозахранването. Тя се осигурява от резервен генератор с мощност 500 kVA, 400 V и избор на трифазна трипроводна система със схема на заземяване IT на главно разпределително табло (MGDB). Останалата част на уредбата е свързана през разделителен трансформатор HH/HH с мощност 400 kVA, 400 V. Изолираната трифазна четирипроводна мрежа е заземена по схема TT.
Еднолинейната схема на дадената мрежа е показана по-долу на **Фиг. G68**. Тя е оразмерена с помощта на компютърната програма Ecodial 3.3. (продукт на Schneider Electric), с която са определени параметрите на веригата C1, автоматичният прекъсвач Q1, веригата C6 и автоматичният прекъсвач Q6.

По-долу са посочени самите изчисления, изпълнени по метод, описан в даденото Ръководство.



Фиг. G68: Пример за еднолинейна схема на електрическа уредба

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Работен пример за изчисляване на кабели

Изчисления, реализирани с програмата Ecodial

Общи характеристики на мрежата	
Схема на заземяване	IT
Разпределена неутрала	He
Напрежение, V	400
Честота, Hz	50
Трансформатор T1	
Трансформатори, бр.	1
Мощност на късо съединение на горно ниво, MVA	500
Номинална пълна мощност, kVA	1 000
Напрежение на късо съединение, %	6
Активно съпротивление на мрежа СрН, mΩ	0.0351
Реактивно съпротивление на мрежа СрН, mΩ	0.351
Активно съпротивление на трансформатор Rт, mΩ	2.293
Реактивно съпротивление на трансформатор Xт, mΩ	10.333
Ток при трифазно късо съединение Ik3, kA	23.3
Кабел C1	
Максимален ток, A	1 374
Тип на изолация	PVC
Материал на проводника	Мед
Температура на околна среда, °C	30
Едно- или многожилен кабел	Едножилен
Начин на полагане на кабела	F
Брой на вериги в непосредствена близост (**Табл. G21b**)	1
Друг коефициент	1
Избрано напречно сечение, mm²	6 x 95
Защитен проводник	1 x 120
Дължина, m	5
Пад на напрежение ΔU, %	.122
Общ пад на напрежение ΔU total (%)	.122
Ток на трифазно късо съединение Ik3, kA	23
Ток на еднофазно късо съединение към земя Id, kA	17
Автоматичен прекъсвач Q1	
Ток при трифазно късо съединение Ik3 нагоре по веригата над автоматичния прекъсвач, kA	23
Максимален ток, A	1 374
Брой на полюси и защитени полюси	3P3D
Автоматичен прекъсвач	NT 16
Тип	H 1 – 42 kA
Тип на защитното устройство	Micrologic 5 A
Номинален ток, A	1 600

Шини B2	
Ток на максимално натоварване, A	1 374
Тип	Стандартна по ширина
Температура на околната среда, °C	30
Размери (m и mm)	1 m 2x5 mm x 63 mm
Материал	Мед
Ток на трифазно късо съединение Ik3, kA	23
Амплитуда на тока при трифазно късо съединение Ik, kA	48
Съпротивление на шина R, mΩ	2.52
Реактивно съпротивление X на шина R, mΩ	10.8
Автоматичен прекъсвач Q6	
Ток при трифазно късо съединение Ik3 нагоре по веригата над автоматичния прекъсвач, kA	23
Максимален ток, A	560
Брой на полюси и защитени полюси	3P3D
Автоматичен прекъсвач	NS800
Тип	N – 50 kA
Тип на защитното устройство	Micrologic 2.0
Номинален ток, A	800
Граница на селективност, kA	Обща
Кабел C6	
Максимален ток, A	560
Тип на изолация	PVC
Материал на проводника	Мед
Температура на околна среда, °C	30
Едно- или многожилен кабел	Едножилен
Начин на полагане на кабела	F
Брой на вериги в непосредствена близост (Табл. G20)	1
Друг коефициент	1
Избрано напречно сечение, mm²	1 x 300
Защитен проводник	1 x 150
Дължина, m	15
Пад на напрежение ΔU, %	0.38
Общ пад на напрежение ΔU, %	0.54
Ток на трифазно късо съединение Ik3, kA	20
Ток на еднофазно късо съединение към земя Id, kA	13.7
Специално ограничение на размера	Претоварвания

Фиг. G69: Частични резултати от изчисления, извършени с програмата Ecodial software (Merlin Gerin)

3.3Подобни изчисления реализирани чрез опростен метод, препоръчван в това Ръководство

Определяне параметрите на веригата C1

Понижаващият трансформатор СрН/НН с мощност 1000 kVA има номинално напрежение на празен ход 420 V. Веригата C1 трябва да бъде в състояние да пропуска ток:

$$I_B = \frac{1.000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 420} = 1\ 374\ A \text{ за фаза}$$

За всяка фаза ще бъдат използвани шест паралелно свързани едножилни кабели с медни жила и изолация от PVC. Тези кабели се полагат на кабелни скари, съгласно метод на монтаж F. Корекционните коефициенти „k" са:

$k_1 = 1$ (виж Табл. G12, температура на околната среда 30 °C)

$k_4 = 0.87$ (виж Табл. G17, кабели разположени в непосредствена близост на скари)

Други корекционни коефициенти не се използват в този пример.

Коригираната стойност на товарния ток е:

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_4} = \frac{1\ 374}{0.87} = 1\ 579\ A$$

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Работен пример за изчисляване на кабели

Следователно, всеки проводник ще пропуска ток 263 A.
От **Табл. G21a** се намира, че необходимото сечението на кабела е 95 mm².
Активните и реактивни съпротивления за шестте проводника, свързани в паралел, за участък с дължина 5 m са:

$$R = \frac{22.5 \text{ x } 5}{95 \text{ x } 6} = 0.20 \text{ m}\Omega$$ (специфично активно съпротивление на кабела: 22,5 mΩ.mm²/m)

X = 0,08 x 5 = 0.40 mΩ (специфично индуктивно съпротивление на кабела: 0,08 mΩ/m)

Определяне параметрите на веригата C6

Веригата C6 захранва трифазен разделителен трансформатор HH/HH с мощност 400 kVA, 400 V/400 V. Токът в първичната намотка е:

$$\text{Първичният ток} = \frac{400.10^3}{420.\sqrt{3}} = 550 \text{ A}$$

Предлага се използването на едножилен кабел, положен на кабелна скара (без други кабели) при температура на околната среда 30 °C. Автоматичният прекъсвач е настроен на 560 A. Методът на монтаж е тип F, а всички корекционни коефициенти са равни на 1.

Подходящо сечение на кабела е 240 mm².

Активното и реактивното съпротивление на кабела са съответно:

$$R = \frac{22.5 \text{ x } 15}{240} = 1.4 \text{ m}\Omega$$

X = 0.08 x 15 = 1.2 mΩ

Изчисляване токовете на къси съединения при избор на автоматични прекъсвачи Q1 и Q6 (виж **Табл. G70**)

Таблица G70: Пример за изчисляване ток на късо съединение

Елементи на веригата	**R,** mΩ	**X,** mΩ	**Z,** mΩ	**Ikmax,** kA
500 MVA на страна CpH	0.04	0.36		
Трансформатор с мощност 1 MVA	2.2	9.8	10.0	23
Кабел C1	0.20	0.4		
Общо за Q1:	**2.44**	**10.6**	**10.9**	**23**
Шина B2	3.6	7.2		
Кабел C6	1.4	1.2		
Общо за Q6:	**4.0**	**8.4**	**9.3**	**20**

Защитен проводник

Изисквания за термична устойчивост: **Таблици G60** и **G61** показват, че при използване на адиабатичен метод, напречното сечение на защитния заземяващ проводник (PE-проводник) за верига C1 ще бъде равно на:

$$\frac{34\ 800 \text{ x } \sqrt{0.2}}{143} = 108 \text{ mm}^2$$

Следователно проводник със сечение 120 mm², чиито размери са определени, съгласно посочените по-долу правила, е подходящ и има голям запас, при условие, че той удовлетворява условията за защитата при индиректен допир (т.е. има достатъчно ниско съпротивление).

Напречното сечение на защитния проводник на веригата C6 трябва да бъде:

$$\frac{29\ 300 \text{ x } \sqrt{0.2}}{143} = 92 \text{ mm}^2$$

В този случай е подходящ проводник със сечение 95 mm², при условие, че се удовлетворяват условията за защита при индиректен допир.

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Работен пример за изчисляване на кабели

Защита срещу индиректен допир

За веригата C6 на **Фиг. G68**, **Фиг. F45** и **Фиг. F61** или формулата, посочена на стр. F27, може да бъде използвана за трифазна трипроводна верига.

Максимално допустимата дължина на веригата се определя с израза:

$$Lmax = \frac{0.8 \text{ x } 240 \text{ x } 230\sqrt{3} \text{ x } 1{,}000}{2 \text{ x } 22.5\left(1+\frac{240}{95}\right) \text{ x } 630 \text{ x } 11} = 70 \text{ m}$$

(Стойността на произведението в знаменателя 630 x 11 определя максималния ток Im, т.е. стойността на тока, при който става „мигновено" задействане на електромагнитния изключвател за автоматичен прекъсвач 630 A при късо съединение).
Следователно кабел с дължина 15 m е напълно защитен чрез устройства за максималнотокова защита с „мигновено" действие.

Пад на напрежение

От **Фиг. G28** може да се види, че:

- За кабела C1 (6 x 95mm^2 за фаза)

$$\Delta U = \frac{0.42 \text{ (V A}^{-1} \text{ km}^{-1}) \text{ x } 1\,374 \text{ (A) x } 0.008}{3} = 1.54 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \text{ x } 1.54 = 0.38 \text{ \%}$$

- За веригата C6

$$\Delta U = \frac{0.21 \text{ (V A}^{-1} \text{ km}^{-1}) \text{ x } 433 \text{ (A) x } 0.015}{3} = 1.36 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \text{ x } 1.36 = 0.34\%$$

На клемите на разделителния трансформатор HH/HH, падът на напрежение, изразен в %, е
ΔU% = 0.72 %.

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава H
Комутационна апаратура ниско напрежение: предназначение и избор

Съдържание

1 Основни функции на комутационна апаратура НН — H2

1.1 Електрическа защита — H2
1.2 Разединяване — H3
1.3 Управление — H4

2 Комутационна апаратура — H5

2.1 Основни комутационни апарати — H5
2.2 Комбинирани комутационни апарати — H9

3 Избор на комутационна апаратура — H10

3.1 Справочна таблица за функционални възможности — H10
3.2 Избор на комутационна апаратура — H10

4 Автоматичен прекъсвач — H11

4.1 Стандарти и описание — H11
4.2 Основни характеристики на автоматичен прекъсвач — H13
4.3 Други характеристики на автоматичен прекъсвач — H15
4.4 Избор на автоматичен прекъсвач — H18
4.5 Съгласуване на автоматични прекъсвачи — H22
4.6 Селективно изключване на трансформатор СрН/НН в потребителска подстанция — H27

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Основни функции на комутационна апаратура НН

Предназначението на комутационната апаратура е:
■ *Електрическа защита;*
■ *Безопасно разединяване от части под напрежение;*
■ *Местна или дистанционна комутация.*

Основните функции на комутационната апаратура са:
■ Електрическа защита;
■ Електрическо разединяване на отделни секции от уредбата;
■ Местна или дистанционна комутация.
Тези функции са систематизирани по-долу в **Табл. H1**.
Електрическата защита на страна НН (с изключение на стопяемите предпазители), обикновено се реализира чрез автоматични прекъсвачи с помощта на термомагнитни или електрони защитни устройства, реализиращи защита срещу токове на претоварване и късо съединение и/или изключващи елементи, реагиращи на остатъчен ток (дефектнотокова защита).
Освен функциите, посочени в **Табл. H1**, се осигуряват и други функции, а именно:
■ Защита срещу максимално напрежение;
■ Защита срещу минимално напрежение.
Те се реализират чрез специални устройства (разрядници за защита от мълнии и други пренапрежения, релета, свързани с контактори, дистанционно управляеми автоматични прекъсвачи, комбинирани автоматични прекъсвачи/разединители и др.).

Таблица H1: Основни функции на комутационна апаратура НН

Електрическа защита срещу	Разединяване	Управление
■ Претоварване по ток ■ Токове на късо съединение ■ Пробив в изолацията - токове на утечка	■ Ясно означено разединяване чрез използване на надежден механичен индикатор ■ Ясно видимо разединяване или поставен изолационен екран между отворените контакти	■ Функционална комутация ■ Аварийно изключване ■ Аварийно спиране ■ Изключване за техническо обслужване на механични възли

1.1 Електрическа защита

Електрическата защита осигурява:
■ *Защита на елементи от верига срещу топлинни или механични напрежения, възникващи от токове на късо съединение;*
■ *Защита на хора в случай на повреда в изолацията;*
■ *Защита на битови електрически уреди и обзавеждане (например, електрически двигатели и др.).*

Целта е да се избегнат или ограничат разрушителни или опасни последствия от протичане на прекомерно големи токове (токове на къси съединения) или такива, предизвикани от претоварване или повредена на изолация, а също да се отдели повредената верига от останалата част на електрическата уредба.
Различават се следните видове защити:
■ На елементи на електрическа уредба (кабели, проводници, комутационна апаратура и др.);
■ На хора и животни;
■ На обзавеждане и битови електрически уреди, захранвани от разглежданата уредба.

Защита на вериги
□ Срещу претоварване, т.е от голям ток, протичащ в изправна (не аварирала) уредба;
□ Срещу токове на късо съединение, предизвикани от пълен пробив в изолацията на проводниците на различни фази или (в схеми на заземяване TN) между фазовия и нулевия (или PE) проводник.
В тези случаи защитата се осигурява или със стопяеми предпазители, или с автоматични прекъсвачи.

Защита на хора
□ Срещу пробив в изолация. В зависимост от използваната система на заземяване на уредбата (TN, TT или IT), защитата се осигурява от предпазители или автоматични прекъсвачи, дефектнотокови защити, и/или постоянно наблюдаване на изолационното съпротивление на уредбата спрямо земя.

Защита на електрически двигатели
□ Срещу прегряване, предизвикано например, от продължително претоварване, застопорен ротор, работа на двигател с прекъсната фаза и др. За съгласуване със специалните характеристики на двигателя се използват термични релета. При необходимост, такива релета могат да защитават също от претоварване захранващия кабел на веригата на двигателя.
Защитата от късо съединение се осигурява от предпазители тип aM или от автоматичен прекъсвач с магнитна защита.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Основни функции на комутационна апаратура НН

1.2 Разединяване

Смята се, че състоянието на разединяване, ясно указващо разрешението за използване, с надежден механичен индикатор или видимо разединяване на контактите, съответства на изискванията на националните стандарти в много страни.

Целта на разединяването е да отдели верига или апаратура (например, електрически двигател и др.) от останалата част на системата, която е под напрежение, за да осигури безопасно провеждане на технически дейности в тази изолирана част.
По принцип, всички вериги на уредбата НН трябва да имат средства за разединяване. За осигуряване на непрекъснато електроснабдяване е целесъобразно да се монтират средства за разединяване в началото на всяка верига.

Разединяващото устройство трябва да изпълнява следните изисквания:

■ Всички полюси на веригата, включително неутралния (с изключение на случая, когато нулевият проводник е PEN-проводник) трябва да бъдат отворени(1);

■ Да бъде осигурено с блокираща система, която осигурява с ключ отворено положение (например, чрез катинар) за да се избегне неразрешено повторно включване поради невнимание;

■ Да съответства на признати национални и международни стандарти (например IEC 60947-3) по отношение стойността на въздушната междина между контактите, дължината на пътя на тока на утечка, способността да издържа пренапрежение и др.

Други изисквания:

□ Възможност за проверка отвореното състояние на контактите на разединителното устройство.

Проверката може да бъде:

- или визуална, ако устройството е проектирано по такъв начин, че неговите контакти могат визуално да се наблюдават (в някои национални стандарти такова изискване се предявява към разединително устройство, разположено на входа на уредба НН, захранвана директно от понижаващ трансформатор СН/НН);
- или с помощта на механичен индикатор, здраво заварен към работния вал на това устройство. В този случай конструкцията на устройството трябва да бъде такава, че при „заваряване" на контактите този указател да не може да показва отворено положение на устройството.

□ Токове на утечка. При отворено положение на разединителното устройство, токовете на утечка между отворените контакти на всяка фаза не трябва да бъдат по-големи от:
- 0.5 mA за всяко ново устройство;
- 6.0 mA в края на срока на служба на неговата нормална експлоатация.

□ Способност да издържа пренапрежение при отворени контакти. При отворени контакти разединителното устройство трябва да издържа импулс на напрежение с продължителност 1,2/50 μs и пикова стойност от 6, 8 или 12 kV, в зависимост от неговото работно напрежение (виж **Табл. H2**). Устройството трябва да удовлетворява тези условия при височини до 2000 m.

Таблица H2: Пикова стойност на напреженовия импулс в зависимост от номиналното работно напрежение на изпитвания образец. Категории III и IV отчитат степента на „замърсяване" на мрежата съгласно IEC 60664-1

Работно (номинално) напрежение, V	Категория на издържаната пикова стойност на напреженовия импулс (за височина 2000 m), kV	
	III	IV
230/400	4	6
400/690	6	8
690/1000	8	12

(1) За по-голяма безопасност и удобство при експлоатация силно се препоръчва едновременното отваряне на всички тоководещи полюси въпреки, че това не винаги е задължително. Контактът на неутралата се отваря след фазните контакти и се затваря преди тях (стандарт IEC 60947-1).

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Основни функции на комутационна апаратура НН

Функциите за управление на комутационна апаратура позволяват на експлоатационния персонал да видоизменя натоварената система във всеки момент от време и в зависимост от изискванията включва:
- *функционално управление (оперативна комутация и др.);*
- *аварийно изключване;*
- *работа по техническо обслужване на електроснабдителната система.*

1.3 Управление

В широк смисъл „управление" означава всяко устройство за безопасно видоизменяне на натоварена електроразпределителна система на всички нива на електрическата уредба. Работата на комутационната апаратура е важна част от управлението на системата за електроснабдяване.

Функционално управление

Този вид управление се отнася за всички операции на комутации на вериги при нормални условия на експлоатация, осъществяван и за подаване на захранване или изключване на част от система или уредба или на отделна единица обзавеждане, агрегат и др.

Комутационната апаратура за изпълнение на такава функция трябва да бъде монтирана най-малко:
- На входа на всяка електрическа уредба;
- На крайни вериги на товара (един прекъсвач може да управлява няколко товара).

Маркировката (на управляемите вериги) трябва да бъде ясна и разбираема.

За осигуряване на максимална експлоатационна гъвкавост и непрекъснатост на електроснабдяването, особено там, където даден комутационен апарат осъществява също защита (например, автоматичен прекъсвач или разединител-предпазител), се препоръчва да се монтира прекъсвач на всяко ниво на разпределение, т.е. на всяка излизаща линия от главни или междинни разпределителни табла.

Операцията може да се осъществи:
- или ръчно с помощта на ръкохватката на апарата, или
- електрически, с помощта на бутон, монтиран на апарата, или дистанционно.

Аварийно изключване – аварийно спиране

Аварийното изключване е предназначено за прекъсване на верига, намираща се под напрежение, която е или може да стане опасна (поражение от електрически ток или пожар).

Аварийното спиране е предназначено да прекрати движение, което е станало опасно.

В тези два случая:
- устройството за аварийно управление или средствата за неговото привеждане в действие (местни или дистанционни), например, голям червен бутон за аварийно спиране с гъбообразна глава, трябва да бъде разпознаваем, лесно достъпен и трябва да се намира близо до мястото, където може да възникне опасност, или мястото от където тя може да бъде забелязана;
- еднократното действие трябва да доведе до пълно изключване на всички тоководещи проводници под напрежение (1) (2);
- разрешава се използването на устройство за иницииране на аварийно изключване с разбиване на стъкло, В случай на електрически уредби, работещи без обслужващ персонал, възстановяването на електрозахранването може да бъде осъществено само с помощта на ключ, съхраняван в упълномощено лице.

Трябва да се отбележи, че в някои случаи може да се наложи подвеждането на спомагателно захранване към веригите на аварийната система за спиране до момента на пълно спиране на механичното обзавеждане.

Изключване на захранването за техническо обслужване на механично обзавеждане

Тази операция осигурява спиране на машина и невъзможност за нейното непреднамерено включване по време на провеждане на техническо обслужване на задвижващите механизми. Изключването обикновено се изпълнява с помощта на функционален комутационен апарат с използване на съответна блокировка и предупредителен надпис, разположен на този апарат (устройство).

(1) Отчитат се спрените електродвигатели.

(2) При схема TN PEN-проводникът не трябва да се изключва, тъй като той изпълнява функции на защитен проводник (PE) и нулев проводник (N) на системата.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Комутационна апаратура

2.1 Основни комутационни апарати

Разединител (или отделител) (виж **Фиг. H3**)

Той представлява комутационен апарат с ръчно задвижване и две положения (включено/изключено). Той осигурява при поставяне в отворено положение безопасно изолиране на веригата. Неговите характеристики са определени в стандарта IEC 60947-3. Разединителят не е предназначен за включване и изключване под товар и в стандартите не се регламентират номинални стойности за тези функции. Но той трябва да издържа протичане токовете на късо съединение и за него се определя номинален кратковременен издържан ток (обикновено с продължителност 1 s, ако друго време не е съгласувано между потребителя и производителя). Тази термична устойчивост на апарата е напълно достатъчна за по-продължителни токови претоварвания с по-малка стойност, например, пускане на електродвигатели. Също така трябва да се изпълняват стандартните изисквания за механическа износоустойчивост, пренапрежения и токове на утечка.

Товаров прекъсвач (мощностен разединител) (виж **Фиг. H4**)

Този разединител обикновено се задейства ръчно (но понякога за удобство на оператора се осигурява с електрическо задвижване за изключване) и е неавтоматичен двупозиционен комутационен апарат (включено/изключено). Той се използва за включване/изключване на натоварени вериги в нормални работни условия.
Затова той не осигурява никаква защита за управляваната от него верига.
Стандартът IEC 60947-3 определя:

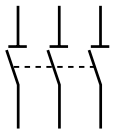
- Честота на комутация (не повече от 600 цикъла включено/изключено за час);
- Механическа и комутационна износоустойчивост (обикновено по-малка от тази на контактора);
- Номинални токове на включване/изключване за нормални и редки комутации.

При включване на разединителя с цел захранване на верига винаги съществува вероятност от това във веригата да е станало непредвидено късо съединение. Поради тази причина за товаровите прекъсвачи се задава максималния ток на включване при късо съединение, т.е осигурява се успешно включване на веригата при наличие на електродинамични усилия, предизвикани от тока на късо съединение. Такива прекъсвачи обикновено се наричат „товарови прекъсвачи за ток на късо съединение". Изключването на късото съединение се осигурява от разположените по-горе защитни устройства.
Периодичната комутация на отделни електродвигатели се отнася към категорията AC-23. Включването/изключването на кондензатори или лампи с нажежаема жичка трябва да бъде предмет на договор между производителя и потребителя.
Категориите на използване, посочени в **Табл. H5** не се отнасят към обзавеждането, което обикновено се използва за пускане, развъртане или спиране на отделни електрически двигатели.

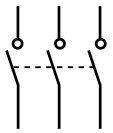
Пример

Товаров прекъсвач за 100 A, отнасящ се към категория AC-23 (индуктивен товар) трябва да бъде способен:

- Да включва ток 10 x In (за примера = 1000 A) при cos φ = 0.45;
- Да изключва ток 8 x In (за примера = 800 A) при cos φ = 0.45;
- Да издържа при включване кратковременен ток на късо съединение.



Фиг. H3: Графично означение на разединител (или отделител)



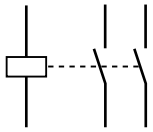
Фиг. H4: Графично означение за товаров прекъсвач

Таблица H5: Категории на използване на прекъсвачи за променлив ток НН съгласно IEC 60947-3

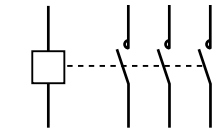
Категория на използване		Типични приложения	Cos φ	Ток на включване x In	Ток на изключване x In
Чести комутации	Редки комутации				
AC-20A	AC-20B	Комутация на вериги без товар	-	-	-
AC-21A	AC-21B	Комутация на активни товари, включително умерени претоварвания	0.95	1.5	1.5
AC-22A	AC-22B	Комутация на смесени активни и индуктивни товари, включително умерени претоварвания	0.65	3	3
AC-23A	AC-23B	Комутация на двигатели или високо индуктивни товари	0.45 за I ⩽ 100 A 0.35 за I > 100 A	10	8

(1) Разединителят НН е фактически комутационен апарат, който трябва да задейства при отсъствие на напрежение от двете му страни, в частност при включване, тъй като съществува възможност за неочаквано късо съединение в разположените по-долу части от веригата. Често се използва блокировка с помощта на разположен по-горе автоматичен прекъсвач.

© Schneider Electric - всички права запазени

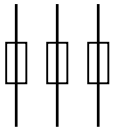


Фиг. H6: Графично означение на двупозиционен превключвател с дистанционно управление



Фиг. H7: Графично означение на контактор

Широко се използват два вида стопяеми предпазители НН:
■ за битови и аналогични електрически уредби тип gG;
■ за индустриални електрически уредби тип gG, gM или aM.



Фиг. H8: Графично означение на предпазители

Превключвател с дистанционно управление (импулсно реле)

(виж **Фиг. H6**)

Това устройство се използва широко при управление на осветителни вериги, като при натискане на бутон се изключва вече включения или се включва изключения двупозиционен превключвател.

Типични приложения са:

- Двупозиционна комутация на стълбища на големи сгради;
- Схеми за сценично осветление;
- Осветление на фабрика и др.

Предлагат се допълнителни устройства за реализация на функциите:

- Дистанционна индикация за положение във всеки момент от време;
- Времезакъснение;
- Състояние на контакти.

Контактор (виж **Фиг. H7**)

Контакторът е комутационен апарат с електромагнитно управление, който обикновено се задържа в затворено положение от ток (с малка стойност), протичащ през бобина (въпреки, че за специални приложения съществуват различни типове с механична блокировка). Контакторите са предназначени за изпълнение на многократни цикли включено/изключено и обикновено се управляват дистанционно с помощта на бутони. Голяма част от тези цикли са стандартизирани по (виж Табл. VIII на IEC 60947-4-1):

- Продължителност на работа: 8 часа; непрекъснато; периодично; кратковременно в продължение на 3, 10, 30, 60 и 90 min;
- Категория на използване: например, контактор от категория AC-3 може да се използва за пускане и спиране на асинхронен двигател с накъсосъединен ротор;
- Цикли пускане/спиране (от 1 до 1 200 цикли за час);
- Механична износоустойчивост (брой комутации без товар);
- Комутационна износоустойчивост (брой комутации под товар);
- Номинален ток на включване/изключване в зависимост от категорията на използване.

Пример:

Контактор за 150 A, от категория на използване AC-3, трябва да има минимален ток на изключване 8 x In (за примера = 1 200 A) и минимален ток на включване 10 x In (за примера = 1 500 A), при индуктивен cos φ = 0.35.

Контактор с термично реле (1)

Контактор, снабден с термично реле за защита срещу претоварване, се използва широко за дистанционно управление с бутони изключватели на осветителни вериги и др. Както се отбелязва в т. 2.2 „Комбинирани комутационни устройства" те могат да се разглеждат като важен елемент при управление на електрически двигатели. Такъв комутационен апарат не е еквивалентен на автоматичен прекъсвач, тъй като неговата изключвателна способност при късо съединение е ограничена до 8 x или 10 x In. Затова, за защита от късо съединение е необходимо последователно нагоре по веригата да се монтират или стопяеми предпазители или автоматичен прекъсвач.

Стопяеми предпазители (виж **Фиг. H8**)

Първата буква посочва диапазона на изключваните токове:

- стопяеми вложки "g" (изключвателна способност в целия диапазон);
- стопяеми вложки "a" (изключвателна способност в част от диапазона).

Втората буква посочва категорията на използване. Тази буква определя точно времетоковите характеристики, условните гранични времена и токове.

Например:

- буквите „gG" означават стопяеми вложки с общо предназначение с изключвателна способност в целия диапазон;
- буквите „gM" означават стопяеми вложки с общо предназначение с изключвателна способност в целия диапазон, предназначени за защита на вериги на електродвигатели;
- буквите „aM" означават стопяеми вложки с общо предназначение с изключвателна способност в част от диапазона, предназначени за защита на вериги на електродвигатели.

Съществуват предпазители с и без механични индикатори за „изгаряне". Стопяемите предпазители изключват веригата в резултата на контролирано топене на елемент на вложката, когато в течение на зададен период от време токът надвиши определена стойност. Връзката между тока и времето се представя под формата на работни характеристики за всеки тип предпазител. Стандартите определят два класа предпазители:

- за използване в битови електрически уредби, изработвани под формата на патрон, за номинални токове до 100 A и означавани като тип gG съгласно IEC 60269-1 и IEC 60269-3;
- за използване в индустрията, изработвани под формата на патрон, означавани като тип gG (обща употреба), gM и aM (за вериги на електродвигатели) съгласно IEC 60269-1 и IEC 60269-2.

(1) Този термин не е определен в публикациите на IEC, но широко се използва в някои страни.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Комутационна апаратура

Главната разлика между битовите и промишлените предпазители е в стойностите на номинални напрежения и токове (предпазителите за големи напрежения и токове имат много по-големи размери) и изключвателна способност при къси съединения. Стопяемите предпазители тип gG често се използват за защита на електродвигатели, което е възможно, когато техните характеристики позволяват издържане на пусков ток.

В последно време IEC стандартизира нов тип предпазители gM, за защита на вериги на електродвигатели, способни да функционират при пускови токове и токове на къси съединения. В някои страни този тип предпазители е разпространен повече, отколкото в други. Но в момента се разширява разпространението на предпазители тип aM в съчетание с термично реле за защита срещу претоварване.

За стопяемата вложка тип gM са предвидени две номинални величини на тока. Първата величина In съответства на номиналния ток на стопяемата вложка и номиналния ток на патрона на предпазителя. Втората величина Ich означава времетоковата характеристика за дадена стопяема вложка, според граничните стойности, посочени в Табл. II, III и VI на IEC 60269-1. Тези две номинални величини се разделят с буква, показваща категорията на използване.

Например: In M Ich означава предпазител с характеристика G, предназначен за защита на вериги на електродвигатели. Първата величина In съответства на максималния непрекъснат ток на целия предпазител, а втората величина Ich – на характеристиката G на неговата стопяема вложка. Допълнителна информация се съдържа в забележката, разположена в края на т. 2.1.

Стопяемата вложка aM се характеризира с величината на тока In и времетоковата характеристика, показана на **Фиг. H11** на следващата страница.

Внимание: В някои национални стандарти се използва предпазител тип gL (индустриален), аналогичен по всички основни параметри на предпазител тип gG. Предпазители тип gL не трябва никога да бъдат използвани в битови и аналогични електрически уредби.

При използване на предпазители тип gM се изисква отделно реле за претоварване, описано в забележката в края на т. 2.1.

Зони на топене – условни токове

Условията на топене на предпазители са определени от стандарти в зависимост от техния тип.

Предпазители тип gG

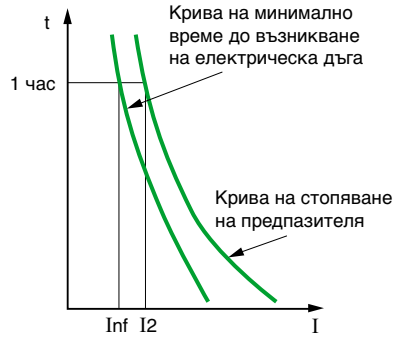
Тези предпазители осигуряват защита от претоварване и къси съединения. Стандартизирани са условните токове на не стопяване и стопяване, както е показано на **Фиг. H9** и **Табл. H10**.

- Условният ток на не стопяване Inf е стойността на тока, който стопяемият елемент н а предпазителя може да издържи определено време без да се стопи. Пример: Предпазител 32 A пропускащ ток 1.25 In (т.е. 40 A) не трябва да се разтопява за по-малко от един час (**Табл. H10**).
- Условният ток на стопяване If (=I2 от **Фиг. H9**) е стойността на тока, който ще предизвиква разтапяне на стопяемия елемент преди изтичане на определеното време.

Пример: Предпазител 32 A пропускащ ток 1.6 In (т.е. 52.1 A) трябва да се разтопи за време до един час.

В стандарта IEC 60269-1 са описани изпитванията, изискващи, работната крива на конкретния изпитан предпазител да лежи между двете гранични криви, показани на **Фиг. H9**. Това означава, че при ниски нива на претоварване по ток два предпазителя, удовлетворяващи даденото изпитване, могат да имат значителна разлика във времената на задействане.

- Посочените по-горе два примера за предпазителя 32 A в съчетание с предните забележки по отношение изискванията за изпитване обясняват защо тези предпазители са неефективни при ниски нива на претоварване.
- Следователно, необходимо е да се използва кабел с по-голямо сечение, респективно, допускащ по-голямо токово натоварване в сравнение с нормално необходимото. Така се избягват последствията от възможно продължително претоварване по ток (60 % претоварване по ток за време до 1 час в най-тежкия случай).



Фиг. H9: Зони на стопяване и не стопяване на предпазители тип gG и gM (60269-2-1)

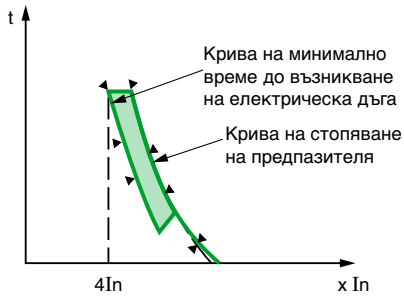
Таблица H10: Зони на стопяване и не стопяване за предпазители НН, от типа gG и gM (IEC 60269-1, 60269-2-1)

Номинален ток (1) In, A	Условен ток на не стопяване, Inf	Условен ток на стопяване, I2	Условно време, h
In ⩽ 4 A	1.5 In	2.1 In	1
4 < In < 16 A	1.5 In	1.9 In	1
16 < In ⩽ 63 A	1.25 In	1.6 In	1
63 < In ⩽ 160 A	1.25 In	1.6 In	2
160 < In ⩽ 400 A	1.25 In	1.6 In	3
400 < In	1.25 In	1.6 In	4

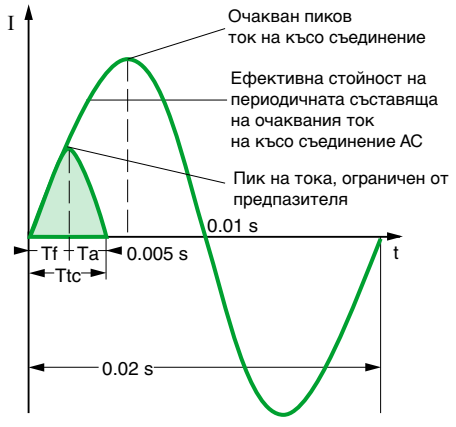
(1) Ich за предпазители тип gM.

© Schneider Electric - всички права запазени

Предпазителите от типа aM осигуряват защита само срещу къси съединения и трябва да се използват в комбинация със защитно устройство срещу претоварване.



Фиг. H11: Стандартни зони на стопяване на предпазители от типа aM (всички номинални токове)



Tf: Време за стопяване на предпазителя до възникване на дъга
Ta: Време за съществуване на дъгата
Ttc: Общо време за изключване на късото съединение

Фиг. H12: Ограничаване на тока на късо съединение със стопяем предпазител

(1) За токове превишаващи определена стойност, в зависимост от номиналния ток на предпазителя, както е показано по-долу на **Фиг. H13**

(2) Индексът rms означава ефективна стойност

(2) Индексът ch е образуван от първите две букви на characteristic

За сравнение, автоматичен прекъсвач с аналогичен номинален ток:
- не трябва да изключва веригата за по-малко от 1 час при ток 1.05 In, и
- при протичане на ток 1.25 In трябва да изключи веригата за 1 час или по-малко

(в най-лошия случай: претоварване 25 % в границите до 1 час).

Предпазители тип aM (за електродвигатели)

Тези предпазители осигуряват защита само срещу токове на късо съединение и трябва задължително да се използват в съчетание с друг комутационен апарат (например, контактори, снабдени с термично реле, или автоматични прекъсвачи), за да осигурят защита срещу претоварване при ток < 4 In. Затова те не трябва да се използват самостоятелно. Тъй като предпазителите тип aM не са предназначени за защита от малки претоварвания, за тях не се задават нива на условни токове на стопяване и нестопяване. Работните криви за изпитване на тези предпазители се отнасят до токове на късо съединение, надхвърлящи приблизително 4 In (виж **Фиг. H11**), и работните криви на предпазители, изпитвани по стандарт IEC 60269 трябва да се разполагат в защрихованата област.

Забележка: Малките стрелки на фигурата показват граничните времетокови стойности за различни изпитвани предпазители (IEC 60269).

Номинална изключвателна способност при късо съединение

Особеност на съвременните патронни стопяеми предпазители е факта, че благодарение на бързо стопяване на вложката при големи нива на токове на късо съединение[1], изключването на тока започва преди появяването на първия голям пик на тока, и затова тока на късо съединение никога не достига своята очаквана максимална стойност (виж **Фиг. H12**).

Това ограничаване на тока значително намалява топлинните и динамичните напрежения, които иначе биха възникнали, и по такъв начин намалява до минимум опасността и степента на поражение в мястото, където е станало късо съединение. Затова номиналната изключвателна способност на предпазителя се определя от ефективната стойност на променливата съставяща на очаквания ток на късо съединение.

За стопяеми предпазители не се задава номинален ток на включване на късо съединение.

Внимание

В началния момент токът на късо съединение съдържа постоянни съставящи, чиято амплитуда и продължителност зависи от отношението HL/R на повредения участък от веригата.

Близо до захранващия източник (трансформатор CpH/HH) отношението Ipeak/Irms [2] (на AC компонентата) непосредствено след момента на късо съединение, може да достигне 2.5 (съгласно IEC, виж **Фиг. H13**).

Както се отбеляза по-горе, на по-ниските нива на разпределение в електрическата уредба, стойността на XL е малка в сравнение с R, и затова за крайни вериги Ipeak / Irms ≈ 1.41 (това условие е илюстрирано на **Фиг. H12**).

Ефектът на ограничаване на пиковия ток става само тогава, когато очакваната ефективна стойност на AC съставящата на тока на късо съединение стига определено ниво. Например, на посочената по-горе фигура предпазителят 100 A започва да изключва пиковия ток при очаквана ефективна стойност на тока на късо съединение 2 kA (a). Същият предпазител при очаквана ефективна стойност на тока на късо съединение 20 kA ограничава пиковия ток до 10 kA (b).

В последният случай при отсъствие на токоограничаващ предпазител пиковият ток може да стигне 50 kA (c). Както се отбеляза на по-ниски нива на разпределение, R значително превъзхожда HL и нивата на токовете на късо съединение обикновено са малки. Това означава, че нивото на тока на късо съединение може да не достигне достатъчно високи стойности за да предизвика ограничаване на пиковия ток. От друга страна, както вече се отбеляза, в дадения случай апериодичните съставящи на тока (DC) в преходния процес имат незначително влияние върху големината на пиковия ток.

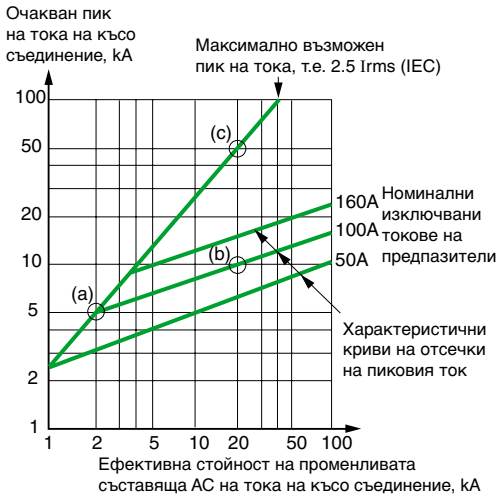
Забележка: Относно номиналните стойности на предпазители тип gM

Предпазителят от типа gM е по същество предпазител тип gG, стопяемият елемент на който е изчислен за ток Ich(3), който може да бъде например 63 A. Това е изпитателната стойност, приета в стандартите на IEC, и затова неговата времетокова характеристика е аналогична на тази на предпазител 63A, тип gG. Тази стойност 63 A е избрана така, че да издържи на големите пускови токови на двигателя, работния ток на който в нормален режим In може да се намира в диапазона (10…20) A.

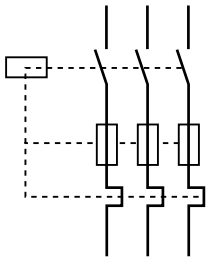
Това означава, че може да се използват по-малки по размери патрон и метални части на предпазителя, тъй като отвеждането на топлина, която се изисква при нормални условия на експлоатация, е свързана с намалените стойности на тока (10…20) A. Стандартният предпазител тип gM, подходящ за този случай, се означава като 32 M 63 (т.е. In M Ich).

Първият номинален ток In характеризира топлинните характеристики на стопяемата вложка при установен товар, а вторият номинален ток Ich се отнася към нейното функциониране при кратковременен пусков ток. Следователно макар, че предпазителят е подходящ за защита на двигателя от къси съединения той не осигурява неговата защита срещу претоварване и затова при използване на

© Schneider Electric - всички права запазени

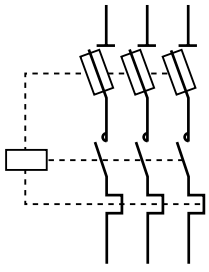


Фиг. H13: Зависимост на ограничения пиков ток от очакваните ефективни стойности на променливата съставяща AC на тока на късо съединение за стопяеми предпазители НН

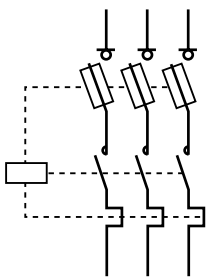


Фиг. H14: Графично означение на автоматичен разединител-предпазител

Фиг. H15: Графично означение на неавтоматичен предпазител-разединител



Фиг. H17: Графично означение на комбинация предпазител-разединител + контактор с термично реле



Фиг. H18: Графично означение на комбинация предпазител- мощностен разединител + контактор с термично реле

предпазители тип gM винаги е необходимо да се монтира отделно термично реле. По такъв начин, единственото предимство на предпазителите от тип gM пред тези от типа aM се заключава в това, че те са по-малки по размери и малко по-евтини.

2.2 Комбинирани комутационни апарати

Отделните елементи на комутационната апаратура, като цяло, не удовлетворяват всички изисквания на трите основни функции, а именно: защита, управление и разединяване.

В тези случаи, когато монтирането на автоматичен прекъсвач е нецелесъобразно (например, там, където има висока честотата на комутация в продължение на продължителни периоди) се използва комбинации от елементи, специално предназначени за такива функции. По-долу са описани най-разпространените комбинации от комутационни апарати.

Комбинации от разединител и стопяеми предпазители

Разглеждат се два случая:

■ Тип, при който задействането на един или няколко предпазители предизвиква изключване на разединителя. Това се постига чрез използване на предпазители, снабдени с ударници и система от изключващи пружини и шарнирни механизми (виж **Фиг. H14**).

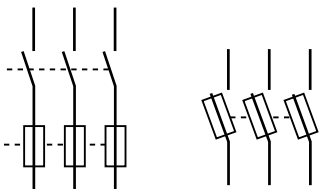
■ Тип, при който неавтоматичният разединител е свързан с комплект предпазители в един корпус.

В някои страни и стандарта IEC 60947-3 термините „разединител-предпазител” и „предпазител-разединител” имат специфично значение, а именно:

□ разединителят-предпазител се състои от разединител (обикновено с двустранно прекъсване за полюс), монтиран преди трите стационарни основи на предпазителите, в които са поставени стопяемите вложки (виж **Фиг. H15**).

□ предпазителят-разединител се състои от три ножови контакта, всеки от които осигурява двустранно прекъсване на всяка фаза.

Тези ножови контакти не са непрекъснати по дължина и всеки има кухина в центъра, където се поставя с патрона на стопяемия предпазител. Някои конструкции осигуряват само едностранно прекъсване на фаза (виж **Фиг. H16**).



Фиг. H16: Графично означение на неавтоматичен разединител-предпазител

За да се избегнат затрудненията между първата група (т.е. автоматично изключване) и втората група, терминът „прекъсвач-предпазител” трябва да се използва с прилагателното „автоматичен” или „неавтоматичен”.

Предпазител-разединител + контактор с термично реле
Предпазител-мощностен разединител + контактор с термично реле

Както е посочено по-горе, контакторът с термично реле не осигурява защита срещу токове на късо съединение. Затова заедно с тях е необходимо да се добавят предпазители (обикновено от типа aM), за да се изпълни тази функция. Комбинацията се използва главно във вериги за управление на двигатели, където разединителят или мощностният разединител осигуряват възможност за безопасно провеждане на техническо обслужване включително:

■ замяна на стопяеми вложки (при изключена верига);

■ работа по участък от веригата след контактора с термично реле (риск от дистанционно включване на контактора с термично реле).

Предпазителят-разединител и контакторът с термично реле трябва да се блокират така, че да не бъде възможно включването или изключването на предпазителя-разединител, ако контакторът с термично реле не е изключен (виж Фиг. H17), тъй като такъв предпазител-разединител не осигурява функция включване под товар.

Очевидно е, че за комбинацията предпазител-мощностен разединител не е необходима блокировка (виж Фиг. H18). Ако дадената верига захранва електродвигател, мощностният разединител трябва да бъде от клас AC-22 или AC-23.

Автоматичен прекъсвач + контактор
Автоматичен прекъсвач + контактор с термично реле

Тези комбинации се използват в системи за разпределение с дистанционно управление, за които е характерна висока честота на комутация, или за управление и защита на захранваща верига на електродвигатели.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Избор на комутационна апаратура

3.1 Справочна таблица за функционални възможности

След изучаване на основните функции на разпределителна апаратура НН (т.1, **Табл. H1**) и различните компоненти на комутационната апаратура (т.2), е съставена **Табл. H19** за функционалните възможности на различни комутационни апарати да изпълняват основните функции.

Таблица H19: Функции изпълнявани от различни комутационни апарати

Елемент на разпределителна апаратура	Разединяване	Управление				Електрическа защита срещу		
		Функционално	Аварийно изключване	Авариен стоп (механично)	Изключване за техническо обслужване на механични възли	Претоварване	Късо съединение	Поражения от електрически ток
Разединител (или отделител) (4)	■							
Дефектнотокова защита без вградена защита срещу свръхток (RCCB) (5)	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■			■
Мощностен разединител	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■			
Контактор		■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■ (3)		
Превключвател с дистанционно управление		■	■ (1)		■			
Стопяем предпазител	■					■	■	
Автоматичен прекъсвач(5)		■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	
Автоматичен прекъсвач-разединител(5)	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	
Дефектнотокова защита с вградена защита срещу свръхток (RCBO) (5)	■	■	■ (1)	■ (1) (2)	■	■	■	■
Място на монтаж (общ принцип)	Начало на всяка верига	Всички места, където по експлоатационни причини може да се изисква спиране на процеса	Като правило на входната верига на всяко разпределително табло	В мястото на подаване на захранване към всяка машина и/или на съответната машина	В мястото на подаване на захранване към всяка машина	Начало на всяка верига	Начало на всяка верига	Начало на вериги, в случай на използване на схеми на заземяване TN-S, IT, TT

(1) Където се осигурява изключване на всички активни проводници.

(2) Може да се налага подвеждане на захранване към системата за спиране.

(3) Ако той електрически е свързан с термично реле.

(4) В някои страни използването на разединител с видимо разединяване на входа на уредба НН, захранвана непосредствено от понижаващ трансформатор СрН/НН е задължително.

(5) Някои комутационни апарати са подходящи за изпълнение на функцията „разединяване" (например, RCCBs съгласно IEC 61008) въпреки, че те не се маркират за това.

3.2 Избор на комутационна апаратура

За оптимален избор на комутационна апаратура все повече и повече се използва програмно осигуряване. Всяка верига се разглежда последователно и се съставя списък на необходимите функции на защитата и експлоатационните изисквания на уредбата, от тези които са посочени в **Табл. H19** и **Табл. H1**.

Анализират се няколко комбинации от комутационни апарати, които се сравняват една с друга по съответен критерий с цел постигане на:

- удовлетворителна работа;
- съвместимост на отделни елементи помежду им: от номиналния ток In до номиналния ток на изключване Icu;
- съвместимост с разположения по-горе комутационен апарат или отчитане на неговото влияние;
- съответствие с всички норми и извиквания, отнасящи се до безопасна и надеждна работа на веригите.

За да се определи броя на полюсите за всеки елемент от комутационната апаратура е необходимо да се направи справка с т.7, **Фиг. G64**, Глава G. Многофункционалното комутационно разпределително устройство, независимо от неговата първоначална по-висока цена, намалява разходите за монтажни дейности и облекчава монтажа и експлоатацията. Често се оказва, че използването на такова устройства е най-доброто решение.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Автоматичен прекъсвач

Автоматичният прекъсвач-разединител изпълнява всички основни комутационни функции, а при използване на спомагателни елементи може да осигури многобройни допълнителни функции.

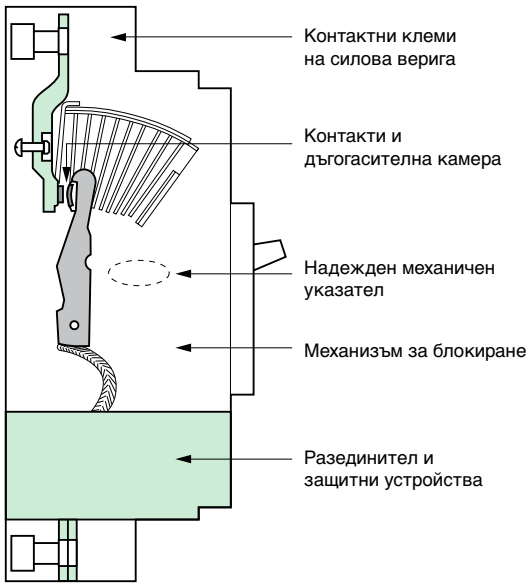
Както е показано на **Табл. H20** автоматичният прекъсвач-разединител, е единственият комутационен апарат, способен едновременно да изпълнява всички основни функции, необходими в електрическата уредба. Освен това, за сметка на използване на спомагателни елементи, той може да осигури широк диапазон от допълнителни функции, например: индикация (включване/разединяване, изключване при късо съединение); изключване при минимално напрежение; дистанционно управление и др.

Тези характеристики правят прекъсвача-разединител основен елемент на комутационна апаратура за всяка електрическа уредба.

Таблица H20: Функции, изпълнявани от автоматичен прекъсвач-разединител

Функции		Възможни условия
Разединяване		■
Управление	Функционално	■
	Аварийно изключване	■ (С възможност за използване на бобина за изключване при дистанционно управление)
	Изключване за техническо обслужване на механичното обзавеждане	■
Защита	Претоварване	■
	Късо съединение	■
	Пробив в изолация	■ С използване на RCD
	Минимално напрежение	■ С използване на бобина за минимално напрежение
Дистанционно управление		■ Добавено или вградено
Индикация и измерване		■ Обикновено се предлага като допълнителна опция с електронни изключващи устройства (защити)

Автоматичните прекъсвачи за приложение в индустрията трябва да отговарят на стандарти IEC 60947-1 и 60947-2 или друг еквивалентен стандарт.
Автоматичните прекъсвачи за приложение в бита трябва да отговарят на стандарт IEC 60898 или друг еквивалентен стандарт.



Фиг. H21: Основни елементи на автоматичен прекъсвач

4.1 Стандарти и описание

Стандарти

За индустриални уредби НН трябва да се използват следните съществуващи или разработвани IEC стандарти:

■ 60947-1: Основни правила.

■ 60947-2: Част 2. Автоматични прекъсвачи.

■ 60947-3: Част 3. Товарови прекъсвачи, разединители, товарови прекъсвач-разединители и комбинация от тях с предпазители.

■ 60947-4: Част 4. Контактори и пускатели за двигатели.

■ 60947-5: Част 5. Устройства и комутационни апарати на вериги за управление.

■ 60947-6: Част 6. Многофункционални комутационни устройства.

■ 60947-7: Част 7.Спомагателно обзавеждане.

За битови и аналогични уредби НН, подходящ стандарт е IEC 60898 или съответния еквивалентен национален стандарт (за България БДС EN 60898).

Описание

На **Фиг. H21** са показани схематично основните части на автоматичен прекъсвач НН и неговите четири основни функции:

■ Възли, осъществяващи изключване на веригите, включително неподвижни и подвижни контакти дъгогасителна камера;

■ Механизъм за блокиране, който се разблокира от защитно устройство за изключване при появяване на аварийни токове;

Този механизъм е също свързан с ръкохватката за управление на прекъсвача.

■ Изпълнителното устройство на изключвателния механизъм може да бъде:

□ или, термомагнитно устройство, в което метална пластина, чувствителна към измененията на температурата открива претоварване, а електромагнитния изключвател задейства при стойности на тока, характерни за условия на късо съединение, или;

□ електронно реле, получаващо сигнал от токови трансформатори, монтирани на всяка фаза.

■ Контактни клеми, предвидени, за присъединяване на проводници от силовата верига.

Битовите автоматични прекъсвачи (виж **Фиг. H22** на следващата страница), отговарящи на стандарт IEC 60898 и аналогичен национален стандарт, изпълняват следните функции:

■ Разединяване;

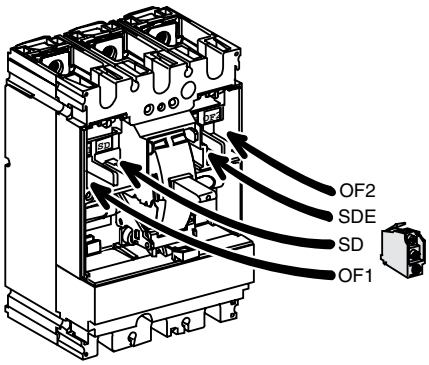
■ Защита от свръхток.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Автоматичен прекъсвач

Фиг. H22: Автоматичен прекъсвач за приложение в бита, осигуряващ функциите защита от свръхтокове и разединяване на вериги

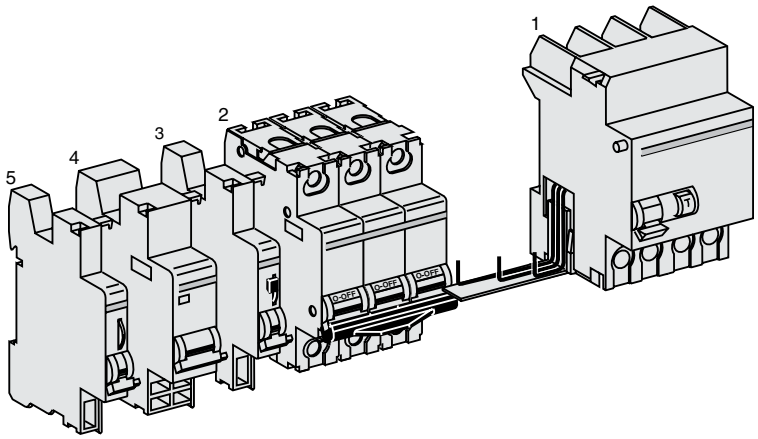
Фиг. H23: Автоматичен прекъсвач за приложение в бита, аналогичен на показания на Фиг H22, но допълнително осигуряващ защита срещу поражение от електрически ток чрез вградена дефектнотокова защита тип DPN Vigi



Фиг. H25: Пример на модулна конструкция автоматичен прекъсвач (Compact NS), притежаващ различни спомагателни функции

Някои модели автоматични прекъсвачи могат да бъдат адаптирани за осигуряване на висока чувствителност към токове на утечка (30 mA) с помощта на допълнителен модул, докато в други модели (RCBOs, отговарящи на стандарт IEC 61009 и CBRs, отговарящи на стандарт IEC 60947-2, Приложение Б) конструкцията за откриване на ток на утечка е вградена в автоматичния прекъсвач, както е показано на **Фиг. H23**.

Отделно от горепосочените функции, монтирането на допълнителни модули (моторно задвижване, помощни контакти и др., както е показано на **Фиг. H24**) позволява на базовия автоматичен прекъсвач да изпълнява спомагателни функции, а именно дистанционно управление и индикация (включено-изключено - изключено от защита).

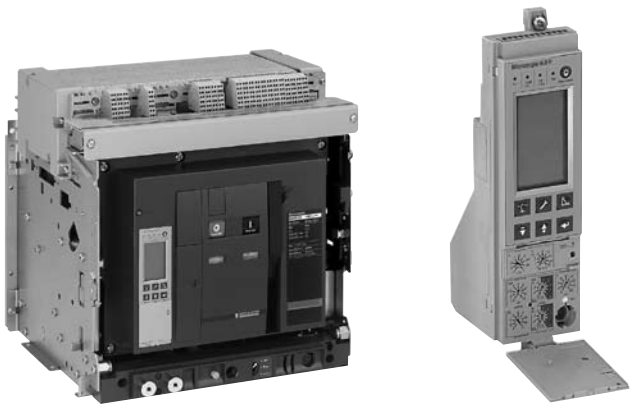


Фиг. H24: Система Multi 9, изградена от модулни комутационни елементи НН

В момента на пазара се предлагат автоматични прекъсвачи за индустриално приложение в лят корпус, отговарящи на стандарт IEC 60947-2. Те, с помощта на спомагателни модули, осигуряват подобна съвкупност от спомагателни функции като тези, които са описани по-горе (виж **Фиг. H25**).

Автоматичните прекъсвачи за индустриално приложение в тежки условия на експлоатация са изчислени за големи токове и удовлетворяват изискванията на стандарт IEC 60947-2 (виж **Фиг. H26**).

Освен защитни функции, модулът Micrologic осигурява оптимизирани функции, като измерване (включва функцията контрол върху качеството на електрическа енергия), диагностика, комуникация, управление и мониторинг.



Фиг. H26: Примери на автоматични прекъсвачи за индустриално приложение в тежки условия на експлоатация. Прекъсвачът Masterpact осигурява много функции за автоматизация благодарение на използването на електронния защитен модул Micrologic

© Schneider Electric - всички права запазени

4.2 Основни характеристики на автоматичен прекъсвач

Основните характеристики на автоматичния прекъсвач са:
- Номинално напрежение Ue;
- Номинален ток In;
- Диапазон на регулиране стойностите на тока на изключване от защитата срещу претоварване (Ir (1) или Irth (1)) и от късо съединение (Im) (1);
- Изключвателна способност при късо съединение (Icu – за автоматични прекъсвачи за индустриално приложение и Icn – за автоматични прекъсвачи за битово приложение).

Номинално работно напрежение (Ue)

Това е напрежението, при което автоматичният прекъсвач е предназначен да работи в нормални условия.
За автоматичният прекъсвач се регламентират и други стойности на напрежения, съответстващи на смущаващи фактори, както е показно в т.4.3.

Номинален ток (In)

Това е максималната стойност на тока, който автоматичният прекъсвач, снабден с изключвател за максимален ток, може да пропуска безкрайно дълго при температура на околна среда, зададена от производителя, без превишаване на установените максимални температури на тоководещите части.

Пример

Автоматичен прекъсвач с номинален ток In = 125 A за температура на околната среда 40 °C, ще бъде комплектован с подходящ изключвател за максимален ток (настроен на ток 125 A). Същият автоматичен прекъсвач може да се използва при по-високи температури на околната среда, но за сметка на намаляване на номиналните параметри. Например, при околна температура 50 °C този прекъсвач може да провежда безкрайно дълго 117 A, а при 60 °C – само 109 A при спазване на установените изисквания за допустима температура.
Намаляването на номиналните характеристики на автоматичния прекъсвач се постига за сметка намаляване стойността на тока на настройка на релето за претоварване. Използването на електронно изключващо устройство, предназначено за работа при високи температури, осигурява възможност за експлоатация на автоматични прекъсвачи (с намалени стойности на настройката по ток) при околна температура 60 °C или даже 70 °C.
Забележка: В автоматичните прекъсвачи, отговарящи на стандарт IEC 60947-2 токът In обикновено е равен на Iu за цялото разпределително устройство, където Iu е номиналният непрекъснат ток.

Типоразмер на прекъсвач и използване на изключватели с различни диапазони на настройка

Автоматичният прекъсвач, който може да бъде комплектован с модули за изключване при свръхток, имащи различни диапазони на настройка по ток, е предназначен за номинална стойност, съответстваща на номиналната стойност на изключващия елемент с най-висока стойност на тока на изключване.

Пример

Автоматичният прекъсвач NS630N може да бъде комплектован четири електронни изключващи модули (изключватели) с номинални токове от 150 до 630 A. В този случай типоразмера на автоматичния прекъсвач е 630 A.

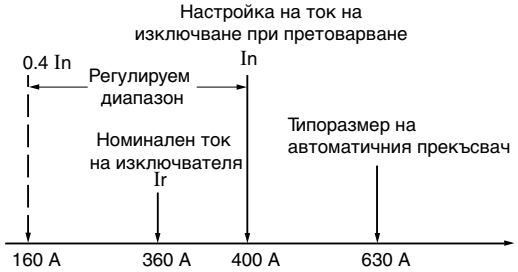
Настройка по ток на изключване (Irth или Ir) на релето за претоварване

С изключение на малките автоматични прекъсвачи, които лесно се подменят, автоматичните прекъсвачи за приложение в индустрията се комплектоват с отстраними, т.е. сменяеми релета за максимален ток. Затова, за да се приспособи автоматичният прекъсвач към изискванията на веригата, която той управлява, и да се избегне необходимостта от монтиране на кабели с по-голям размер, изключващите релета обикновено са регулируеми. Настройката по ток на изключване Ir или Irth (и двете означения широко се използват) представлява задаване на ток, при превишаването на който дадения автоматичен прекъсвач изключва веригата. Освен това, това е максималният ток, който може да протече през автоматичния прекъсвач без изключване на веригата. Тази стойност трябва да бъде задължително по-голяма от максималния ток на товара Iв, но по-малка от максимално допустимия ток Iz в дадената верига (виж Глава G, т. 1.3).
Термичните защити, обикновено се регулира в диапазона от 0.7 до 1 In, но при използване на електронни устройства за тази цел диапазонът е по-голям и обхваща от 0.4 до 1 In.

Пример (виж **Фиг. H27**)

Автоматичен прекъсвач NS630N, е комплектован с максималнотоков изключвател STR23SE за 400 A, който е настроен на 0.9 In, т.е. настройката на тока на изключване е: Ir = 400 x 0.9 = 360 A

Забележка: За вериги, обзаведени с нерегулируеми автоматични изключватели Ir = In. Пример, за автоматичен прекъсвач CN60 за 20 A, Ir = In = 20 A.



Фиг. H27: Пример на автоматичен прекъсвач NS630N, комплектован с максималнотоков изключвател STR23SE за 400 A, настроен на 0,9 In, т.е. Ir = 360 A

(1) Стойности на настройка по ток, които се отнасят към термомагнитни (комбинирани) изключватели с мигновено действие за защита срещу претоварвания и късо съединение.

© Schneider Electric - всички права запазени

Настройка по ток на изключване при късо съединение (Im)

Изключвателите с мигновено действие или задействащите с малко времезакъснение са предназначени за бързо изключване на автоматичния прекъсвач в случай на възникване на големи токове на късо съединение.
Прагът на тяхното задействане Im:

- за автоматични прекъсвачи за приложение в бита е регламентиран от стандарти, например IEC 60898, или
- за автоматични прекъсвачи за приложение в индустрията се указва от производителя в съответствие с действащи стандарти, в частност IEC 60947-2.

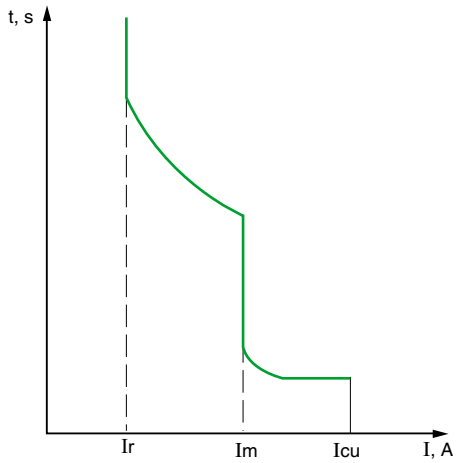
За прекъсвачи с приложение в индустрията съществуват голям набор от изключватели, което позволява на потребителя да адаптира защитните функции на автоматичния прекъсвач към конкретни изисквания на товара (виж **Табл.H28**, **Фиг.29** и **Фиг. 30**).

Табл. H28: Диапазони на токовете на изключване на защитни устройства при претоварване и късо съединение на автоматичните прекъсвачи НН

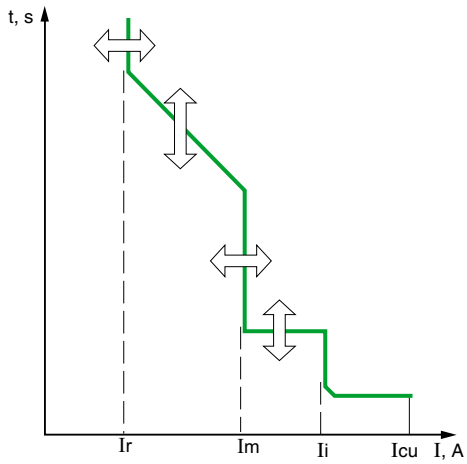
	Тип на изключва-теля	Защита от претоварване	Защита от късо съединение		
Битови автоматични прекъсвачи IEC 60898	Термомагни-тен	Ir = In	Ниско ниво Крива B 3 In ⩽ Im ⩽ 5 In	Стандартно ниво Крива C 5 In ⩽ Im ⩽ 10 In	Високо ниво Крива D 10 In ⩽ Im ⩽ 20 In(1)
Модулни индустриални автоматични прекъсвачи (2)	Термомагни-тен	Ir = In Не се регулира	Ниско ниво Крива B или Z 3.2 In ⩽ I ⩽ 4.8 In	Стандартно ниво Крива C 7 In ⩽ I ⩽ 10 In	Високо ниво Крива D или K 10 In ⩽ I ⩽ 14 In
Индустриални(2) автоматични прекъсвачи IEC 60947-2	Термомагни-тен	Ir = In Не се регулира	Не се регулира: Im = 7 to 10 In		
		Регулира се: 0.7 In ⩽ Ir ⩽ In	Регулируема: - Ниско ниво: 2 to 5 In - Стандартно ниво: 5 to 10 In		
	Електронен	Разширен диапазон 0.4 In ⩽ Ir ⩽ In	Малко времезакъснение, регулируемо в диапазона 1.5 Ir ⩽ Im ⩽ 10 Ir Мигновено задействане (без възможност за регулиране) в диапазона: I = 12 to 15 In		

(1) 50In съгласно стандарт IEC 60898, което според много европейски производители, е нереално голямо (за апаратите на Schneider Electric Im = (10…14)In).

(2) За автоматични прекъсвачи с приложение в индустрията стойностите не се регламентират от стандартите на IEC. Посочените по-горе стойности съответстват на тези, които обикновено се използват.



Фиг. H29: Времетокова характеристика на комбиниран изключвател към автоматичен прекъсвач



Ir: Настройка по ток на изключване при претоварване (термична защита или бавнодействаща защита)
Im: Настройка по ток на изключване при късо съединение (магнитна защита или бързодействаща защита)
Ii: Настройка по ток на изключване на електромагнитния изключвател с мигновено действие при късо съединение
Icu: Максимална изключвателна възможност

Фиг. H30: Времетокова характеристика на електронен изключвател към автоматичен прекъсвач

© Schneider Electric - всички права запазени

Функция разединяване

Автоматичният прекъсвач е подходящ за електрическо изолиране на верига, ако той удовлетворява всички изисквания, предявявани към разединителя (за неговото номинално напрежение) в съответния стандарта (виж т.1.2). В този случай той се нарича автоматичен прекъсвач-разединител и върху лицевата му страна е нанесен символа —✱—
Всички комутационни апарати НН (Multi 9, Compact NS и Masterpact) на Schneider Electric се отнасят към тази категория.

Изключвателната възможност на автоматичния прекъсвач НН е свързана с cos на повредения участък от веригата. В редица стандарти се посочват стандартните стойности на тази връзка.

Номинална изключвателна възможност при късо съединение (Icu or Icn)

Изключвателната възможност на автоматичния прекъсвач се определя от максималния (очакван) ток, който дадения автоматичен прекъсвач е в състояние да изключи запазвайки работоспособно състояние. Посочената в стандартите величина е ефективната стойност на AC съставящата на тока на късо съединение. DC компонентата в преходния процес (която винаги присъства в най-лошия възможен случай на късо съединение) се приема при изчисляване за равна на нула. Тази номинална стойност за автоматични прекъсвачи, с приложение съответно в индустрията (Icu) и в бита (Icn) обикновено се посочва в kA.
Номиналната изключвателна възможност (Icu) и номиналната експлоатационна изключвателна възможност (Ics), определени в стандарта IEC 60947-2, заедно с таблицата за връзката между Ics и Icu за категории на използване **A** (мигновено изключване) и **B** (изключване с времезакъснение), са разгледани в т.4.3.
Проверките за потвърждаване на номиналните изключвателни възможности на автоматични прекъсвачи се регламентират от стандарти и включват:
■ Комутационни цикли, състоящи се от последователност на операции, т.е. включване и изключване при късо съединение.
■ Фазова разлика между тока и напрежението. Когато токът във веригата се намира във фаза със захранващото напрежение (cos φ = 1) изключването на тока се осъществява по-леко, отколкото при cos φ ≠ 1. Много по-трудно се осъществява изключване на тока при ниски стойности на cos φ и индуктивен товар, при това изключване на тока във верига с cos φ = 0 (теоретично) е най-тежкия случай.
На практика всички токове на късо съединение в електроснабдителните системи са с cos φ < 1 и стандартите са разработени на стойности, които обикновено се приемат като типични, за голяма част от силовите системи. Като цяло, колкото е по-голям токът на късо съединение (при дадено напрежение), толкова е по-нисък cos φ във веригата на късо съединение, например близо до генератори или големи трансформатори.
В **Табл. H31**, от стандарт IEC 60947-2, са посочени връзките между стандартните стойности на cos φ за автоматични прекъсвачи за приложение в индустрията и техните номинални токове (изключвателна възможност) Icu.
■ След провеждане на цикъл изключване – времезакъснение – включване/изключване за проверка на изключвателната възможност (Icu) на автоматичният прекъсвач се извършват следните изпитвания, имащи за цел да се потвърдят, че:
□ издържаната диелектрична якост
□ разединяващата способност и
□ правилното заработване на защитата при претоварване,
не са се влошили в резултат от проведеното изпитване.

Icu	cos φ
6 kA < Icu ⩽ 10 kA	0.5
10 kA < Icu ⩽ 20 kA	0.3
20 kA < Icu ⩽ 50 kA	0.25
50 kA < Icu	0.2

Таблица H31: Връзка между фактора на мощността cos и Icu при късо съединение във верига (IEC 60947-2)

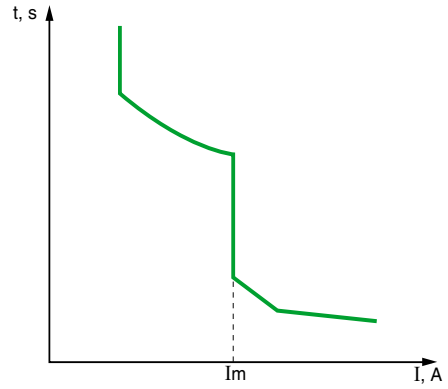
4.3 Други характеристики на автоматичен прекъсвач

Запознаването с посочените по-долу допълнителни характеристики на автоматични прекъсвачи НН се оказва често необходимо при окончателен избор на типа.

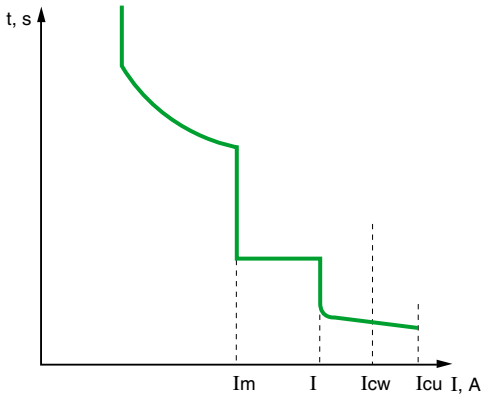
Номинално напрежение на изолация (Ui)

Това е стойността на напрежението спрямо което се избира напрежението при изпитване на електрическата якост на изолацията (то обикновено превишава два пъти Ui) и се определя от дължината на пътя на тока на утечка.
Максималната стойност на номиналното работно напрежение не трябва да надвишава стойността на номиналното напрежение на изолацията, т.е.
Ue ⩽ Ui.

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. H32: Автоматичен прекъсвач от категория A



Фиг. H33: Автоматичен прекъсвач от категория B

При правилно проектирана електрическа уредба автоматичният прекъсвач никога не работи със своя максимален ток на изключване Icu. Поради тази причина е въведена нова характеристика Ics. Съгласно стандарт IEC 60947-2 тя се изразява в проценти от Icu (25, 50, 75, 100%)

(1) O – означава операция изключване;
CO – означава операция включване, след която следва операция изключване.

Номинално издържано импулсно напрежение (Uimp)

Този параметър показва, в kV, стойността на напреженовия импулс (с определена форма и полярност), която разглежданото обзавеждане може да издържи в условията на изпитване без разрушаване.

Обикновено за автоматични прекъсвачи с приложение в индустрията Uimp = 8 kV, а за автоматични прекъсвачи с приложение в бита - Uimp = 6 kV.

Категория (A или B) и номинален издържан кратковременен ток (Icw)

Както се спомена по-горе (т. 4.2), стандартът IEC 60947-2 определя две категории индустриална комутационна апаратура НН, A и B:

■ Към категория **A** се отнасят апарати, за които не е предвидено преднамерено времезакъснение на електромагнитния изключвател с мигновено действие при късо съединение (виж **Фиг. H32**). Обикновено това са автоматични прекъсвачи в лят корпус.

■ Към категория **B** се отнасят апарати, за които с цел съгласуването им с други последователно свързани автоматични прекъсвачи по време на задействане, е предвидена възможност за времезакъснение при изключване на автоматичния прекъсвач, за стойности на тока на късо съединение под стойността на максимално издържания от него кратковременен ток Icw (виж **Фиг. H33**). Обикновено това се прилага в големи въздушни автоматични прекъсвачи и в някои типове прекъсвачи в лят корпус, предназначени за тежки условия на експлоатация. Токът Icw е максималният ток на автоматичния прекъсвач от категория **B**, който предизвиква топлинни и електродинамични натоварвания, без да се получи повреда в продължение на времето, посочено от производителя.

Номинална включвателна възможност (Icm)

Номиналната включвателна възможност е стойността на максималния моментен ток, който автоматичния прекъсвач може да включи при номинално напрежение и предписани условия на експлоатация. В системите за променлив ток тази мигновена пикова стойност е свързана с Icu (т.е. с номиналният ток на изключване) чрез коефициента k, който зависи от cosφ на контура на късо съединение (виж **Табл. H34**).

Таблица H34: Връзка между номиналната изключвателна възможност Icu и номиналната включваща възможност Icm при различни стойности на cos на веригата с късо съединение (стандарт IEC 60947-2)

Icu	cos φ	Icm = kIcu
6 kA < Icu ⩽ 10 kA	0.5	1.7 x Icu
10 kA < Icu ⩽ 20 kA	0.3	2 x Icu
20 kA < Icu ⩽ 50 kA	0.25	2.1 x Icu
50 kA ⩽ Icu	0.2	2.2 x Icu

Пример: Автоматичният прекъсвач Masterpact NW08H2 има номинална изключвателна способност Icu =100 kA. Пиковата стойност на неговата номинална включваща способност е:
Icm = 100 x 2.2 = 220 kA.

Номинална експлоатационна изключвателна възможност при късо съединение (Ics)

Номиналната изключвателна възможност (Icu или Icn) се определя от максималният ток на късо съединение, който автоматичния прекъсвач може успешно да изключи без повреда. Вероятността за възникване на такъв ток е много малка и при нормални обстоятелства токовете на късо съединение са значително по-малки от номиналната изключвателна възможност (Icu) на автоматичния прекъсвач. От друга страна е важно, тези големи токове (появяващи се с малка вероятност) да бъдат изключвани така, че този автоматичен прекъсвач да бъде веднага готов за повторно включване след възстановяване на повредената верига. Именно поради тези причини за индустриални автоматични прекъсвачи е въведена нова характеристика (Ics), изразявана в % от Icu: 25, 50, 75 и 100 %. Стандартната последователност при изпитване е:

■ O - CO - CO (1) (при ток Ics)

■ Изпитванията, извършвани след тази последователност, са предназначени за проверка дали изпитвания автоматичен прекъсвач се намира в работоспособно състояние и е готов за нормална експлоатация.

За битови автоматични прекъсвачи Ics = k Icn. Стойностите на коефициента k са посочени в стандарта IEC 60898 (табл. XIV). В индустриалната практика на Европа се приема k = 100 % и затова Ics = Icu.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Автоматичен прекъсвач

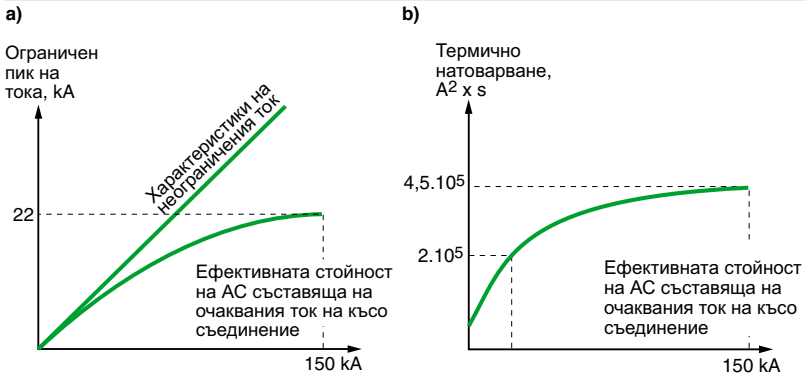
Много конструкции на автоматични прекъсвачи НН притежават възможност да ограничават тока на късо съединение. В резултат на това токът се намалява и не достига своята максимална пикова стойност, която в противния случай той би достигнал (виж Фиг. H35). Токоограничаваща възможност на такива автоматични прекъсвачи се представя под формата на типови графики, показани на Фиг. H36.

Ограничаване тока на късо съединение

Възможността на автоматичния прекъсвач да ограничава тока на късо съединение се заключва в това, че той с по-голяма или с по-малка ефективност може да предотврати протичането на максималния очакван ток на късо съединение и да пропуска само ограничен ток (виж **Фиг. H35**).
Токоограничаващата възможност се посочва от производителя на автоматични прекъсвачи под формата на криви (виж **Фиг. H36**):

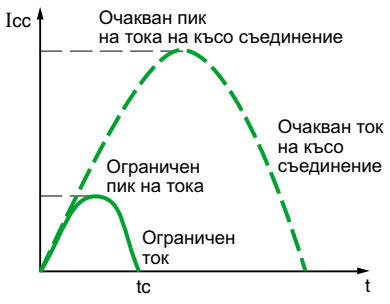
- **Фигура (a)** показва ограничаване пиковата стойност на тока в зависимост от ефективната стойност на периодичната съставяща на очаквания (проспектния) ток на късо съединение („очакван" ток на късо съединение е токът на късо съединение, който би протекъл ако дадения автоматичен прекъсвач не притежава токоограничаваща възможност).
- **Фигура (b)** Токоограничаването силно намалява термичните натоварвания (I^2t) (виж **Фиг. H36**).

В някои стандарти автоматичните прекъсвачи за защита срещу свръхтокове в жилищни и други подобни инсталации се подразделят на класове в зависимост от степента им на токоограничаване.
Автоматичните прекъсвачи, принадлежащи към даден клас имат стандартизирана токоограничаваща характеристика I^2t, дефинирана за този клас.
В тези случаи производителите, като правило не посочват криви на токоограничаване на прекъсвачите.



Фиг. H36: Криви на токоограничаване на токоограничаващ автоматичен прекъсвач НН

Ограничаването на тока намалява температурните и електродинамични напрежения във всички елементи на веригата, през които този ток протича. В резултат на това се удължава техния срок на експлоатация. Токоограничаващата функция дава възможност да се използват методите за „каскадно" включване, виж т. 4.5, което позволява значително да се намалят разходите за електрическа апаратура.



Фиг. H35: Очакван и фактически ток

Предимства при ограничаване на тока

Използването на токоограничаващи автоматични прекъсвачи има много предимства:

- Повишена надеждност на веригите в електрическата уредба: такива автоматични прекъсвачи рязко намаляват всички нежелани последици, свързани с протичането на токове на късо съединение;
- Намаляване на топлинните ефекти: намалява се нагряването на проводниците и съответно на изолацията, в резултат се удължава срока на служба на кабелите.
- Намаляване на механичните ефектни: силите, предизвикани от електромагнитни взаимодействия се оказват по-малки, в резултат на което се намалява риска от деформации, възможно разрушаване, прекомерно нагаряне на контакти и др.;
- Намаляване влиянието на електромагнитни смущения:
  - по-малко влияние върху измервателни инструменти и свързани вериги, телекомуникационни системи и др.

Тези автоматични прекъсвачи подобряват експлоатацията на:

- кабели и проводници;
- изолирани проводници;
- комутационни апарати,

и по този начин забавят стареенето на дадената електрическа уредба.

Пример

В система, с очакван ток на късо съединение 150 kA, прекъсвачът Compact L ограничава пика на тока до стойност, по-малка от 10 % от изчисления очакван ток, а термичните ефекти се намаляват до стойност, под 1 % от изчислената.
Каскадирането на автоматични прекъсвачи в електрическа уредба, разположени под токоограничаващия автоматичен прекъсвач, също води до значителна икономия на средства.
Фактически, техниката на каскадиране, описана в т. 4.5 осигурява значителна икономия (до 20 %) на комутационна апаратура (под токоограничаващия автоматичен прекъсвач или прекъсвачи могат да се използват комутационни апарати с по-ниски експлоатационни характеристики).
Използването на автоматични прекъсвачи от серия Compact NS позволяват да се прилага техниката на каскадиране на автоматичните прекъсвачи, без това да наруши селективното действие на защитите им.

© Schneider Electric - всички права запазени

Изборът на типа автоматични прекъсвачи се определя от: електрическите характеристики на електрическата уредба, условията на експлоатация, товарите и необходимостта от дистанционно управление, заедно с отчитане типа на предвижданата в бъдеще телекомуникационна система.

4.4 Избор на автоматичен прекъсвач

Критерии за избор на автоматичен прекъсвач

Изборът на автоматичен прекъсвач се извършва с отчитане на:

- Електрическите характеристики на електрическата уредба, за която е предназначен този автоматичен прекъсвач;
- Условията на неговата експлоатация: температура на околната среда, разположение в сградата на подстанцията или корпуса на разпределителното табло, климатични условия и др.;
- Изисквания към включвателната и изключвателната възможност при къси съединения;
- Експлоатационни изисквания по отношение на селективно изключване, дистанционно управление и сигнализация и съответни спомагателни контакти, допълнителни изключватели, свързване;
- Правилата за устройство на електрически уредби, в част изискванията по отношение електробезопасността на хора;
- Характеристика на товарите, например електрически двигатели, луминесцентно осветление, разделителни трансформатори НН/НН.

Следните забележки се отнасят към избора на автоматичен прекъсвач НН при използване в разпределителни системи.

Избор на номинален ток с отчитане температурата на околната среда

Номиналният ток на автоматичния прекъсвач се дефинира за работа при определена температура на околната среда, която обикновено е:

- 30 °C за автоматични прекъсвачи за приложение в бита;
- 40 °C за автоматични прекъсвачи за приложение в индустрията.

Работата на тези автоматични прекъсвачи при друга температура на околната среда зависи главно от технологията на използването им (виж **Фиг. H37**).

Некомпенсирани термомагнитни комбинирани изключватели

Автоматичните прекъсвачи с некомпенсирани термомагнитни изключватели имат праг на изключвания ток, който зависи от околната температура. Ако автоматични-ят прекъсвач е монтиран в обвивка или в помещение с висока температура (напри-мер, котелно помещение), токът, необходим за изключване на този прекъсвач при претоварване, ще бъде значително по-малък. Когато температурата на средата, в която е разположен автоматичния прекъсвач е по-висока, от посочената от производителя, характеристиките на апарата ще се окажат „по-ниски". Поради тази причина производителите на автоматични прекъсвачи посочват таблици с корекционни коефициенти. Те трябва да се използват при температури, различни от обявената температура, при която функционира автоматичния прекъсвач. От типичните примери в такива таблици (виж **Табл. H38**) следва, че при температура под посочената от производителя се получава повишаване на прага на изключвания ток на съответния автоматичен прекъсвач. Освен това, малките модулни автоматични прекъсвачи, монтирани плътно един до друг (виж **Фиг. H27**), обикновено се разполагат в малък закрит метален корпус. В този случай, поради взаимното нагряване при протичане на нормални товарни токове, техните параметри трябва да се намалят с корекционен коефициент 0.8.

Таблица H38: Примерни таблици за определяне коефициентите на намаляване/повишаване на настройката по изключвания ток, които трябва да се използват за автоматични прекъсвачи с некомпенсирани термични изключватели, в зависимост от температурата на околната среда

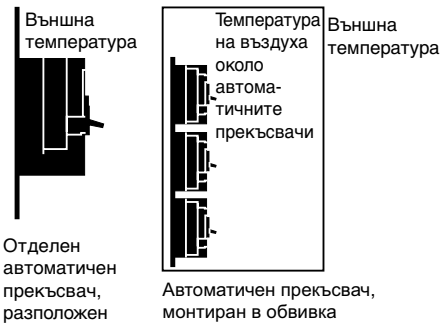
C60a, C60H: Крива C. C60N: Криви B и C (стандартна температура: 30 °C)

Номинален ток, A	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	1.05	1.02	1.00	0.98	0.95	0.93	0.90	0.88	0.85
2	2.08	2.04	2.00	1.96	1.92	1.88	1.84	1.80	1.74
3	3.18	3.09	3.00	2.91	2.82	2.70	2.61	2.49	2.37
4	4.24	4.12	4.00	3.88	3.76	3.64	3.52	3.36	3.24
6	6.24	6.12	6.00	5.88	5.76	5.64	5.52	5.40	5.30
10	10.6	10.3	10.0	9.70	9.30	9.00	8.60	8.20	7.80
16	16.8	16.5	16.0	15.5	15.2	14.7	14.2	13.8	13.5
20	21.0	20.6	20.0	19.4	19.0	18.4	17.8	17.4	16.8
25	26.2	25.7	25.0	24.2	23.7	23.0	22.2	21.5	20.7
32	33.5	32.9	32.0	31.4	30.4	29.8	28.4	28.2	27.5
40	42.0	41.2	40.0	38.8	38.0	36.8	35.6	34.4	33.2
50	52.5	51.5	50.0	48.5	47.4	45.5	44.0	42.5	40.5
63	66.2	64.9	63.0	61.1	58.0	56.7	54.2	51.7	49.2

NS250N/H/L (стандартна температура: 40 °C)

Номинален ток, A	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
TM160D	160	156	152	147	144
TM200D	200	195	190	185	180
TM250D	250	244	238	231	225

Автоматични прекъсвачи с некомпенсирани термични изключватели имат стойност на тока на изключване, зависеща от околната температура.



Фиг. H37: Външна температура

© Schneider Electric - всички права запазени

Пример
Какъв номинален ток In трябва да се избере за автоматичен прекъсвач тип C60N, ако той:
- осигурява защита на верига, в която максималния изчислен ток на товара е 34 A;
- е монтиран плътно до други автоматични прекъсвачи в затворено разпределително табло;
- се експлоатира при температура на околната среда 50 °C.

При температура на околната среда 50 °C настройката на автоматичен прекъсвач C60N с номинален ток 40 A се намалява до 35,6 A (виж Табл. H38). Взаимното нагряване в затвореното разпределително табло се отчита с корекционния коефициент 0.8. Следователно за номиналния ток на прекъсвача се получава: In = 35.6 x 0,8 = 28.5 A, т.е. този автоматичен прекъсвач не е подходящ за изключване на товар 34 A.
Затова трябва да бъде избран автоматичен прекъсвач 50 A със съответна коригирана настройка по ток In = 44 x 0.8 = 35.2 A.

Компенсирани термомагнитни изключватели

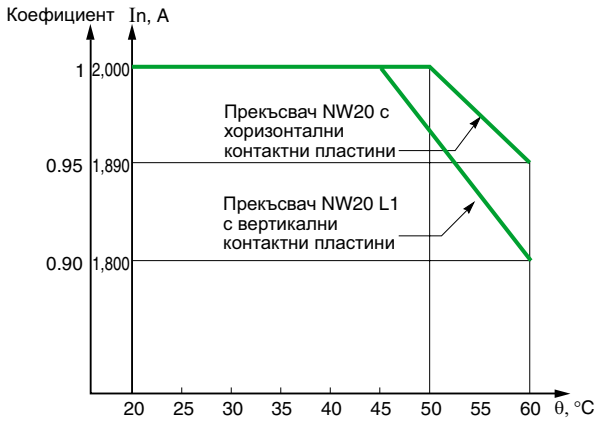
Тези изключватели имат биметална компенсираща пластина, която осигурява възможност за регулиране настройката по изключван ток при претоварване (Ir или Irth) в определени граници, независимо от температурата на околната среда.
Например:
- В някои страни схемата на заземяване TT е стандартна в разпределителни системи НН, а битовите (и аналогични) електрически уредби се защитават с автоматични прекъсвачи, монтирани на места, регламентирани от доставчика на енергия. Такъв автоматичен прекъсвач, освен защита срещу индиректен допир, осигурява изключване на вериги при претоварване, ако потребителят надхвърли стойността на потребявания ток. Той се уговоря в договор с електроснабдителната организация. Регулирането на настройката на автоматичен прекъсвач с номинален ток под 60 A е възможна в температурния диапазон от - 5 °C до + 40 °C.
- Автоматичните прекъсвачи НН с номинален ток под 630 A обикновено са комплектовани с компенсирани изключватели за този температурен диапазон от - 5 °C до + 40 °C.

Електронните изключватели устойчиво работят при изменение на температурата на околната среда.

Електронни изключватели

Важно предимство на електронните изключватели е тяхната устойчива работа при изменение на температурните условия. Обаче самото разпределително устройство често налага експлоатационни ограничения при повишени температури. Затова производителите обикновено осигуряват работна диаграма, на която се посочват максималните стойности на допустимите нива на изключваните токове в зависимост от околната температура (виж **Фиг. H39**).

Вариант на изпълнение на автоматичен прекъсвач Masterpact NW20			40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	
H1/H2/H3	Изтегляем с хоризонтални контактни пластини	In (A)	2000	2000	2000	2000	1980	1890
		Максимално регулиране на тока Ir	1	1	1	0.99	0.95	
L1	Изтегляем с вертикални контактни пластини	In (A)	2000	2000	1900	1850	1800	
		Максимално регулиране на тока Ir	1	1	0.95	0.93	0.90	

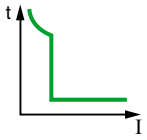
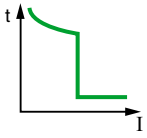
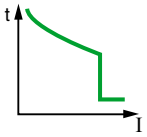
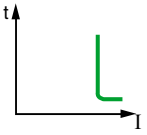


Фиг. H39: Намаляване стойността на настройка на автоматичен прекъсвач Masterpact NW20 в зависимост от температурата

© Schneider Electric - всички права запазени

Избор на изключвател с мигновено действие или с времезакъснение

На **Фиг. H40** са представени типови характеристики на изключватели, задействащи мигновено или с определено времезакъснение.

Тип	Изключвател	Област на приложение
	Ниско ниво Тип B	■ Захранващи източници, създаващи малки стойности на токовете на късо съединение (резервни генератори) ■ Кабели или вериги с голяма дължина
	Стандартно ниво Тип C	■ Защита на вериги: общ случай
	Високо ниво Тип D или K	■ Защита на вериги, имащи високи нива на преходни токове (вериги на трансформатори, двигатели, активни товари)
	12 In Тип MA	■ Защити на вериги на електродвигатели в съчетание с контактори, комплектовани с реле за претоварване

Фиг. H40: Характеристики на различни изключватели (с мигновено действие или задействащи с определено времезакъснение)

Използването на автоматичен прекъсвач НН изисква, неговата изключвателна възможност Icu (или изключвателната възможност на прекъсвача заедно със съответното устройство, с което се съгласува) да бъде равна или по-голяма от изчисления очакван ток на късо съединение в мястото на неговия монтаж.

Избор на автоматичен прекъсвач с отчитане изискванията за изключвателна възможност при късо съединение

Автоматичният прекъсвач, предназначен за използване в електрическа уредба НН, трябва да изпълнява едно от следните две условия:

■ или да има номинална изключвателна възможност Icu (или Icn), която е равна или надхвърля очаквания ток на късо съединение, изчислен за това място на монтаж, или

■ ако това не се изпълнява, да се използва заедно с друго устройство, разположено нагоре по веригата и имащо необходимата изключвателна възможност.

Във втория случай характеристиките на тези две устройства трябва да бъдат съгласувани така, че токът който може да протече през разположеното по-горе устройство не превишава максималния ток, който са способни да издържат долустоящия прекъсвач и всички съответни кабели, проводници и др. елементи на веригата без повреда. Тази техника е подходяща при използване на:

■ комбинации от стопяеми предпазители и автоматични прекъсвачи;

■ комбинации от токоограничаващи автоматични прекъсвачи и стандартни автоматични прекъсвачи.

Тази техника се нарича „каскадиране” (виж т. 4.5).

Автоматичният прекъсвач, монтиран на изхода на най-малкия трансформатор, трябва да има изключвателна възможност, която е по-голяма от изключвателната възможност от кой да е от другите автоматични прекъсвачи на трансформаторите.

Избор на автоматични прекъсвачи на входни и изходни линии (съответно CBM и CBP)

Случай на един трансформатор

Ако трансформаторът е разположен в потребителска подстанция, в някои национални стандарти се изисква използване на автоматичен прекъсвач НН, в който да бъдат явно видими отворените контакти. Например, изтегляем прекъсвач Compact NS.

Пример (виж **Фиг. H41** на следващата страница)

Какъв тип автоматичен прекъсвач е подходящ за главен прекъсвач на уредба, захранвана от трифазен трансформатор CpH/HH 250 kVA (400 V), монтиран в потребителска подстанция?

Номиналният ток на трансформатора е In = 360 A

Токът на трифазно късо съединение е Isc = 8.9 kA

За тези условия подходящ вариант е автоматичен прекъсвач Compact NS400N с диапазон на регулиране на изключвателя от 160 до 400 A и изключвателна възможност Icu = 45 kA.

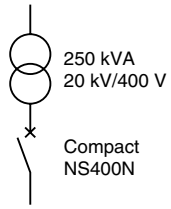
Случай на няколко трансформатори, включени в паралел (виж **Фиг. H42**)

■ Всеки от автоматичните прекъсвачи CBP, монтирани на линии, излизащи от разпределително табло НН трябва да бъде способен да изключи сумарния ток на късо съединение от всички трансформатори, съединени към шините, т.е:

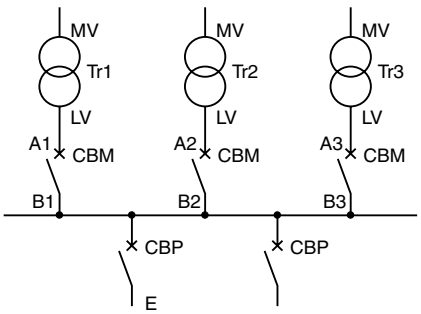
Isc1 + Isc2 + Isc3

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Автоматичен прекъсвач



Фиг. H41: Пример за монтаж на автоматичен прекъсвач на изхода на трансформатор, разположен в потребителска подстанция



Фиг. H42: Паралелна работа на трансформатори

■ Автоматичните прекъсвачи CBM, всеки от които контролира изхода на съответния трансформатор, трябва да бъдат способни да изключат максималния възможен ток на късо съединение. Например, само тока Isc2 + Isc3, ако късото съединение е възникнало в място над прекъсвача CBM1.
От тези съображения е ясно, че при такива обстоятелства автоматичния прекъсвач на най-малкия трансформатор ще се подложи на най-голям ток на късо съединение, а автоматичният прекъсвач на най-големия трансформатор ще пропуска най-малкия ток на късо съединение.
■ Номиналните токове на изключване на автоматичните прекъсвачи CBM трябва да се избират в зависимост от номиналната мощност, в kVA, на съответните трансформатори.
Забележка: Необходимите условия за успешна паралелна работа на трифазни трансформатори са следните:
1. Фазовото изместване на напреженията между първичната и вторичната намотка трябва да бъде еднакво за всички паралелно включени трансформатори.
2. Отношението на напреженията CpH/HH на празен ход в първичната и вторичната намотки трябва да бъде еднакво за всички трансформатори.
3. Напрежението на късо съединение (Zsc %) трябва да бъде еднакво за всички трансформатори.
Например, трансформатор с мощност 750 kVA с Zsc = 6 %, работещ в паралел с трансформатор с мощност 1000 kVA и Zsc = 6 % ще бъде подходящо натоварен. Тези трансформатори ще се натоварват автоматично и пропорционално съобразно тяхната мощност. За трансформатори, при които отношението между номиналните мощности е повече от 2 не се препоръчва паралелна работа.
В **Табл. H43** са посочени максималните токове на късо съединение, които протичат през автоматичните прекъсвачи на входните и изходните линии (съответно CBM и CBP на **Фиг. H42**), за най-разпространената схема на паралелна работа (два или три трансформатора с еднаква мощност). Данните са основани на следните хипотези:
■ Трифазната мощност на късо съединение на страна CpH на трансформатора е 500 MVA;
■ Машините са стандартни разпределителни трансформатори с напрежение 20/0.4 kV, чиито характеристики са посочени в таблицата;
■ Кабелите от всеки трансформатор към неговия автоматичен прекъсвач HH се състоят от едножилни проводници с дължина 5 m;
■ Между всеки автоматичен прекъсвач CBM и всеки автоматичен прекъсвач на изходната верига CBP е разположена захранваща шина с дължина 1 m;
■ Комутационната апаратура е разположена в напълно закрито разпределително табло с температура на околната среда 30 °C.
Освен това в тази таблица са посочени типове на автоматични прекъсвачи, произвеждани от Schneider Electric, препоръчвани за използване в качеството на автоматични прекъсвачи за входни и изходни линии.
Пример (виж **Фиг. H44** на следващата страница)
■ Избор на автоматичен прекъсвач за входна линия CBM:
За трансформатор с мощност 800 kVA са в сила следните данни In = 1,126 A; Icu (минимален ток) = 38 kA (от Табл. H43). При такива характеристики, съгласно таблицата, се препоръчва да се използва автоматичен прекъсвач тип Compact NS1250N (Icu = 50 kA)
■ Избор на автоматичен прекъсвач за изходна линия CBP:
От Табл. H43 се намира, че необходимата изключвателна възможност Icu за такива автоматични прекъсвачи е 56 kA. За трите изходни линии 1, 2 и 3 се препоръчва да се използват токоограничаващи автоматични прекъсвачи тип Compact NS400H, NS250H и NS100H. Във всеки случай номиналната изключвателна възможност Icu = 70 kA.

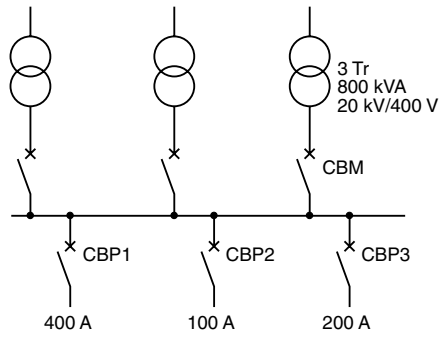
Таблица H43: Максимални стойности на тока на късо съединение, които трябва да се изключват от автоматични прекъсвачи на входни и изходни линии (съответно CBM и CBP) при паралелна работа на няколко трансформатора

Брой и номинални-мощ ности, в kVA, на трансформатори 20/0.4 kV	Минимална изключва телна възможност Icu на автоматични прекъсвачи на входни линии (CBM) , kA	Автоматични прекъсвачи CBM	Минимална изключвателна възможност Icu на автоматични прекъсвачи на изходни линии CBP, kA	Номинален ток In на автоматични прекъсвачи на изходни линии CBP 250 A
2 x 400	14	NW08N1/NS800N	27	NS250N
3 x 400	28	NW08N1/NS800N	42	NS250H
2 x 630	22	NW10N1/NS1000N	42	NS250H
3 x 630	44	NW10H1/NS1000N	67	NS250H
2 x 800	19	NW12N1/NS1250N	38	NS250H
3 x 800	38	NW12N1/NS1250N	56	NS250H
2 x 1,000	23	NW16N1/NS1600N	47	NS250H
3 x 1,000	47	NW16H1/NS1600N	70	NS250H
2 x 1,250	29	NW20H1/NS2000N	59	NS250H
3 x 1,250	59	NW20H1/NS2000N	88	NS250L
2 x 1,600	38	NW25H1/NS2500N	75	NS250L
3 x 1,600	75	NW25H2/NS2500H	113	NS250L
2 x 2,000	47	NW32H1/NS3200N	94	NS250L
3 x 2,000	94	NW32H2	141	NS250L

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Автоматичен прекъсвач

Стойностите на тока на късо съединение в произволно място на уредбата могат да се определят с помощта на таблици.



Фиг. H44: Паралелна работа на трансформатори

Техниката на „каскадиране" е основана на използване на токоограничаващи автоматични прекъсвачи и позволява да се монтират надолу по веригата комутационни апарати, кабели и други елементи със значително по-малки стойности на номиналните характеристики в сравнение с тези, които биха били необходими в противния случай. В резултат на това се опростява и поевтинява електрическата уредба.

Тези автоматични прекъсвачи осигуряват следните предимства:
□ селективност при задействане на защитата - пълно съгласуване с характеристиките на горестоящите автоматични прекъсвачи (CBM);
□ техника на „каскадиране" със съответната икономия на средства по отношение на всички елементи, разположени надолу по веригата.

Избор на автоматични прекъсвачи за изходни и крайни вериги

Използване на Табл. G39

С помощта на тази таблица може бързо да се определи стойността на трифазния ток на късо съединение в произволно място от електрическата уредба, познавайки:
■ Стойността на тока на късо съединение в точка, разположена над мястото, предназначено за монтаж на съответния автоматичен прекъсвач.
■ Дължината, сечението и материала на проводниците между тези две точки.
След това може да се избере автоматичен прекъсвач, за който изключвателната възможност е по-голяма от посочената табличната стойност.

Прецизно изчисляване стойността на тока на късо съединение

За да се пресметне по-точно стойността на тока на късо съединение, особено в случай, когато изключвателната възможност на автоматичния прекъсвач е незначително по-малка от стойността, получена от таблицата е необходимо да се използва метода, описан в т. 4 на Глава G.

Двуполюсни автоматични прекъсвачи (за фазов и неутрален проводник с един защитен полюс)

Тези автоматични прекъсвачи обикновено са комплектовани с максималнотоково защитно устройство само за фазовия полюс и могат да се използват в схеми TT, TN-S и IT. При схема IT трябва да се изпълнят следните условия:
■ Условие (B) от **Табл. G66** за защита на нулевия проводник в случай на двойно късо съединение.
■ Изключвателна възможност при късо съединение: двуполюсен автоматичен прекъсвач (фаза–неутрала) трябва да бъде способен да изключи с един полюс (при линейно напрежение) ток на двойно земно съединение, равен на 15 % от трифазния ток на късо съединение в мястото, където е монтиран, ако този ток е ≤ 10 kA; или 25 % от трифазния ток на късо съединение, ако той е > 10 kA.
■ Защита срещу индиректен допир: такава защита се осигурява в съответствие с правилата, предвидени за схема IT.

Недостатъчна изключвателна възможност при късо съединение

В разпределителни системи НН, особено в мрежи, работещи в тежки условия, понякога се получава, изчисления ток на късо съединение Isc да надхвърли изключвателната възможност Icu на автоматичните прекъсвачи, с които разполагате. Извършването на изменения по-горе в системата също води до надхвърляне изключвателните възможности на разположените по-долу автоматични прекъсвачи.
■ Решение 1: Проверете дали съответните автоматични прекъсвачи, разположени по-горе от тези, за които това се отнася, са токоограничаващи, защото в този случай може да се използва техниката на каскадиране (виж т. 4.5).
■ Решение 2: Монтирайте автоматични прекъсвачи с по-голяма изключвателна възможност. Такова решение е икономически целесъобразно в този случай само, ако засяга един или два автоматични прекъсвача.
■ Решение 3: Комбинирайте последователно разглежданите автоматични прекъсвачи с разположени по-горе по веригата токоограничаващи стопяеми предпазители (тип gG или aM). Тази схема трябва да отговаря на следните условия:
□ номиналните параметри на предпазителя трябва да бъдат подходящи;
□ не трябва да се монтира предпазител във веригата на неутралния проводник с изключение на определени схеми на уредби IT, в които при двойно късо съединение в нулевия проводник възниква ток, надхвърлящ изключвателна възможност на автоматичния прекъсвач. В този случай стопяването на предпазителя на неутралния проводник трябва да предизвика изключване на всички фази от автоматичния прекъсвач.

4.5 Съгласуване на автоматични прекъсвачи

Каскадиране

Термини и определения

Токоограничаващият автоматичен прекъсвач, ограничава пиковата стойност на тока на късо съединение, протичащ през него, и позволява да се използват във всички вериги, разположени надолу от мястото на неговия монтаж, комутационни апарати и елементи на вериги с много по-малки изключвателни възможности, термична и електродинамична устойчивост в сравнение с тези, които биха били необходими в противния случай. По-малките физически размери и намаляването на изискванията към характеристиките осигурява значителна икономия и съществено опростява монтажните работи. Трябва да се отбележи, че макар токоограничаващия автоматичен прекъсвач да влияе върху долустоящите вериги, увеличавайки, очевидно пълното съпротивление на захранващия източник при късо съединение, той не оказва такова влияние през останалото време. Например, при включване на мощен електродвигател (когато е много необходимо малко пълно съпротивление на захранващия източник). Представлява интерес новата серия токоограничаващи автоматични прекъсвачи Compact NS с изключително високи ограничаващи характеристики (NS100, NS160, NS250 и NS400).

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Автоматичен прекъсвач

Като цяло, за проверка на това, че условията на използване съответстват на изискванията на националните стандарти се реализират лабораторни изпитвания, а производителят трябва да осигурява съвместими комбинации от комутационни апарати.

Условия за използване

Повечето национални стандарти (включително и в България) допускат използването на техниката на каскадиране на комутационни апарати при условие, че количеството енергия, протичащо през токоограничаващия автоматичен прекъсвач е по-малко от това, което всички долустоящи автоматични прекъсвачи и елементи на веригата са способни да издържат без повреда.
На практика това може да се провери само чрез извършване на лабораторни изпитвания с автоматични прекъсвачи. Такива изпитвания се осъществяват от производителите, които обобщават тези резултати под формата на таблици. Благодарение на това потребителите могат да проектират сигурно схема за каскадно включване на прекъсвачи, основана на комбинация от препоръчвани типове автоматични прекъсвачи. Например, в **Табл. H45** са показани възможности за каскадиране на автоматични прекъсвачи тип C60, DT40N, C120 и NG125, разположени след токоограничаващи автоматични прекъсвачи NS250N, H или L, в трифазна електрическа уредба 230/400 V или 240/415 V.

Таблица H45: Пример за варианти на каскадиране в трифазна електрическа уредба 230/400 V или 240/415 V

Ефективна стойност на тока, kA				
Изключвателна възможност	150			NS250L
на горестоящи	50		NS250H	
токоограничаващи	35	NS250N		
автоматични прекъсвачи		▼	▼	▼
Изключвателна възможност	150			NG125L
на долустоящи автоматични	70		NG125L	
прекъсвачи (благодарение	40		C60L ⩽ 40 A	C60L ⩽ 40 A
на техниката на „	36	NG125N	NG125N	
каскадиране”)	30	C60H C60L	C60N/H/L	C60N/H C60L 50-63 A
	25	C60N C120N/H	C120N/H	C120N/H
	20	DT40N	DT40N	DT40N

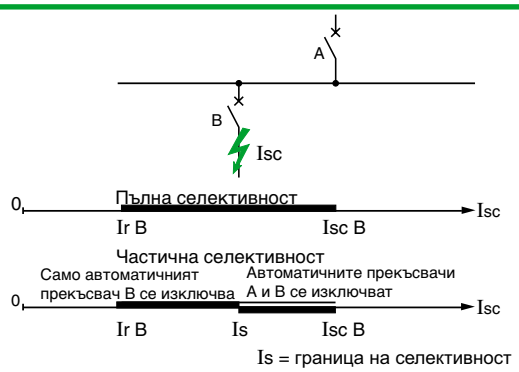
Предимства на каскадирането

Ограничаването на тока на късо съединение осигурява предимства на всички долустоящи вериги, които се управляват от съответните токоограничаващи автоматични прекъсвачи.
Този принцип не е ограничаващ, т.е. токоограничаващите автоматични прекъсвачи могат да се монтират в произволно място на електрическа уредба, в което долустоящите вериги биха имали в противния случай неадекватни характеристики.
Предимства:
- Опростено изчисляване токовете на късо съединение.
- По-широк избор на долустоящи комутационни апарати и уреди.
- Използване на комутационни апарати и уреди, проектирани за по-леки условия на експлоатация и следователно по-евтини.
- По-малки габаритни показатели на местата, където се монтират апаратите, тъй като обзавеждането е предназначено за по-малки токове и е по-компактно.

Селективността при изключване може да бъде пълна или частична и зависи от принципите на съгласуване между стойностите на токовете, времезакъсненията или комбинация от тях. Една от последните разработки е основана на използване принципите на логиката. Системата, патентована от Schneider Electric, използва предимствата както на токоограничаване, така и на селективността при изключване.

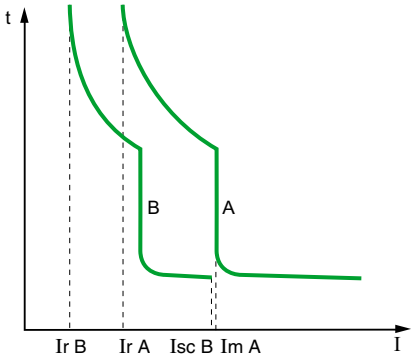
Принципи на селективно изключване

Селективността при изключване се осигурява от автоматични защитни устройства и се състои в това, че късото съединение, възникнало в произволно място на електрическата уредба, се изключва от защитно устройство, разположено непосредствено над това място, а всички останали защитни устройства не се изключват (виж **Фиг. H46**).

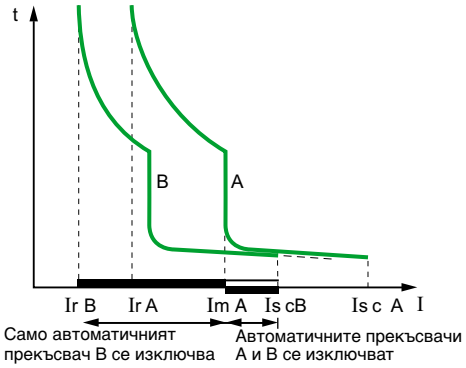


Фиг. H46: Пълна и частична селективност

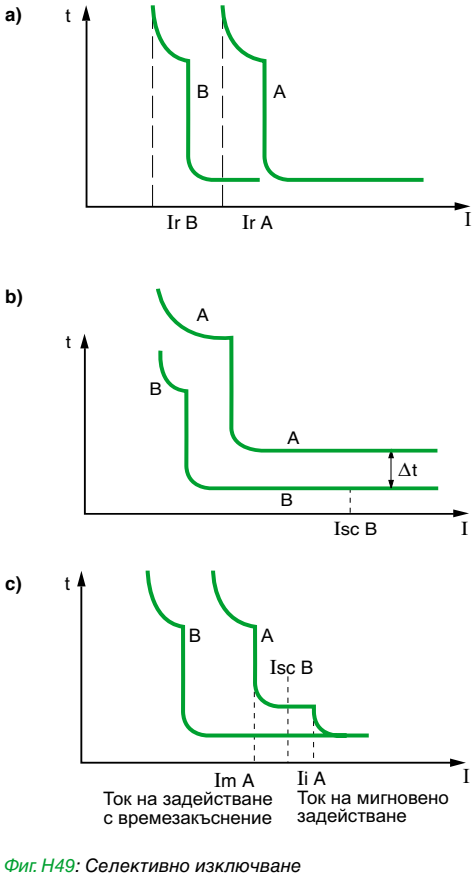
© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. H47: Пълно съгласуване между характеристики на автоматични прекъсвачи A и B



Фиг. H48: Частично съгласуване между характеристики на автоматични прекъсвачи A и B



Фиг. H49: Селективно изключване

Селективността между автоматични прекъсвачи A и B е пълно, ако максималната стойност на тока на късо съединение във веригата B (Isc B) не надхвърля настройката по ток на изключване на бързодействащата защита на автоматичния прекъсвач A (Im A). При това условие само прекъсвачът B ще изключва (виж **Фиг. H47**).

Селективност между автоматични прекъсвачи A и B е частично, ако максималният възможен ток във веригата B е по-голям от настройката по ток на изключване на бързодействащата защита на автоматичния прекъсвач A. При тези условия и двата автоматични прекъсвача A и B ще изключват (виж **Фиг. H48**).

Защита срещу претоварване: селективност базирана на стойностите на токовете (виж **Фиг. H49a**)

Този метод се базира на задаване на различни прагове на изключване по ток в различни нива на електрическата уредба, от по-ниски настройки по ток за долустоящите комутационни апарати към по-високи настройки с приближаване към захранващия източник. Както се посочи по-горе, в зависимост от конкретните условия селективността може да бъде пълна или частична.

Практически селективност се осигурява, когато:

- IrA/IrB > 2:

Защита срещу малки токове на късо съединение: селективност базирана на степенувани времезакъснения (виж **Фиг. H49b**)

Този метод се реализира чрез регулиране на изключвателите, задействащи с времезакъснение. При това долустоящите автоматични прекъсвачи имат най-малки времена на заработване. С приближаване на автоматичните прекъсвачи към захранващия източник времезакъснението се увеличава.

В показаната схема с две нива горестоящият автоматичен прекъсвач A (например, прекъсвач тип Masterpact с електронен изключвател) има достатъчно времезакъснение, за да осигури пълно съгласуване с характеристиките на прекъсвача B.

Селективност, използваща комбинация от методите 1 и 2 (виж **Фиг. H49c**)

Принципът с времезакъснение в комбинация със степенуването на праговете на изключване по ток може да подобри селективното действие на защитните устройства в електрическата уредба.

Горестоящият автоматичен прекъсвач има две настройки на бързодействащия изключвател:

- Im A: с времезакъснение;
- Ii: с мигновено задействане.

Селективността е пълна, ако Isc B < Ii.

Защита срещу големи токове на късо съединение: селективност, използваща енергията на дъгата

Тази технология, реализирана в токоограничаващите автоматични прекъсвачи от серия Compact NS, е много ефективна за осигуряване на пълна селективност.

Принцип на действие: Когато много голям ток на късо съединение се открие от двата автоматични прекъсвача A и B техните контакти се отварят едновременно. В резултат, стойността на тока се ограничава.

- Много високата стойност на енергията на дъгата на ниво B предизвиква изключване на автоматичния прекъсвач B.
- След това енергията на дъгата се ограничава на ниво A и не е достатъчна за да предизвика изключване на автоматичния прекъсвач A.

Практически селективността при изключване при автоматични прекъсвачи от серия Compact NS е пълна, ако отношението между номиналните токове на прекъсвачите A и B е по-голямо от 2.5.

Селективност по ток

Селективността по ток се постига чрез степенуване праговете на изключване на мигновенните (магнитните) изключватели на последователно свързани автоматични прекъсвачи.

- Долустоящият автоматичен прекъсвач не е токоограничаващ.

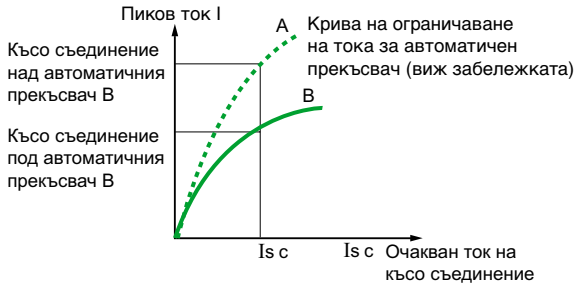
В такава ситуация пълна селективност е практически невъзможна, защото Isc A ≈ Isc B. Затова двата автоматични прекъсвача, като правило, ще изключват веригата едновременно. В този случай селективността е частична и ограничена от стойността на тока Im на горестоящия автоматичен прекъсвач (виж **Фиг. H48**).

- Долустоящият автоматичен прекъсвач е токоограничаващ.

Подобрено селективно изключване може да се получи, при долустоящ автоматичен прекъсвач. В случай на късо съединение в място, разположено под прекъсвача B, ограничената стойност на пиковия ток IB ще предизвика заработване по съответен начин на настроения максималнотоков изключвател на прекъсвача B, но ще бъде недостатъчен за да предизвика изключване на автоматичния прекъсвач A.

© Schneider Electric - всички права запазени

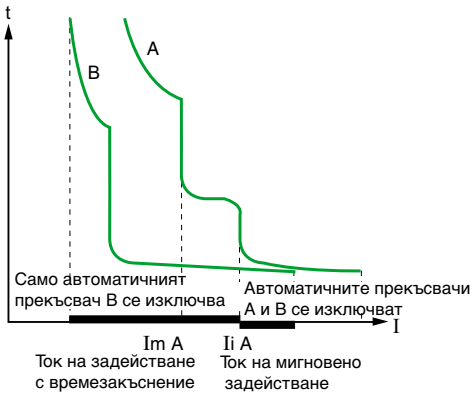
4 Автоматичен прекъсвач



Фиг. H50: Долустоящ токоограничаващ автоматичен прекъсвач

Забележка: Всички автоматични прекъсвачи НН (разгледани тук) притежават в някаква степен токоограничаване, даже тези, които не се отнасят към токоограничаващите. Това е причина за нелинейната характеристика, показана за стандартен автоматичен прекъсвач A на **Фиг. H50**. Обаче, за нормална работа на такава схема са необходими грижливи изчисления и изпитвания.

■ Горестоящият автоматичен прекъсвач е бързодействащ и заработва с малко времезакъснение. Такива прекъсвачи се комплектоват с изключватели, осигуряващи нерегулируемо механично времезакъснение.Това закъснение е достатъчно, за да осигури пълна селективност със всеки долустоящ бързодействащ автоматичен прекъсвач при каква да е стойност на тока на късо съединение, включително до Ii A (виж **Фиг. H51**).



Фиг. H51: Използване на горестоящ „селективен автоматичен прекъсвач"

Пример

Автоматичният прекъсвач A е от серия Compact NS250N с изключвател, имащ малко времезакъснение.
Ir = 250 A, магнитния изключвател е настроен на ток на изключване 2000 A

Автоматичният прекъсвач B е от серия Compact NS100N.
Ir = 100 A

В каталога на Schneider Electric е посочен граничен ток при селективно изключване 3000 A (съществено подобряване над стойността от 2500 A, получена при използване на стандартен прекъсвач).

За реализация на принципа на селективност, основан на изключване на вериги с времезакъснение, се използват автоматични прекъсвачи, които в някои страни се наричат „селективни". Използването на такива прекъсвачи е относително просто и се състои в забавяне момента на изключване на последователно свързани автоматични прекъсвачи.

Селективност по време за задействане

За реализация на този метод е необходимо:

■ Да се вградят „функции на времезакъснение" в механизмите на изключвателите на автоматичните прекъсвачи;

■ Да се използват автоматични прекъсвачи, способни да издържат на термични и механични натоварвания при повишени стойности на токовете и предполагаеми времезакъснения.

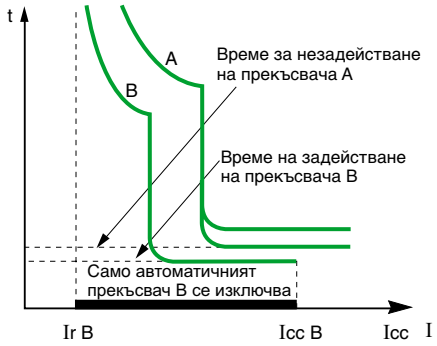
Два последователно съединени автоматични прекъсвача A и B, т.е. пропускащи един и същи ток (са селективни), ако времето за задействане на долустоящия автоматичния прекъсвач B е по-малко от времето за незадействане на горестоящия автоматичен прекъсвач A.

© Schneider Electric - всички права запазени

Практически пример на селективност на няколко нива с автоматични прекъсвачи на Schneider Electric от серията Masterpact (с електронни защитни устройства)

Тези автоматични прекъсвачи могат да бъдат комплектовани с електронни защити с регулируеми времезакъснения, които позволяват четири дискретни времеви настройки. При това:

- Времезакъснението, съответстващо на дадено ниво, е по-голямо от общото време на изключване на тока на предишно по-ниско ниво.
- Времезакъснението, съответстващо на първото ниво, е по-голямо от общото време на изключване на късото съединение от бързодействащия автоматичен прекъсвач (например, тип Compact NS) или стопяеми предпазители (виж **Фиг. H52**).



Фиг. H52: Селективност по времезакъснение

Ограничаване на тока и селективно изключване с използване енергията на дъгата

Каскадирането между два комутационни апарата се постига чрез изключване на горестоящия автоматичен прекъсвач A, за да се „помогне" на долустоящия автоматичен прекъсвач B да изключи тока. Границата населективност Is е под максималната изключвателна възможност Icu на автоматичния прекъсвач B. Технологията, изпълнена чрез използване енергията на дъгата и реализирана в автоматичните прекъсвачи Compact NS позволява да се повиши стойността на тока до която се наблюдава селективно изключване (границата на селективност):

- Токът на късо съединение е много голям за долустоящия автоматичен прекъсвач Compact NS (B) и предизвиква неговото мигновено изключване, което означава ограничаване на тока на късо съединение.

Този ограничен ток на късо съединение не е достатъчен да предизвика мигновено изключване на по-големия горестоящ автоматичен прекъсвач A, а само отваряне на неговите контакти с образуване на електрическа дъга между тях. В резултат напрежението на дъгата ограничава още повече тока на късо съединение. Обаче, енергията на дъгата е недостатъчна, за да предизвика мигновено изключване на автоматичния прекъсвач A. По този начин автоматичния прекъсвач A помага да се изключи прекъсвача B без той самия да изключи. Границата на селективност може да бъде по-голяма от стойността на тока Icu B. В този случай се осигурява пълна селективност при прилагане на техниката каскадиране.

При автоматичните прекъсвачи Compact NS това се постига благодарение на тяхната уникална конструкция – т.нар. „ротоактивен принцип на действие".

Предимство на пълната селективност при използване на автоматични прекъсвачи от серията Compact NS

Основното предимство се състои във възможността да се осигури естествена пълна селективност при условие, че:

- Отношението между двете настройки на изключвателите по ток е по-голямо от 1.6.
- Отношението между номиналните токове на два последователно включени автоматични прекъсвачи е по-голямо от 2.5.

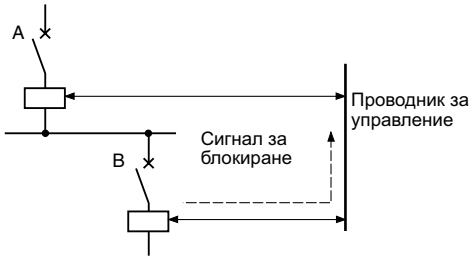
© Schneider Electric - всички права запазени

Схемите за селективност, основани на логическа техника, са възможни при употреба на автоматични прекъсвачи с вградени електронни защити, предназначени за тази цел (Compact, Masterpact) и проводник за управление.

Логическа селективност

За тази система на селективно изключване са необходими автоматични прекъсвачи, комплектовани със специални електронни изключватели, заедно с вериги за управление при обмен на данни между автоматичните прекъсвачи. При наличие на две нива A и B (виж **Фиг. H53**) автоматичният прекъсвач A се настройва за мигновено изключване освен, ако реле на автоматичния прекъсвач B не изпрати сигнал, потвърждаващ това, че под прекъсвача B е станало късо съединение. Този сигнал предизвиква времезакъснение на изключвателя към автоматичния прекъсвач A и по такъв начин осигурява резервна защита в случай, че прекъсвачът B не може да изключи това късо съединение и т.н.

Освен това тази система (патентована от Schneider Electric - Merlin Gerin) позволява бързо да се открие мястото на късо съединение.



Фиг. H53: Логическа селективност

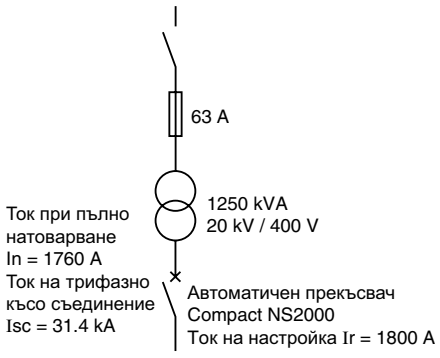
4.6 Селективно изключване на трансформатор CpH/HH в потребителска подстанция

Обикновено трансформаторът в потребителска подстанция се защитава с високоволтови стопяеми предпазители, с номинални параметри, съобразени с тези на трансформатора, съгласно принципите, изложени в стандартите IEC 60787 и
IEC 60420, и препоръките на производителя на посочените предпазители.

Основното изискване се състои в това, че високоволтовият стопяем предпазител не трябва да задейства при къси съединения на страна HH, ставащи под автоматичния прекъсвач на този трансформатор. Затова времетоковата характеристика на този прекъсвач трябва да се разполага наляво от времетоковата характеристика на изключване на стопяемия предпазител.

Това изискване обикновено определя максималните настройки на тока на задействане на защитата, осигурявана от автоматичния прекъсвач HH:

- Максимална настройка на тока на късо съединение на електромагнитния изключвател;
- Максимално времезакъснение, допустимо за дадения изключвател (виж **Фиг. H54**).



Фиг. H54: Пример

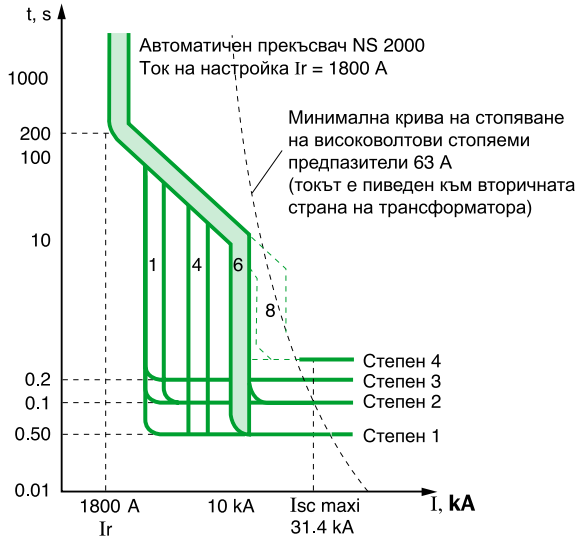
© Schneider Electric - всички права запазени

4 Автоматичен прекъсвач

- Мощност на късо съединение на изводи СрН на трансформатора: 250 MVA
- Трансформатор СрН/НН: 1250 kVA; 20/0.4 kV
- Високоволтови предпазители: 63 A
- Кабели, разположение между трансформатора и автоматичния прекъсвач НН: едножилни, 10 m
- Автоматичен прекъсвач НН: Compact NS2000, ток на настройка Ir = 1800A

Каква е максималната настройка по ток на изключване при късо съединение и максимално допустимото времезакъснение?

Кривите на **Фиг. H55** показват, че селективно изключване се осигурява, ако бързодействащият изключвател на автоматичния прекъсвач, е настроен на:
- за ток ⩽ 6 Ir = 10,8 kA;
- с времезакъснение на степен 1 или 2.



Фиг. H55: Криви на задействане на високоволтови стопяеми предпазители и автоматичен прекъсвач НН

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава J
Защита от пренапрежения в електрически уредби НН

Съдържание

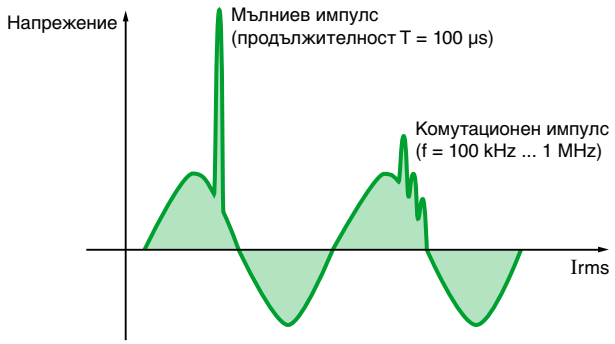
1	**Общи положения**	**J2**
	1.1 Термини и определения	J2
	1.2 Типове пренапрежения	J2
	1.3 Основни характеристики на пренапреженията	J4
	1.4 Режими на разпространяване на пренапрежения	J5
2	**Защитни устройства срещу пренапрежения**	**J6**
	2.1 Устройства за първична защита (мълниезащита на сгради и съоръжения)	J6
	2.2 Устройства за вторична защита (защита на вътрешни уредби от пренапрежения)	J8
3	**Защита срещу пренапрежения в електрически уредби НН**	**J11**
	3.1 Описание на устройства за защита срещу пренапрежение	J11
	3.2 Стандарти	J11
	3.3 Данни за устройства за защита срещу пренапрежение, съгласно IEC 61643-1	J11
	3.4 Стандарти за мълниезащита	J13
	3.5 Стандарти за катодни отводители	J13
4	**Избор на защитно устройство**	**J14**
	4.1 Защитни устройства в зависимост от схемата на заземяване	J14
	4.2 Вътрешна архитектура на катодни отводители	J15
	4.3 Правила за монтаж	J16
	4.4 Указания за избор	J17
	4.5 Избор на прекъсвач	J22
	4.6 Сигнализация за работоспособността на катодния отводител	J22
	4.7 Пример за приложение: супермаркет	J23

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Общи положения

1.1 Термини и определения

Пренапрежението е напреженов импулс или вълна, наслагвани върху номиналното мрежово напрежение (виж **Фиг. J1**).



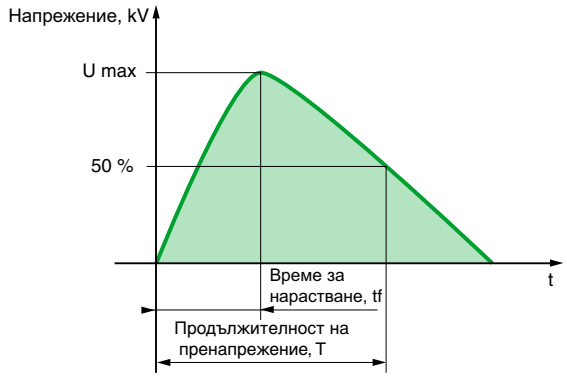
Фиг. J1: Примери за пренапрежение

Този тип пренапрежение се характеризира с (виж **Фиг. J2**):

- време за нарастване tf, µs
- скорост на нарастване S, kV/µs

Пренапреженията нарушават работата на електрообзавеждането и предизвикват електромагнитно излъчване. Освен това, продължителността на пренапрежението T създава енергийна вълна в електрическите вериги, която може да разруши електрообзавеждането.

J2



Фиг. J2: Основни характеристики на пренапреженов импулс

1.2 Типове пренапрежения

Дефинират се четири типа пренапрежение, които могат да нарушат работата на електрическите уредби и потребители:

- Атмосферни пренапрежения.
- Работни пренапрежения.
- Преходни пренапрежения с промишлена честота.
- Пренапрежения, предизвикани от електростатичен разряд.

Атмосферни пренапрежения

Вероятност за появяване на мълния – общи сведения

Във всеки момент в атмосферата на Земята се образуват от 2000 до 5000 буреносни облаци. Буреносните облаци се съпровождат с мълниеви разряди, които представляват сериозна заплаха за хората и електрообзавеждането. Мълниевите разряди попадат върху земната повърхност с честота (30 … 100) бр./s. Всяка година Земята е подложена на около 3 милиарда удари от мълниеви разряди.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Общи положения

■ Всяка година в света хиляди хора и животни са подложени на удари от мълнии и голяма част от тях загиват.

■ Освен това, мълнията е причина за многобройни пожари, голяма част от които се развиват във ферми (съпроводени с разрушаване на сгради или извеждането им от строя).

■ Мълниевият разряд също така поразява трансформатори, електромери, битови електрически уреди, електрически и електронни системи в бита и промишлеността.

■ Мълнията най-често удря високите сгради.

■ Стойността на загубите, предизвикани от мълнии е много голяма.

■ Трудно е да се оценят последиците от нарушаване работата на компютърните и телекомуникационните мрежи, авариите на PLC и отказите в системи за управление.

Освен това, загубите, предизвикани от аварирането на машините, могат да имат финансови последици, надхвърлящи стойността на разрушеното електрообзавеждане от мълниев удар.

Характеристики на мълниев разряд

В **Табл. J3** са показани данни от Комитета по мълниезащита (Технически комитет 81) на IEC. Съгласно от тези данни 50 % от мълниевите разряди имат сила на тока над 33 kA, а 5 % - над 85 kA. Енергията на разрядите е много висока.

Таблица J1: Стойности на мълниевия разряд, съгласно Комитета по мълниезащита на IEC

Вероятност за надхвърляне на пиковите стойности P, %	Максимален ток I, kA	Скорост на нарастване S, kA/μs	Продължителност на пренапрежение T, s	Мълниев разряд n, бр.
95	7	9.1	0.001	1
50	33	24	0.01	2
5	85	65	1.1	6

Важно е да се определи вероятността за адекватна защита на обекта. Освен това, мълниевият ток е импулсен ток с висока честота (HF), достигаща до 1 MHz.

Мълнията се предизвиква от разряда на електрически заряди, натрупани в купесто-дъждовни облаци, които образуват сферичен кондензатор със Земята. Мълнията предизвиква сериозни загуби. Тя е високочестотен електрически процес, който създава пренапрежения във всички токопроводими елементи, и особено в електрическите потребители и проводници.

Ефекти от мълниевия разряд

Токът на мълнията е високочестотен електрически ток. Освен значителните ефекти от електромагнитна индукция и пренапрежения, той предизвиква същите въздействия върху проводника, както всеки друг ток с ниска честота:

■ Топлинни ефекти: разтопяването в точките на въздействие на мълнията и топлинното действие на тока предизвикват пожари;

■ Електродинамичен ефект: при циркулация на мълниеви токове в паралелни проводници се появяват сили на привличане или отблъскване между проводниците, които предизвикват разкъсване или механични деформации (смачкване или сплескване на проводници);

■ Взривен ефект: мълнията може да предизвика разширяване на въздуха и образуване на зони с повишено налягане, заемащи десетки и повече метри. Ударната вълна разрушава прозорци или прегради и може да изхвърли животни и хора на няколко метра от тяхното първоначално положение. Освен това, ударната вълна се преобразува в същото време и в звукова вълна – гръм;

■ Пренапрежения в проводниците на въздушни електрически и телефонни линии след въздействие на мълния върху въздушни електрически или телефонни линии;

■ Пренапрежения, индуцирани от електромагнитното излъчване на канала на мълнията, по който протича силен импулсен ток. Той действа като антена в радиус на няколко километра;

■ Увеличаване потенциала на земята поради циркулация на мълниевия ток в почвата. Това обяснява индиректните удари от мълниевите разряди върху електрообзавеждането и от крачно напрежение.

Работни пренапрежения

Внезапното изменение на установения режим на работа на електрическата мрежа предизвиква преходен процес. Като правило, това са високочестотни или затихващи пренапреженови вълни (виж **Фиг. J1**). Смята се, че това са вълни с малка скорост на нарастване - тяхната честота се изменя от няколко десетки до няколко стотици kHz.

Работни пренапрежения могат да бъдат предизвикани от:

■ изключване на защитни устройства (стопяем предпазител, прекъсвач) и изключване или включване на апаратура за управление (релета, контактори и т.н.);

■ индуктивни вериги поради включване и спиране на двигатели или изключване на трансформатори в подстанции СрН/НН;

■ капацитивни вериги поради свързване на кондензаторни батерии към мрежа;

■ всички устройства,които съдържат бобина, кондензатор или трансформатор на захранващия вход: релета, контактори, телевизори, принтери, компютри, електрически печки, филтри и др.

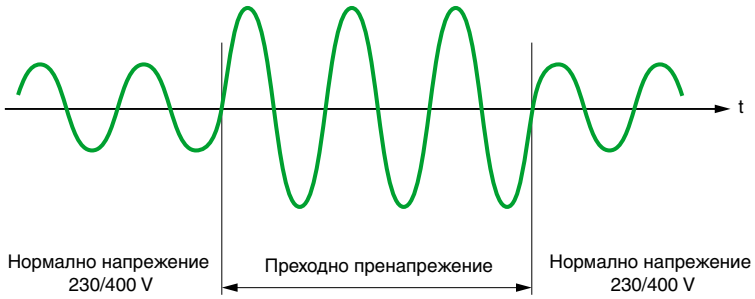
© Schneider Electric - всички права запазени

1 Общи положения

Преходни пренапрежения с промишлена честота (виж **Фиг. J4**)

Тези пренапрежения имат честота, равна на мрежовата (f = 50, 60 или 400 Hz) и могат да бъдат причинени от:

- Повреда на изолацията на фаза/корпус или фаза/земя в мрежа с изолирана или заземена през голямо съпротивление неутрала или поради прекъсване на неутралния проводник. При тази повреда еднофазните устройства ще бъдат захранени с 400 V вместо с 230 V;
- Електрически пробив в кабел. Например, падане на проводник СрН върху линия НН;
- Образуването на електрическа дъга в защитния искров разрядник ВН или СрН предизвиква повишаване потенциала на Земята по време на действие на защитните устройства.



Фиг. J4: Преходно напрежение с промишлена честота

Пренапрежения поради електрически разряд

В суха среда, електрическите заряди се натрупват и създават много силно електростатично поле. Например, човек, вървящ с изолирани обувки по килим, ще получи електрически потенциал до няколко kV. Ако този човек премине близо до проводима конструкция ще възникне електрически разряд от порядъка на няколко ампера за много кратко време (няколко наносекунди). Ако конструкцията включва чувствително електронно устройство, например, компютър, неговите елементи или платки могат да бъдат повредени.

Трябва да бъдат отчетени три фактора:
- *Директен или индиректен удар на мълниев разряд може да има разрушителни последици за електроенергийната система в радиус от няколко километра.*
- *Производствените или работните пренапрежения нанасят значителни загуби.*
- *Това, че уредбата се захранва с подземни кабели по никакъв начин не я защитава от поражения, макар и да ограничава вероятността от директен удар.*

1.3 Основни характеристики на пренапреженията

Таблица J5 показва усреднени основни характеристики на пренапрежения.

Таблица J5: Основни характеристики на пренапрежения

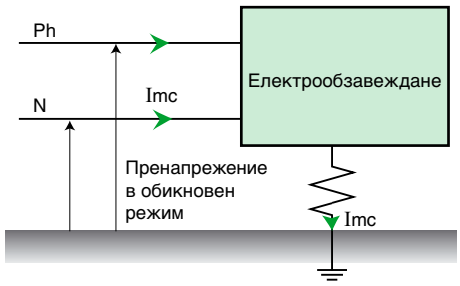
Тип на пренапрежение	Коефициент на пренапрежение	Продължителност	Скорост на нарастване на предния фронт на вълната или честота
Промишлена честота (повреда в изолация)	⩽ 1.7	Дълга 30 до 1000 ms	Промишлена честота (50 - 60 - 400 Hz)
Работно	2 to 4	Кратка 1 до 100 ms	Средна 1 до 200 kHz
Атмосферно	> 4	Много кратка 1 до 100 µs	Много висока 1 до 1000 kV/µs

© Schneider Electric - всички права запазени

1.4 Режими на разпространяване на пренапрежения

Обикновен режим

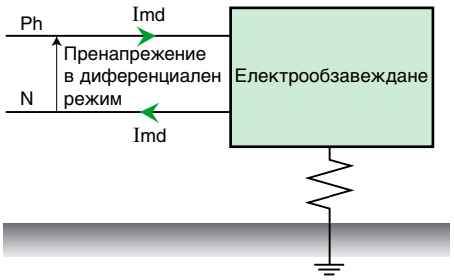
Пренапреженията в обикновен режим възникват между токопроводими части и земя: фаза/земя или неутрала/земя (виж **Фиг. J6**).
Те са особено опасни за устройства, чиято конструкция е заземена, поради вероятност от електрически пробив в изолацията.



Фиг. J6: Обикновен режим

Диференциален режим

Пренапреженията в диференциален режим циркулират между проводници под напрежение фаза/фаза или фаза/неутрала (виж **Фиг. J7**). Те са особено опасни за електронно обзавеждане, чувствително компютърно обзавеждане и т.н.



Фиг. J7: Диференциален режим

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Защитни устройства срещу пренапрежения

Два основни типа защитни устройства се използват за гасене или ограничаване на пренапрежения - устройства за първична и вторична защита.

2.1 Устройства за първична защита IEPF (1) (мълниезащита на сгради съоръжения)

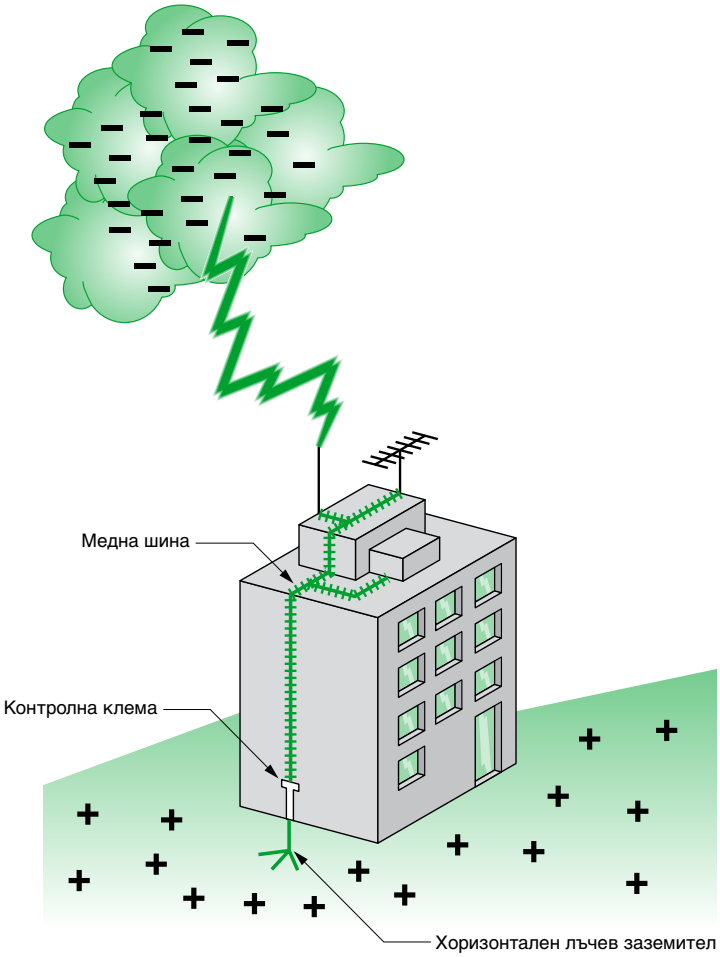
Тези устройства са предназначени за защита от преки мълниеви удари. Те улавят и отвеждат тока на мълнията към земя. Принципът на работа е основан на защитна зона, определена от метална конструкция, разположена по-високо от всички останали елементи.

Този принцип се използва за всеки пик-ефект, създаван от мачта, сграда или много висока метална конструкция.

Определят се три типа първични защити:
- Пръстови мълниеотводи. Това са най-старите и известни устройства за мълниезащита;
- Мълниеотводни въжета;
- Мълниеприемна мрежа или Фарадеев кафез.

Пръстов мълниеотвод

Мълниеотводът представлява конусообразен прът, разположен на покрива на сградата. Той се заземява с един или няколко токоотвода (обикновено медни шини) (виж **Фиг. J8**).



Фиг. J8: Пример на защита тип IEPF с помощта на мълниеотвод

(1) IEPF - Protection of External Installations Against Lightning (защита на външни уредби срещу мълния)

© Schneider Electric - всички права запазени

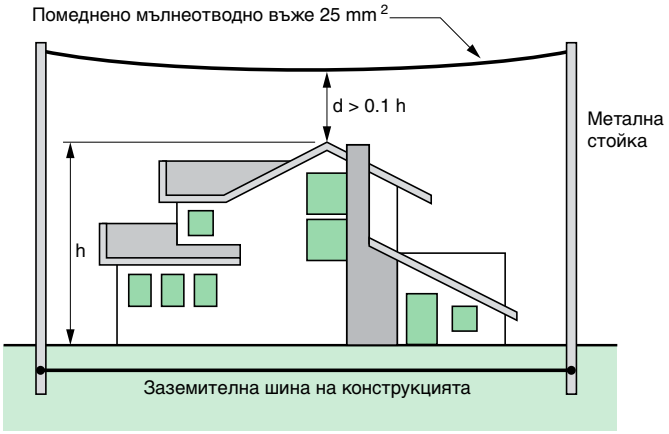
2 Защитни устройства срещу пренапрежения

Проектирането и монтажът на мълниеотвода е работа, която се извършва от специалист. При това е необходимо да се осигури съответно разположение на медните токоотводи, контролните клеми и лъчистият заземител, за отвеждане на високочестотните токове от мълния към земя, а също и тяхното разстояние от проводниците на енергийната система (а също от газо-, водопроводи и др.).

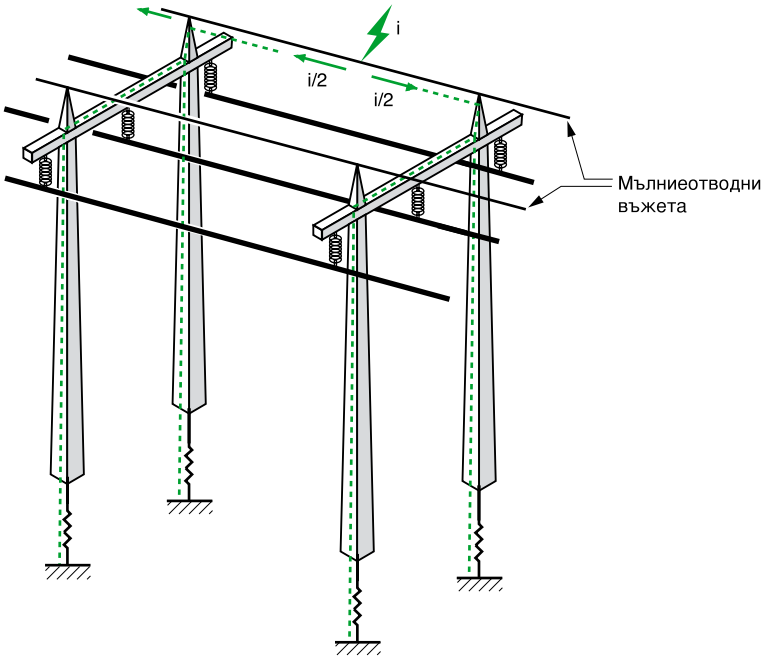
Освен това, отвеждането на тока на мълнията към земя индуцира пренапрежение, поради електромагнитно излъчване в защитаваните електрически вериги и сгради. Тези пренапрежения могат да достигнат няколко десетки kV. Затова е необходимо симетрично да се раздели протичащия надолу ток в два, четири или повече токоотводи, за да се минимизират електромагнитните ефекти.

Мълниеотводни въжета

Тези въжета се опъват над защитавания обект (виж **Фиг. J9**). Този метод се използва за специални обекти: площадки за изстрелване на ракети, отбранителни съоръжения и мълниезащитни въжета за въздушни високоволтови електропроводи (виж **Фиг. J10**).



Фиг. J9: Пример на защита тип IEPF с помощта на мълниеотводни въжета



Фиг. J10: Мълниезащитни въжета

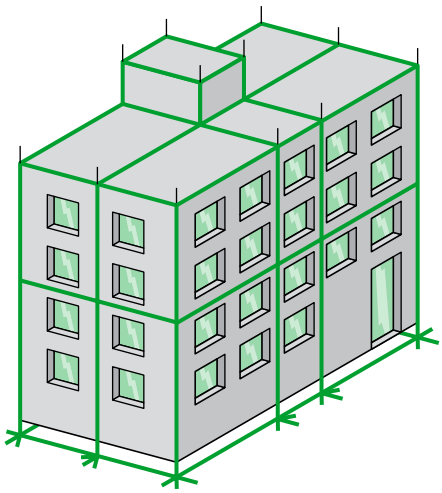
© Schneider Electric - всички права запазени

2 Защитни устройства срещу пренапрежения

Устройствата за първична защита (IEPF), като мълниеприемна мрежа или мълниеотводно въже, се използват за защита от директни удари на мълния. Тези устройства не предотвратяват разрушителното вторично въздействие върху обзавеждането. Например, от повишаване потенциала на земята или от електромагнитна индукция при протичане на ток към земята. За ограничаване на вторичните ефекти е необходимо допълнително да се използват нисковолтови катодни отводители.

Мълниеприемна мрежа (Фарадеев кафез)

Този принцип се използва за защита на сгради, в които е разположено компютърно обзавеждане или обзавеждане за производство на интегрални схеми. Той съдържа редица вертикални токоотводи, разположени от външната страна на сградата. Хоризонтални връзки между токоотводите се изпълняват ако сградата е висока, например, през всеки два етажа (виж **Фиг. J11**). Вертикалните токоотводи се заземяват с лъчисти заземители. В резултат се получава мрежа, изградена от клетки с размери 15 x 15 m или 10 x 10 m. Така се създава по-добра еквипотенциална връзка на сградата и разделяне токовете на мълнията, което значително намалява електромагнитното поле и индукцията.



Фиг. J11: Пример на защита тип IEPF, използваща мълниеприемна мрежа

Вторичните защитни устройства (IIPF), се разделят на две категории:
- *устройства за последователна защита;*
- *устройства за паралелна защита.*

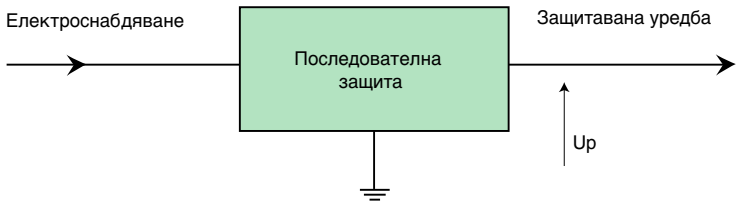
Устройствата за последователна защита се използват за специфични системи и приложения. Устройствата за паралелна защита се използват за защита на захранващи силови вериги, телефонни мрежи и вериги за управление (шини).

2.2 Устройства за вторична защита IIPF (2) (защита на вътрешни уредби от пренапрежения)

Това са устройства за защита от атмосферни, работни или пренапрежения с промишлена честота. Те могат да се класифицират по начина на тяхното присъединяване в уредбата - на последователна или паралелна защита.

Устройство за последователна защита

Това устройство е свързано последователно със захранващите проводници на защитаваната уредба (виж **Фиг. J12**).



Фиг. J12: Принцип на последователна защита

Трансформатори
Те намаляват пренапреженията за сметка на индуктивния ефект и отстраняват определени хармоници при подходящо свързване на първичната и вторичната намотка. Тази защита не е много ефективна.

Филтри
Те са построени с такива компоненти като съпротивления, индуктивни бобини и кондензатори. Те служат за ограничаване пренапрежения при нарушаване режимите на работа в ясно зададен честотен диапазон. Тези устройства не са предназначени за ограничаване на атмосферните пренапрежения.

(2) IIPF - Protection of Internal Installations Against lightning (защита на вътрешни уредби срещу мълния).

© Schneider Electric - всички права запазени

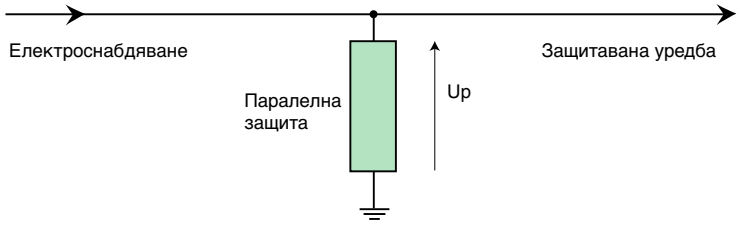
2 Защитни устройства срещу пренапрежения

Вълнови абсорбери
Те са изградени от въздушни индуктивни бобини (без магнитопровод), които ограничават пренапреженията, и разрядници, които отвеждат тока. Те са подходящи за защита на чувствително електронно и компютърно обзавеждане, но защитават само срещу пренапрежение. Те са тежки и много скъпи.

Мрежови кондиционери и статични източници на непрекъсваемо захранване (UPS)
Тези устройства се използват главно за защита на чувствително обзавеждане, като компютърно обзавеждане и изискват висококачествено електрозахранване. Те могат да се използват за регулиране на напрежението и честотата, подтискане на смущения и осигуряване на непрекъснато електроснабдяване, дори и в случай на изключване на мрежовото електрозахранване (UPS). От друга страна, те не са защитени от големи атмосферни пренапрежения и изискват използването на катодни отводители.

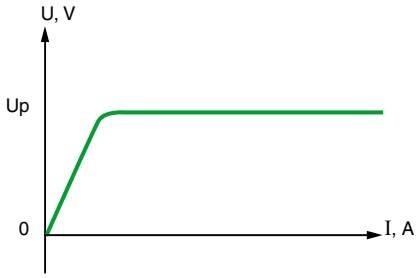
Устройство за паралелна защита

Принцип на работа
Устройството за паралелна защита може да се използва в уредби с произволна мощност (виж **Фиг. J13**). Този тип защитно устройство е най-разпространено.



Фиг. J12: Принцип на паралелна защита

Основни характеристики
- Номиналното напрежение на защитното устройство трябва да отговаря на мрежовото напрежение на входа на уредбата.
- При отсъствие на пренапрежение ток на утечка не трябва да протича през защитното устройство в режим на очакване (standby).
- При пренапрежение, по-високо от допустимата праговата стойност за защитаваната уредба, защитното устройство трябва бързо да отведе тока, предизвикан от пренапрежението, към земя, ограничавайки напрежението до защитното ниво Up (виж **Фиг. J14**).



Фиг. J14: Типична волт-амперна характеристика на идеално защитно устройство

След отстраняване на пренапрежението защитното устройство прекратява провеждането на ток и се връща в режим на очакване. По-долу е описана идеалната волт-амперната характеристика:
- времето за реакция на защитното устройство tr трябва да бъде колкото се може по-кратко за бърза защита на обекта;
- защитното устройство трябва да бъде способно да пренесе енергията, предизвикана от очакваното пренапрежение на защитавания обект;
- защитното устройство трябва да бъде изчислено за входен номинален ток In.

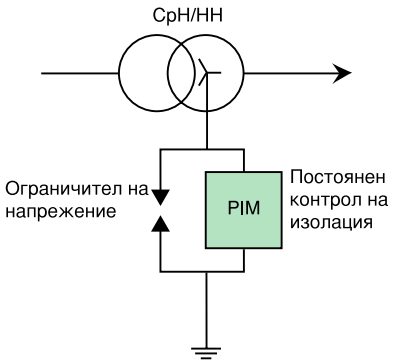
© Schneider Electric - всички права запазени

2 Защитни устройства срещу пренапрежения

Използвани устройства

■ Ограничители на напрежение (дали да се използва искрова междина)

Те се използват в подстанции СрН/НН на изходите на трансформаторите при схема на заземяване IT. Те могат да отвеждат пренапрежение към земя, особено пренапрежение с промишлена честота (виж **Фиг. J15**).



Фиг. J15: Ограничител на напрежение

■ Нисковолтови катодни отводители

С този термин се означават различни устройства по технология и предназначение. Нисковолтовите катодни отводители са блокове, които се монтират в разпределително табло НН. Някои модели се монтират в силовите контакти или са вградени в различни електроуреди, но те имат малка пропускателна способност и не могат да защитават срещу големи пренапрежения.

■ Слаботокови катодни отводители за малък ток или устройства за защита от пренапрежение

Те защитават телефонни или комутационни мрежи от пренапрежения поради външни (мълния) и вътрешни причини (смущения, предизвикани от работата на други обзавеждане, комутация на разпределителни устройства и др.). Нисковолтовите ограничители на пренапрежение за малък ток се монтират в разпределителни табла или се вгражда в различни устройства.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита срещу пренапрежение в електрически уредби НН

3.1 Описание на устройства за защита срещу пренапрежение

Устройство за защита срещу пренапрежение (SPD) е устройство, което ограничава амплитудата на пренапрежението в преходни режими, до големина, безопасна за електрическата уредба и обзавеждане. Той отвежда към земята тока, предизвикан от пренапрежение.
Ограничителят има един или няколко нелинейни компоненти.
Ограничителят отстранява пренапрежение:
- В обикновен режим: между фаза и земя или между неутрала и земя;
- В диференциален режим: между фази или между фази и неутрала.

Когато пренапрежението надхвърли праговата стойност Uc ограничителят отвежда в обикновен режим енергията към земя. В диференциален режим отвежданата енергия се насочва към друг активен проводник.
Ограничителят на пренапрежение има вътрешно устройство за топлинна защита, което го защитава от изгаряне в края на срока на служба. Постепенно, при нормално използване, след издържане на няколко пренапрежения, SPD се превръща в проводимо устройство. Индикатор информира потребителя, когато се изчерпи ресурса на устройството.
Някои SPD имат дистанционна сигнализация за състоянието си.
Защитата от къси съединения се осъществява от външен автоматичен прекъсвач.

3.2 Стандарти

Международен стандарт IEC 61643-1 издание 02/2005

Устройство за защита от пренапрежения, свързано към разпределителна мрежа НН.
Дефинират се три типа изпитвания:
- Изпитвания клас I: извършват се с използване на номинален ток на разряда (In), издържано импулсно напрежение 1.2/50 μs и импулсен ток Iimp.

Методите за изпитване клас I са предназначени да симулират токови импулси, породени от пряко попадение на мълния. Ограничителите на пренапрежение, отнасящи се към методите за изпитване клас I, обикновено се препоръчват за приложение в точки с висока експозиция (подложени на въздействие от мълнии). Например, входни линии на сгради, защитени чрез прътови мълниеотводи.
- Изпитвания клас II: извършват се с използване на номинален ток на разряда (In), и импулсна напреженова вълна с параметри 1.2/50 μs. Те симулират токови импулси, породени от непряко попадение на мълния.
- Изпитвания клас III: извършват се с използване на комбинирана форма на вълната (1.2/50 и 8/20 μs).

Ограничителите на пренапрежение, изпитвани по условията на клас II или клас III са подложени на въздействието на импулси с по-къса продължителност. Тези SPD обикновено се препоръчват за места с по-малка експозиция.
Тези три класа изпитвания не могат да бъдат сравнени, тъй като са различни за отделните страни и съответните изисквания. Освен това, всеки производител може да се позове на един от трите класа за изпитване.

Европейски стандарт EN 61643-11 (1)
Някои изисквания са както в стандарт IEC 61643-1. Освен това, SPD са класифицирани в три категории:
Тип 1: SPDs изпитвани, съгласно клас I;
Тип 2: SPDs изпитвани, съгласно клас II;
Тип 3: SPDs изпитвани, съгласно клас III.

3.3 Данни за устройства за защита срещу пренапрежение, съгласно IEC 61643-1

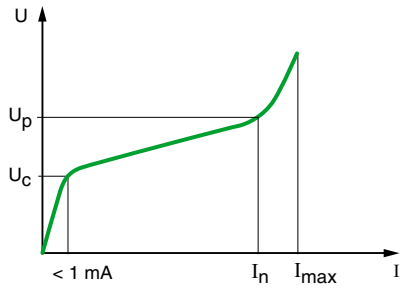
- **Устройство за защита срещу пренапрежение SPD:** Устройство, което е предназначено да ограничи преходни пренапрежения и да отведе породените от тях токове. То съдържа поне един нелинеен компонент.
- **Класове за изпитване:** Класификация на изпитване на устройства за защита от пренапрежение.
- **In**: номинален ток на разряда - максималната стойност на тока през SPD при вълна на тока с параметри 8/20 μs. Той се използва за класификация на SPD при изпитвания от клас II, а също и като предварително изискване към SPD за изпитване от клас I и II.
- **Imax**: максимален разряден ток за изпитвания клас II – това е максималната стойност на тока при форма на вълната 8/20 μs, който протича през ограничителя на пренапрежение при стойност, съответстваща на работната последователност при изпитване клас II. Imax > In.

(1) БДС EN 61643-11:2002/A11:2007.Устройства за защита срещу отскоци на ниско напрежение. Част 11: Устройства за защита срещу отскоци на ниско напрежение за захранващи системи ниско напрежение. Изисквания и изпитвания.

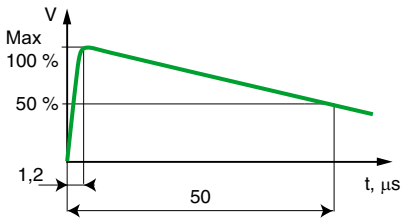
© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита срещу пренапрежение в електрически уредби НН

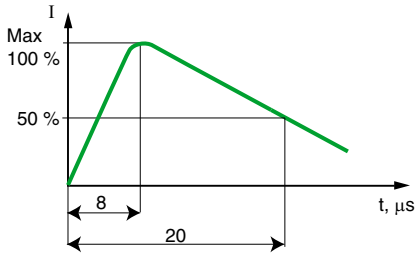
■ **Ic**: постоянен работен ток – това е токът, протичащ в ограничителя на пренапрежение, когато е подложен на пълно издържано работно напрежение Uc за всеки режим. Ic съответства на сумата от токовете, протичащи в защитния елемент на SPDs и във всички вътрешни вериги, свързани паралелно с него.
■ **Iimp**: импулсен ток – определя се от максималната стойност на тока Ipeak и заряда Q. Изпитването се извършва съгласно работната последователност. Той се използва при класификация на SPDs за изпитване от клас I.
■ **Un**: номинално мрежово напрежение.
■ **Uc**: постоянно максимално работно напрежение – най-голямата ефективна стойност или постоянното напрежение, което може да бъде постоянно приложено към SPDs в режим на защита. То е равно на номиналното напрежение.
■ **Up**: ниво на защита – този параметър характеризира работата на SPD по отношение ограничаване напрежението между неговите клеми. То се избира от списък с препоръчвани стойности. Тази стойност трябва да бъде по-голяма от най-високата стойност, получена при измерване на ограничителните напрежения. Общоприетите стойности за мрежа **230/400 V** са:
1 kV; 1.2 kV; 1.5 kV; 1.8 kV; 2 kV; 2.5 kV.
■ **Ures**: остатъчно напрежение – максималната стойност между клемите на SPDs при преминаване на разряден ток.
Ограничителят на напрежение се характеризира с параметрите Uc, Up, In и Imax (виж **Фиг. J16**).
■ Във всяка страна са дефинирани стандартизирани форми на напрежението и тока за изпитване на SPDs:
□ Напреженова вълна (виж **Фиг. J17**)
Например 1.2/50 µs (време за нарастване tf / продължителност на пренапрежение T)
□ Токова вълна (виж **Фиг. J18**)
Например 8/20 µs (tf/T).



Фиг. J16: Волт-амперна характеристика



Фиг. J17: Напреженова вълна с tf/T =1.2/50 µs



Фиг. J18: Токова вълна с tf/T = 8/20 µs

□ Други характеристики на вълната
tf/T = 4/10 µs, 10/1000 µs, 30/60 µs, 10/350 µs...
Посочените характеристики са много важни за осигуряване съпоставимост на резултатите от изпитване на SPDs с една и съща форма на вълната.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита срещу пренапрежение в електрически уредби НН

3.4 Стандарти за мълниезащита

Сериите на стандарта IEC 62305 (1) (част 1 … 5) преструктурира и модернизира публикациите на сериите от IEC 61024, IEC 61312 и IEC 31663.
Необходимостта от защита, икономическата ефективност на инсталираните защитни устройства и избора на адекватна защита би трябвало да бъдат взети под внимание при управление на риска. Управлението на риска е предмет на разглеждане в IEC 62305-2.
Критериите за проектиране, монтаж и поддържане на защитни устройства срещу мълнии са разгледани в три отделни групи:
- Първата група, засягаща защитни мерки за намаляване на физически повреди и дълготрайност на конструкцията, е дадена в IEC 62305-3;
- Втората група, отнасяща се до защитни мерки за намаляване отказите на електрически и електронни системи в конструкцията, е дадена в IEC 62305-4;
- Третата група, разглеждаща защитни мерки за намаляване физически повреди и откази на обслужвания, свързани с конструкцията (главно електрически и телекомуникационни линии), е дадена в IEC 62305-5.

3.5 Стандарти за катодни отводители

- **Международен стандарт IEC 61643-12:** Принципи за избор и приложения.
- **Международен стандарт IEC 60364 (2):** Електрически уредби в сгради:

□ IEC 60364-4-43: Защити за безопасност.

Когато уредбата се захранва от въздушна линия или включва такава, **трябва да бъде** предвидено защитно устройство срещу атмосферни пренапрежения за мълниеносна дейност, съответстваща на режима на външни въздействия AQ1 (повече от 25 дни с мълниеносна дейност за година).

□ IEC 60364-4-443: Избор на електрообзавеждане за уредба.

Този раздел помага да се избере нивото на защита Up за ограничителя на напрежение в зависимост от защитаваното електрообзавеждане.

Номиналното остатъчно напрежение на защитните устройства не трябва да бъде по-голямо от стойността на издържания напреженов импулс за съответната категория на защитаваното оборудване.
(виж **Табл. J19**).

Таблица J19: Избор на електрообзавеждане за уредба, съгласно IEC 60364.

Номинално напрежение на уредбата (3), V		**Номинално импулсно издържано напрежение, препоръчвано за, kV**			
Трифазни системи (4)	Еднофазни системи със средна точка	Обзавеждане наз ахранващия източник на уредбата (импулсно издържано напрежение за категория IV)	Обзавеждане на разпределителни и крайни вериги (импулсно издържано напрежение за категория III)	Уреди (импулсно издържано напрежение за категория II)	Специално защитено електрообзавеждане (импулсно издържано напрежение за категория I)
	120-240	4	2.5	1.5	0.8
230/400 (4) 277/480 (4)	-	6	4	2.5	1.5
400/690	-	8	6	4	2.5
1000	-	Стойности, препоръчвани за системни инженери			

Категория I – Електронна апаратура: изчислителна техника, телекомуникационна апаратура, телевизори, Hi-Fi техника, аларми,.
Категория II – Домакински електроуреди: хладилници, перални и миялни машини, печки, портативни електроуреди.
Категория III – Индустриална апаратура: трансформатори, електродвигатели, разпределителни устройства.
Категория IV – Индустриална апаратура: електромери и др.

При наличие на мълниеприемник: задължително се монтира катоден отводител.

(1) БДС EN 62305-1:2006: Мълниезащита. Част 1: Общи принципи.
БДС EN 62305-2:2006: Мълниезащита. Част 2: Управление на риска.
БДС EN 62305-3:2006: Мълниезащита. Част 3: Физични повреди на конструкциите и дълготрайност.
БДС EN 62305-4:2006: Мълниезащита. Част 4: Електрически и електронни системи при конструкциите.

(2) Система от стандарти БДС HD 384 (Част 1 … 7).

(3) Съгласно IEC 60038.

(4) В Канада и САЩ, при напрежения по-високи от 300 V спрямо земя, импулсното издържано пренапрежение съответства на следващото по-високо напрежение в колоната.
Категория I е предназначен за разработчици/производители на специално електрообзавеждане.
Категория II за технически комитети по изделия за включване на електрообзавеждане към захранващи източници.
Категория III за технически комитети по монтажни материали и някои специални технически комитети.
Категория IV за доставчици на електроенергия и системни инженери (виж също 443.2.2).

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита срещу пренапрежение в електрически уредби НН

□ IEC 60364-5-534: Избор и въвеждане в действие на електрообзавеждане. Този раздел описва условията за монтаж на катодни отводители:

- в зависимост от схемите на заземяване: постоянното максимално работно напрежение Uc на SPDs трябва да бъде равно или по-високо от това, което е показано в **Табл. J20**.

Таблица J20: Минимални изисквани стойности на Uc на SPD в зависимост от схемата на заземяване

SPDs, свързани между	Схема на заземяване на разпределителната мрежа				
	TT	TN-C	TN-S	IT с разпределена неутрала	IT без разпределена неутрала
Фазов и неутрален проводник	1.1 Uo	НИ	1.1 Uo	1.1 Uo	НИ
Всеки фазов и PE-проводник	1.1 Uo	НИ	1.1 Uo	$\sqrt{3}$ Uo (1)	Линейно напрежение (1)
Неутрален и PE-проводник	Uo (1)	НИ	Uo (1)	Uo (1)	НИ
Всеки фазов и PEN-проводник	НИ	1.1 Uo	НИ	НИ	НИ

НИ: не се използва.
Забележка 1: Uo е напрежението между фаза и нула на мрежа НН.
Забележка 2: Тази таблица е основана на IEC 61643-1, поправка 1.

- В зависимост от захранването на уредбата: ако катодният отводител е монтиран на входа на електрическата уредба, захранвана от мрежа на електроразпределително предприятие, неговият номинален ток на разряда може да бъде по-нисък от 5 kA.

Ако катодният отводител е монтиран по-надолу от защитното устройство за ток на утечка, трябва да бъде използвано RCDs от типа "s", с устойчивост към импулсни токове по-малки от 3 kA (8/20 μs);

- В зависимост от защитата срещу свръхток при 50 Hz и последствията от отказите на SPD: защитата срещу къси съединения в SPDs се осигурява чрез защитни устройства F2, които трябва да бъдат избрани съгласно инструкциите на производителя на SPD.

(виж IEC 62305, Част 4).

(1) Тези стойности се отнасят до най-тежките условия на повреда. Следователно, толерансът от 10 % не се взема под внимание.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Избор на защитно устройство

Когато се монтират катодни отводители трябва бъдат взети под внимание следните няколко елемента:

- каскадиране;
- отчитане разположението на дефектнотоковите защити;
- избор на прекъсвач-разединители.

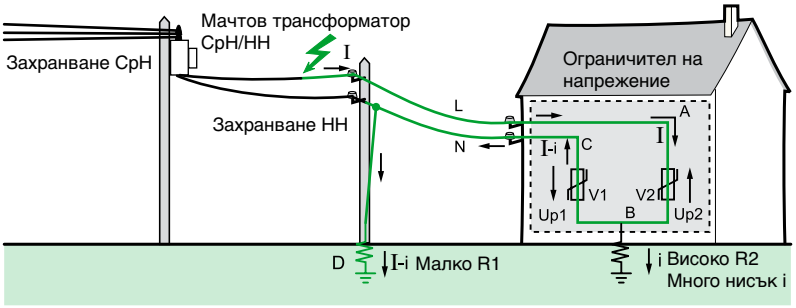
Схемата на заземяване трябва също така да бъде взета под внимание.

4.1 Защитни устройства в зависимост от схемата на заземяване

■ Общ метод за защита срещу пренапрежение: осигурена е базова защита чрез използване на ограничители на напрежение между фазов и PE-проводник или фазов и PEN-проводник, независимо от това каква схема на заземяване е използвана.

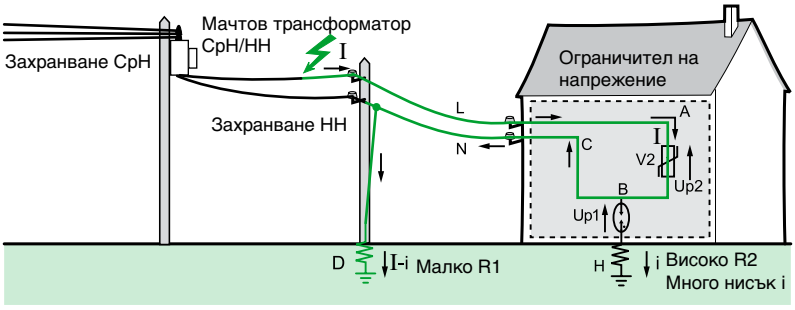
■ Диференциален метод за защита срещу пренапрежение: в схемите за заземяване TT и TN-S, заземяването на неутралата води до асиметрия, поради съпротивленията на заземителите. Те причиняват появяване на диференциално напрежение, докато пренапрежението, индуктирано от удар на мълния е общо.

Пример: Нека се разгледа схема на заземяване от типа TT. При общия метод за защита се монтира един двуполюсен ограничител на напрежение в уредбата (виж **Фиг. J21**).



Фиг. J21: Общ метод за защита срещу пренапрежение

Съпротивлението на заземителя R1 на електропроводния стълб има по-малко съпротивление от съпротивлението на заземителя R2 на уредбата. Мълниевият ток ще протича по веригата ABCD към земя през по-малкото съпротивление. Той ще премине през последователно свързаните варистори V1 и V2. Този ток предизвиква диференциално напрежение, равно на удвоеното остатъчно напрежение върху ограничителя на напрежение (Up1 + Up2), което се появява на клемите A и C на входа на уредбата в случай на пренапрежение.
За ефективна защита на потребителите между фазов и неутрален проводник, диференциалното напрежение (между клеми A и C) трябва да бъде намалено. Следователно, трябва да се използва друга схема на заземяване (виж **Фиг. J22**). Мълниевият ток протича през веригата ABH, която има по-малък импеданс от веригата ABCD. Импедансът на компонентите между B и H е приблизително равен на нула (газът, запълващ искровата междина, е йонизиран).
В този случай диференциалното напрежение между клемите A и C е равно на остатъчното напрежение върху ограничителя на напрежение (Up2).



Фиг. J22: Общ и диференциален метод за защита

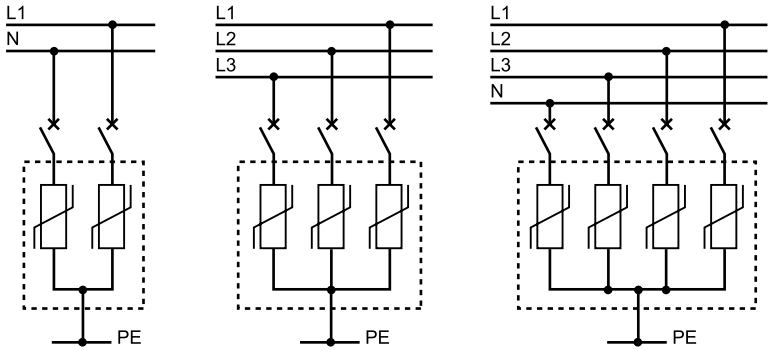
© Schneider Electric - всички права запазени

Таблица J23: Връзки, които трябва да бъдат направени, съгласно използваната схема на заземяване, в случай на атмосферни пренапрежения

Метод на защита	Между	TT	TN-S	TN-C	IT
Диференциален	Фаза и неутрала	Да	Да	-	-
Общ	Фаза и земя	Да	Да	Да	Да
	Фаза и земя	Да	Да	-	Да (при разпределена неутрала)

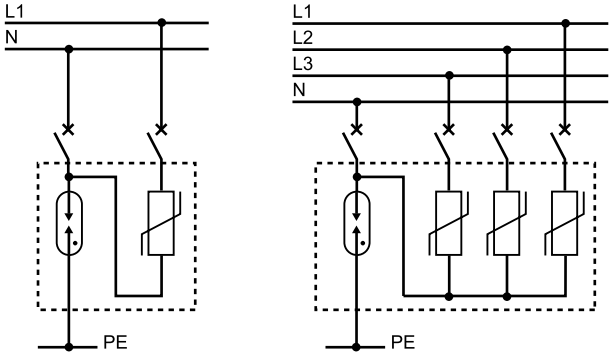
4.2 Вътрешна архитектура на катодни отводители

■ Дву-, три- и четириполюсни катодни отводители 2P, 3P, 4P (виж **Фиг. J24**):
□ те осигуряват защита само срещу общо пренапрежение;
□ подходящи са за схеми на заземяване TN-C и IT.



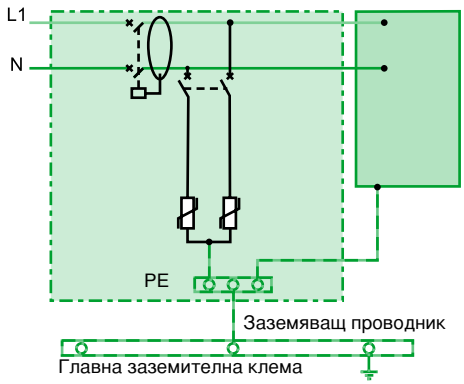
Фиг. J24: Дву-, три- и четириполюсни ограничители на напрежение (2P, 3P, 4P)

■ 1P+N, 3P+N катодни отводители (виж Фиг. J25):
□ те осигуряват защита срещу общо и диференциално пренапрежение;
□ подходящи са за схеми на заземяване TT, TN-S и IT.



Фиг. J25: 1P+N, 3P+N ограничители на напрежение

■ Еднополюсни (1P) катодни отводители (виж **Фиг. J26**):
□ те се използват за реализиране на различни защитни конфигурации. Специално оразмеряване трябва да се направи за N-PE защитата (например, 1P+N и 3P+N);
□ конфигурацията трябва да бъде потвърдена чрез методите за изпитване, регламентирани в IEC 61643-11.

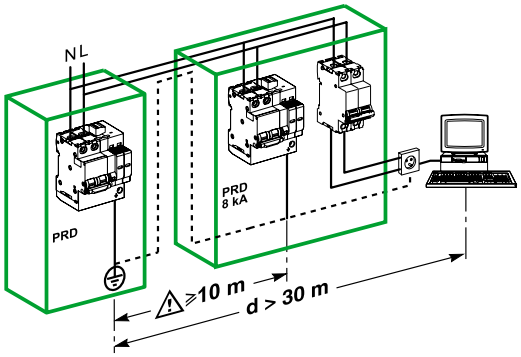


Фиг. J26: Пример за свързване на еднополюсен ограничител на напрежение

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Избор на защитно устройство

Каскадирането на защитата изисква минимално разстояние 10 m между две защитни устройства.
Това изискване е валидно независимо от областта на приложение: битови, индустриални или неотговорни потребители.

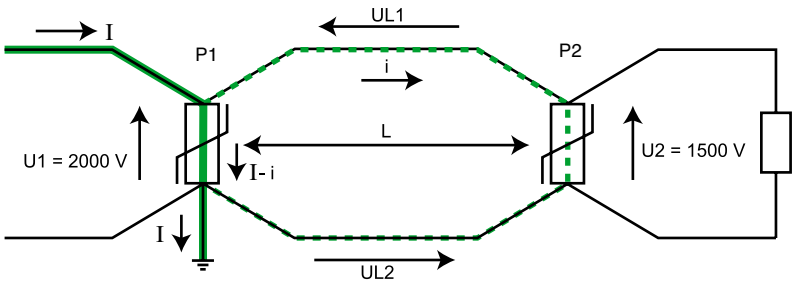


Фиг. J27: Съгласуване между ограничителите на напрежение

4.3 Правила за монтаж

Изследването на защитата срещу пренапрежение на уредбата може да покаже, че мястото на монтаж е подложено на въздействие на интензивна мълниеносна дейност и че защитаваното електрообзавеждане е чувствително. Катодният отводител трябва да бъде способен да отведе големите токове и да има ниско ниво на защита. Това двойно изискване не може да бъде изпълнено от един катоден отводител. Следователно, налага се използването на втори защитен апарат (виж **Фиг. J27**).
Първото устройство P1 (входяща защита) трябва да бъде поставено на входа на уредбата.
Неговото предназначение е да отвежда максимално количество енергия към земя с ниво на защита Up ⩽ 2000 V, което може да бъде издържано от електротехническото обзавеждане (контактори, мотори и др.).
Второто устройство P2 (прецизна защита) трябва да бъде разположено в разпределително табло, колкото е възможно по-близо до чувствителните потребители. То ще има малък разряден капацитет и ниско ниво на защита, което ще ограничи чувствително пренапреженията (Up ⩽ 1500 V) и следователно ще защити чувствителните потребители.

Съгласуване между катодните отводители



Фиг. J28 : Съгласуване между катодни отводители

Устройството P2 е монтирано паралелно с входното защитно устройство P1.
Ако разстоянието L е много малко, когато се появи пренапреженова вълна, ограничителят на напрежение P2 със защитно ниво U2 = 1500 V ще заработи преди защитата P1, която е с ниво на защита U1 = 2000 V. Устройството P2 няма да издържи на свръх големия ток. Следователно, защитните устройства трябва да бъдат съгласувани помежду си, за да се осигури задействане на P1 преди задействането на P2. Това се постига чрез промяна дължината L на кабела, т.е. със стойността на индуктивността между двете защитни устройства. Индуктивността ще ограничи тока, протичащ през P2, и ще предизвиква определено времезакъснение, което ще ускори задействането на P1 преди заработването на P2. Един линеен метър от кабела има индуктивност около 1µH.

При пренапреженова вълна с параметри 8/20 µs, в резултат на индуктивността се получава пад на напрежение $\Delta U = \frac{Ldi}{dt}$ приблизително 100 V/m/kA

При L = 10 m, UL1 = UL2 ≈ 1000 V.
За да се осигури задействане на защитното устройство P2 с ниво на защита U2 = 1500 V, е необходимо U1 = 3500 V. Затова, защитното устройство P1 заработва преди 2000 V и следователно защитава P2.

Забележка: Ако разстоянието между ограничителя на напрежение на входа на уредбата и обзавеждането, което трябва да бъде защитено, е по-голямо от 30 m, се препоръчва каскадиране (разместване) на устройствата, тъй като остатъчното напрежение на ограничителя на напрежение може да се повиши до двойната стойност на остатъчното напрежение на клемите на входната защита. В посоченият по-горе пример, прецизната защита P2 трябва да бъде разположена колкото е възможно по-близо до защитаваните потребители.

Първото правило, което трябва да бъде спазено, е дължината на връзката между катодния отводител и прекъсвач-разединителя да бъде по-малка от 50 cm.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Избор на защитно устройство

4.4 Указания за избор

Оценка стойността на защитаваното електрообзавеждане

За да се оцени тази стойност се разглежда:

- Финансовата стойност на обзавеждането;
- Икономическото влияние при авариране на електрообзавеждането.

- Битово електрообзавеждане:
  - Аудио- видеотехника, компютри;
  - Домакински електроуреди;
  - Охранителна система.
- Чувствително електрообзавеждане:
  - Охранителна система;
  - Пожароизвестяване;
  - Система за контрол на достъпа;
  - Видеонаблюдение.
- Сградно електрообзавеждане:
  - Автоматично отопление или климатизация;
  - Асансьор.
- Професионално електрообзавеждане:
  - Програмируема машина;
  - Сървър;
  - Звукова или светлинна контролна система.
- Тежко електрообзавеждане:
  - Медицинска инфраструктура;
  - Производствена инфраструктура;
  - Изчислителен център.

Определяне електрическата структура на сгради

Защитата срещу пренапрежения може да бъде изчислена за цяла сграда или за част от сграда, която е електрически независима

В зависимост от размерите на сградата и разположението на електрическата инсталация трябва да бъдат използвани един или повече катодни отводители в различни табла на електрическата уредба.

- Отделна къща.
- Апартамент, малка полусглобяема къща.
- Обществена част от сграда.
- Помещения с производствено предназначение.
- Стопански и индустриални сгради:
  - отделно електрическо табло, главно електрическо табло;
  - разпределително електрическо табло;
  - чувствително обзавеждане, разположено на повече от 30 m от таблото.

Оценка на вероятността за появяване на пренапрежение в обекта

Мълнията се привлича от високи елементи, които провеждат електрически ток:

- Естествени: високи дървета, планински хребет, влажни места, почви, съдържащи железни руди.
- Изкуствени: комин, антена, пилон, мълниеотвод.

Индиректни ефекти могат да се появяват в радиус от 50 m около мястото на въздействие.

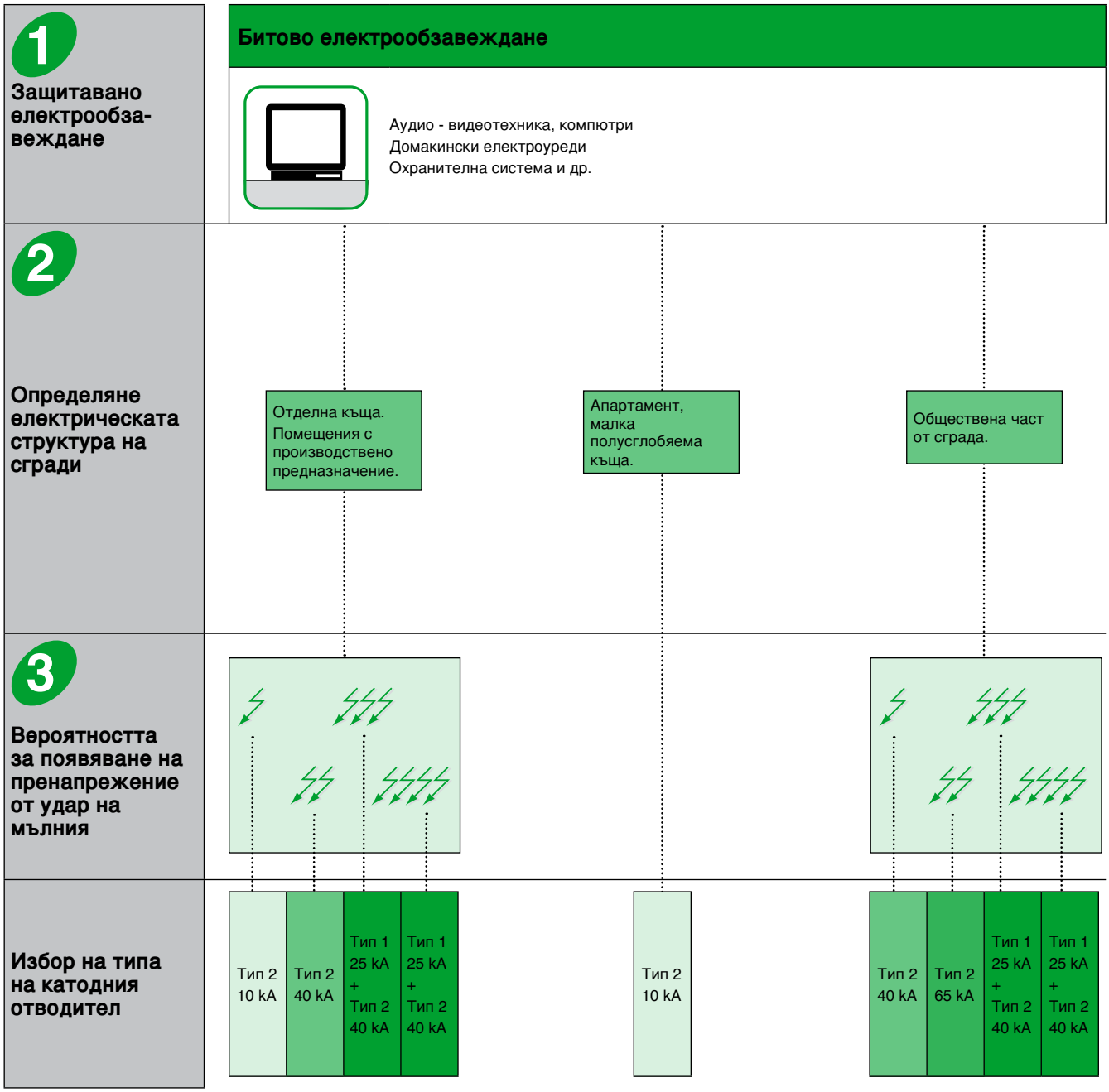
Място на сградата

- В градски и полуградски район, група от къщи.
- В място, където има специфична опасност (пилон, дърво, планински регион, планински хребет, влажно място или водоем).
- Във вила.
- В място с интензивна мълниеносна дейност (до 50 m от мълниеотвод на сграда).

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Избор на защитно устройство

Таблица J32: Избор на защита срещу пренапрежение за битово електрообзавеждане



Забележка:

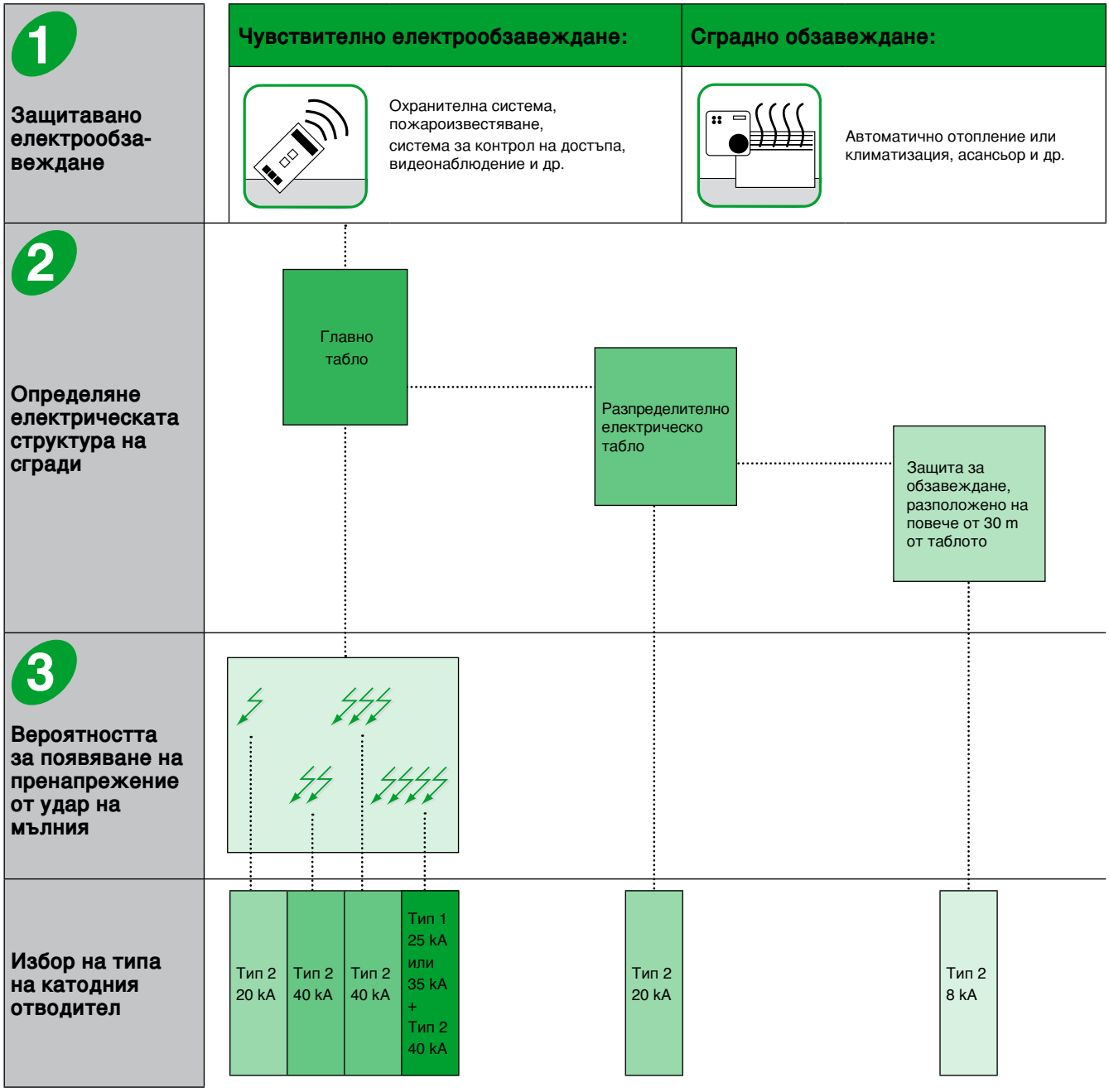
Тип 1: Катоден отводител, способен да отведе разряд с много голяма енергия, който се използва при наличие на мълниеотводен прът на сградата и нива и .

Тип 2: Катоден отводител, използван в каскадна комбинация след катоден отводител тип 1 или самостоятелно в зони и .

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Избор на защитно устройство

Таблица J33: Избор на защита срещу пренапрежение за чувствително и сградно електрообзавеждане



Забележка:

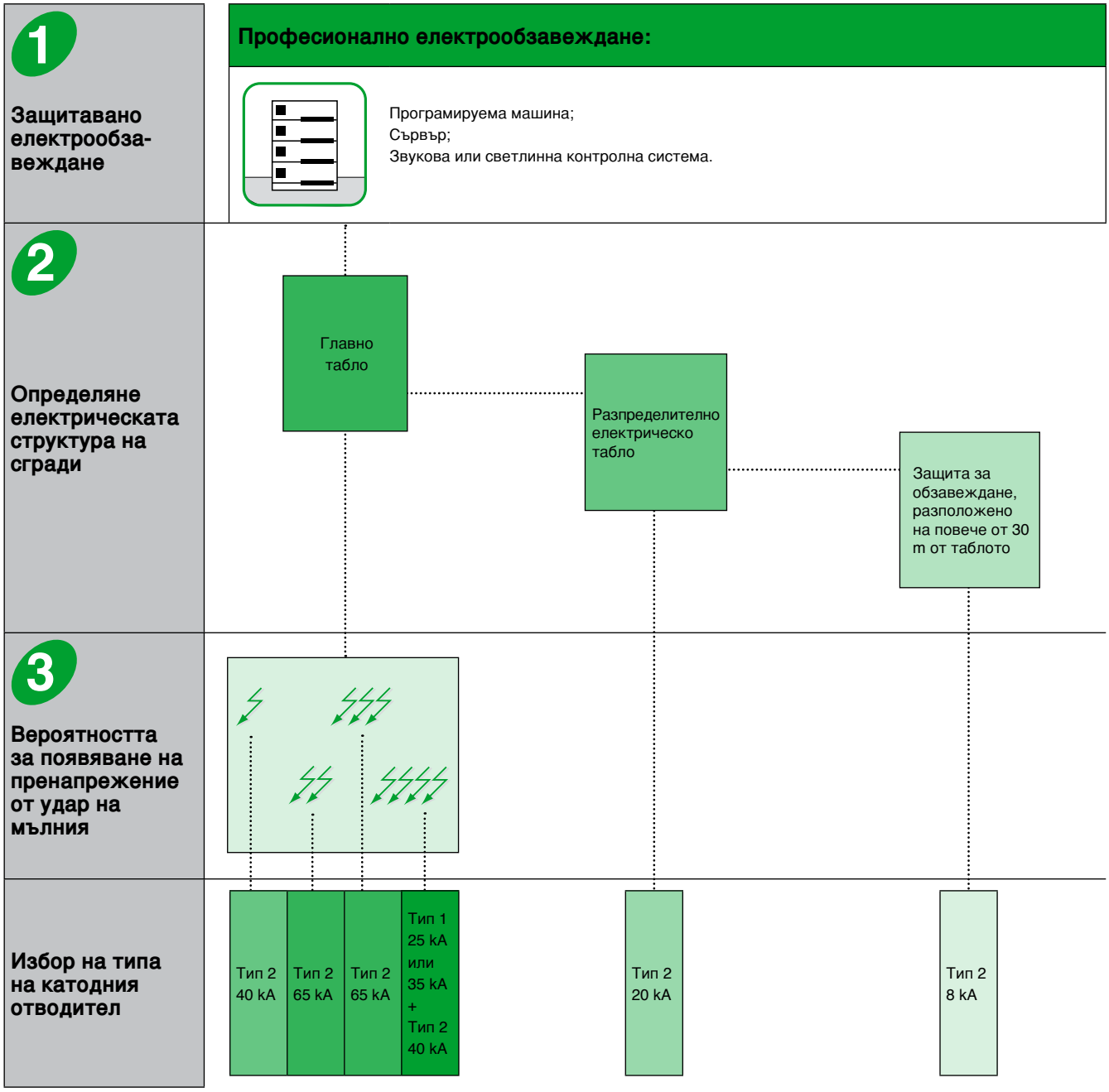
Тип 1: Катоден отводител, способен да отведе разряд с много голяма енергия, който се използва при наличие на мълниеотводен прът на сградата и нива и .

Тип 2: Катоден отводител, използван в каскадна комбинация след катоден отводител тип 1 или самостоятелно в зони и .

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Избор на защитно устройство

Таблица J34: Избор на защита срещу пренапрежение за професионално електрообзавеждане



Забележка:

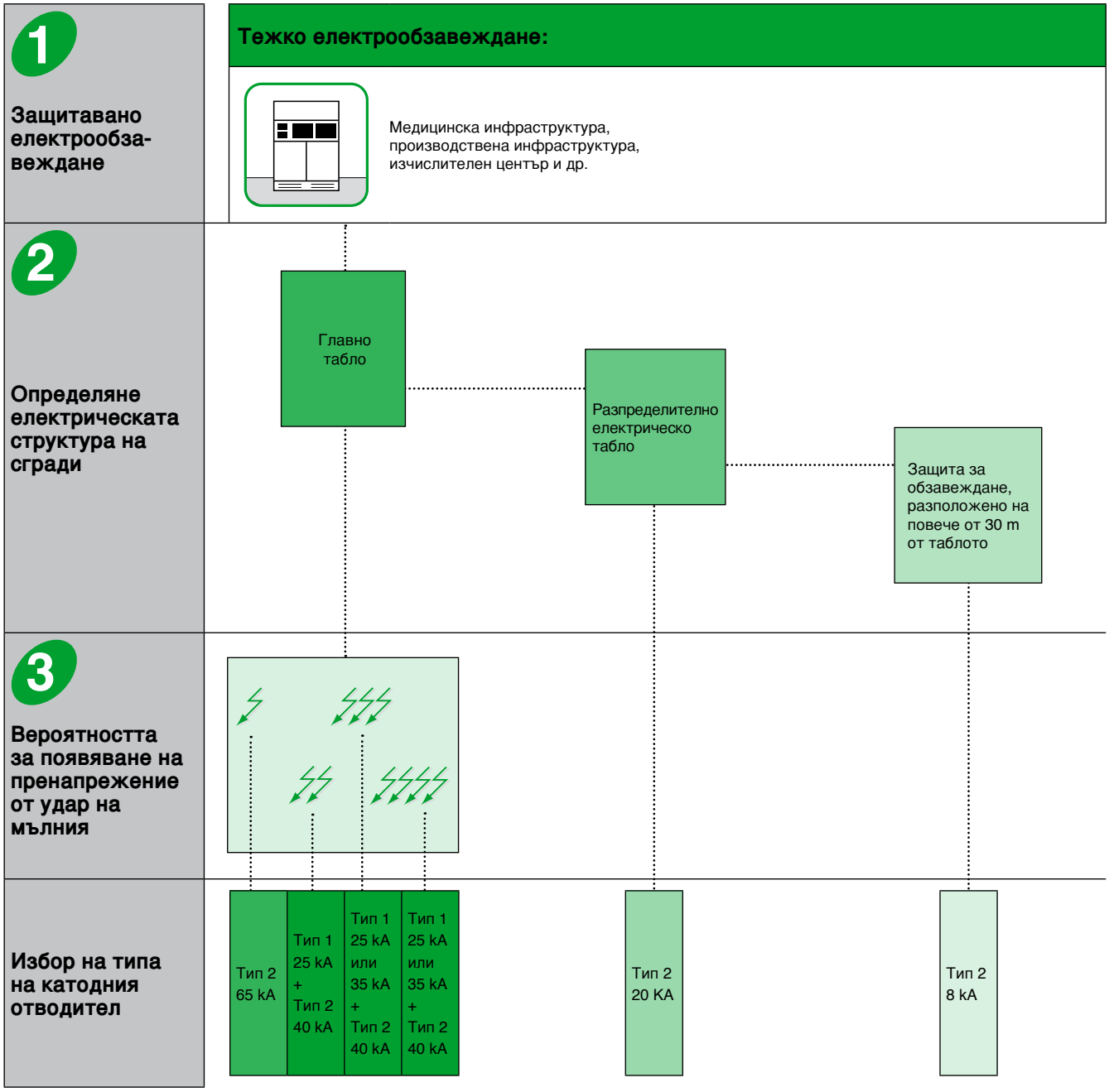
Тип 1: Катоден отводител, способен да отведе разряд с много голяма енергия, който се използва при наличие на мълниеотводен прът на сградата и нива и .

Тип 2: Катоден отводител, използван в каскадна комбинация след катоден отводител тип 1 или самостоятелно в зони и .

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Избор на защитно устройство

Таблица J35: Избор на защита срещу пренапрежение за тежко електрообзавеждане



Забележка:

Тип 1: Катоден отводител, способен да отведе разряд с много голяма енергия, който се използва при наличие на мълниеотводен прът на сградата и нива и .

Тип 2: Катоден отводител, използван в каскадна комбинация след катоден отводител тип 1 или самостоятелно в зони и .

Мълнията също така оказва влияние на телекомуникационните и компютърните мрежи.
Тя може да разруши цялото електрообзавеждане, свързано с тях: телефони, модеми, компютри, сървъри и др.

Защита на телекомуникационно и компютърно обзавеждане

Избор на катоден отводител	PRC	PRI
Аналогови телефонни мрежи Un < 200 V	■	
Цифрови мрежи, аналогови линии Un < 48 V		■
Цифрови мрежи, аналогови линии Un < 6 V Товар, захранван с много ниско напрежение Un < 48 V		■

© Schneider Electric - всички права запазени

4.5 Избор на прекъсвач

Прекъсвачът е необходим да осигури безопасност на уредбата

■ Един от параметрите на катодния отводител е максималният ток (Imax при вълна с параметри 8/20 μs), който той може да издържи без да се разруши. Ако този ток се надхвърли ограничителят на напрежение ще се разруши. Ще се образува устойчиво късо съединение, което трябва да се отстрани.

Следователно, токът на късо съединение трябва да бъде елиминиран чрез външен прекъсвач, монтиран над катодния отводител.

Прекъсвачът:

□ трябва да издържа на стандартни изпитвателни вълни:
- не трябва да изключва след 20 импулса при In
- може да изключва при Imax без да бъде разрушен.

□ изключва катодния отводител при късо съединение в него.

■ Предлагат се и катодни отводители с вграден автоматичен прекъсвач (например, Combi PRF1, Domae Quick).

Таблица за съответствие между катоден отводител и автоматичен прекъсвач

Таблица J36: Съответствие между ограничител на напрежение и автоматичен прекъсвач

Типове	Isc	Ограничител на напрежение	6 kA	10 kA	15 kA	25 kA	36 kA	50 kA	70 kA
Тип 1	**35 kA** (1)	PRF1 Master	160 A gL/gG предпазител						
			NS160N 160 A					NS160H 160 A	
	25 kA (1)	PRF1	D125	125 A gL/gG предпазител					
Тип 2	**65 kA** (2)	PF65, PRD65	C60N 50 A Крива C		C60H 50 A Крива C	По поръчка			
	40 kA (2)	PF40, PRD40	C60N 40 A Крива C		C60H 40 A Крива C	По поръчка			
	20 kA (2)	PF20, PRD20	C60N 25 A Крива C		C60H 25 A Крива C	По поръчка			
	8 kA (2)		C60N 20 A Крива C		C60H 20 A Крива C				

Isc: Очакван ток на късо съединение в точка от уредбата.
(1) Iimp.
(2) Imax.

4.6 Сигнализация за работоспособността на катодния отводител

Осигурени са различни устройства за индикация, които предупреждават потребителя, че товарите не са повече защитени срещу атмосферни пренапрежения.

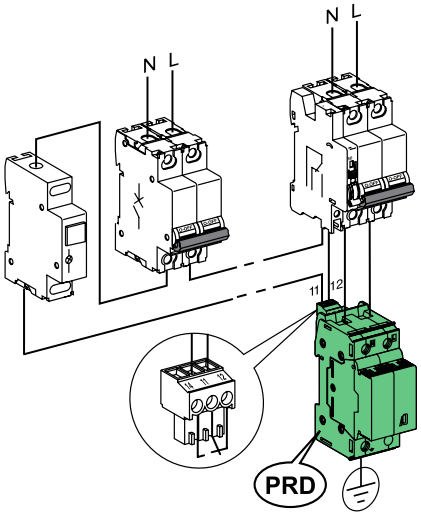
Катодни отводители тип 1 (с въздушна искрова междина)

PRF1 1P 260 V, Combi PRF1 1P+N и 3P+N и PRF1 Master

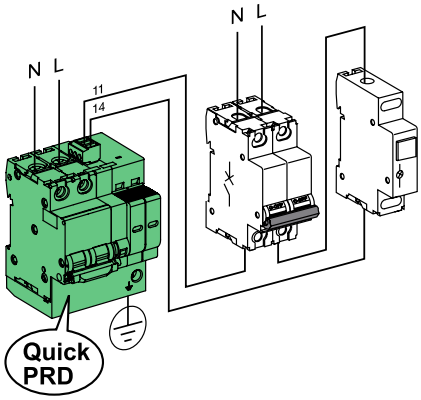
Тези катодни отводители имат светлинна индикация, че модулът е в добро работно състояние. Този светлинен индикатор изисква минимално работно напрежение от 120 V AC.

■ Светлинният индикатор не заработва:
□ ако работното напрежение Un ⩽ 120 V AC
□ ако няма захранващо напрежение;
□ ако електронните устройства за дъгообразуване са повредени.

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. J37: Пример на индикация за PRD



Фиг. J38: Пример на индикация за бързодействаща PRD

Катодни отводители тип 2 (с варистор, варистор + въздушна дъгогасителна камера)

PF, PRD

Катодният отводител или сменяемият модул се разрушават в края на срока на служба.

■ Това може да се случи поради две причини:

□ вътрешно прекъсване: акумулираните електрически удари предизвикват стареене на варисторите, което увеличава тока на утечка. Над 1 mA се получава повишаване на температурата и катодният отводител се изключва;

□ външно прекъсване: то се получава в случай на появяване на пренапрежение (директен мълниев удар по линията) над пропускателната възможност на катодния отводител. Варисторът(-те) са съединени трайно към земя (или възможно е между фаза и нула). Това късо съединение се отстранява, когато съответния автоматичен прекъсвач изключи.

Индикация за непрекъснат работен режим

PRD има вграден контакт за дистанционна индикация. Той се използва за изпращане на информация за работния режим на ограничителя на напрежение от мястото на монтажа му. Наблюдаването на монтираните ограничители на напрежение в уредбата, прави възможно непрекъснато да се следи режима на работа и получаване на информация, че защитните устройства са винаги в работоспособни.

■ Този контакт за дистанционна индикация дава авариен сигнал:

□ за края на срока на служба на сменяемия модул;

□ за необходимостта да се постави сменяем модул ако той липсва;

□ за авария, получена по линията (късо съединение, прекъсване на неутралата, обръщане на фаза-неутрала);

□ за случай на местна ръчна комутация (изключване).

PF има допълнителна индикация SR, която потвърждава, че се изпраща информация за работния режим на ограничителя на напрежение от мястото на монтажа.

4.7 Пример за приложение: супермаркет

Решения и схеми

■ Указанията за избор на катодния отводител правят възможно определянето на точния тип на катодния отводител на входа на уредбата и на свързания с него автоматичен прекъсвач.

■ Когато чувствителните устройства (Uimp < 1.5 kV) са разположени на повече от 30 m от входното защитно устройство, прецизните ограничители на напрежение трябва да бъдат монтирани колкото е възможно по-близо до потребителите.

■ За да се осигури по-добра непрекъсваемост на електрозахранването в студени помещения:

□ дефектнотокови защити тип “si” трябва да се използват, за да се избегне нежелано изключване, причинено от повишаване потенциала на земята при протичане на мълниев ток през нея.

■ За защита срещу атмосферни пренапрежения:

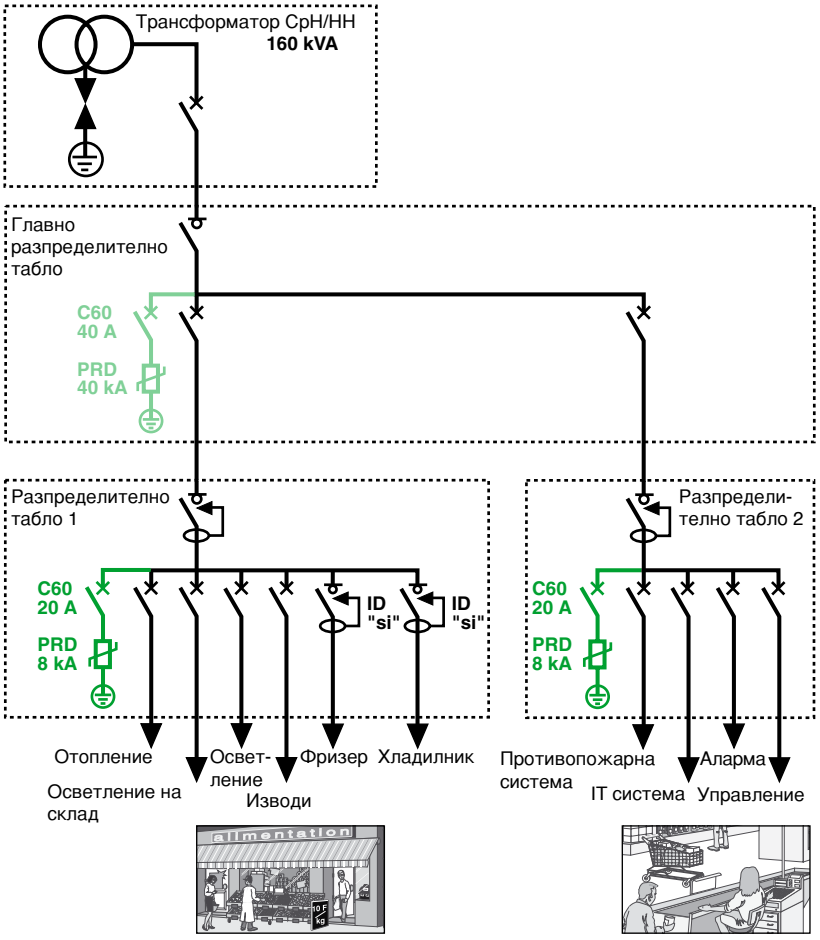
□ трябва да се монтира катоден отводител в главното табло;

□ да се монтира прецизна защита за ограничаване на напрежението във всяко табло (1 и 2), захранващи чувствителни устройства, разположени на повече от 30 m от входния катоден отводител;

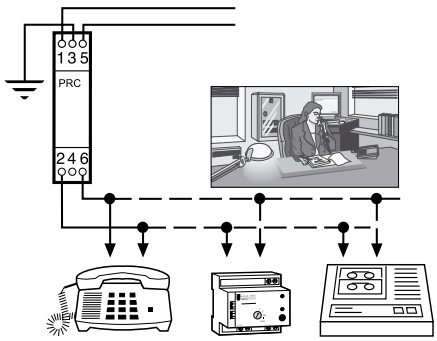
□ да се монтира катоден отводител за телекомуникационни мрежи за защита на захранваните устройства. Например, противопожарни уредби, модеми, телефони, факсове.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Избор на защитно устройство



Фиг. J39: Пример за приложение: супермаркет



Фиг. J40: Телекомуникационна мрежа

Функции на катодния отводител

- Провежда мълниевия ток към земя, осигурява ниво на защита Up, съвместимо с електрическото обзавеждане, което трябва да бъде защитено.
- Ограничава повишаването на потенциала на земята и индуктираното магнитно поле.

Препоръки при окабеляване

- Осигуряване на еквипотенциалност.
- Намаляване на контурните повърхности, заемани от захранващите кабели.

Препоръки за монтаж

- Монтира се катоден отводител с Imax = 40 kA (8/20 μs) и автоматичен прекъсвач C60 с номинален ток In = 20 A.
- Монтира се катоден отводител с Imax = 8 kA (8/20 μs) и автоматичен прекъсвач C60 с номинален ток In = 20 A.

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава K
Енергийна ефективност при разпределение на електрическата енергия

Съдържание

1	**Увод**	**K2**
2	**Електрическа енергия и енергийна ефективност**	**K3**
	2.1 Мерки и програми, насочени към подобряване на енергийната ефективност	K3
	2.2 Нови аспекти при използване на електрическата енергия	K4
3	**Производство и управление на електрическата енергия**	**K5**
	3.1 Нов подход за управление на енергийната ефективност	K5
	3.2 Изследване на икономическата конкуренция	K6
	3.3 Различни профили и задачи на участниците в енергийния процес	K8
4	**Електрически измервания и информационни технологии**	**K10**
	4.1 Събиране на статистически данни	K10
	4.2 Електротехнически данни, характеризиращи потребителите	K11
	4.3 Избор на технически средства и системи за измерване на електрическата енергия	K13
5	**Комуникационна и информационна системи**	**K16**
	5.1 Комуникационна мрежа на ниво продукт, апаратура и местоположение	K16
	5.2 От мрежов мониторинг и управление на системи към интелигентно силово оборудване	K19
	5.3 Електронно техническо обслужване	K21

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Увод

Определена част от тази глава е взета от указания, публикувани от Carbon Trust (www.carbontrust.co.uk) GPG119 и GPG231.

Наблюдаването на енергийния процес и системата за управление могат да бъдат много полезни за собственика на електрическата мрежа, като стратегически елемент от глобалния метод за повишаване на „енергийната ефективност”.

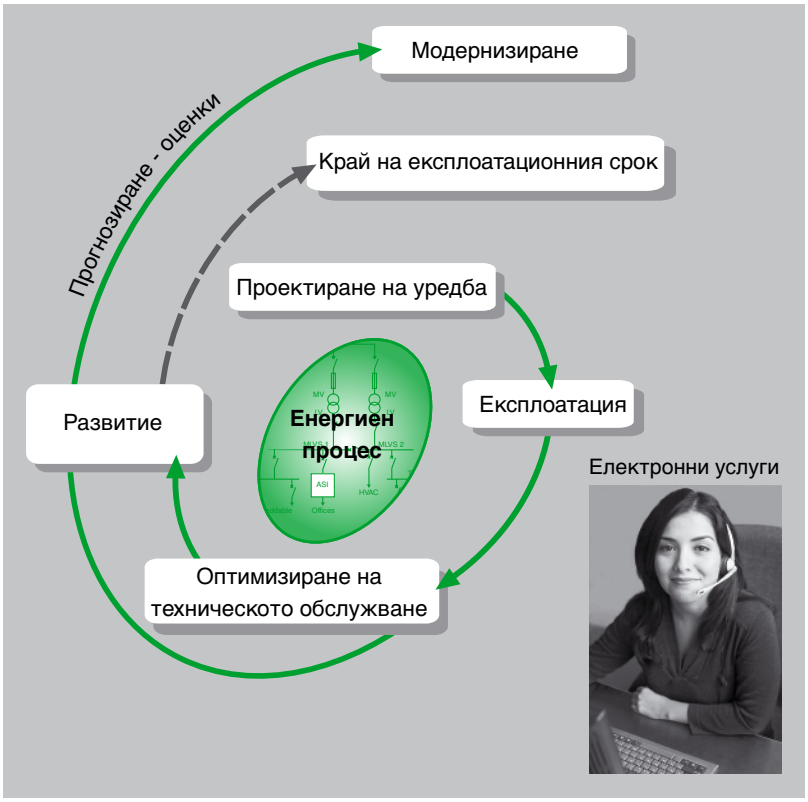
Стойността на собствената електрическата мрежа (TCO) включва не само първоначалните инвестиции за обзавеждане, но и неговите енергийни характеристики при работа. Непрекъснато се повишава отговорността на лицата, ангажирани с охрана, със събиране на такси за потребената електроенергия, с управление на предприятието или на сградата. Изпълняваните дейности се променят, но целта на всеки един от персонала включва внимателно управление на електрическата енергия, на нейната доставката и на разпределителната мрежа.

Системата за вземане на решения, засягащи енергийната ефективност, трябва да задоволява изискванията за непрекъснатост на електроснабдяването за компанията, по-малки разходи на електрическа енергия, по-лесно техническо обслужване. Тази система трябва да е достъпна за всяко лице, независимо от дейностите, които изпълнява.

В момента, въвеждането мерки за „енергийна ефективност” не означава създаването на сложна и скъпоструваща система. С минимални финансови средства могат да се реализират някои елементарни решения при директното им прилагане в силовото електрообзавеждане.

След като в електрическата уредба са създадени условия за измервания, може да се използва съществуващата комуникационна Ethernet мрежа на потребителя. При това, експлоатацията ѝ не би трябвало да изисква специфични познания и опит. Необходима е само употребата на свободен софтуер, например, програма с подходящ графичен интерфейс.

Обновяването или електронните услуги през интернет са също възможни благодарение на новите технологии, използвани от съвременната офис и комуникационна техника. Предимствата на тези нови възможности ще се използват все повече и повече.



© Schneider Electric - всички права запазени

2 Електрическа енергия и енергийна ефективност

2.1 Мерки и програми, насочени към подобряване на енергийната ефективност.

Първата значителна мярка беше инициирана от т.нар. Протокол от Киото, публикуван през 1997 г. и допълнен през 2006 г.

Това световно известно споразумение изисква участващите страни да намаляват общите емисии на парникови газове с поне 5 % под нивата от 1990 г. в периода 2008 - 2012 г.

Протоколът е основан на три главни пазарни механизми:
- Механизъм за чисто развитие (CDM). Целта на механизма е да подпомогне страните да постигнат количествените си задължения за ограничаване и намаляване на емисиите;
- Съвместна разработка. Програма, която позволява на индустриалните страни да постигнат частично намаляване на техните емисии на парникови газове чрез изпълнение на проекти, които намаляват емисиите в други страни;
- Търговия с емисии. Механизъм, чрез който страните с емисионни задължения, могат да търгуват части от своите емисии с други страни, които са редуцирали своите емисии. Това е така наречения „Карбонов пазар".

Във всички географски райони на дадена страна, на местно и федерално ниво, се изпълняват програми, мерки и наредби:
- Наредби и стандарти, въведени в Европа (виж **Фиг. K1**);
- Мисии и комплексни инициативи в Азия;
- Комплексни програми в USA.

Фиг. K1: Директива 2006/32/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 5 април 2006 г., относно ефективността при крайното потребление на енергия и осъществяване на енергийни услуги

ISO 14001 определя принципите и процесите за постоянно намаляване на енергийното потребление и изхвърляната емисия в коя да е организация.

Стимулите да се развиват енергоефективни програми, особено в областта на електроенергетиката, стават все по-привлекателни. Непрекъснато се увеличава броя на компаниите, които поставят въпроса за енергийната ефективност на първо място в своите програми:
- сградите са най големите енергийни консуматори и са приоритетна цел;
- отчитайки, че цената на енергията е поскъпнала двойно за последните 3 г., икономията на електрическа енергия става значителен източник за производствена печалба в индустрията;
- сега, пестенето на енергия е част от корпоративната социална отговорност, задължение на най-значимите компании;
- индустрията, която е силно зависима от прекъсванията на електроснабдяването, е под влияние на непрекъснатото увеличаване на търсенето на електрическа енергия и ограничените енергийни ресурси на производствените и разпределителни мрежи;
- жилищният сектор е ключов сектор и е все повече и повече от повлиян от енергийната ефективност.

© Schneider Electric - всички права запазени

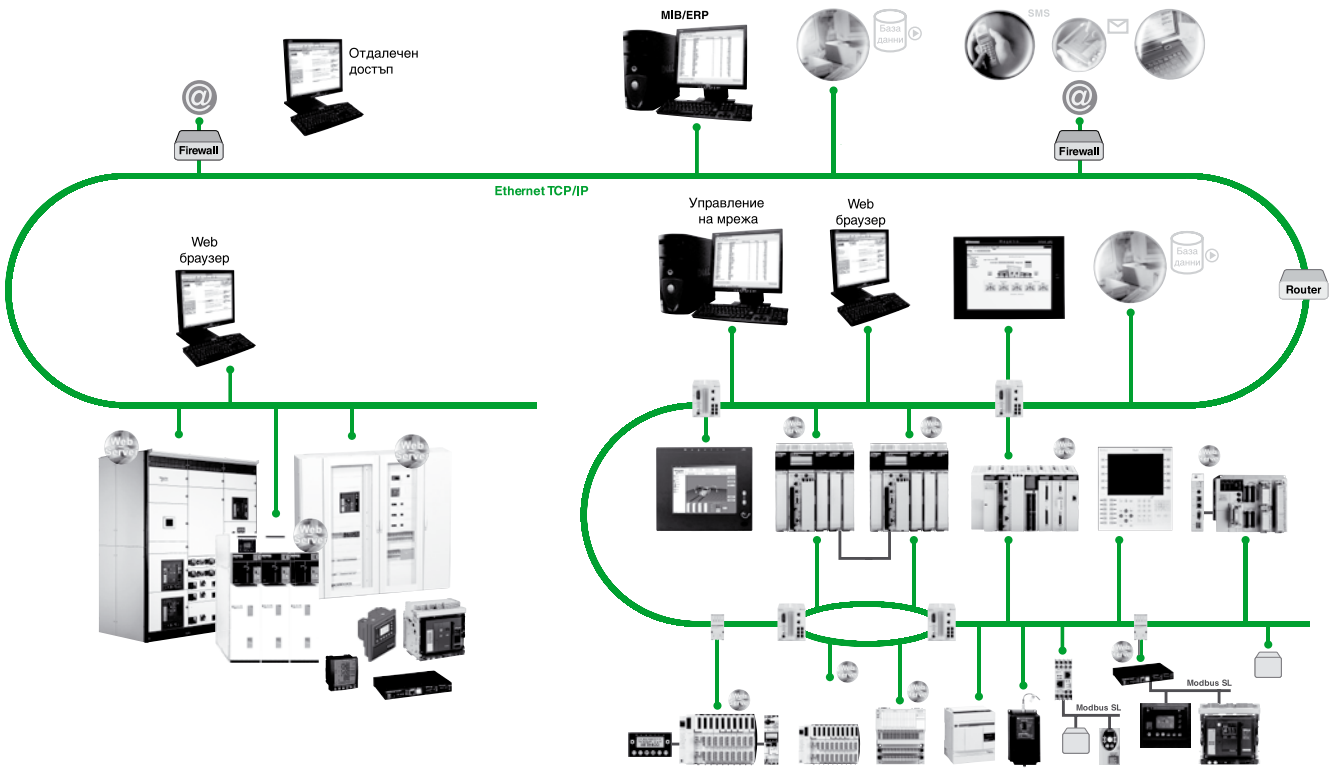
2 Електрическа енергия и енергийна ефективност

2.2 Нови аспекти при използване на електрическата енергия

Всички характеристики на сегашното развитие водят до появяването на т.нар. „нов електрически свят", в който новите реалности ще бъдат:
- Управление на рисковете, свързани с прекъсване на електроснабдяването.
- Производство на електрическа енергия или ефективност и управление на разходите: цената на 1 MWh е увеличена между 2003 г. и 2006 г. от 30 € до 60 €, на свободните пазари в Европа.
- Възобновяема енергия.
- Околната среда и устойчиво развитие.

Употребата на електрическа енергия ще става все по-целесъобразна и по-рационална, което е от полза и за конкуренцията между компаниите, тяхната енергийна независимост и защитата на околната среда. Тези нови основни правила означават, че тези, които вземат корпоративни решения трябва да създадат нови източници, и особено продукти и услуги, за да задоволяват нуждите на електропотребителите.

По конкретно, създаването на глобална информационна система в компанията ще позволи предаването на пълни електротехнически данни в реално време на голямо разстояние за (виж **Фиг. K2**):
- прогнозиране надеждността на електрическата мрежа;
- регистриране параметрите за качество на електрическа енергия;
- оптимизиране на електропотреблението за сграда, сектор, потребител, цех, район, при повишена консумация или ненормални отклонения. Следователно, разполага се с всички необходими данни за намаляване стойността на заплатената електроенергия. Това означава, че крайните потребители могат да използват предимството на мониторинга на електрическата мрежа, за да избегнат излишни разходи и да осигурят енергия, където е необходимо;
- организирано техническо поддържане на електротехническото обзавеждане;
- по-добра изкупна цена на електрическата енергия, а в някои случаи и по-добра препродажба.



Фиг. K2: Енергийни решения на Schneider Electric

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Производство и управление на електрическата енергия

Фиг. K3: Последователността от мерки за организиране на енергийния мениджмънт

3.1 Нов подход за управление на енергийната ефективност

Една информационна система трябва да бъде интегрирана в общия подход на компанията.

Последователността от мерки за организиране на енергийния мениджмънт (виж **Фиг. K3**) представлява метод за управление на проекти и постигане на резултати. Той може да бъде приложен както за много прости, така и за комплексни задачи и се е доказал, че е и устойчив и практичен.
Този подход предполага използването на философията Six Sigma – дефиниране, измерване, анализ, управление и контрол – не може да се вземат решения без измервания.

Възлагане на отговорност

За да се реализират действия за продължителна енергийна ефективност е необходимо да се спечели доверието на повечето старши членове на управителния екип, като личности и като част от управителното тяло.

Проучването започва с:

- изучаване на текущата консумация и цена на електроенергията;
- таблици, хистограми и трендове на електропотреблението;
- определяне на стандарти за ефективна консумация в организацията;
- анализиране на възможностите за пестене чрез намаляване на енергийната консумация така, че да се постигнат разумни цели;
- оценка на енергийното потребление върху околната среда.

Планиране и организиране

Първата стъпка би трябвало да бъде създаването на подходяща енергийна политика в организацията. Чрез развитие и публикуване на такава политика старшите мениджъри спомагат за постигане на отличен енергиен мениджмънт. Те трябва да го правят по такъв начин, че да използват културата на организацията за постигане на максимален ефект.

Изпълнение

Всички трябва да участват в изпълнението на енергийната политика. Все пак, за да се постигне структуриран подход, трябва да се посочат специални задължения към някои лица и групи.

Управление и мониторинг

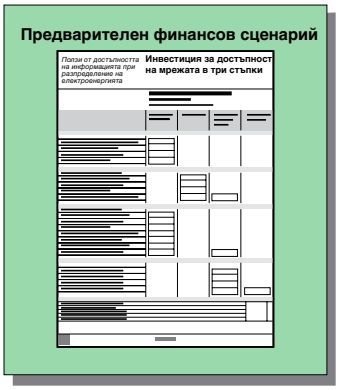
Всеки проект трябва да има отговорник – лице или екип с обща отговорност за следене на усилията и достигане до успешен край. Информационна система, свързана с употребата на електрическа енергия и нейното влияние върху основната дейност на компанията, подпомага действията на всеки отговорник.

Старшите изпълнители би трябвало да изтъкват важността на проектите, чрез изискване на периодични отчети и чрез публикуване и обявяване на постигнатите успехи. Така те могат и за в бъдеще да поддържат индивидуалната мотивация и ангажимент.

Матрица на енергийния мениджмънт:

Ниво	Енергийна политика	Организиране	Мотивация	Информационни системи	Маркетинг	Инвестиция
4	Енергийна политика, план за действие и периодичен преглед, са задължения на висшия мениджмънт, като част от стратегията за управление	Енергиен мениджмънт напълно интегриран с мениджърската структура. Ясно делегирана отговорност за енергийна консумация	Формални и неформални канали за комуникация, редовно използвани от енергийния мениджър или персонала на всички нива	Подходяща система задава граници, наблюдава консумация, идентифицира аварии, спестени количества електроенергия и осигурява бюджетни линии	Маркетинг на стойността на енергийната ефективност и изпълнение на енергийния мениджмънт за организацията и извън нея	Позитивно умение да се оцени ползата от „зелени" схеми с детайлна инвестиционна оценка на нова сграда и възможности за възстановяване
2	Неодобрена енергийна политика, изпълнявана от енергийния или старшия мениджър на отдела	Енергийният мениджър докладва на специален комитет, но отговорностите на ръководния персонал са неясни	Контакт с главните потребители през специален комитет, ръководен от старши мениджър на отдела	Отчетите за наблюдение и резултатите са основани на данни от измерване. В установения бюджет не е посочена ясно частта на електрическата енергия	Част от персонала не преминава обучение	Само критерии за краткосрочни инвестиции
0	Няма определена политика	Няма енергиен мениджмънт или какво да е формално възлагане на отговорност за енергийна консумация	Няма контакт с потребителите	Няма информационна система, няма отчетност за енергийна консумация	Няма представяне на резултати от енергийна ефективност	Няма инвестиции за повишаване на енергийната ефективност в помещения

© Schneider Electric - всички права запазени



3.2 Изследване на икономическата конкуренция

Информационната система за енергийна ефективност, свързана с приложението на електрическата енергия, трябва също да бъде разглеждана от гледна точка на икономически показатели с цел да се осигури подобряването на конкурентността.

Това изследване зависи основно от разпределението на финансовите средства за електрическа консумация, работните загуби от прекъсване на електроснабдяването и разходите за техническо обслужване. То осигурява по-добро управление на електрическата енергия.

Предварителен стадий: преглед на текущата ситуация и създаването на финансов план (виж Табл. K4).

Нуждата от измервателна система се определя от ползите, до които тя води. Решение, което се отнася до цялата уредба, осигурява съществено подобряване на конкурентността на компанията. Но то изисква работен екип, който да използва пълния капацитет на системата.

Пример: В таблицата по-долу, е представен пример за изчисляване възвръщаемостта на инвестицията – достъпен е в Excel формат на интернет адрес www.transparentready.com.

Таблица K4: Пример за изчисляване възвръщаемостта на инвестицията

Данни за компанията 00000 Автоматично изчисляване	Участващи фактори	Спестявания за параграф	Спестявания/инвестиция за категория	Спестявания или инвестиция, общо
Основни данни: характеристика на вашата организация				
Годишен приход	100,000,000			
Нетна печалба	10 %			
Годишни работни часове (часа/ден x дни/седмица x седмици/година)	1.950 hrs			
Средно заплащане за час	75 €			
Годишни разходи на електрическата енергия	1,000,000 €			
Лихвен процент	15 %			
Корпоративен размер на таксата	30 %			
Потенциални енергийни разходи, спестени за година				
Намаляване на енергийното потребление (приблизителен коефициент)	10 %			
Намаляване на енергийното потребление		100,000 €		
Намаляване на облагаемата заявка		20,000 €		
От глоби за cos φ		20,000 €		
От грешки при заплащане на енергията		5,000 €		
Енергийни разходи, свързани с наематели		0 €		
Годишни спестявания от енергия		145,000 €		
Разходи, дължащи се на престой – потенциал за намаляване				
Брой на случаи на престой за година	2			
Часове за един престой	1.5 hrs			
Часове за покриване на разходи, дължащи се на престой	2 hrs			
Незаети служители за един престой	250			
Работници, необходими за възстановяване на дейността	10			
Служители, необходими за възстановяване работоспособността на компютърната система	2			
Намаляване при разместване на обзавеждане, например, трансформатори		25,000 €		
Намаляване от счупени, дефектни и износени части		50,000 €		
Увличане на корпоративната печалба		15,385 €		
Увеличаване на работните часове		56,250 €		
Намаляване на часовете за възстановяване на компютърната система		600 €		
Намаляване на разходите за възстановяване на производството		3,000 €		
Намалени годишни разходи за престой			150,235 €	
Потенциал за спестяване при експлоатация и техническо обслужване				
Назначени служители за годишно отчитане на електромери	3			
Назначени служители за техническо обслужване	2			
Назначени служители за анализ на енергийните данни	2			
Спестявания от разходи, свързани с основната дейност (обзавеждане или спиране на процес)		50,000 €		
Спестявания от поддържане на техническо поддържане на обзавеждане		10,000 €		
Автоматично измерване		7,875 €		
Периодични инспекции за техническо обслужване и поддръжка		2,250 €		
Редки инспекции за техническо обслужваме		10,500 €		
Спестявания от експлоатация на техническо обслужване			80,625 €	
Общ годишен брутен потенциал за спестяване				375,860 €
Инвестиция за достъпност на измервателната система				
Брой на сгради, в които електропотреблението се управлява	2			
Измервателни устройства, главна/първостепенни захранващи линии, за сграда	10			
Измервателни устройства, неотговорни захранващи линии, за сгради	15			
Измервателни устройства, елементарна област на енергийно приложение, за сграда	15			
Разходи за устройства			125,000 €	
Разходи за софтуер			15,000 €	
Разходи за компютърно обзавеждане			8,000 €	
Монтаж			160,000 €	
Настройка			8,000 €	
Обучение			3,500 €	
Договор за поддръжка			14,338 €	
Общи инвестиция за системата				333,838 €
Възвръщане на инвестиция (ROI), общо				
Инвестиран капитал				-333,838 €
Брутни годишни спестявания				375,860 €
Годишна амортизация				-66,768 €
Корпоративна такса				-112,758 €
Нетни годишни спестявания след такси и амортизация				196,334 €
Период за откупуване (преди такси и амортизация) (в месеци)				11
Период за откупуване (след такси и амортизация) (в месеци)				20
Нетна стойност				324,304 €
Отбив от инвестицията (NPV/инвестиран капитал)				97 %

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Производство и управление на електрическата енергия

Инвестиция в три стъпки:
1 – Формулиране на приоритети;
2 – Определяне на ключови енергийни величини;
3 – Избор на елементи.

Стъпка 1 : формулиране на приоритети

Всеки индустриален обект или обект, предназначен за извършване на услуги, има свои собствени изисквания и специфична архитектура на електроразпределение. Според изискванията на обекта, се определят подходящи задачи за енергийна ефективност (виж **Табл. K5**):

Таблица K5: Цел и задачи

Цел	Задача
Оптимизация на електропотреблението	Разпределение на загубите
	Анализ на използваната енергия
	Помпи и вентилатори в индустрията Помпи и вентилатори в сгради
	Управление на осветлението
Оптимизация на закупуваната енергия	Намаляване на потреблението във върховата зона
	Оптимизация на закупуваната електроенергия
	Тарифно заплащане
Подобряване ефективността на персонала, отговарящ за експлоатацията на електрическата уредба	Сигнализация за разпределение на електрическа енергия и запис на събития
Подобряване осигуреността на електроснабдяването и качеството на електрическа енергия	Дистанционно управление за мрежите за електроразпределение Автоматизация на мрежите за електроразпределение
Оптимизация на активите	Статистически анализ на използваното електрообзавеждане. Корекция фактора на мощността

Стъпка 2 : определяне на ключови енергийни величини

■ След като са формулирани приоритетите, се определят основните електрически величини, включени в системата за измерване.

■ Параметрите, които се взимат под внимание, трябва да позволят откриването на смущения или извънредни ситуации веднага след появата им, т.е. преди те да окажат отрицателен ефект върху електрическата уредба и нейните потребители.

■ Методът включва монтиране на подходящо устройство на всяка разглеждана захранваща линия така, че то да бъде готово да отговори на изискванията. В началото на уредбата се инсталира друго такова устройство, осигуряващо обща информация. Необходимо е също така идентификация на захранващите линии от първостепенна важност за бизнеса на компанията и на захранващите линии за отговорни процеси, които трябва да осигуряват информация при вземане на решението.

Пример: *ако потребителят консумира много електрическа енергия и не е чувствителен към нейното качество, измервателната система се състои от подходящи измервателни средства. Едновременно с това потребителят, чувствителен към качеството на електрическа енергия, изисква различен тип измервателна техника.*

Стъпка 3 : избор на елементи

За съществуващи инсталации: част от съществуващото електротехническо обзавеждане вече включва измервателни средства.

Пример: *защитните релета често изпълняват измервателни функции. Необходимо е те да са комплектовани с модул за комуникация по Modbus сериен интерфейс към вътрешен сървър.*

© Schneider Electric - всички права запазени

3.3 Различни профили и задачи на участниците в енергийния процес

Създаването на информационна система позволява достъп към важни данни за електрическото обзавеждане. Тя трябва да се обслужва от персонал със знания в областта на електротехниката и информационните технологии. В компанията тези знания се променят много динамично (виж **Табл. K6** и **Фиг. K7**).

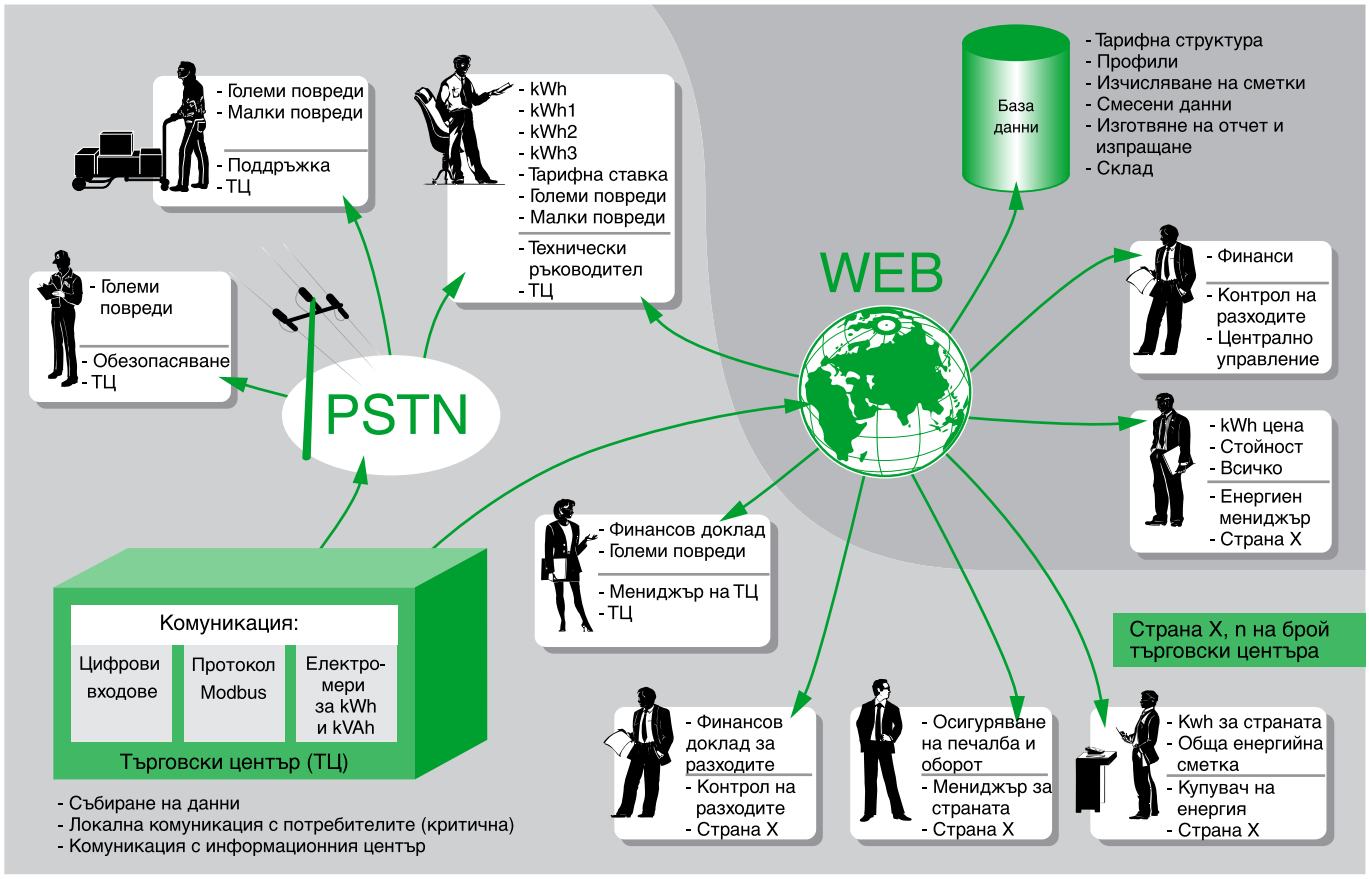
Пример: *таблицата по-долу показва няколко примера на профили в хипермаркет. Управляващият екип, управителите на цех или фабрика изпълняват задачи, съобразени с посочените профили.*

Таблица K6: Различни профили и задачи на участници в компанията

Профил	Организация	Квалификация	Задача	Визуализация	Срок	Формат на данните
Охраняващ персонал	На място	Не се изискват специфични електротехнически знания.	Безопасност на хора и собственост.	Чрез алармен екран в главния пункт за безопасност. Чрез DECT, GSM или обхождане.	Рядко при настъпване на събитие.	Наряд за планирани процедури, съгласно типа на електротехническото събитие и предупреждение към административния мениджър, съгласно предварително съставен списък от дейности.
Мениджър по техническо обслужване	На място	Управление на човешки ресурси, освен електротехнически знания, професионален опит за тази позиция от 3 до 8 г., общи технически знания за самостоятелно вземане на решения.	Заедно с персонала, осигуряващ коректна техническа експлоатация във всички области (хладилна техника, климатизация, електроснабдяване, сигурност, обществена безопасност и др.). Приоритет се дава на способността да се решават сложни проблеми, свързани с електрическото потребление, да се привличат външни компании и участие в инвестиционни процедури.	MMS/SMS, PC във вътрешна мрежа, електронна поща	Рядко при настъпване на събитие, периодична консултация на отчети, постоянна информация консултация при поискване.	Данните са разпределени между персонала: - измервателни екрани за визуализация с помощни менюта за интерпретация (ограничения и др.); - екрани за визуализация на потребената електроенергия (kWh и €); - запис на събития; - адресна книга за външни участници; - еднолинейна схема на частта, чертежи на електрически табла и връзка към указанията на производителя; - финансов отчет, данни, използвани за инвестиционното досие; - показатели, които трябва да бъдат попълвани за електрическата мрежа
Мениджър по строителство	На място	Компетенция в корпоративния мениджмънт и експертния мениджмънт	Отговорност на отдела, основен източник на печалба. Осигуряване съгласие на персонала за процедурите чрез мениджърска структура с показатели за изпълнение. Осигуряване на минимална печалба и оборот и режийни разходи.	Икономически доклад	Месечно	Финансови аспекти, включително електропотребление, връзка между оборота, генериращ бизнес и електрическата енергия, разход за техническо поддържане на електрическата мрежа.
Мениджър по енергийна ефективност в многонационална компания	На място / В централно управление	Купувач/участник в договор за покупка на енергия.	Отговорност за общата енергийна сметка на компанията чрез дъщерни фирми по целия свят и самостоятелни компании.	Икономически доклад	Месечно	Финансови характеристики, включително електропотребление за всяка самостоятелна компания от международната корпорация.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Производство и управление на електрическата енергия



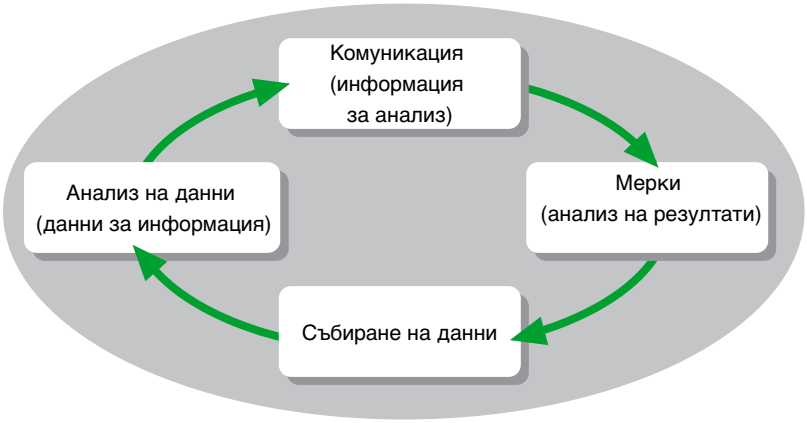
PSTN (Public Switched Telephone Network) - мрежа от канално-комутируемите публични мрежи по света, наподобяваща топологията на Интернет. Към момента PSTN е почти изцяло цифровизирана, включваща също и мобилните телефони. PSTN изцяло се регулира от стандарти, създадени от ITU-T, използваща E.163/E.164 адреси (познати още като телефонни номера).

Фиг. K7: Пример: конфигурация на търговски център с различни участници

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Електрически измервания и информационни технологии

Критерият за енергийната ефективност от електротехническа гледна точка може да бъде изразен чрез фундаментални физически измервания на напрежение, ток, хармоници и т.н.
Резултатите от измерванията се преобразуват в цифров вид, а от там - в информация.
В суров вид, данните не са особено полезни. За съжаление някои енергийни мениджъри акцентират прекалено много върху събирането на данни и го превръщат в тяхна основна задача. За да се извлече полза от тези данни, те трябва да бъдат преобразувани в информация (използвана за развитие знанията на всички, занимаващи се с управление на енергийния процес) и анализ (използван за енергоспестяващи мерки).
Операционният цикъл е базиран на четири процеса: събиране на данни; анализ на данни; комуникация; и мерки (виж **Фиг. K8**). Тези елементи се отнасят за всяка информационна система. Цикълът работи при условие, че съществува адекватна комуникационна мрежа.



Фиг. K8: Операционен цикъл

Нивото на обработка на данните влияе на информацията, която може да бъде разбрана от потребителя: способността да се интерпретират данните от потребителя представлява забележително предизвикателство за вземане на решение.
След това, данните директно се свързват с товарите, които консумират електрическа енергия (индустриални процеси, осветителни уредби, системи за климатизация и др.). Действието на тези товари осигурява за компанията необходимото количество на произведената продукция, удобство на посетителите в супермаркета, подходяща температура на въздушната среда в охлажданото помещение и др.
Информационната система е готова за ежедневно използване от потребителите, за постигане целите на енергийната ефективност, чрез старшите мениджъри в компанията.

4.1 Събиране на статистически данни

Качеството на събраните данни започва с измерването: на подходящо място, в подходящо време, и в необходимия обем.
По същество, електрическото измерване е основано на напрежението и тока, протичащ през проводниците. От тези стойности могат да се определят всички останали: мощност, енергия, фактор на мощността и др.
Преди всичко трябва да се осигури съгласуваност с класа на точност на токовите трансформатори, напрежителните трансформатори и точността на измервателните уреди. Класът на точност ще бъде по-малък за по-високи напрежения: например, грешката при измерване на високо напрежение е свързана с много голяма стойност на измерената енергия.
Общата грешка е сума от квадратите на всяка грешка (error)

$$\sum \text{error} = \sqrt{\text{error}^2 + \text{error}^2 + ... + \text{error}^2}$$

Пример:
Разглежда се измервателно устройство с грешка 2 % , свързано към токов трансформатор, чиято грешка е 2 %, т.е.:

$$\sum \text{error} = \sqrt{(2)^2 + (2)^2} = 2.828\ \%$$

Това може да означава загуба на 2 828 kWh за консумация 100 000 kWh.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Електрически измервания и информационни технологии

Всеки токов трансформатор се характеризира с:
- *коефициент на трансформация. Например: 50/5 A.*
- *клас на точност CI. Например: обикновено CI = 0.5.*
- *номинална мощност, във VA, за захранване на измервателните устройства, включени към към вторичната намотка. Например: 1.25 VA.*
- *граничен фактор на точност, означаван като коефициент отнасящ се до In преди насищане (FLP или Fs). Например: FLP = 10 за измервателни устройства с еднаква измервателна точност.*

Устройството за измерване на енергийни параметри PM710 на Schneider Electric

Измерване на напрежение

При ниско напрежение измерването се извършва директно с измервателен уред. Когато напрежението е над обхвата на измервателното устройство, например, при средно напрежения, трябва да се използва напреженов трансформатор.
Напреженовият трансформатор (VT) се избира в зависимост от:
- първичното и вторичното напрежение;
- номиналната мощност;
- класа на точност.

Измерване на ток

Измерването на ток се извършва с помощта на клещови или токови трансформатори с непрекъснат магнитопровод, поставени на подходящо място около фазовия и неутралния проводници.
Токовият трансформатор (CT), използван за релейната защита, позволява измерване на ток при нормални условия в зависимост от необходимата точност.
При измерване на енергията се вземат под внимание две обстоятелства:
- Договорена цена, т.е. между електрическата компания и нейните клиенти или между потребители. Например, между управител на летище (извършващ препродаване) и на складове, дадени под наем от летището. В този случай за измерване на електрическа енергия се използват измервателни уреди съгласно IEC 62053-21 (1) за класове 1 и 2 и IEC 62053-22 (2) за класове 0.5S и 0.2S.
Измервателната верига, образувана от CT, VT и устройство за измерване, може да се постигне клас на точност CI = 1 за HH, CI = 0.5 за CH и CI = 0.2 за BH или дори
CI =0.1 в обозримо бъдеще.
- Действителна цена за компанията, т.е. цена, определена чрез разделяне разходите на електроенергията за всеки продукт, създаван на специфично работно място. В този случай за цялата измервателна верига (CT, VT и измервателни устройства) е достатъчен клас на точност между 1 и 2.

Препоръчва се да се съпоставят точността на цялата измервателна верига с реалните изисквания за измерване: няма универсално решение, но може да се направи добър технически и икономически компромис.
Трябва да се отбележи, че точността на измерване също има своята цена, която трябва да бъде сравнена с възвращаемостта на инвестициите.
Общите печалби, от гледна точка на енергийната ефективност, са още по-големи, след като електрическите мрежи бъдат изградени по този начин. В допълнение, постоянните изменения в електрическата мрежа, в зависимост от дейността на компанията, са причина да се търси съществен и незабавен начин за оптимизация.
Пример:
Аналогов амперметър с клас на точност 1 и номинален обхват 100 A, ще измери 100 A с точност ±1 A, т.е. грешка 1 %. Но, ако показанието е 2 A, измерването е с точност 1 A, т.е. има 50 % грешка.
Устройството за измерване на енергийни параметри PM710 на Merlin Gerin е с клас на точност 1 - като всички останали продукти на Merlin Gerin за енергиен мениджмънт (Power Meter и Circuit Monitor Measurement Unit) в измервателния диапазон, съгласно стандарт на IEC 62053.
Други измервания могат да допълнят базата данни:
- Включено/изключено, отворено/затворено работно положение на устройствата;
- Енергийни импулси;
- Температура на трансформатор, двигател и др.;
- Продължителност на работа, брой комутационни операции;
- Товар на двигател;
- Състояние на батерията на UPS;
- Информация за настъпили откази;
- Други.

4.2 Електротехнически данни, характеризиращи потребителите

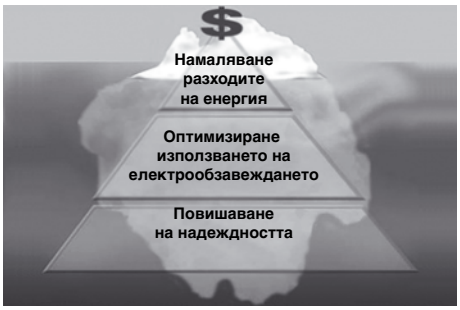
Електротехническите данни се преобразуват в информация, която обикновено е предназначена за следните цели:
- влияние върху поведението на потребителите да управляват по-рационално енергийния процес, а от там да постигнат по-ниски енергийни разходи;
- участие на всеки от персонала за подобряване на енергийната ефективност;
- участие на всеки от персонала за намаляване цената на електроенергия;
- участие на всеки от персонала за пестене на енергия, чрез изясняване как тя се използва и как да се оптимизират процесите, за да се постигне по-висока енергийна ефективност;
- оптимизиране и увеличаване на срока на служба на различни компоненти, свързани с електрическата мрежа;
- увеличаване на производителността на съответния процес (индустриален процес или дори офис, сграден мениджмънт и др.) чрез предотвратяване и намаляване времето за престой или осигуряване на по-добро качество на енергията, подавана към товарите.

(1) БДС EN 62053-21:2004. Променливотокови уреди за измерване на електрическа енергия. Специфични изисквания. Част 21: Статични електромери за активна енергия (класове 1 и 2).
(2) БДС EN 62053-22:2004. Променливотокови уреди за измерване на електрическа енергия. Специфични изисквания. Част 22: Статични електромери за активна енергия (класове 0.2S и 0.5S).

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Електрически измервания и информационни технологии

Разходите на енергия, характерни за обзавеждането, могат да се сравнят, както при визуализацията на айсберг (виж **Фиг. K9**). Въпреки че айсбергът изглежда голям над повърхността, по-голямата му част е под водата. По подобен начин, когато доставчикът на електроенергия изпраща всеки месец сметката на потребителя, тя се разглежда „повърхностно", т.е. не може да се направи анализ на отделните компоненти в тази сметка. Икономията на енергия е важна и може да бъде единствено достатъчното основание, необходимо за извършване на мониторинг на енергийния процес. Все пак, съществуват и други по-малко очевидни, но много съществени възможности за пестене на енергия, които могат да се намерят под „повърхността", ако се разполага с подходящи средства.



Фиг. K9: Разходи на енергия, визуализирани като айсберг

Влияние върху поведението на потребителите на енергия

Използвайки отчети за разпределение на разходите, може да се провери точността на сметката, вътрешното разпределението на сметката в отдела, да се вземат ефективни енергийни решения и да се извърши осчетоводяване на различни нива в организацията. След това, отчитайки отговорността за направените разходи на електрическа енергия на различни нива в организацията, може да се влияе върху поведението на потребителите, така че да се използва разумно енергията и в резултат да се постигне икономия на енергия.

Повишаване ефективността на оперативния персонал

Едно от големите предизвикателства на оперативния персонал, отговарящ за електрическата мрежа, е да взема правилно решение и да го реализира за минимално време.
Първото изискване към тези лица е да знаят по-добре това, което се случва в електрическата мрежа, и да бъдат винаги информирани.
Тази информираност е най-важното средство, което дава възможност на оперативния персонал да:
- анализира енергийните потоци – проверка изправността на мрежата, балансираност на товарите, главни потребители, дневни и седмични товарови графици и т.н.;
- анализира поведението на мрежата – получаването на информация от долустоящите товари осигурява по-лесен анализ на захранващата линия;
- бъде информиран за събития, дори и когато не се намира в района на предприятието, като се използват съвременните мобилни комуникации;
- локализира повредата, да анализира аварийната ситуация и незабавно да се придвижи към района с подходяща резервна част;
- инициира своевременно техническо обслужване, като се вземе под внимание използването на електрообзавеждането;
- осигури на електротехника начин за наблюдаване на електрическата мрежа.

Той може да се прояви като мощно средство за оптимизация, а в някои случаи и да осигури значително намаляване разхода на електрическа енергия.
По-долу са посочени няколко примери на най-прости системи за наблюдение, осигуряващи:
- сравнение между зони за откриване на необичайна консумация на електрическа енергия;
- разпознаване на необичайната консумация;
- гарантиране, че консумацията на енергия не е по висока от тази на конкуренцията;
- избор на подходящ договор за доставка на електрическа енергия с електроснабдителното предприятие;
- създаване на елементарна система за оптимизиране на различни товари, например, осветителна уредба;
- правото да се търсят обезщетения при повреди поради некачествена енергия от енергийната компания – ако производственият процес е преустановен, заради смущения по мрежата.

Реализиране на проекти за енергийна ефективност

Системата за мониторинг на енергията осигурява информация, необходима за пълен енергиен одит на сградата. Такъв одит може да се използва не само за електрическа енергия, но и за вода, въздух, газ, пара. Информацията за измерените стойности, сравненията и регламентираните енергийни параметри, може да покаже доколко ефективни са индустриалните сгради и процеси. По този начин могат да бъдат създадени съответни планове за действия. Те могат да включват осветителни вериги, системи за сградна автоматизация, регулируеми задвижвания, автоматизация на процеси и др.

Оптимизиране на активите

Характерно за електрическата мрежа е непрекъснатото ѝ развитие. В резултат постоянно възниква въпроса за устойчивостта на мрежата при подобен род развитие.
В този случай системата за мониторинг позволява да се вземе правилното решение.
С помощта на записаните данни, се изгражда база данни, позволяваща да се оцени реалното използване капацитета на мрежата, таблата, трансформаторите и т.н.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Електрически измервания и информационни технологии

По-доброто използване на активите може да увеличи техния срок на служба. Системите за мониторинг могат да осигурят прецизна информация за точната употреба на активите. Тя позволява на персонала, осъществяващ техническо обслужване, да взема правилно решение за своевременни технически операции. В някои случаи мониторинга на хармоници може да удължи срока на служба на някои активи (като двигатели и трансформатори).

Увеличаване на производителността чрез намаляване на времето на престой

Времето за престой е проблем за всеки, отговарящ за електрическа мрежа. Времето за престой може да причини големи загуби за компанията и налага да бъде възстановено захранването в най-кратък срок. Това предизвиква значително психологично натоварване на оператора.
Система за мониторинг и управление може да намали много ефективно времето за престой.
Без да се говори за дистанционна система за управление, която е много сложна и може да се използва за важни приложения, една проста наблюдаваща система може също да осигури подходяща информация. Тя би помогнала съществено за намаляване на времето за престой:

- чрез осигуряване на незабавна информираност на оператора за събития, дори и за райони, извън предприятието (чрез използване на мобилна комуникация като DECT мрежа или GSM/ SMS);
- осигуряване на обща информация за състоянието на цялата мрежа;
- помощ при откриване на авариялия участък;
- наличие на детайлна информация за всяко събитие, идентифицирано от оперативните устройства (например, това може да бъде основание за посещение).

Дистанционна система за управление би била много полезна, но не е задължително. В много случаи посещение на оперативния персонал в повредена зона е необходимо, когато се изискват конкретни действия.

Подобряване на производителността чрез подобряване на качеството на електроенергията

Някои товари могат да бъдат много чувствителни към качеството на електрическата енергия и операторите могат да имат неочаквани проблеми, ако качеството на енергията не се следи. Мониторингът за качеството на електрическа енергия е подходящ начин за предотвратяване на такива събития или за да се установят специфични ситуации.

4.3 Избор на технически средства и системи за измерване на електрическата енергия

Изборът на измервателни продукти за електрическата мрежа се прави в зависимост от приоритетите за енергийна ефективност, а също и от използваните технологии:

- измервателните и защитните функции за мрежи НН или СрН са интегрирани в едно и също устройство, пример: измервателни и защитни релета Sepam, защитно устройство Micrologic за автоматичен прекъсвач Masterpact, моторен пускател TeSys U, контролер за кондензаторна батерия NRC12, UPS Galaxy и др.;
- измервателната функция е разделена от защитната функция, Пример: вграждането в табло на анализаторът на вериги PowerLogic Circuit Monitor и др.

Прогресът в областта на индустриалната електроника и IT технологиите е в основата на създаване на отделно устройство, позволяващо:

- постигане на изискванията за опростяване на таблата;
- намаляване цената на измерване и броя на устройствата;
- улесняване развитието на продукти чрез обновяване на софтуер.

Електронна защита Micrologic за автоматичен прекъсвач Masterpact

Моторен пускател TeSys U

© Schneider Electric - всички права запазени

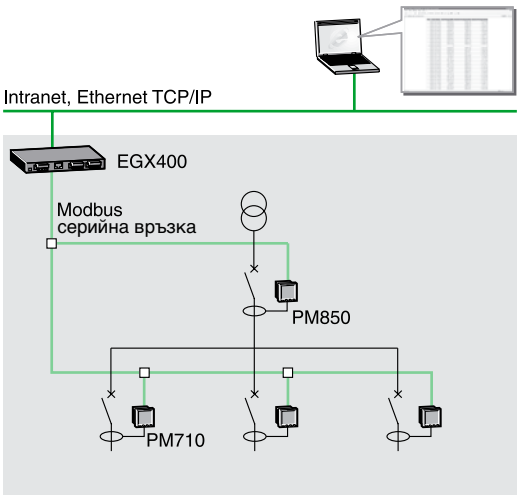
По-долу са посочени примери за измервания, реализирани чрез Modbus, RS485 или Ethernet (виж **Табл. K10**).

Табл. K10: Примери за измервания, реализирани чрез Modbus, RS485 или Ethernet

	Измерва-телни устройства	**Защитни и измервателни релета за СрН**	**Защитни и измервателни релета за НН**	**Регулатори за кондензаторни батерии**	**Устройства за контрол на изолация**
Примери	Power Meter, Circuit Monitor	SEPAM	Автоматичен прекъсвач Masterpact и защитни устройства Compact NS Micrologic	Varlogic	Vigilohm System
Постоянно управление на енергийна консумация					
Мощност: моментна, максимална, минимална	■	■	■	■	-
Енергия: усреднена	■	■	■	-	-
Фактор на мощността: моментен	■	■	■	-	-
cos φ: моментен	-	-	-	■	-
Подобряване осигуреността на електроснабдяването					
Ток: моментен, максимален, минимален, несиметрия	■	■	■	■	-
Ток: регистриране форма на вълната	■	■	■	-	-
Напрежение: моментно, максимално, минимално, несиметрия	■	■	■	■	-
Напрежение: регистриране форма на вълната	■	■	■	-	-
Положение на устройството	■	■	■	■	-
Запис на аварии	■	■	■	-	-
Честота: моментна, максимална, минимална	■	■	■	-	-
THDu, THDi	■	■	■	■	-
Енергиен мениджмънт					
Температура на електрообзавеждането, топлинно състояние на електрообзавеждането	■	■	-	■	-
Изолационно съпротивление	-	-	-	-	■

	Моторни пускатели	**Честотни задвижвания НН**	**Софтстартери НН**	**Софтстартери СрН**	**UPSs**
Примери	TeSys U	ATV.1	ATS.8	Motorpact RVSS	Galaxy
Постоянно управление на енергийна консумация					
Мощност: моментна, максимална, минимална	-	■	-	■	■
Енергия: усреднена	-	■	■	■	-
Фактор на мощността: моментен	-	-	■	■	■
Подобряване осигуреността на електроснабдяването					
Ток: моментен, максимален, минимален, несиметрия	■	■	■	■	■
Ток: регистриране форма на вълната	-	-	-	■	■
Положение на устройството	■	■	■	■	■
Запис на аварии	■	■	■	■	-
THDu, THDi	-	■	-	-	-
Енергиен мениджмънт					
Температура на електрообзавеждането, топлинно състояние на електрообзавеждането	■	■	■	■	■
Продължителност на работа на двигателя, h	-	■	■	■	-
Проверка за състоянието на батерията	-	-	-	-	■

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. K11: Пример за електрическа мрежа, защитавана и наблюдавана чрез Intranet

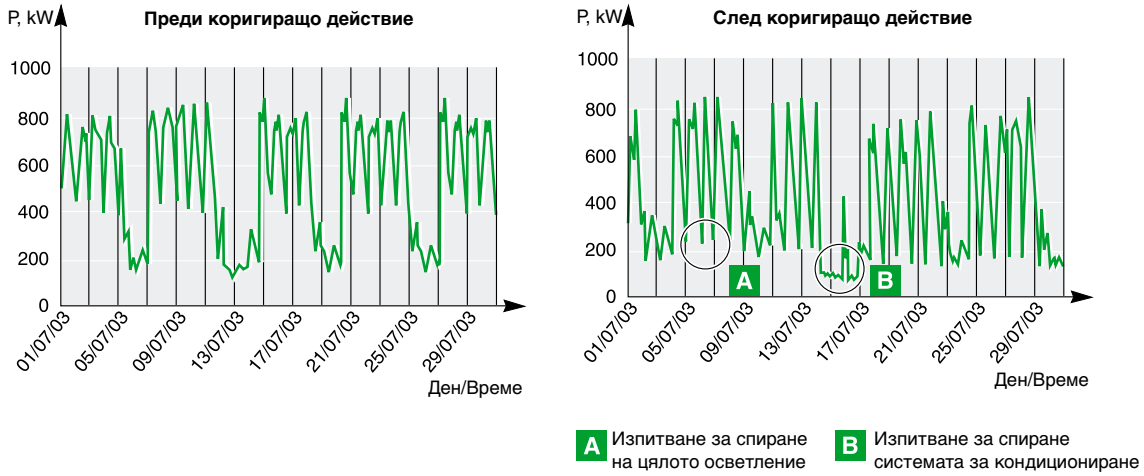
Пример на решение за страна CpH:

Компанията Analysesample Ltd., е специализирана за анализ на данни от индустриални предприятия за обработка на метали, пластмаси и т.н. Те се използват за сертифициране на химически характеристики. Потребителят иска да има по-добър контрол за енергийната консумация на съществуващи електрически пещи, система за кондициониране и да осигури качество на електрическото захранване за високо прецизни електронни устройства, използвани за анализ на данни.

Електрическа мрежа, защитавана и наблюдавана през Intranet

Предлаганото решение включва възстановяване на енергийни данни чрез измервателни устройства, което също така позволява измерване на основни електрически параметри, както и оценка на качеството на електрическата енергия. Свързан към уеб сървър, интернет браузерът позволява много лесна употреба и извеждане на данни във формат на Microsoft Excel™. Товаровите графици могат да бъдат начертани в реално време чрез подходящи времедиаграми (виж **Фиг. K11**). По този начин, за да се използват данните, не се изисква нито IT инвестиция, нито софтуер или хардуер.

Например, за намаляване на сметката за електричество и ограничаване на консумацията през нощта и почивните дни, трябва да се изучи тренда на кривите, осигурени от измервателните устройства (виж **Фиг. K12**).



Фиг. K12: A *Изпитване за спиране на цялото осветление* B *Изпитване за спиране системата за кондициониране*

Тук консумацията на електрическа енергия по време на неработните часове изглежда висока и следователно трябва да бъдат взети две решения:
- *намаляване на осветлението през нощта;*
- *спиране на системата за кондициониране през почивните дни.*

Получената нова крива показва значително намаляване на консумацията на електрическа енергия.

© Schneider Electric - всички права запазени

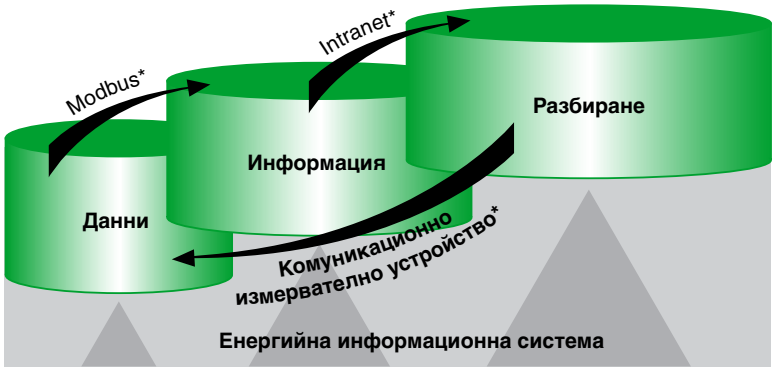
5 Комуникационна и информационна системи

Повечето организации вече имат изградена информационна енергийна система на някакво ниво. Възможно е тя да не е напълно изградена или управлявана като едно цяло. Трябва да се признае, че в бързо променящия се свят, всяка информационна система трябва да се развива, за да може да изпълни основната си цел – подпомагане вземането на управленско решение. Ключова роля на системата е да направи информацията за енергията достъпна на всяко ниво в организацията чрез комуникационната инфраструктура.

Данните за енергията са важни, но те са само една част от активите на компанията. Компанията има IT мениджъри, които отговарят за управлението на други IT системи. Те са важни участници в системата за енергиен мениджмънт и преди всичко, за обмена на данни в корпоративната организация.

5.1 Комуникационна мрежа на ниво продукт, апаратура и местоположение

Ежедневната работа на енергийна информационна система може да бъде илюстрирана чрез диаграма със затворен цикъл (виж **Фиг. K13**).



* Комуникационна мрежа

Фиг. K13: Системна йерархия

Различни ресурси се използват за изпращане на информация от различни измервателни и защитни устройства, инсталирани в таблата на потребителя, например, през Schneider Electric Transparent Ready™.

Протокол за комуникация Modbus

Modbus е индустриален протокол за връзка между обзавеждане, който е свързан чрез физическа предавателна верига, например, RS485 или Ethernet (през TCP/IP) или модем (GSM, радио и др.). Този протокол е много широко използван в измервателни и защитни устройства за електрически мрежи.

Първоначално създаден от Schneider Electric, сега Modbus е обществено достъпен ресурс, управляван от независима организация Modbus-IDA – позволяваща пълно отваряне на спецификацията. Като индустриален стандарт от 1979 г., Modbus позволява милиони продукти да комуникират помежду си.

IETF, международна организация управляваща интернет, е одобрила създаването на порт (502) за продукти, свързани към Internet/Intranet, и използващи Ethernet Modbus TCP/IP комуникационен протокол.

Modbus е комуникационен протокол, основан на клиент-сървър архитектура. Това е процес на задаване на въпроси от клиента (контролер, PC и др.) и получаване на отговори от сървъра (обзавеждане), т.е. между две части от обзавеждане, основан на четене на данни и писане на инструкции (функционални кодове). Въпросът се излъчва от едно единствено главно устройство, наречено “master”, а отговорът се изпраща само от подчинено устройство, наричано “slave”, идентифицирано във въпроса (виж **Фиг. K14**).

Всеки “slave” продукт, свързан към Modbus мрежа, се указва от потребителя с идентификационен номер (ID), наричан Modbus адрес. Синтаксисът на командите на протокола позволява по една комуникационна линия да се адресират от 1 до 247 устройства.

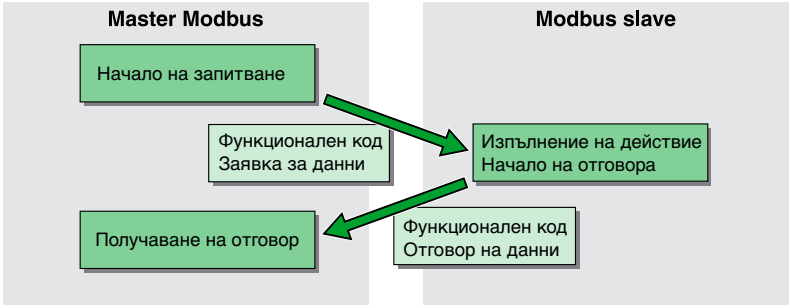
“Master”-ът - например уеб сървър, монтиран в електрическо табло – едновременно записва съобщения от всички продукти, съдържащи техния съответния адрес, функционален код, адресна памет в продукта и количество информация. Едновременно могат да се обслужват до 253 отчета.

Само продукт със съответния адрес отговаря на заявката. Обменът се извършва по заявка на „master”-а (в случая уеб сървър): това е начина на комуникация „master”-„slave” на Modbus.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Комуникационна и информационна системи

Процедурата за заявка, следвана от отговор, означава, че „master”-ът ще има всичката налична информация за продукта (slave) след комуникация. „Master”-ът управлява всички заявки успешно ако са предназначени за същия продукт. Тази организация води до изчисляване на максимален брой продукти, свързани към „master”-а, за оптимизиране времето за отговор на заявка, особено когато се използва по-бавна връзка, например RS485.



Фиг. K14: Функционални кодове, позволяващи писане или четене на данни

Софтуерната грешка при предаване, наричана CRC16 (1), позволява да се повтори само съобщението, съдържащо тази грешка и само продуктът, свързан с грешката.

Intranet мрежа

Обмяната на индустриални данни обикновено става чрез уеб технологии, изпълнявани постоянно в корпоративната комуникационна мрежа, и особено в нейния intranet.

IT инфраструктурата управлява различни софтуерни приложения: компанията ги употребява за приложения за офиса, за разпечатване, за резервен архив на данни, за корпоративната IT система, за счетоводство, за покупки, за ERP, за управление на производство, API, MES, и др. Съвместяването на данните на една и съща комуникационна мрежа не води до някакви специфични технологични проблеми.

Когато няколко PC-та, принтери и сървъри са свързани един към друг в сградите на компанията, най-вероятно се използва Ethernet мрежа и уеб услуги: такава компания е подготвена за незабавно получаване на данни за енергийната ефективност, доставени от електрическите табла. Без разработване на какъвто и да е софтуер, всички те се нуждаят от Internet браузера на Microsoft - Internet Explorer.

Данните от тези приложения преминават през локалната Ethernet мрежа със скорост до 1 Gb/s: обикновено тя е изградена от медни или оптични проводници, което позволява връзка навсякъде, в комерсиални или промишлени сгради и в електрически помещения.

Ако компанията има вътрешна Intranet комуникационна мрежа за електронна поща и уеб сървъри за споделяне на данни, тя използва широко разпространения стандартизиран комуникационен протокол: TCP/IP.

TCP/IP комуникационният протокол е проектиран за широко използвани уеб услуги като http за достъп до уеб страници, SMTP за електронни съобщения и др.

Приложения	SNMP	NTP	RTPS	DHCP	TFTP	FTP	HTTP	SMTP	Modbus
Транспортен протокол	UDP					TCP			
Интернет протокол	IP								
Физическа среда	Ethernet 802.3 and Ethernet II								

(1) CRC (Cyclic Redundancy Check) – проверка на цикличния остатък . Това е алгоритъм за проверка за грешки при предаване и съхранение на данни чрез използване на контролна сума (CRC сума).

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Комуникационна и информационна системи

Електротехническите данни, записани в индустриални уеб сървъри, инсталирани в табла, се изпращат използвайки същия стандартен TCP/IP протокол, за да се ограничат постоянните IT разходи. Те са съществени в една IT мрежа. Това е работещ принцип на Schneider Electric Transparent ReadyTM за комуникация на данни за енергийна ефективност. Електрическото табло в самостоятелно без използване на PC с допълнителни IT системи. Всички данни, отнасящи се до енергийна ефективност, са записани и могат да бъдат предавани през Intranet, GSM, стационарни телефонни линии и т.н.

Сигурност

Служителите са по-добре информирани, по-ефективни и работят в условия на пълна електротехническа безопасност: те вече не трябва да отиват в електрическите помещения или да правят стандартни проверки на електрически устройства – те просто трябва да анализират данните. При такива условия системата за комуникация дава на служителите на компанията бързи и значителни печалби и избягва проблеми, породени от правене на грешки.
Това позволява на електротехниците, работници за поддръжка или заети в производството, местни и гостуващи мениджъри да работят заедно при пълна безопасност.
В зависимост от типа на данните, IT мениджърите могат да дават на различните потребители различни права за достъп.

Странични влияния върху локалната поддръжка на мрежата

IT мениджърът на компанията има техническите ресурси да добавя и да следи уреди към локалната мрежа на компанията.
Основани на стандартни уеб услуги, включващи Modbus протокол през TCP/IP, и поради ниското ниво на изисквания към системата за наблюдение на електрическа мрежа, както и поради използването на технологии, които не са зависими от вируси и международни IT стандарти, IT мениджъра не трябва да прави някаква специфична инвестиция за запазване на съществуващото качество на мрежата, или за защита от други проблеми, свързани със сигурността (вируси, хакери и др.).

Захранване на външни партньори

Според политиката за сигурност на компанията, може да се използват услуги за подпомагане обслужването на партньори в сектора: контрактори, ръководители на електроснабдителни предприятия, строители, системни интегратори и др.
Schneider Electric Services може да осигури дистанционна помощ и анализ на електротехнически данни за компанията, консумираща електрическа енергия.
Web службата може редовно да изпраща данни по електронна поща или да извършва on-line консултации в web страници, чрез подходяща техника.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Комуникационна и информационна системи

5.2 От мрежов мониторинг и управление на системи към интелигентно силово обзавеждане

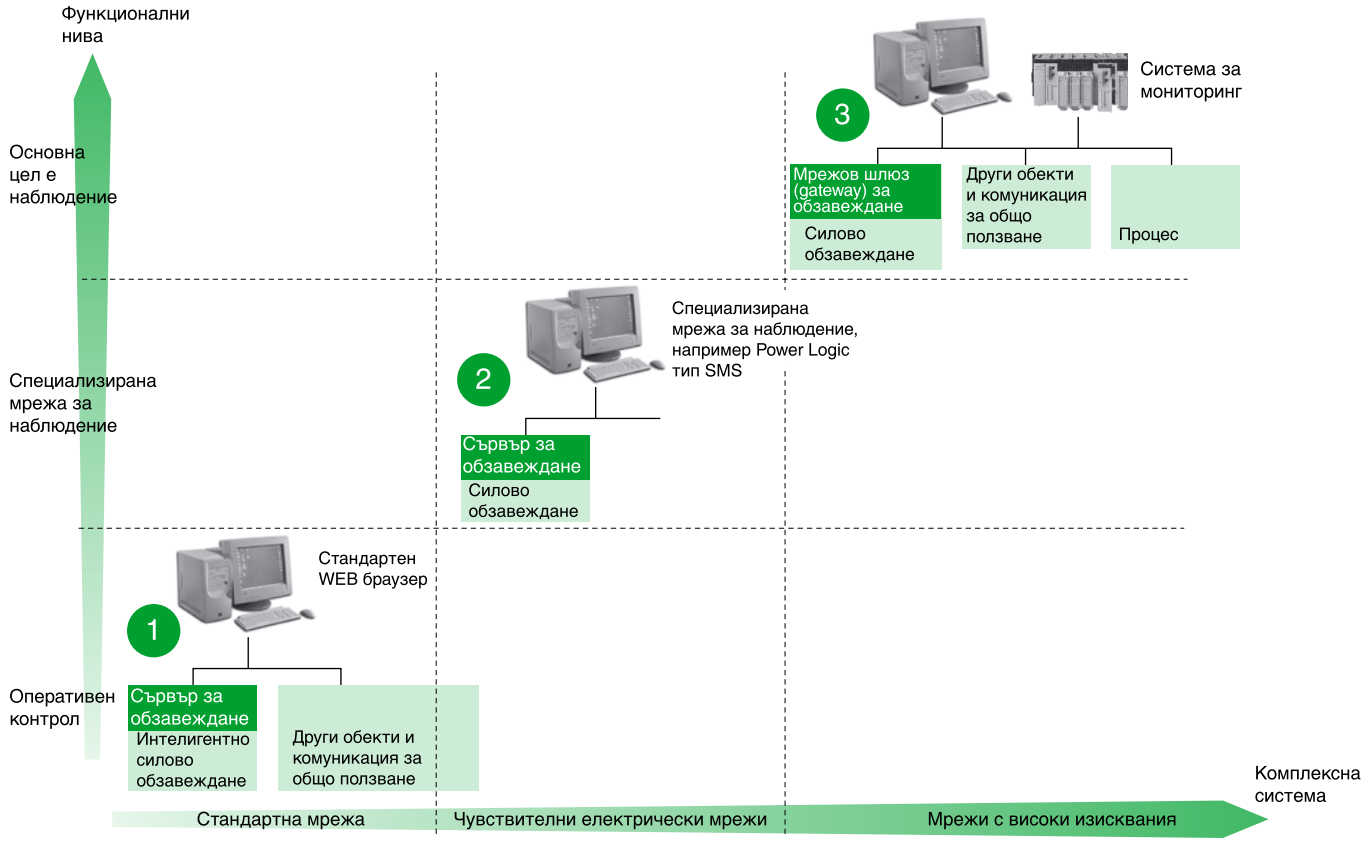
Традиционно, в течение на много години, системите за мониторинг и контрол са централизирани и базирани на SCADA (Supervisory, Control and Data Acquisition) автоматизирани системи. Решение за инвестиране в такива система, отбелязана с (3) на **Фиг. K15**, е характерно само за уредба с високи изисквания, защото или тя е голям консуматор на мощност, или защото производственият ѝ процес е много чувствителен към качеството на електрическата енергия.

Такива системи, използващи средства за автоматизация, са създавани и изработвани често по поръчка на системен интегратор, а след това са доставяни на място. Обаче, първоначалните разходи, уменията, необходими за коректно управление на такава система, а също и разходите за модернизиране в резултат от развитието на мрежата намаляват потребителския интерес за инвестиция в SCADA системата.

По-късно, базиран на специално създадени решения за електротехническата практика, другият подход, отбелязан с (2), е много по-подходящ за електрически мрежи със специфични изисквания и наистина увеличава възвращаемостта от употребата на такава система. Но, поради централизираната им архитектура нивото на разходите за такова решение е все още високо.

На някои места, системите, отбелязани с (2) и (3) на **Фиг. K15**, могат да бъдат комбинирани и да осигуряват най-точна информация на персонала, когато е необходимо.

В последните години се развива нова концепция за интелигентно силово обзавеждане (отбелязвана с 1). Тя съдържа системни модули от решения (2) или (3), поради съвместимостта на техническите им характеристики.



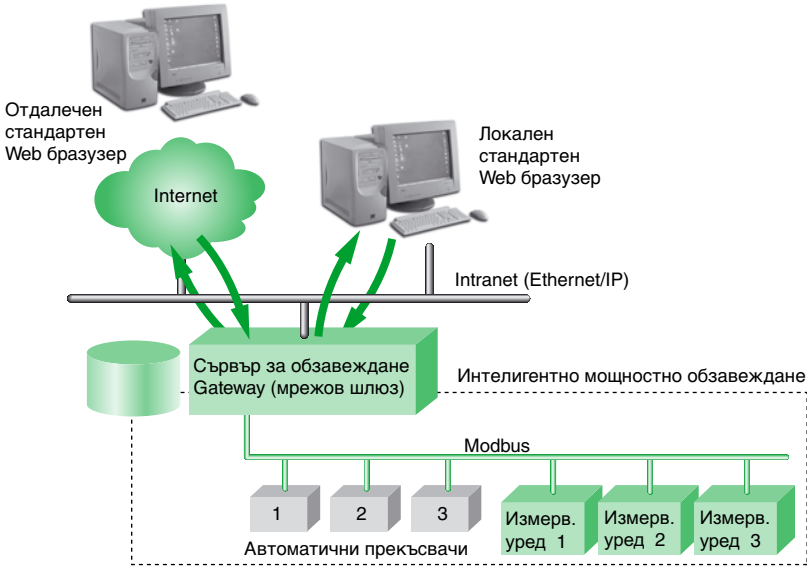
Фиг. K15: Структура на енергийна диспечерска система

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Комуникационна и информационна системи

Архитектура, използваща интелигентно обзавеждане (виж Фиг. K16)

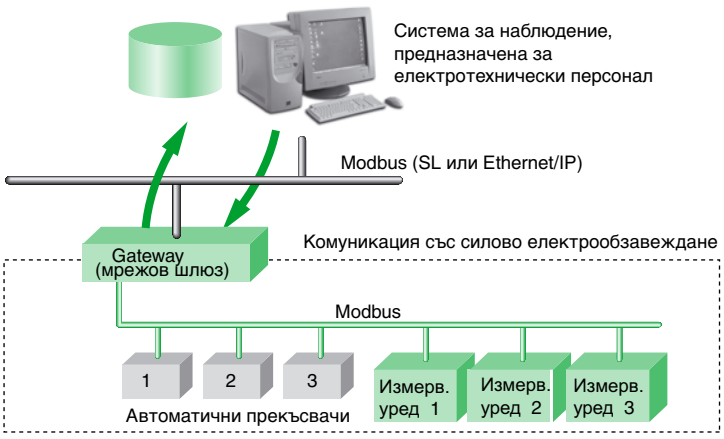
Тази нова архитектура се е появи напоследък поради възможностите на Web технологията. Тя може да бъде използвана като входна точка в системите за наблюдение. Базирана на Web технологиите, тя извлича максимална полза от стандартните комуникационни услуги и протоколи и безплатният софтуер. Възможността за получаване на информация за енергийната мрежа може да бъде реализирана от всяка нейна част, а обслужващия персонал може да стане много по-ефективен. Предлага се като услуга външен достъп до информацията през Internet.



Фиг. K16: Архитектура, използваща интелигентно обзавеждане

Централизирана архитектура, предназначена за електротехнически персонал (виж Фиг. K17)

Специално създадена за електротехнически персонал, тази архитектура е базирана на специфична централизирана среда, която напълно отразява изискванията за наблюдение на енергийната мрежа. Освен това, тя е по-достъпна за потребителя и по-лесна за обслужване – всички устройства за електроразпределение са на разположение в специализирана библиотека. Цената на закупуване е наистина минимизирана, поради ниското ниво на системно интегриране.



Фиг. K17: Система за наблюдение на електроразпределение

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Комуникационна и информационна системи

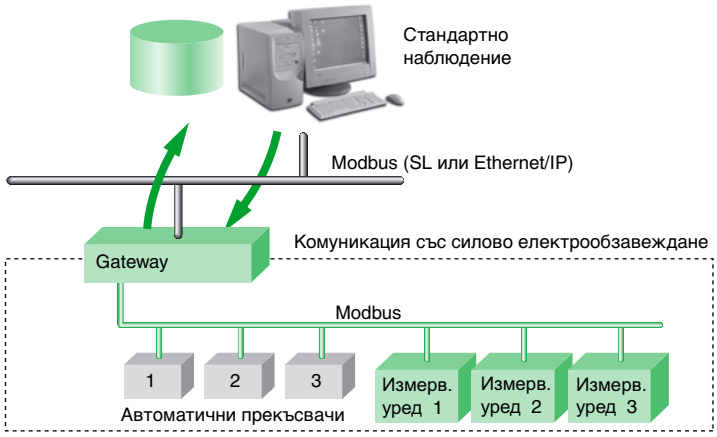
Централизирана архитектура за общо предназначение (виж Фиг. K18)

Това е типична архитектура, базирана на стандартни автономни части, като SCADA системи и мрежови шлюзове (gateway).

Въпреки голямата ѝ ефективност, такава архитектура има и редица недостатъци:

- необходимо ниво на знания за използване;
- ограничена възможност за модернизация;
- рискова възвръщаемост.

Все пак тя няма равностойна система за места с високи изисквания и е много подходяща за централни оперативни зали.



Фиг. K18: Система за мониторинг и управление в реално време

5.3 Електронно техническо обслужване

Въвеждането на информационна система, с глобален подход към енергийната ефективност, води до много бързи финансови печалби, обикновено с възвращаемост на инвестицията под 2 г.

Допълнителната полза, която все още не се дооценява, е възможността увеличаването на печалбата без допълнителни капиталовложения. Енергийната мрежа може да бъде анализирана периодично от трети страни – обикновено използвайки външни компетенции през интернет за много специфични цели:

- Договори за доставка на електрическа енергия. Например, смяна на доставчика в определен момент е възможна след анализ на икономически фактори върху цените, свързани с консумацията на електроенергия, без да е необходимо да се чака годишния отчет;
- Пълно управление на базата от енергийни данни през интернет за преобразуването ѝ в подходяща информация. Тя е обратна връзка, предлагана през персонален Web портал. Информацията за електрическите консуматори е достъпна за много потребители. Тя се предоставя лесно за използване в Internet, което я прави полезна и в други ситуации;
- Пълна техническа диагностика, предоставяна на експерт. Това е много рядко срещана възможност, която е лесно достъпна през Internet;
- Мониторинг на енергийната консумация и генериране на предупредителни сигнали в случаи на ненормални пикове на електропотребление;
- Оптимизиране на обслужването, което е необходимо за нормална експлоатация на енергийната мрежа.

Енергийната ефективност вече не е проблем, с който компанията трябва да се справя сама. Много е-партньори могат да подпомогнат този процес при необходимост. Когато параметрите на енергийната мрежа се измерват и се комуникира през Internet, е възможно да се вземе решение за външна техническа помощ на съответния етап.

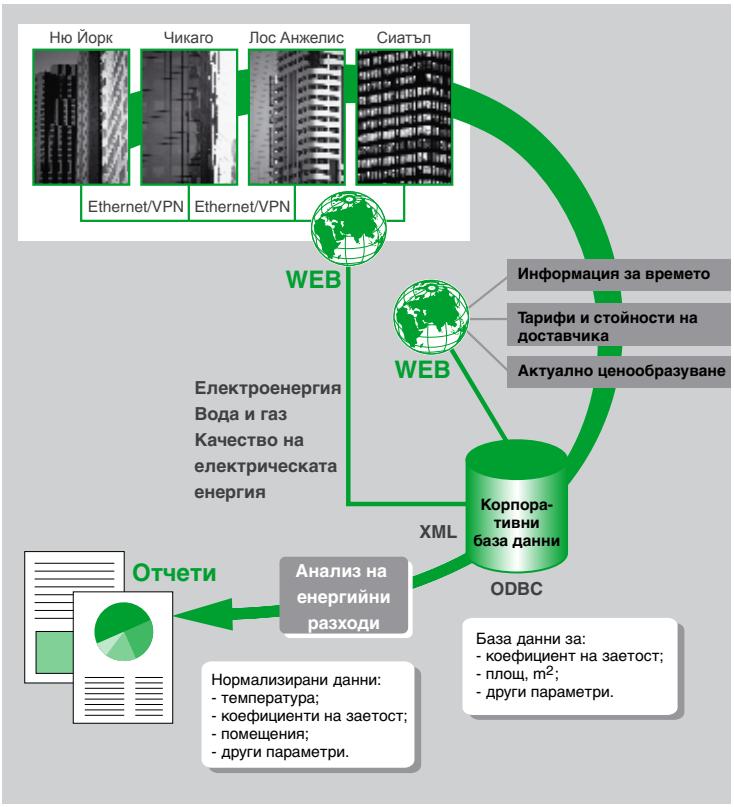
Изпълнението на е-обслужването може да бъде на стъпки, като се започне от няколко ключови елементи от информационното обзавеждане и постепенно системата се разширява така, че да се постигне по-висока точност или да се покрие по-голяма част от уредбата.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Комуникационна и информационна системи

Компанията може да избира политиката си: да се обърне към партньори за анализ на данните, да го направи сама или да комбинира тези възможности.
Компанията може да реши да изгражда самостоятелна енергийна политика, или да търси партньор за наблюдение на качеството, осигуряващо активен мониторинг за определен период от време.

Пример *(виж* ***Фиг. K19****):*
Компанията Schneider Electric предлага е-услуги, които осигуряват визуализация на товари графици и анализ на приложения в ASP режим. Те опростяват процесите за потребители от различни географски райони като предлагат удобни комбинирани сметки и използват обобщена информация за всички места.
Системата преобразува данните за използваната електроенергия от потребителите в полезна информация, лесно достъпна за всички вътрешни потребители. Тя подпомага управлението на разходите, като показва на потребителите как техните организации използват енергията.
Същата платформа предлага широка гама от услуги, необходими за обслужващия персонал:
База данни и анализ. Изплатени очаквани сметки. Сравнителен анализ от типа „Какво ще стане ако?" – влияние на някои операционни промени като разместване на товари във времето или намаляване на консумацията чрез фиксирани суми или проценти на консумирана електроенергия. Автоматична сигнализация за опасности. Архив, Сравнителен анализ – сравняване на данните за използваната електроенергия от няколко сгради, чрез прилагане на нормализиращи фактори като площ в m^2, работни часове и произведена продукция. Други енергийни източници – достъп до данни за използвани природен газ и вода, както електрическата енергия и т.н.



Фиг. K19: Пример за типово решение

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава L
Подобряване фактора на мощността и филтрация на хармониците

Съдържание

1 Реактивна енергия и фактор на мощността L2
- 1.1 Характер на реактивната енергия L2
- 1.2 Електрообзавеждане и апарати, изискващи реактивна мощност L2
- 1.3 Фактор на мощността L3
- 1.4 Практически стойности на фактора на мощността L4

2 Защо трябва да се подобрява факторът на мощността? L5
- 2.1 Намаляване стойността на електроенергията L5
- 2.2 Технико-икономическа оптимизация L5

3 Как да се подобри фактора на мощността? L7
- 3.1 Теоретични основи L7
- 3.2 Избор на електрообзавеждане L7
- 3.3 Избор между нерегулируема и автоматично регулируема кондензаторна батерия L9

4 Къде да се монтират кондензаторите за коригиране на фактора на мощността? L10
- 4.1 Централизирана компенсация L10
- 4.2 Групова компенсация L10
- 4.3 Индивидуална компенсация L11

5 Как да се определи оптималното ниво на компенсация? L12
- 5.1 Общ метод L12
- 5.2 Опростен метод L12
- 5.3 Метод, основан на използване на наказателни тарифи L14
- 5.4 Метод, основан на намаляване на обявената максимална пълна мощност L14

6 Компенсация на клемите на трансформатора L15
- 6.1 Компенсация за повишаване на разполагаемата изходна активна мощност L15
- 6.2 Компенсация на реактивната енергия, потребявана от трансформатора L16

7 Повишаване фактора на мощността на асинхронни електродвигатели L18
- 7.1 Свързване на кондензаторни батерии и настройки на защитата L18
- 7.2 Методи за предотвратяване самовъзбуждане на асинхронен двигател L19

8 Пример на уредба преди и след компенсация на фактора на мощността L20

9 Влияние на хармониците L21
- 9.1 Проблеми, свързани с хармоничните съставящи в енергийната система L21
- 9.2 Възможни решения L21
- 9.3 Избор на оптимално решение L23

10 Изпълнение на кондензаторни батерии L24
- 10.1 Кондензатори L24
- 10.2 Избор на защита, управляващи устройства и свързващи кабели L25

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Реактивна енергия и фактор на мощността

Системите за променлив ток осигуряват две форми на енергия:
■ *Активна енергия, в kWh, която се преобразува в механична работа, топлина, светлина и др.*
■ *Реактивна енергия, в kVAr, която приема две форми:*
□ *Реактивна енергия, необходима за индуктивни вериги (трансформатори, двигатели и др.);*
□ *Реактивна енергия, генерирана от капацитивни вериги (кабели, силови кондензатори и др.).*

1.1 Характер на реактивната енергия

Всички индуктивни (т.е. електромагнитни) машини и устройства, работещи в променливотокови системи, преобразуват електрическата енергия от генераторите в енергийната система в механична работа и топлина. Тази енергия се измерва с електромери и се нарича „активна" или „ватна" енергия. За да се изпълни такова преобразуване трябва да бъдат създадени магнитни полета в машините, и тези полета са свързани с една друга форма на енергия, известна като „реактивна" или „безватна" енергия, осигурявана от енергийната система.

Причината за това е, че индуктивната веригата циклично поглъща енергия от системата (за създаване на магнитни полета) и отдава тази енергия обратно в системата (в течение на периода на намаляване на магнитните полета) два пъти за всеки цикъл на синусоидалното напрежение с промишлена честота.

Същото явление се наблюдава и при наличие на паралелно включени капацитивни елементи в енергосистемата, такива като кабели или кондензаторни батерии и др. В този случай енергията се запасява електростатически (зареждане на кондензатор). Цикличният заряд и разряд на капацитивната верига оказва върху генераторите на системата същото влияние, както и описаното по-горе за индуктивната верига. Но токът в капацитивната верига има фазово отместване, противоположно на това на тока в индуктивната верига. На това са основани и схемите за повишаване фактора на мощността.

Трябва да се отбележи, че макар реактивният ток (в по-тесен смисъл, реактивната съставяща на товарния ток) да не консумира енергия от системата, той предизвиква загуба на енергия в нея при предаване и разпределение на енергията, поради нагряването на проводниците.

В реалните енергийни системи реактивните съставящи на товарните токове са винаги индуктивни, а импедансите на преносните и разпределителните системи са предимно индуктивно-реактивни. Индуктивният ток през индуктивно-реактивно съпротивление създава най-лошият възможен режим за пада на напрежение (пълна противофаза на напрежение в системата). Поради тези причини (загуби на енергия при пренасяне и пад на напрежение) органите, регулиращи електроснабдяването, изискват намаляване на стойността на индуктивния ток в най-голяма степен.

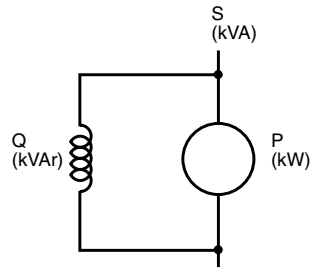
Капацитивните токове имат обратния ефект върху стойностите на напрежението и предизвикват повишаване на напрежението в енергийните системи.

Като правило мощността, в kW, свързана с активната енергия, се означава с буквата „P".

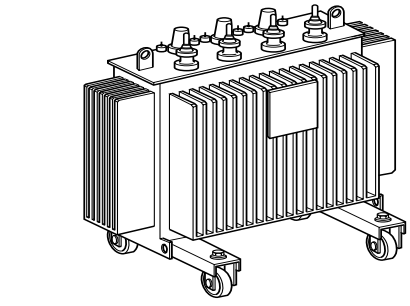
Реактивната мощност, в kVAr, се означава с „Q". Индуктивно-реактивната мощност условно се приема за положителна (+Q), а капацитивно-реактивната – за отрицателна (-Q).

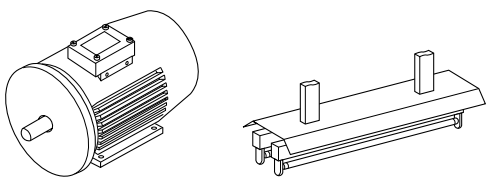
Пълната мощност S, в kVA, е геометрична сума от P и Q (виж Фиг. L1).

В т.1.3 е показана връзката между P, Q и S.



Фиг. L1: Електрическият двигател консумира активна P и реактивна Q мощност от енергийната система





Фиг. L2: Потребители на мощност, които изискат реактивна енергия

1.2 Електрообзавеждане и апарати, изискващи реактивна мощност

Всички уредби и апарати за променлив ток, които съдържат електромагнитни устройства или зависят от магнитно-свързани намотки изискват в една или друга степен реактивен ток за създаване на магнитен поток.

Най-често срещаните изделия в този клас са трансформатори и реактори, двигатели и разрядни лампи с баластни съпротивления (виж Фиг. L2).

Отношението на реактивната, в kVAr, и активната, в kW, мощности при напълно натоварено обзавеждане зависи от характеристиката на това обзавеждане:

■ (65 ... 75) % за асинхронни двигатели;

■ (5 ... 10) % за трансформатори.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Реактивна енергия и фактор на мощността

Факторът на мощността cos φ е отношението на активната към пълната мощност. Колкото коефициентът се доближава до своята максимална стойност 1, толкова е по-голяма ползата за потребителя и доставчика.

1.3 Фактор на мощността

Определение

Факторът на мощността на товар, който е енергопотребяваща единица обзавеждане или съвкупност от такива единици (например, за цяла уредба), се задава с отношението P/S (kW/kVA) в даден момент от време.

Стойността на фактора на мощността се изменя в диапазона от 0 до 1.

Ако токовете и напреженията са идеално синусоидални, факторът на мощността е равен на cos φ.

Факторът на мощността около 1 означава, че реактивната мощност е малка в сравнение с активната. Ниската стойност на коефициента означава обратното.

Векторна диаграма на мощността

- ■ Активна мощност P, в kW
- □ Еднофазна (една фаза и неутрала): P = V I cos φ
- □ Еднофазна (фаза – фаза): P = U I cos φ
- □ Трифазна (три проводника или три проводника + неутрала): P = $\sqrt{3}$ U I cos φ
- ■ Реактивна мощност Q, в kVAr
- □ Еднофазна (една фаза и неутрала): P = V I sin φ
- □ Еднофазна (фаза – фаза): Q = U I sin φ
- □ Трифазна (три проводника или три проводника + неутрала): P = $\sqrt{3}$ U I sin φ
- ■ Пълна мощност S, в kVA
- □ Еднофазна (една фаза и неутрала): S = V I
- □ Еднофазна (фаза – фаза): S = U I
- □ Трифазна (три проводника или три проводника + неутрала): P = $\sqrt{3}$ U I,

където V е фазното напрежение, V;
U – линейното напрежение, V;
I – токът, A;
φ – фазовият ъгъл между векторите на напрежението и тока.

- □ За балансирани или почти балансирани товари в четирипроводна система.

Вектори на тока и напрежението и извод на векторната диаграма на мощността

Векторната диаграма на мощността е полезен инструмент, получавана непосредствено от въртящите се вектори на тока и напрежението както следва:

Напреженията на енергосистемата се приемат в качеството на изходни величини и се разглеждат само за една фаза, излизайки от предположението за балансиран трифазен товар.

Изходното напрежение на фазата (V) съвпада с хоризонталната ос, а токът (I) на таза фаза е отместен, изостава практически за всички товари на енергийната система спрямо напрежението на ъгъл φ.

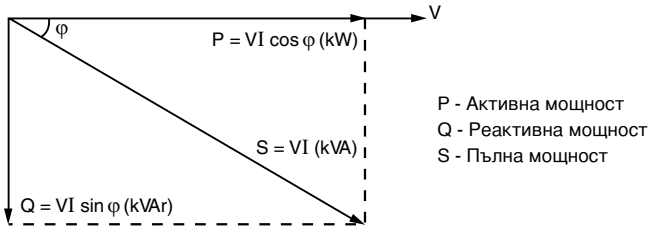
Компонентата на тока I, съвпадаща по фаза с напрежението V, е активната съставяща на тока и е равна на Icos φ, докато VIcos φ, е равно на активната мощност, в kW, във веригата, ако V е изразено в kV.

Компонентата на тока I, изоставаща на 90° от напрежението V, е реактивната съставяща на тока и е равна на Isin φ, докато VIsin φ, е равно на реактивната мощност, в kVAr, във веригата, ако V е изразено в kV.

Резултатът от умножението на I, в A, и V, в kV, (VI), е равен на пълната мощност, в kVA, за веригата.

Получава се простата формула: $S^2=P^2+Q^2$

Следователно умножени с 3, посочените по-горе стойности на активната, реактивната и пълната мощност на фаза могат удобно да представят взаимната връзка на тези мощности и фактора на мощността за трифазен товар (виж **Фиг. L3**).



Фиг. L3: Диаграма на мощността

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Реактивна енергия и фактор на мощността

Пример за изчисляване на мощности (виж **Табл. L4**)

Таблица L4: Пример за изчисляване на активна и реактивна мощност

Тип на веригата	Пълна мощност S, kVA	Активна мощност P, kW	Реактивна мощност Q, kVAr
Еднофазна (фаза-неутрала)	S = VI	P = VI cos φ	Q = VI sin φ
Еднофазна (фаза-фаза)	S = UI	P = UI cos φ	Q = UI sin φ
Пример: товар 5 kW, cos φ = 0.5	10 kVA	5 kW	8.7 kVAr
Трифазна (три проводника или три проводника + неутрала)	S = $\sqrt{3}$ UI	P = $\sqrt{3}$ UI cos φ	Q = $\sqrt{3}$ UI sin φ
Пример: асинхронен двигател с номинална мощност Pn = 51 kW, cos φ = 0.86, кпд η = 0.91	65 kVA	56 kW	33 kVAr

1.4 Практически стойности на фактора на мощността

Изчисленията за трифазния пример, показан в **Табл. L4**, са както следва:
Мощност на вала на двигателя Pn = 51 kW.
Консумираната активна мощност е

$$P = \frac{Pn}{\eta} = \frac{51}{0.91} = 56 \text{ kW},$$

Пълната мощност е

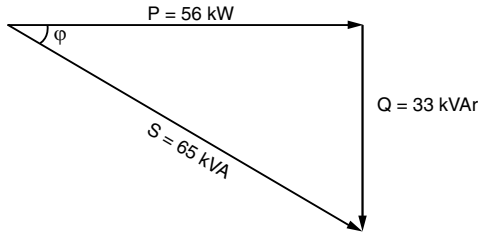
$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{56}{0.86} = 65 \text{ kVA}.$$

Следователно, използвайки диаграмата на **Фиг. L5** или калкулатор, се определя стойността на tg φ = sin φ/cos φ = 0,59,
Q = P tg φ = 56 x 0.59 = 33 kVAr (виж **Табл. L15**).

или

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{65^2 - 56^2} = 33 \text{ kVAr}$$

Средни стойности на фактора на мощността за най-разпространеното обзавеждане и уреди (виж **Табл. L6**).



Фиг. L5: Триъгълник на мощности

Таблица L6: Стойности на cos φ и tg φ за най-разпространеното електрообзавеждане

Електрообзавеждане		cos φ	tg φ
■ Стандартен асинхронен двигател при товар	0%	0.17	5.80
	25%	0.55	1.52
	50%	0.73	0.94
	75%	0.80	0.75
	100%	0.85	0.62
■ Лампи с нажежаема жичка		1.0	0
■ Луминесцентни лампи (без компенсация)		0.5	1.73
■ Луминесцентни лампи (със компенсация)		0.93	0.39
■ Газоразрядни лампи		0.4 - 0.6	2.29 - 1.33
■ Електросъпротивителни пещи		1.0	0
■ Пещи за индукционно нагряване		0.85	0.62
■ Диелектрични нагревателни устройства		0.85	0.62
■ Електросъпротивителни заваръчни агрегати		0.8 - 0.9	0.75 - 0.48
■ Стационарни електродъгови заваръчни апарати		0.5	1.73
■ Моторгенераторна уредба за дъгово заваряване		0.7 - 0.9	1.02 - 0.48
■ Уредба трансформатор – изправител за дъгово заваряване		0.7 - 0.8	1.02 - 0.75
■ Електродъгова пещ		0.8	0.75

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Защо трябва да се подобрява факторът на мощността?

Подобряването на фактора на мощността на уредба осигурява няколко технически и икономически предимства, сред които особено намалената цена на консумираната електрическа енергия.

2.1 Намаляване стойността на електроенергията

Оптималното регулиране на потребената реактивна мощност осигурява редица икономически предимства.

Посочената информация е основана на фактическа тарифна структура, използвана в Европа. Тя е предназначена да стимулира консуматорите да минимизират потребената реактивна енергия.

Кондензаторната уредбата за повишаване фактора на мощността позволява на консуматора да намали разходите за електроенергия за сметка на поддържане на потребена реактивна мощност под стойността, уточнена по договор с доставчика на електроенергия. В рамките на разглежданата тарифна структура изчисляването на потребената реактивна електроенергия се извършва по критерия tg φ.

Както е посочено по-горе:

$$\text{tg}\,\varphi = \frac{\text{Q (kVArh)}}{\text{P (kWh)}}$$

Доставчикът на електрическа енергия осигурява безплатно реактивната енергия:
- До точката, при която нейното потребление е по-малко от 40 % от потребената активна енергия (tg $\varphi < 0.4$) в продължение на максимален период от 16 h на ден (от 6.00 до 22.00 часа) в периода на най-голям товар (обикновено през зимата);
- Без ограничение в продължение на периоди на малък товар през зимата, пролетта и лятото.

В периодите на ограничение, консумираната реактивна енергия, надхвърляща 40 % от активната енергия (tg $\varphi > 0.4$), се заплаща месечно по текущи цени. По такъв начин количеството реактивна енергия, заплатено в тези периоди ще бъде: Q(енергията, която ще бъде платена) = P.tg φ (tg $\varphi > 0.4$), където:
- P е активната енергия, консумирана по време на периодите на ограничение;
- Ptg φ - пълната реактивна енергия, консумирана по време на периода на ограничение;
- 0.4P – сумата от реактивната енергия, доставяна безплатно по време на периода на ограничение.

tg φ = 0.4 съответства на фактор на мощността 0,93. Така че, ако се предприемат мерки за осигуряване факторът на мощността никога да не намалява под 0.93 в течение на периодите на ограничение, консуматорът никога няма да заплаща потребената реактивна енергия.

Обаче, получавайки такива предимства за намалени разходи на електроенергия, консуматорът трябва да отчита стойността на закупуване, на монтажа и обслужването на кондензаторната батерия за повишаване фактора на мощността и управляващата апаратура, автоматичните устройства (в случай на степенна компенсация) заедно с допълнителната активна енергия, консумирана поради диелектричните загуби на мощност и др.

Отчитайки тези разходи за кондензаторната батерия и др. може да се окаже икономически по-изгодно осигуряването само на частична компенсация, т.е. заплащането на определено количество консумирана реактивна енергия може да се окаже по-евтино, отколкото компенсация 100 % .

Въпросът за повишаване фактора на мощността е преди всичко въпрос на оптимизация (с изключение на много простите случаи).

Подобряването на фактора на мощността позволява употребата на по-малки трансформатори, комутационна апаратура, кабели и др., а също да се намалят загубите на мощност и се ограничи пада на напрежение в уредбата.

2.2 Технико-икономическа оптимизация

Високият фактор на мощността позволява да се оптимизират всички компоненти на системата. Трябва да се избягва преоразмеряването на номиналните параметри на уредбата. За получаване на оптимални резултати е необходимо да се монтират компенсиращи устройства, колкото е възможно по-близо, до консуматора на реактивна (индуктивна енергия).

Намаляване сечението на кабели

Таблица L6 показва необходимото увеличаване сечението на кабели при намаляване фактора на мощността от 1 до 0.4, за една и съща пренасяна активна мощност.

Таблица L6: Множител за сечение на кабел в зависимост от cos φ

Множител за площта на напречното сечение на кабелното(-те) жило(-а)	1	1.25	1.67	2.5
cos φ	1	0.8	0.6	0.4

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Защо трябва да се подобрява факторът на мощността?

Намаляване на загубите P, в kW, в кабели

Загубите в кабелите са пропорционални на квадрата на тока и се измерват от електромера на уредбата. Например, намаляването на общия ток в проводника с 10 % води до намаляване на загубите почти с 20 %.

Намаляване пада на напрежение

Кондензаторите за повишаване фактора на мощността намаляват или дори напълно отстраняват индуктивния (реактивен) ток в горестоящите проводници и по този начин намаляват или елиминират пада на напрежение.

Забележка: Свръхкомпенсацията предизвиква повишаване напрежението на кондензаторите.

Повишаване на разполагаемата мощност

Повишаването на фактора на мощността на товара, захранван от трансформатор, предизвиква намаляване на тока през трансформатора, което позволява да се увеличи товара. На практика може да се окаже по-евтино да се подобри фактора на мощност (1), отколкото да се замени трансформатора с друг с по-голяма мощност.

Този въпрос се разглежда в т.6.

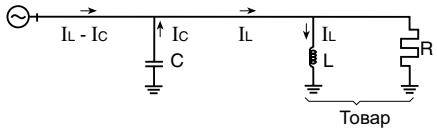
© Schneider Electric - всички права запазени

(1) Тъй като други предимства се получават от високият коефициент на мощност, както преди това е отбелязано.

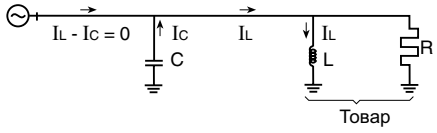
3 Как да се подобри фактора на мощността?

Подобряването на фактора на мощността в уредбата изисква кондензаторна батерия, която работи като източник на реактивна енергия. По този начин се осигурява компенсация на реактивната енергия.

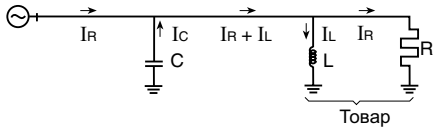
a) Протичат само реактивни съставящи на тока



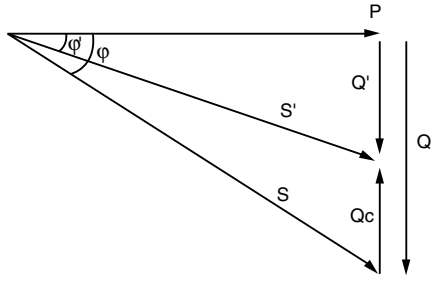
b) При IC = IL, цялата реактивна мощност се подава от кондензаторната батерия



c) При ток на товара, добавен към този от случай (**b**)



Фиг. L8: Особености при компенсация фактора на мощността



Фиг. L9: Принцип на компенсация: Qc = P (tg φ - tg φ')

3.1 Теоретични основи

Индуктивният товар, имащ малък фактор на мощността, изисква от генераторите и преносната/разпределителната системи да пропускат реактивен ток (с изоставане от напрежението на системата на 90°) със съпътстващи загуби на мощност и повишени падове на напрежение, както е посочено в т. 1.1.
Ако кондензаторната батерия се добави към товара, нейният реактивен (капацитивен) ток ще протича по същия път през енергийната система, както и реактивният ток на товара. Тъй като (както е посочено в т. 1.1) такъв капацитивен ток IC (който изпреварва напрежението на системата на 90°) е в противофаза с реактивния ток на товара IL, двете съставящи, протичащи по един и същи път ще се компенсират взаимно. При това, ако кондензаторната батерия е достатъчно голяма и IC = IL няма да протича реактивен ток в системата, разположена над кондензаторите.

Това е представено на **Фиг. L8 a** и **b**, която показва само реактивните съставящи на тока. На тази фигура:

R са елементите на товара, потребяващи активна мощност;

L - елементите на товара, потребяващи реактивна (индуктивна) мощност;

C - елементите, потребяващи реактивна (капацитивна) мощност, т.е. устройствата за повишаване фактора на мощността (кондензаторите).

Както се вижда от **Фиг. L8b** кондензаторната батерия C генерира общия реактивен ток на товара. Поради тази причина кондензаторите понякога се наричат „генератори на реактивна мощност".

На **Фиг. L8c** е добавена активната съставяща на тока и е показано, че товарът (при пълна компенсация) представлява за енергийната система товар с cos φ = 1.

Като правило пълната компенсация на товара не е икономически целесъобразна. На **Фиг. L9** е показан триъгълника на мощностите, разглеждан в т. 1.3 (виж **Фиг. L3**). Тя демонстрира принципа на компенсация чрез намаляване на голямата реактивна мощност Q до по-малката стойност Q' чрез кондензаторна батерия, характеризираща се с реактивна мощност Qc. При това стойността на пълната мощност S се намалява до стойност S'.

Пример:

Двигател потребява 100 kW при фактор на мощността 0.75 (т.е. tg φ = 0.88). За повишаване на фактора на мощността до 0.93 (tg φ = 0.4), реактивната мощност на кондензаторната батерия трябва да бъде: Qc = 100 (0.88 - 0.4) = 48 kVAr

Изборът на нивото на компенсация и изчисляването на номиналните параметри на кондензаторната батерия зависят от конкретния товар. Факторите, подлежащи на отчитане, са разгледани в т. 5 за общия случай и т. 6 и т. 7 за трансформатори и двигатели.

Забележка: Преди да стартира проекта за компенсация трябва да се отчетат редица предохранителни мерки. В частност, трябва да се избягва увеличаване номиналните стойности на мощността на двигателите, а също и работата на двигателите в режим на празен ход. В последния случай реактивната енергия, потребявана от двигателя предизвиква в крайна сметка малък коефициент на мощност (≈ 0.17). Това е поради много малката активната мощност P, потребявана от двигателя (в ненатоварено състояние).

3.2 Избор на електрообзавеждане

Компенсация в мрежи НН

В мрежи НН компенсацията се осъществява чрез:

- Нерегулируем кондензатор;
- Устройства за автоматично регулиране или батерии, допускащи непрекъснато регулиране при изменение на товара.

Забележка: Ако инсталираната реактивна мощност за компенсация надхвърли 800 kVAr и товарът е постоянен и устойчив, като правило е икономически изгодно да се монтират кондензаторни батерии на страна СрН.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Как да се подобри фактора на мощността?

Компенсацията може да се извършва с постоянни кондензатори при благоприятни условия.

Постоянни (нерегулируеми) кондензатори (виж **Фиг. L10**)

В тази схема се използва един или повече кондензатори за осигуряване постоянно ниво на компенсация. Управлението може да бъде:
- ръчно: чрез автоматичен прекъсвач или товарен прекъсвач;
- полуавтоматично: чрез контактор;
- директно свързване към уреда и комутация, заедно с него.

Тези кондензатори се използват:
- на клемите на индуктивни устройства (електродвигатели и трансформатори);
- на сборни шини, захранващи редица малки електродвигатели и индуктивни уреди, за които индивидуалната компенсация би била много скъпа;
- в случаи, където нивото на товара е сравнително постоянно.

Фиг. L10: Пример на кондензатори за постоянно ниво на компенсация

Компенсацията е много по-ефективна чрез автоматично регулиране на кондензаторните батерии на степени.

Автоматични кондензаторни батерии (виж **Фиг. L11**)

Този тип електрообзавеждане осигурява автоматично управление на компенсацията, поддържайки фактора на мощността в много тесни граници около едно избрано ниво. Това обзавеждане се използва за места в уредба, където активната и/или реактивната мощност се изменят в широки граници. Например:
- на сборни шини на главно разпределително табло;
- на клеми на захранващ кабел с голям товар.

Фиг. L11: Пример на компенсиращо обзавеждане с автоматично регулиране тип Varset на Schneider Electric

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Как да се подобри фактора на мощността?

Автоматичното регулиране на кондензаторна батерия дава възможност за мигновена адаптация нивото на компенсация спрямо нивото на товара.

Принципи и причини за използване на автоматична компенсация

Кондензаторната батерия се разделя на определен брой секции, всяка от които се управлява с контактор. Задействането на контактора предизвиква включване на съответната секция паралелно с други вече работещи секции. При това капацитетът на батерията може да се увеличава или намалява на степени чрез включване и изключване на контакторите за управление.

Управляващото реле контролира фактора на мощността на управляваните вериги и служи за включване или изключване на съответните контактори за поддържане на достатъчно постоянен фактор на мощността в системата (в рамките на допуска, задаван от големината на всяка стъпка за компенсация). Токовият трансформатор на контролното реле трябва да се намира на едната фаза на входния кабел, захранващ управляемите вериги (както е показано на **Фиг. L12**).

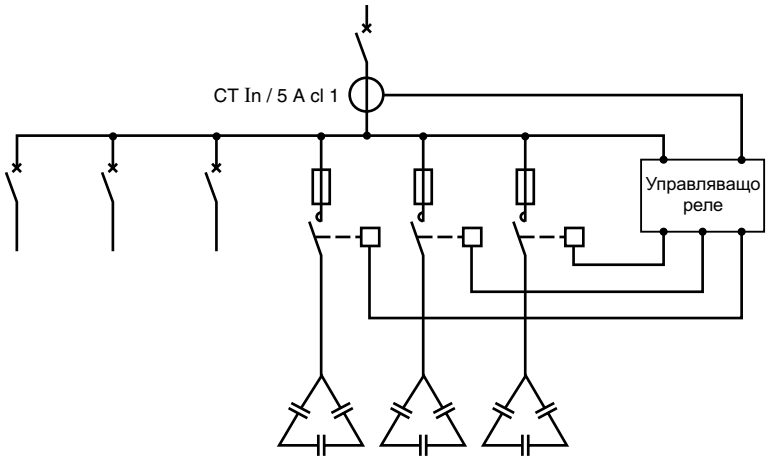
Кондензаторната батерия **Varset Fast** е устройство за автоматична компенсация на фактора на мощността, включващо статични контактори (тиристори) вместо стандартни контактори.

Статичната компенсация е особено подходяща за определени товари, включващи обзавеждане с бърз цикъл и/или висока чувствителност към смущения, възникващи при преходни процеси.

Предимствата на статичните контактори са:

- Мигновена реакция при всяко изменение на фактора на мощността (време за реакция – 2 s или 40 ms, в зависимост от регулатора).
- Неограничен брой операции (задействания).
- Отстраняване на преходните процеси в мрежа при включване на кондензатора.
- Безшумна работа.

Прецизната настройка на компенсацията под нивото, изисквано от товара позволява да се предотврати появата на пренапрежение при малък товар, т.е. избягва се режима на пренапрежения и възможността за повреда на електрообзавеждането. Пренапреженията, породени от прекомпенсация зависят отчасти от стойността на пълното съпротивление на източника.



Фиг. L12: Принцип за управление на автоматична компенсация

3.3 Избор между нерегулируема и автоматично регулируема кондензаторна батерия

Общи правила

Ако номиналната реактивна мощност е по-малка или равна на 15 % от номиналната мощност на силовия трансформатор може да се използва постоянна компенсация. Над 15 % се препоръчва да се монтира устройство за автоматично регулиране на кондензаторната батерия.

Разположението на кондензаторите в уредбата НН определя режима на компенсация, която може да бъде централизирана (един център за общия товар), групова (по секции или групи), индивидуална (за всяко отделно устройство) или комбинация от последните две. По принцип, идеална компенсация се осигурява в точката на потребяване и на нивото, изисквано във всеки момент.

На практика изборът зависи от технически и икономически фактори.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Къде да се монтират кондензаторите за коригиране на фактора на мощността?

Централизираната компенсация може да се използва при постоянен и устойчив товар.

4.1 Централизирана компенсация (виж **Фиг. L13**)

Принцип

Кондензаторната батерия е свързана към сборните шини на главно разпределително табло НН на уредбата и работи в продължение на периода на нормално натоварване.

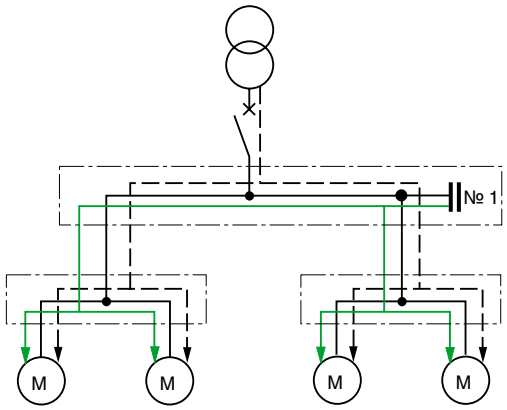
Предимства

Централизираната компенсация осигурява:

- намаляване на тарифните глоби за излишно потребена реактивна енергия;
- намаляване на необходимата пълна енергия, която като правило определя постоянната цена на електроенергията;
- намаляване натоварването на силовия трансформатор, който е в състояние да поема допълнителен товар при необходимост.

Забележки

- реактивният ток продължава да протича по всички проводници на кабелите, излизащи от главното разпределително табло НН;
- централизираният режим на компенсация не осигурява възможност за намаляване сечението на такива кабели и намаляване на загубите в тях (виж горната причина).



Фиг. L13: Централизирана компенсация

Груповата компенсация се препоръчва при голяма уредба, когато товаровите графици са различни за различните части на уредбата.

4.2 Групова компенсация (виж **Фиг. L14**)

Принцип

Кондензаторната батерия се свързва към сборните шини на всяко местно разпределително табло, както е показано на **Фиг. L.14**.

Значителна част от уредбата се проектира при облекчени условия за такава схема, особено захранващите кабели от главното разпределително табло към всяко местно разпределително табло, на което се осъществява компенсация.

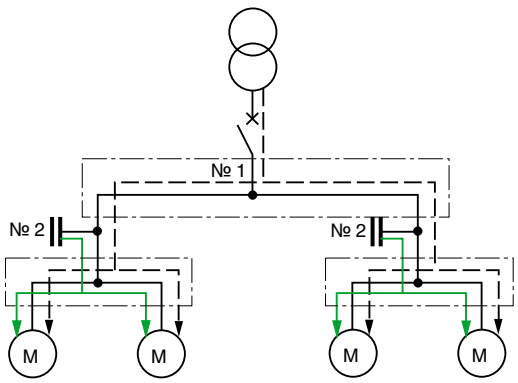
Предимства

Груповата компенсация осигурява:

- намаляване на тарифните глоби за излишно потребена реактивна енергия;
- намаляване на необходимата пълна енергия, която като правило определя постоянната цена на електроенергията;
- намаляване натоварването на силовия трансформатор, който е в състояние да поема допълнителен товар при необходимост;
- възможност за намаляване сечението на кабелите, захранващи местните разпределителни табла, или използване на такива кабели без намаляване на сечение им, за осигуряване на допълнителна пропускателна възможност в случай на увеличен товар;
- намаляване на загубите в кабелите.

Забележки:

- реактивният ток продължава да протича по всички проводници на кабелите, излизащи от местните разпределителни табла НН;
- груповата компенсация не осигурява възможност за намаляване сечението на такива кабели и намаляване на загубите в тях (виж горната причина);
- при големи изменения на товара винаги съществува риск от свръхкомпенсация и съпътстващи пренапрежения.



Фиг. L14: Групова компенсация

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Къде да се монтират кондензаторите за коригиране на фактора на мощността?

Използването на индивидуална компенсация трябва да се разглежда при значителна мощност на двигателя в сравнение с мощността на уредбата.

4.3 Индивидуална компенсация

Принцип

Кондензаторите се включват непосредствено към клемите на индуктивната верига (например двигатели, виж т. 7). Възможността за използване на индивидуална компенсация трябва да се разглежда при големи мощности на двигателя по отношение на пълната мощност на уредбата.
Номиналната реактивна мощност на кондензаторната батерия е от порядъка на 25 % от номиналната мощност на двигателя. Допълнителната компенсация в изходната точка (трансформатор) може да осигури допълнително предимство.

Предимства

Индивидуалната компенсация осигурява:
- намаляване на тарифните глоби за излишно потребена реактивна енергия;
- намаляване на необходимата пълна енергия;
- намаляване сечението на всички кабели, както и на загубите в тях.

Забележка

- Отстраняват се значителни реактивни токове в уредбата.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Как да се определи оптималното ниво на компенсация?

5.1 Общ метод

Съставяне на списък от потребяваната реактивна мощност на стадий проектиране

Такъв списък може да се направи аналогично (и едновременно) със списъка на потребяваната мощност, както е описано в Глава A. След съставянето на списъка могат да се определят нивата на активни и реактивни мощностни товари на всяко ниво в уредбата.

Технико-икономическа оптимизация за съществуваща уредба

Оптималната мощност на кондензаторите за компенсация на фактора на мощността за съществуваща уредба може да се определи чрез следните основни фактори:

- Заплатена електроенергията преди монтиране на кондензаторите.
- Заплатена електроенергия, очаквана след монтиране на кондензаторите.
- Разходи:
  - за доставяне на кондензатори и устройства за управление (контактори, релета, разпределителни табла и др.);
  - за монтаж и техническо обслужване;
  - стойността на диелектричните загуби в кондензаторите, в сравнение с намалените загуби в кабели, трансформатора и т.н. след монтиране на кондензатори.

В т.5.3 и 5.4 са посочени няколко опростени методи, използвани в стандартните тарифи (общоприети в Европа).

5.2 Опростен метод

Общ принцип

Ориентировъчното изчисляване е приложимо за голям брой практически случаи и е основано на предположението за фактор на мощността cos φ = 0.8 (изоставащ преди компенсацията). Методът за повишаване фактора на мощността до стойност, достатъчна за предотвратяване на тарифни глоби
(те зависят от местните структури на тарифите, но тук се приема стойност cos φ = 0.93), и намаляване загубите, пада на напрежение и др. в уредбата, се разглежда на основата на данни, посочени в **Табл. L15** на следващата страница.

Както се вижда от таблицата, повишаване на cos φ от 0.8 до 0.93 изисква реактивна мощност 0.55 kVAr за товар 1 kW. Мощността на кондензаторните батерии на сборните шини в главното разпределително табло е

Q (kvar) = 0.355 x P (kW).

Даденият опростен метод позволява да се определят необходимите кондензатори за компенсация - централизирана, групова или индивидуална.

Пример

Трябва да се увеличи коефициента на мощността на уредба 666 kVA от 0.75 до 0.928. Консумираната активна мощност е 666 x 0.75 = 500 kW.

От **Табл. L15** се отчита стойност 0.487 kVAr компенсация за всеки 1 kW от товара, получена от пресичането на реда „cos φ = 0.75" (преди компенсация) и на колона „cos φ = 0.93" (след компенсация).

Следователно при товар от 500 kW, необходимата мощност на кондензаторите за компенсация е 500 x 0.487 = 244 kvar.

Забележка: Даденият метод е приложим при всяко ниво на напрежение, т.е. не зависи от напрежението.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Как да се определи оптималното ниво на компенсация?

Таблица L15: Реактивна мощност на кондензаторна батерия, която трябва да бъде инсталирана за товар 1 kW, за подобряване коефициента на мощност в уредбата

Преди компенсация		Номинална стойност на реактивната мощност на кондензаторна батерия, която трябва да бъде инсталирана за 1 kW товар, за подобряване на cos φ или tg φ до желана стойност													
		tg φ	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.0
tg φ	cos φ	cos φ	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
2.29	0.40		1.557	1.691	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288
2.22	0.41		1.474	1.625	1.742	1.769	1.798	1.831	1.840	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
2.16	0.42		1.413	1.561	1.681	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164
2.10	0.43		1.356	1.499	1.624	1.651	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
2.04	0.44		1.290	1.441	1.558	1.585	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041
1.98	0.45		1.230	1.384	1.501	1.532	1.561	1.592	1.628	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846	1.988
1.93	0.46		1.179	1.330	1.446	1.473	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
1.88	0.47		1.130	1.278	1.397	1.425	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758	1.881
1.83	0.48		1.076	1.228	1.343	1.370	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
1.78	0.49		1.030	1.179	1.297	1.326	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
1.73	0.50		0.982	1.232	1.248	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
1.69	0.51		0.936	1.087	1.202	1.230	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.686
1.64	0.52		0.894	1.043	1.160	1.188	1.215	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
1.60	0.53		0.850	1.000	1.116	1.144	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
1.56	0.54		0.809	0.959	1.075	1.103	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559
1.52	0.55		0.769	0.918	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
1.48	0.56		0.730	0.879	0.996	1.024	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
1.44	0.57		0.692	0.841	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
1.40	0.58		0.665	0.805	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
1.37	0.59		0.618	0.768	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
1.33	0.60		0.584	0.733	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
1.30	0.61		0.549	0.699	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
1.27	0.62		0.515	0.665	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
1.23	0.63		0.483	0.633	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
1.20	0.64		0.450	0.601	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
1.17	0.65		0.419	0.569	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
1.14	0.66		0.388	0.538	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
1.11	0.67		0.358	0.508	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
1.08	0.68		0.329	0.478	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
1.05	0.69		0.299	0.449	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
1.02	0.70		0.270	0.420	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.769	0.811	0.878	1.020
0.99	0.71		0.242	0.392	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.96	0.72		0.213	0.364	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.94	0.73		0.186	0.336	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.91	0.74		0.159	0.309	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.88	0.75		0.132	0.82	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.86	0.76		0.105	0.255	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.83	0.77		0.079	0.229	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.80	0.78		0.053	0.202	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.78	0.79		0.026	0.176	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.75	0.80			0.150	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.72	0.81			0.124	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.70	0.82			0.098	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.67	0.83			0.072	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.65	0.84			0.046	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.62	0.85			0.020	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.59	0.86				0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.57	0.87				0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.54	0.88				0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.51	0.89				0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.48	0.90					0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484

Стойност, избрана за примера в т. 5.2

Стойност, избрана за примера в т. 5.4

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Как да се определи оптималното ниво на компенсация?

При определени (общоприети) тарифни структури, разглеждането на сметките за годишен период с най-голям товар позволява да се определи нивото на компенсация, в kVAr, необходимо за предотвратяване на излишното заплащане на реактивна енергия, в kVArh. Периодът за изплащане на кондензаторна батерия, използвана за подобряване фактора на мощност и съответното обзавеждане, е като правило 18 месеца.

5.3 Метод, основан на използване на наказателни тарифи

Описаният метод позволява да се изчисли мощността на кондензаторната батерия на основата на данни за отчетената електроенергия в случаите, когато тарифната структура съответства на (или е аналогична) описаната в т. 2.1 на тази глава.

Методът определя минималната компенсация, необходима за избягване на глобите за потребяване на излишна реактивна енергия.

Процедурата е както следва:

- Подбиране на фактурите за потребена електроенергия за пет студени месеци (за Франция това е периода от ноември до март включително).

Забележка: В страните с тропически климат през летните месеци може да се наблюдава най-голям товар и максимално потребление (поради използване на климатици). Това е необходимо да се отчита при определяне на периодите на повишени тарифи. В дадения пример се разглежда студеният годишен период във Франция.

- Сравняване на реда от фактурите, отнасящи се до „потребена реактивна енергия" и „реактивна енергия, която трябва да бъде заплатена". Избира се фактурата, която показва най-високото заплащане за консумирана реактивна енергия (след проверка дали това не се дължи на някаква изключителна ситуация). Например, 15 996 kVAr през месец януари.
- Оценка на общото време за работа на товара в уредбата в продължение на този месец. Например, 220 h (22 дни x 10 h). Трябва да се отчитат часовете с най-голям товар и максимални (пикови) товари в енергийната система. Тези данни са посочени в тарифните документи. Като правило, продължителността на периода с максимален товар в енергийната система е 16 h за всеки ден (от 6.00 до 22.00 h или от 7.00 до 23.00 h в зависимост от региона). Извън тези периоди не се заплаща за потребената реактивна енергия.
- Необходимата стойност за компенсацията Qc, в kVAr, е равна на отношението „реактивна енергия, която трябва да бъде заплатена"/„общото време за работа на товара в уредбата в продължение на този месец"(1). Като правило, номиналната мощност на кондензаторната батерия се избира малко по-голяма от тази, която се получава от изчислената.

Някои производители, предлагат към кондензаторните батерии инструкции (номограми), предназначени за такъв тип изчисления, съгласно конкретните тарифи. Приложената документация съдържа препоръки за подходящо обзавеждане и схеми за управление, а също информация за ограниченията, налагани от хармоничните съставящи на напрежението в системата. Такива напрежения изискват или преоразмеряване на кондензаторите (по диелектрични загуби, напрежение и ток) и/или използване на индуктивности или филтри за намаляване на хармоничните съставящи.

При двойни тарифи, базирани на основата на обявената стойност на пълната мощност, в kVA, виж Фиг. L16, се определя стойността на потребената реактивна мощност, в kVAr, за компенсация. Тя е необходима за намаляване на обявената пълна мощност, в kVA, и предотвратяване на нейното превишаване.

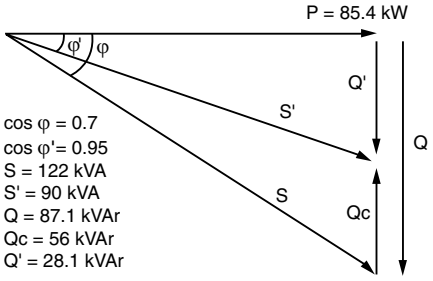
5.4 Метод, основан на намаляване на обявената максимална пълна мощност

Очевидна е ползата от намаляване на обявената потребявана мощност S, в kVA, за консуматорите, чиито тарифи са основани на постоянно заплащане за заявената пълна мощност, в kVA, плюс доплащане за потребената активна енергия, в kWh. Диаграмата на **Фиг. L16** показва, че с повишаване фактора на мощността се намалява стойността на S, в kVA, при зададена стойност на P, в kW. Подобряването на фактора на мощността е предназначено (освен посочените по-рано други предимства) да намали обявената стойност и да предотврати нейното надвишаване. **Таблица L15** (на предходната страница) показва стойността на реактивната мощност, в kVAr, за компенсация на товар 1 kW, необходима за подобряване фактора на мощността от една стойност до друга.

Пример:

Супермаркет има обявена максимална пълна мощност 122 kVA при cos φ = 0.7 (индуктивен товар), т.е. активната мощност на товара е 85.4 kW. Индивидуалният договор с този консуматор е основан на степенни увеличавания на обявената максимална пълна мощност, в kVA (със степени 6 kVA до 108 kVA и със степени 12 kVA над тази стойност, като това е прието за редица двойни тарифи). В дадения случай сметката на консуматора е изчислена на база 134 kVA (122+12=134). Съгласно **Табл. L15,** за да се подобри фактора на мощността на товара от 0.7 до 0.95 се отчита стойност 0.691 kVAr, необходима за компенсация на товар 1 kW. Следователно, необходимо е да се инсталира кондензаторна батерия с мощност 0.691 x 85.4 = 59 kVAr. Избира се кондензаторна батерия със стандартна номинална мощност 60 kVAr. Обявената максимална пълна мощност, в kVA, е

$\frac{85.4}{0.95} = 90$ kVA, т.е. подобряването е 30 %.



Фиг. L16: Намаляване на обявената стойност на максималната пълна мощност, в kVA, чрез подобряване фактора на мощността

(1) За разгледания по-горе случай, необходимата стойност за компенсацията Qc, в kVAr, в разплащателния период и посочените часове е:

$Qc = \frac{15{,}996 \text{ kVArh}}{220 \text{ h}} = 73 \text{ kVAr}$

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Компенсация на клемите на трансформатора

Инсталирането на кондензаторна батерия може да предотврати замяната на трансформатор в случай на увеличаване на товара.

6.1 Компенсация за повишаване на разполагаемата изходна активна мощност

Мерките, аналогично предприемани за намаляване на обявената максимална пълна мощност, в kVA, т.е. за подобряване фактора на мощността, както е разгледано в т. 5.4, позволяват да се максимизира разполагаемата мощност на трансформатора. Така се осигурява по-голяма активна мощност.

В някои случаи даденият метод позволява да се избегне замяната на трансформатор с такъв, имащ по-голяма мощност за осигуряване нарастването на товара. **Таблица L17** показва мощността, в kW, на напълно натоварени трансформатори при различни фактора на мощността, подобряването на които води до увеличаване на изходната активна мощност.

Таблица L17: Активна мощност на напълно натоварени трансформатори, захранващи товари при различни стойности на фактора на мощността

tg φ	cos φ	Номинална пълна мощност на трансформатори, kVA											
		100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0.00	1	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
0.20	0.98	98	157	245	309	392	490	617	784	980	1225	1568	1960
0.29	0.96	96	154	240	302	384	480	605	768	960	1200	1536	1920
0.36	0.94	94	150	235	296	376	470	592	752	940	1175	1504	1880
0.43	0.92	92	147	230	290	368	460	580	736	920	1150	1472	1840
0.48	0.90	90	144	225	284	360	450	567	720	900	1125	1440	1800
0.54	0.88	88	141	220	277	352	440	554	704	880	1100	1408	1760
0.59	0.86	86	138	215	271	344	430	541	688	860	1075	1376	1720
0.65	0.84	84	134	210	265	336	420	529	672	840	1050	1344	1680
0.70	0.82	82	131	205	258	328	410	517	656	820	1025	1312	1640
0.75	0.80	80	128	200	252	320	400	504	640	800	1000	1280	1600
0.80	0.78	78	125	195	246	312	390	491	624	780	975	1248	1560
0.86	0.76	76	122	190	239	304	380	479	608	760	950	1216	1520
0.91	0.74	74	118	185	233	296	370	466	592	740	925	1184	1480
0.96	0.72	72	115	180	227	288	360	454	576	720	900	1152	1440
1.02	0.70	70	112	175	220	280	350	441	560	700	875	1120	1400

Пример (виж **Фиг. L18**)
Уредба с товар P1 = 450 kW и среден фактор на мощността 0.8 (индуктивен) се захранва от трансформатор с номинална мощност 630 kVA. Пълната мощност на товара е $S1 = \frac{450}{0.8} = 562$ kVA
Съответната реактивна мощност е

$$Q1 = \sqrt{S1^2 - P1^2} = 337 \text{ kVAr}$$

Предвижда се увеличаване на товара с P2 = 100 kW при фактор на мощността 0.7 (индуктивен).

Пълната мощност е $S2 = \frac{100}{0.7} = 143$ kVA ,
а съответната реактивна мощност -

$$Q2 = \sqrt{S2^2 - P2^2} = 102 \text{ kVAr}$$

Колко е минималната стойност на кондензаторна батерия за компенсация, с чието инсталиране ще се предотврати замяната на трансформатора?
Решение:
Общата активна мощност, която трябва да бъде захранена, е:

P = P1 + P2 = 550 kW.

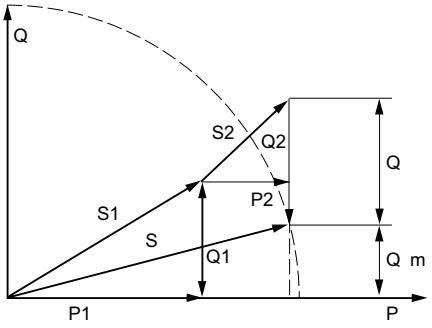
Максималната реактивна мощност на трансформатора със Sn = 630 kVA при активен товар 550 kW е:

$$Qm = \sqrt{S^2 - P^2} \qquad Qm = \sqrt{630^2 - 550^2} = 307 \text{ kvar}$$

Общата необходима реактивна мощност, изисквана от уредбата преди компенсация е:
Q1 + Q2 = 337 + 102 = 439 kVAr
Следователно, минималната стойност на реактивната мощност на инсталираната кондензаторна батерия е:

QkVAr = 439 – 307 = 132 kvar

Трябва да се отбележи, че това изчисляване не отчита пиковите натоварвания и тяхната продължителност.
Оптималното възможно повишаване, т.е. компенсация за получаване cos φ = 1, осигурява резерв от мощност на трансформатора 630 – 550 = 80 kW.
Инсталираната мощност на кондензаторната батерия трябва да бъде за 439 kVAr.

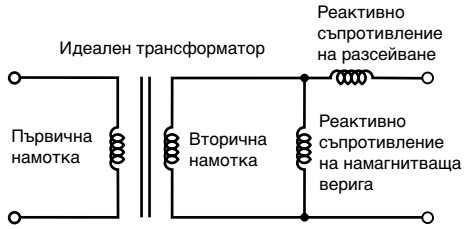


Фиг. L18: Компенсацията Q позволява да се повиши товара със S2 без да е необходима замяна на съществуващия трансформатор, чиято изходна мощност се ограничава от стойността на S

© Schneider Electric - всички права запазени

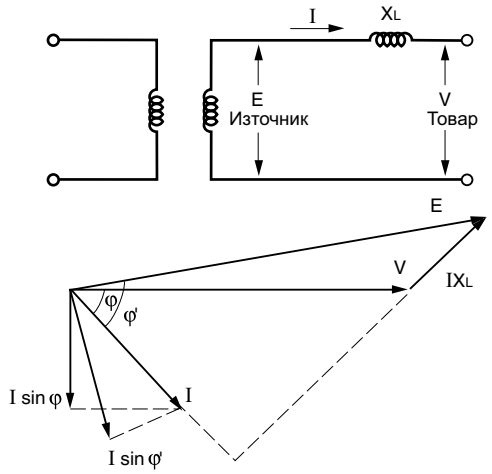
6 Компенсация на клемите на трансформатора

При измервания на страна СрН на трансформатора загубите на реактивна мощност на трансформатора могат да изискват компенсация (в зависимост от тарифата).



Фиг. L19: Заместваща схема на реактивни съпротивления на трансформатор за фаза

Реактивната мощност, потребявана от трансформатор, не може да се пренебрегва. Тя може да бъде до 5 % от номиналната мощност на трансформатора при пълно натоварване. Компенсацията може да бъде осигурена чрез кондензаторна батерия.
В трансформаторите реактивна мощност се поглъща от две реактивни съпротивления (с паралелно свързване – намагнитващи, и с последователно свързване - от магнитен поток на разсейване). Пълна компенсация може да се осигури от кондензаторна батерия, паралелно свързана към страна НН.



Фиг. L20: Векторна диаграма на потребена реактивна мощност в трансформатор СрН/НН

6.2 Компенсация на реактивната енергия, потребявана от трансформатора

Индуктивни реактивни съпротивления на трансформатора

Във всички предишни случаи се разглеждат устройства с паралелно свързване на товари и кондензаторни батерии за подобряване фактора на мощността. Причината за този избор е в това, че паралелното свързване в уредбата изисква най-голямо количество реактивна енергия в енергийните системи. Обаче, реактивните съпротивления с последователно свързване, например индуктивни реактивни съпротивления на силовите линии и реактивни съпротивления на разсейване на намотките на трансформатора и др. също поглъщат реактивна енергия.

При измерване на страна СрН на трансформатора загубите на реактивна енергия в трансформатора могат (в зависимост от тарифата) да изискват компенсация.

Тъй като се разглеждат само загуби на реактивна енергия, трансформаторът може да бъде представен чрез заместващата схема, показан на **Фиг. L19**. Всички стойности на реактивните съпротивления са приведени към вторичната намотка на трансформатора, като паралелната верига представлява пътя на намагнитващия ток. Намагнитващият ток остава практически постоянен (около 1.8 % от номиналния ток) при изменение на товара от 0 до 100 % в нормален режим, т.е. при постоянно напрежение на първичната намотка. Затова, на страна СрН и НН може да се монтира постоянен (нерегулируем шунтиращ кондензатор) за компенсация на потребяваната реактивна енергия.

Потребявана реактивна мощност в последователно свързани реактивни съпротивление X_L (от магнитен поток на разсейване)

Проста илюстрация на този процес е показана на векторната диаграма на **Фиг. L20**.
Реактивната съставяща на мощността на товара е $Q_L = VI \sin \varphi$.
Реактивната съставяща на мощността на източника е $Q_E = EI \sin \varphi'$,
където V и E са изразени в kV.
Очевидно е, че $E > V$ и $\sin \varphi' > \sin \varphi$.
Разликата между $EI \sin \varphi'$ и $VI \sin \varphi$ дава реактивната мощност за фаза, погълната от X_L.
Може да се докаже, че тази стойност на реактивната енергия е равна на I^2X_L (аналогично на загубите на активна мощност I^2R, в kW – загуби в последователно свързаните елементи).
От формулата I^2X_L лесно може да се изведе погълнатата стойност на реактивна енергия при какъв да е товар за даден трансформатор по следния начин.
Ако се използват стойностите в относителни единици (вместо стойностите в %) може да се изпълни директно умножение на I с X_L.

Пример:

Трансформатор със Sn = 630 kVA и реактивна съставяща на напрежението на късо съединение 4 % работи при пълен товар. Колко са загубите на реактивна мощност в kVAr?

Решение:
Загубите, в kVAr, са:
$I^2X_L = 1^2 \times 0.04 = 0.04$ pu,
където 1 pu = 630 kVA.
Трифазните загуби на реактивна мощност, в kVAr, са: 630 x 0.04 = 25.2 kVAr (или просто 4 % от 630 kVA).
При двойно по-малък товар, т.е. I = 0.5 pu загубите са:
$0.5^2 \times 0.04 = 0.01$ pu = 630 x 0.01 = 6.3 kVAr.

Даденият пример и векторната диаграма на Фиг. L20 показват, че:
- Факторът на мощността на страна СрН се различава (нормално е по-нисък) от факторът на мощността на страна НН (поради поглъщане на реактивна енергия).
- Загубите на реактивна мощност, в kVAr, при пълен товар поради реактивното съпротивление на разсейване са равни на реактивното съпротивление на трансформатора, в % (4 % загуби на реактивна мощност са равни на 4 % от номиналната мощност на трансформатора).
- Загубите на реактивна мощност, в kVAr, поради реактивното съпротивление на утечка се изменят съгласно квадрата на тока (или товара в kVA).

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Компенсация на клемите на трансформатора

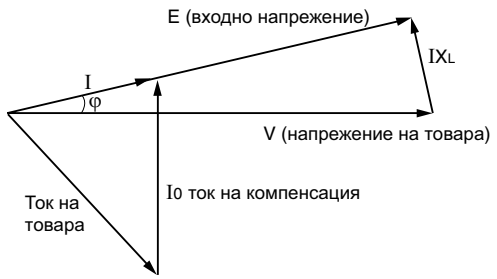
За определяне на общите загуби на реактивна мощност, в kVAr, в трансформатора е необходимо да се добавят постоянните загуби във веригата от намагнитващия ток (приблизително 1,8 % от номиналната мощност на трансформатора) към посочените „последователни" загуби. **Таблица L21** показва загубите на реактивна мощност, в kVAr, за празен ход и номинален товар за типови разпределителни трансформатори. По принцип, последователно включените индуктивни съпротивления могат да бъдат компенсирани от последователно включени нерегулируеми кондензатори (както е в общия случай на дълги електропроводни линии СН). Обаче, такава схема е сложна за изпълнение и затова при нива на напрежения, разглеждани в даденото Ръководство, винаги се използва паралелна компенсация.

В случай на измерване на страна СрН е достатъчно да се увеличи факторът на мощността до стойност, при която потребената реактивна мощност от товара плюс трансформатора е по-малка от стойността, над която се заплаща консумираната реактивна енергия. Тази стойност зависи от тарифата, но често съответства на tg φ = 0.31 (cos φ = 0.955).

Таблица L21: Потребена реактивна мощност за разпределителни трансформатори с първични намотки за 20 kV

Номинална мощност, kVA	Реактивна мощност, kVAr, подлежаща на компенсация при:	
	Празен ход	Номинален товар
100	2.5	6.1
160	3.7	9.6
250	5.3	14.7
315	6.3	18.4
400	7.6	22.9
500	9.5	28.7
630	11.3	35.7
800	20	54.5
1000	23.9	72.4
1250	27.4	94.5
1600	31.9	126
2000	37.8	176

Теоретично, загубите на реактивна мощност, в kVAr, в трансформатора могат да бъдат напълно компенсирани. Това се постига чрез използване на регулируема кондензаторна батерия, създаваща малък излишък от реактивна мощност на кондензаторите Qc в сравнение с реактивната мощност на товара Q_L ($Q_c - Q_L > 0$). При това фактора на мощността cos φ се увеличава и става капацитивен. В този случай цялата реактивна мощност на трансформатора се осигурява от кондензаторната батерия, а входната мощност на страна СрН на трансформатора е при cos φ = 1 (виж **Фиг. L22**).



Фиг. L22: Свръхкомпенсация на товар до пълна компенсация на загубите на реактивна мощност в трансформатора

От практическа гледна точка, компенсацията на реактивна мощност, потребявана от трансформатора, се осъществява от кондензатори, предназначени главно за подобряване фактора на мощността на товара (централизирано, групово или индивидуално). За разлика от много други елементи, поглъщащи реактивна енергия, потребената от трансформатора (поради реактивното съпротивление на разсейване) се изменя значително при изменение нивото на товара. Ако, за трансформатор се използва индивидуална компенсация, трябва да се приеме средното ниво на товара.

Обаче, това поглъщане на реактивна мощност е много малка част от общата реактивна мощност на уредбата. Затова разсъгласуването на компенсацията при временно изменение на товара не поражда проблеми.

Таблица L21 показва типични стойности на загубите на реактивна мощност за намагнитваща верига (колона „празен ход"), а също и общите загуби при номинален товар за стандартни разпределителни трансформатори с първични намотки за 20 kV (с отчитане на загубите поради реактивно съпротивление на разсейване).

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Повишаване фактора на мощността на асинхронни електродвигатели

Индивидуална компенсация за двигател се препоръчва за двигатели с голяма пълна мощност по отношение на обявената пълна мощност на уредбата.

7.1 Свързване на кондензаторни батерии и настройки на защитата

Общи положения

Поради малката потребена активна мощност факторът на мощността на електрическия двигател е много малък при празен ход или при малък товар. Реактивният ток на двигателя остава практически постоянен в целия диапазон от натоварвания така, че за редица ненатоварени двигатели трябва да се осигури реактивна мощност. Тя влияе негативно върху ефективността на уредбата поради причини, описани в предните раздели.

Затова, трябва да се прилагат следните две добри практики – ненатоварените двигатели трябва да се изключват, а номиналните стойности на двигателите не трябва да се увеличават (това само намалява тяхното натоварване).

Свързване

Кондензаторната уредба трябва да се свърже непосредствено към клемите на двигателя.

Специални двигатели

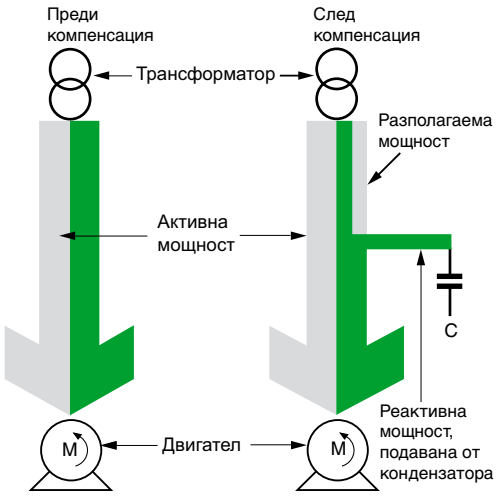
Не се препоръчва да се използва компенсация за специални двигатели (стъпкови, реверсивни и др.).

Влияние върху настройката на защитата

След използване на компенсация за двигател токът на системата двигател-кондензаторна батерия става по-малък от този преди компенсация при същия режим на работа на двигателя. Това е предизвикано от факта, че значителна част от реактивната съставяща на тока на двигателя се осигурява от кондензатора, както е показано на **Фиг. L23**.

Ако, максималнотоковата защита на двигателя е разположена над мястото на свързване на двигателя и кондензаторната батерия (в случай на кондензатори, свързани към клемите на машината), настройката на защитното реле трябва да се намали с отношението: cos φ преди компенсация/cos φ след компенсация.

За двигатели с компенсация в съответствие със стойностите на реактивната мощност, посочени в **Табл. L24** (максимални стойности, препоръчвани за предотвратяване самовъзбуждане на стандартни асинхронни двигатели, както е разгледано в т. 7.2), посоченото по-горе отношение трябва да има стойност, аналогична на посочената за съответните честоти на въртене (виж **Табл. L25**).



Фиг. L23: Преди компенсация трансформаторът подава цялата реактивна мощност; след компенсация кондензаторът подава по-голяма част от реактивната мощност

Таблица L24: Максимална стойност на реактивната мощност, в kVAr, за компенсация на cos φ, използвана на клеми на двигател без опасност от самовъзбуждане

Трифазни асинхронни двигатели 230/400 V					
Номинална мощност,		Реактивна мощност, която трябва да бъде инсталирана при:			
		Честота на въртене, min^{-1}			
kW	hp	3000	1500	1000	750
22	30	6	8	9	10
30	40	7.5	10	11	12.5
37	50	9	11	12.5	16
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117

Таблица L25: Поправъчен коефициент за максималнотокова защита след компенсация

Честота на въртене, min^{-1}	Поправъчен коефициент
750	0.88
1000	0.90
1500	0.91
3000	0.93

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Повишаване фактора на мощността на асинхронни електродвигатели

Ако кондензаторната батерия се присъединява към клемите на асинхронен двигател, е важно да се провери, дали номиналната мощност на кондензаторната батерия е по-малка от тази, при която се получава самовъзбуждане.

7.2 Методи за предотвратяване самовъзбуждане на асинхронен двигател

Двигател с високо инерционен товар ще продължава да се върти (ако не бъдат специално задействани спирачки) след изключване на неговото захранване.

Магнитната инерция на роторната верига означава създаване на е.д.н. в статорната намотка за кратък период от време след изключване, която се намалява до нула след 1 или 2 периода в случай на двигател без компенсация.

Обаче, кондензаторите за компенсация фактора на мощността образуват трифазен реактивен товар за такова затихващо е.д.н., което предизвиква капацитивни токове в намотката на статора. Тези токове в статора създават въртящо магнитно поле в ротора, което действа точно по същата ос и в същото направление, както и затихващото електромагнитно поле.

В резултат, роторният магнитен поток се увеличава; токовете в статора се увеличават; напрежението на клемите на двигателя нараства и понякога достига до опасно високо ниво. Това явление е известно като самовъзбуждане и е една от причините генераторите за променлив ток, като правило, да не работят с капацитивен cos φ, т.е. наблюдава се тенденция към спонтанно (и неконтролируемо) самовъзбуждане.

Забележки:

1. Характеристиките на двигателя, привеждан в движение от инерционния товар не са строго идентични с характеристиките му на празен ход, но това предположение е достатъчно точно от практическа гледна точка;

2. В двигателя, работещ в качеството си на генератор, циркулиращите токове са главно реактивни. Ефектът от спиране (забавяне) на двигателя е предизвикан главно от товара, дължащ се на неговия охлаждащ вентилатор;

3. Токът (чиито ъгъл на изоставане е почти 90°), потребяван от захранващия източник от ненатоварения двигател, при нормални условия, и токът (чиито ъгъл на изпреварване е почти 90°), подаван на кондензаторите от двигателя, работещ в качеството си на генератор, имат една и съща фазова връзка с напрежението на клемите. Затова тези две характеристики могат да се начертаят на една и съща графика.

За предотвратяване на самовъзбуждането, както се описва по-горе, номиналната мощност, в kVAr, на кондензаторната батерия трябва да се ограничава от следната максимална стойност:

$Qc \leqslant 0.9 \times Io \times Un \times \sqrt{3}$,

където Io е токът на празен ход на двигателя, A;

Un – номиналното линейно напрежение, kV.

В **Табл. L24**, на предходната страница, се посочва стойността на Qc, съответстваща на този критерий.

Пример

Трифазен двигател с Pn = 75 kW, n = 3000 min^{-1}, Un = 400 V, може да има кондензаторна батерия не повече от 17 kVAr, съгласно **Табл. L24**. Табличните стойности, като правило, са твърде малки за съответна компенсация на двигателя до нормално изискуемата стойност cos φ (виж **Фиг. L26**).
Обаче, допълнителна компенсация може да се използва за системата, например обща кондензаторна батерия, монтирана за централизирана компенсация на редица малки уреди.

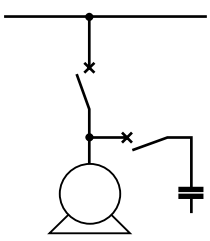
Високоинерционни двигатели и/или товари

Във всяка уредба, където съществуват високоинерционни задвижвания, прекъсвачите или контакторите, управляващи такива двигатели трябва бързо да изключват в случай на прекъсване на електроснабдяването. Ако не се предприемат такива предпазни мерки е голяма вероятността за възникване на опасни пренапрежения (поради самовъзбуждане), тъй като всички други кондензаторни батерии на системата са разположени паралелно с кондензаторните батерии на високоинерционните двигатели.

Затова, схемата за защита на такива двигатели трябва да включва реле за изключване по максимално напрежение, заедно с реле за контрол на обратна мощност (двигателят подава захранване на останалото обзавеждане до разсейване на запасената инерционна енергия).

Ако реактивната мощност на кондензаторната батерия, свързана с високоинерционния двигател е по-голяма от препоръчаната в **Табл. L24**, тя трябва да се управлява отделно с помощта на прекъсвач или контактор.
Той осъществява изключване заедно с главния прекъсвач или контактор на двигателя, както е показано на **Фиг. L26**.

Включването на главния контактор се осъществява след включване на кондензаторите.



Фиг. L26: Свързване на кондензаторна батерия към двигател

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Пример на уредба преди и след компенсация на фактора на мощността

Таблица L27: Технико-икономическо сравнение на уредба преди и след компенсация на фактора на мощността

Уредба преди компенсация на фактора на мощността

$\overrightarrow{kVA}=\overrightarrow{kW}+\overrightarrow{kVAr}$ (1)

kVA, kW, kvar

- Значително заплащане за потребена реактивна енергия, в kVArh, над обявената стойност.
- Пълна мощност, значително по-голяма от потребената активна мощност, в kVA.
- Съответният по-голям ток предизвиква загуби, които се заплащат.
- Уредбата трябва да бъде преоразмерена.

630 kVA, 400 V

Характеристики на уредбата:
500 kW cos φ = 0.75
- **Трансформаторът е претоварен**
- **Потребяваната пълна мощност S е**

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{500}{0.75} = 665\ kVA$$

- Токът в уредбата след автоматичния прекъсвач е:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\ U \cos\varphi} = 960\ A$$

- Загубите в кабелите са изчислени като функция от квадрата на тока : 960^2

$P=I^2R$

cos φ = 0.75
- Реактивната енергия се подава през трансформатор и проводникова система
- Трансформаторът, автоматичният прекъсвач и кабелите трябва да бъдат с по-големи номинални параметри

cos φ = 0.75
Цех

Уредба след компенсация на фактора на мощността

$\overrightarrow{kVA}=\overrightarrow{kW}+\overrightarrow{kVAr}$

kVA, kW, kvar

- Потреблението на реактивна енергия, в kVArh, е:
  - отстранено, или
  - намалено, съгласно необходимия cos φ.
- Отстраняват се тарифни глоби за:
  - излишна реактивна енергия (ако се използва);
  - за пълна мощност (в някои случаи).
- Постоянното заплащане на основата на обявената пълна мощност, в kVArh, се намалява до заплащане на потребяваната активна мощност, в kW.

630 kVA, 400 V

Характеристики на уредбата:
500 kW cos φ = 0.928
- Трансформаторът не се претоварва.
- Потребяваната пълна мощност S е 539 kVA
- Остава резервна разполагаема мощност на трансформатора 14 %.

- Токът в уредбата след автоматичния прекъсвач е: 778 A

- Загубите в кабелите се намаляват до $\frac{778^2}{960^2}$ = 65 % спрямо стойността преди компенсация.Повишава се икономичността на електропотреблението, в kWh.

cos φ = 0.928
- Реактивната енергия се подава от кондензаторната батерия.

250 kVAr

Номиналната мощност на кондензаторната батерия е 250 kVAr с пет автоматично регулируеми степени 50 kVAr.

cos φ = 0.75
Цех

Забележка: Фактически cos φ на цеха остава равен на 0.75, но cos φ на цялата уредба над кондензаторната батерия, която е свързана към клемите НН на трансформатора е 0.928. Както се посочва в т. 6.2 cos φ на страна СрН на трансформатора ще бъде малко по-нисък (2), поради загубите на реактивна мощност в трансформатора.

(1) Стрелките означават векторни величини.

(2) Частен случай на свръхкомпенсация.

© Schneider Electric - всички права запазени

9 Влияние на хармониците

9.1 Проблеми, свързани с хармоничните съставящи в енергийната система

Електрообзавеждането, което използва силови електронни компоненти (честотно регулиране на двигатели, тиристорни изправители и др.) значително увеличава проблемите, предизвикани от хармоничните съставящи в системите за електроснабдяване. Хармониците създават проблеми от момента на електрификацията на индустрията и са предизвикани от нелинейните съпротивления при намагнитване на трансформатори, реактори, баластни съпротивления в луминесцентни лампи и др.

Хармониците в асиметрични трифазни системи са като правило нечетни: 3-ти, 5-ти, 7-ми, 9-и, и тяхната големина се намалява с увеличаване на поредния им номер. Няколко устройства могат да бъдат използвани по различни начини за намаляване на конкретните хармоници до пренебрежимо малки стойности – пълното отстраняване е невъзможно. В този раздел се препоръчват практически средства за намаляване влиянието на хармониците, особено за кондензаторни батерии.

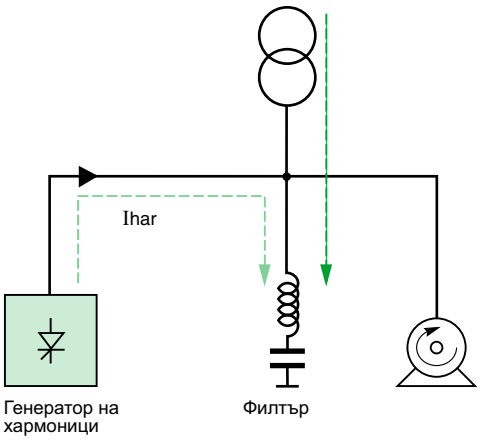
Кондензаторите са особено чувствителни към хармоничните съставящи на захранващото напрежение поради това, че капацитивното реактивно съпротивление се намалява с увеличаване на честотата. На практика това означава, че само относително малък процент от хармоничните напрежения може да предизвика протичане на значителен ток в кондензаторната верига.

Наличието на хармоници предизвиква изкривяване на формата на вълната (нормално синусоидална) на напрежението или тока. Колкото е по-голямо съдържанието на хармоници, толкова е по-голяма степента на изкривяване.

Ако собствената резонансна честота на комбинацията „кондензаторна батерия/ реактивно съпротивление на енергийната система" е близка до честотата на конкретния хармоник, възниква частичен резонанс с повишени стойности на напрежението и тока при честотата на хармоника. В дадения случай увеличеният ток предизвиква прегряване на кондензатора, с постепенно влошаване на диелектричните му свойства, което в крайна сметка може да доведе до повреда. Съществуват няколко решения на тези проблеми с използване на следните средства:

- паралелно свързване на филтър и/или реактори за подтискане на хармоници, или
- активни силови филтри или
- хибридни филтри.

Влиянието на хармониците се отчита главно чрез увеличаване на номиналната мощност на кондензаторите и последователното им свързване с реактори за подтискане на хармониците.



Фиг. L28: Принцип на работа на пасивен филтър

9.2 Възможни решения

Пасивен филтър (виж **Фиг. L28**)

Противодействие на хармониците

Присъствието на хармоници в захранващото напрежение предизвиква много висок ток през кондензаторите. Необходимата корекция се прави чрез изчисляване за средноквадратичната стойност на тока,1.3 пъти по-голяма от номиналния ток. Всички последователни елементи, такива като съединения, стопяеми предпазители, прекъсвачи и т.н., свързани с кондензаторите, се оразмеряват с аналогично увеличение (от 1.3 до 1.5 пъти повече спрямо номиналната стойност).

Изкривяването на формата на вълната на напрежението от хармоници често се изразява в появяване на „пикове" и увеличаване амплитудата на нормалната синусоидална вълна. Тази възможност, заедно с други условия за пренапрежение, които могат да възникнат при противодействие на резонансни ефекти, както се описва по-долу, се отчитат при увеличаване нивото на изолация над нивото на изолацията за „стандартни" кондензатори. В много случаи тези две мерки са достатъчни за осигуряване на удовлетворителна работа.

Противодействие на резонансни ефекти

Кондензаторите са линейни реактивни устройства и следователно не генерират хармоници. Обаче, монтирането на кондензатори в енергийната система (в която съпротивленията са предимно индуктивни) може да предизвика пълен или частичен резонанс при една от хармоничните честоти.

Редът на хармоника ho на собствената резонанса честота между индуктивността на системата и кондензаторната батерия се определя по формулата

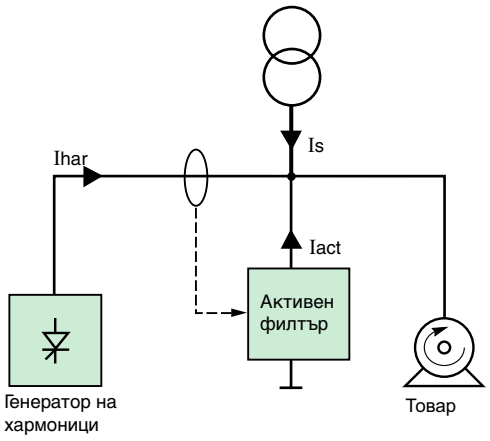
$$h_o = \sqrt{\frac{Ssc}{Q}}$$

където Ssc е нивото на мощността на късо съединение в мястото на свързване на кондензатора, kVA;

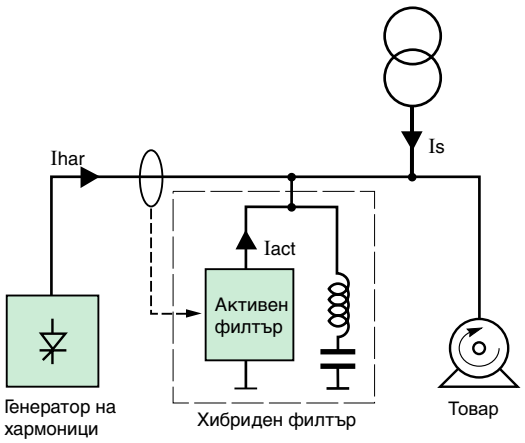
Q – номиналната стойност на мощността на кондензаторната батерия, kVAr;

ho – редът на хармоника със собствената резонанса честота f_o, т.е. $\frac{f_o}{50}$ за система с честота 50 Hz или $\frac{f_o}{60}$ за 60 Hz.

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. L29: Принцип на работа на активен филтър



Фиг. L30: Принцип на работа на хибриден филтър

Например: $h_o = \sqrt{\frac{Ssc}{Q}}$ може да се получи h_o = 2.93, което показва, че най-малката резонансна честота на комбинацията кондензатор – индуктивност е близка до честотата на хармоника от трети порядък на системата.

От отношението $h_o = \frac{f_o}{50}$, се определя f_o = 50 h_o = 50 x 2.93 = 146.5 Hz.

Колкото е по-близка собствената резонансна честота до честотата на кой да е от хармониците, присъстващ в системата, толкова по-голям ще бъде (нежелания) ефект. В посоченият по-горе пример с голяма вероятност биха възникнали условия за резонанс с хармонична съставяща от трети порядък на изкривената вълна.

В такива случаи е необходимо да се предприемат мерки за изменение на собствената резонанса честота до стойност, при която няма да се получава резонанс с кой да е от наличните хармоници. Това се постига чрез последователно свързване с кондензатора на индуктивна бобина, подтискаща хармоника.

В системи с честота 50 Hz такива реактори често се настройват за получаване собствената резонансна честота на комбинацията кондензаторна батерия + реактори до 190 Hz. Реакторите се настройват на 228 Hz за система с f = 60 Hz. Тези честоти съответстват на стойност h_o = 3.8 за система с f = 50 Hz, т.е. приблизително по средата между хармониците от трети и пети порядък.

В такава схема присъствието на реактор увеличава тока с основна честота (50 Hz или 60 Hz) с малка стойност (7 ... 8) %, а също и напрежението на кондензатора в същата пропорция.

Тази характеристика се отчита, например, чрез използването на кондензатори, които са проектирани за работа при напрежение 440 V за система 400 V.

Активен филтър (виж **Фиг. L29**)

Активните филтри са основани на използването на силова електроника. Обикновено те се монтират паралелно с нелинейния товар.

Активните филтри анализират хармониците, предизвикани от товара, а после подават същия хармоничен ток към товара с подходяща фаза. В резултат, хармоничните токове напълно се неутрализират. Това означава, че те не могат повече да протичат нагоре към захранващия източник и не се захранват от него.

Основното предимство на активните филтри е, че гарантират ефективна компенсация на хармониците дори и при извършване на промени в уредбата. Те са изключително лесни за експлоатация и се характеризират със следните свойства:

- Автоматично настройване на конфигурацията при хармонични товари независимо от порядъка на хармониците.
- Отстраняване на рисковете от претоварване.
- Съвместимост с електрическите генератори.
- Свързване към произволна точка на електрическата мрежа.
- Няколко филтри могат да се използват в една и съща уредба за повишаване на ефективността при отстраняване на хармониците (например, когато се монтира нова машина).

Освен това, активните филтри могат също да осигурят компенсация на фактора на мощността.

Хибриден филтър (виж **Фиг. L30**)

Този тип филтър обединява предимствата на пасивния и активния филтър. Дадена честота се филтрира от пасивния филтър, а всички други честоти се филтрират от активния филтър.

© Schneider Electric - всички права запазени

9 Влияние на хармониците

9.3 Избор на оптимално решение

Таблица L31 по-долу показва критериите, които трябва да бъдат взети под внимание при избор на най-подходяща технология за дадена област на приложение.

Таблица L31: Избор на най-находяща технология в зависимост от областта на приложение

	Пасивен филтър	**Активен филтър**	**Хибриден филтър**
Област на приложение …, с обща пълна мощност	Промишленост	Големи сгради	Промишленост
на нелинейни товари (регулируемо задвижване, UPS, изправител, ...)	Повече от 200 kVA	Под 200 kVA	Повече от 200 kVA
Компенсация фактора на мощността		Не	
Подтискане на хармоничните изкривявания в напрежението за чувствителни товари			
Подтискане на хармоничните изкривявания в тока за предотвратяване претоварване на кабели			
Осигуряване на строги граници за отстраняване на хармониците	Не		

За пасивен филтър, изборът се прави на основата на следните параметри:

- Gh е сумата от номиналната мощност на всички устройства, генериращи хармоници (статични преобразуватели, инвертори, регулатори на скорост и др.), свързани към шините, от които се захранва кондензаторната батерия. Ако номиналните стойности на някои от тези устройства се посочва само в kW, се приема среден cos φ = 0.7 за получаване на номиналните стойности на пълната мощност;
- Ssc – мощността на трифазно късо съединение на клемите на кондензаторната батерия, kVA;
- Sn – сумата от номиналните стойности на пълната мощност на всички захранващи трансформатори (т.е. директно свързвани, към сборните шини).

Ако определен брой трансформатори работят паралелно, извеждането на един или няколко от тях, предизвиква значително изменение в стойностите на Ssc и Sn. От тези величини, с помощта на **Табл. L32**, може да се извърши избор на параметрите на кондензатора, осигуряващ допустимо ниво на работа при хармонични напрежения и токове в системата.

Таблица L32: Избор на решения за ограничаване на хармоници, свързани с кондензаторна батерия НН, захранвана от трансформатор(-и)

■ Общо правило, използвано за трансформатор с произволна номинална мощност.

$Gh \leqslant \frac{Ssc}{120}$	$\frac{Ssc}{120} \leqslant Gh \leqslant \frac{Ssc}{70}$	$Gh > \frac{Ssc}{70}$
Стандартни кондензатори	Номинално напрежение на кондензатор, увеличено с 10 % (с изключение на елементи с U = 230 V)	Номинално напрежение на кондензатор, увеличено с 10 % + реактор за намаляване на хармоници

■ Опростено правило за трансформатора(-и) с номинална мощност Sn ⩽ 2 MVA

$Gh \leqslant 0.15\ Sn$	$0.15\ Sn < Gh \leqslant 0.25\ Sn$	$0.25\ Sn < Gh \leqslant 0.60\ Sn$	$Gh > 0.60\ Sn$
Стандартни кондензатори	Номинално напрежение на кондензатор, увеличено с 10 % (с изключение на елементи с U = 230 V)	Номинално напрежение на кондензатор, увеличено с 10 % + реактор за намаляване на хармоници	Филтър

© Schneider Electric - всички права запазени

10 Изпълнение на кондензаторни батерии

10.1 Кондензатори

Технология

Кондензаторите са сухи елементи (т.е. не са импрегнирани с течен диелектрик) от двойна метализирана самовъзстановяваща се полипропиленова лента, навита на руло. Те са защитени с високоефективна система (разединител, реагиращ на повишено налягане, комбиниран със стопяем предпазител с висока комутационна възможност). Тя изключва кондензатора при вътрешна повреда.

Схемата на защитата работи по следния начин:

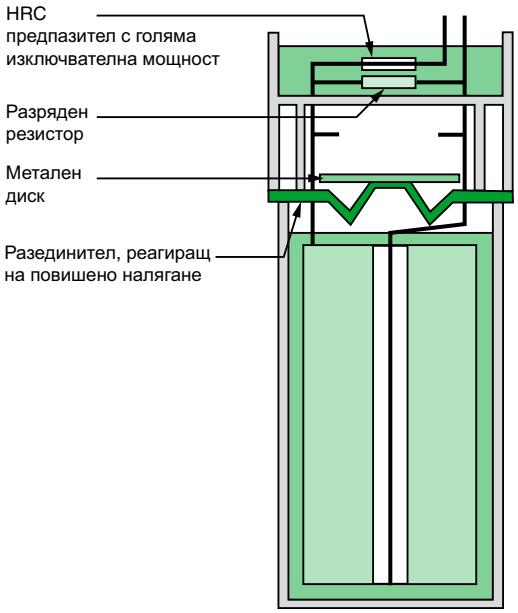
- Късото съединение в диелектрика предизвиква изгаряне на стопяемия предпазител;
- Понякога възникват стойности на тока по-големи от нормалната, но недостатъчни за изгаряне на предпазителя (например, при частични пробиви в диелектричния слой).

Такива „повреди" често се самоизолират поради местно прегряване, предизвикано от тока на утечка („самовъзстановяващи" елементи);

- Ако токът на утечка се запази, повредата може да се развие в късо съединение и да се стопи вложката на предпазителя;
- Газът, образуван при изпарение на металния слой в мястото на повредата, постепенно увеличава налягането в пластичен контейнер, което предизвиква заработване на устройство, реагиращо на повишено налягане. Това предизвиква късо съединение и изгаряне на стопяемия предпазител.

Корпусът на кондензатора се изработва от изолационен материал, което осигурява двойна изолация и отсрянва необходимостта от заземяване (виж **Фиг. L33**).

a)



b)

Електрически характеристики			
Стандарт		IEC 60439-1, NFC 54-104, VDE 0560 CSA Стандарти, UL изпитвания	
Работен диапазон	Номинално напрежение	400 V	
	Номинална честота	50 Hz	
Допустимо отклонение на капацитета		-5 %, +10 %	
Температурен диапазон (до 65 kVAr)	Максимална температура	55 °C	
	Средна температура за 24 h	45 °C	
	Средногодишна температура	35 °C	
	Минимална температура	- 25 °C	
Ниво на изолация		50 Hz 1 min издържано напрежение : 6 kV 1.2/50 µs издържан напрежителен импулс: 25 kV	
Допустимо претоварване по ток		Стандартен диапазон (1)	Разширен диапазон (1)
		30%	50%
Допустимо претоварване по напрежение		10%	20%

*Фиг. L33: Кондензатор: **a** – напречно сечение; **b** – характеристики*

(1) Означение на Schneider Electric

© Schneider Electric - всички права запазени

10 Изпълнение на кондензаторни батерии

10.2 Избор на защита, управляващи устройства и свързващи кабели

Изборът на свързващите кабели, устройствата за защита и управление зависи от товарния ток.

За кондензатори, токът е функция на:

- Използваното напрежение и неговите хармонични;
- Стойността на капацитета.

Номиналният ток In на трифазна кондензаторна батерия се определя от:

$$In = \frac{Q}{Un\sqrt{3}},$$

където Q е номиналната реактивна мощност, kVAr;

Un – линейното напрежение, kV.

Допустимият диапазон на използваното напрежение с основна честота и хармоничните съставящи, заедно с производствените допуски на фактическия капацитет (за обявена номинална стойност), може да доведе до повишаване на изчислената стойност на тока с 50 % и повече. Приблизително 30 % от това повишение се дължи на нарастване на напрежението, а 15 % - от производствените допуски, т.е.
1.3 x 1.15 = 1.5 In.

Всички компоненти, пропускащи тока на кондензатора, трябва да бъдат изчислени за „най-лошия" режим на работа при максимална температура на околната среда 50 °C. При по-високи температури (над 50 °C) в обвивките на таблата и др. е необходимо да се отчете намаляването на проводимостта на всички компоненти, пропускащи тока.

Защита

Типът на прекъсвача се избира така, че да осигури настройки на бавнодействащата защита равни на:

- 1.36 x In за тип Classic (1);
- 1.50 x In за тип Comfort (1);
- 1.12 x In за тип Harmony (1) (настроен на 2.7 f) (2);
- 1.19 x In за тип Harmony (1) (настроен на 3.8 f);
- 1.31 x In за тип Harmony (1) (настроен на 4.3 f).

Бързодействащата защита (защита от късо съединение) трябва да бъде нечувствителна към пусковия ток. Настройката е 10 x In за тип Classic, Comfort и Harmony (1).

Пример 1

Тип Classic:

Q = 50 kVAr; Un = 400V; fn = 50 Hz.

Следователно

$$In = \frac{50,000}{(400 \text{ x } 1.732)} = 72 \text{ A}$$

Настройката на бавнодействащата защита е: 1.36 x 72 = 98 A.

Настройката на бързодействащата защита е: 10 x In = 720 A.

Пример 2

Тип Harmony (настроен на 4.3 f):

Q = 50 kVAr; Un = 400V; fn = 50 Hz.

При същия ток In = 72 A.

Настройката на бавнодействащата защита е: 1.31 x 72 = 94 A.

Настройката на бързодействащата защита е: 10 x In = 720 A.

Свързващи кабели

В **Табл. L34** на следващата страница са посочени минималните сечения на свързващи кабели за кондензатори тип Rectiphase.

Кабели за управление

Минималното сечение на тези кабели трябва да бъде 1.5 mm^2 при напрежение 230 V.

Към вторичната намотка на токовия трансформатор препоръчваното сечение на тези кабели трябва да бъде по-голямо от 2.5 mm^2.

(1) Означение на Schneider Electric.

(2) Кондензаторните батерии тип Harmony са обзаведени с индуктивна бобина за подтискане на хармоници.

© Schneider Electric - всички права запазени

10 Изпълнение на кондензаторни батерии

Таблица L34: Сечения на свързващи кабели към кондензаторни батерии със средна и висока мощност (1)

Мощност на кондензаторната батерия, в kVAr, при номинално напрежение: 230 V	400 V	Сечение на меден кабел, mm²	Сечение на алуминиев кабел, mm²
5	10	2.5	16
10	20	4	16
15	30	6	16
20	40	10	16
25	50	16	25
30	60	25	35
40	80	35	50
50	100	50	70
60	120	70	95
70	140	95	120
90-100	180	120	185
	200	150	240
120	240	185	2 x 95
150	250	240	2 x 120
	300	2 x 95	2 x 150
180-210	360	2 x 120	2 x 185
245	420	2 x 150	2 x 240
280	480	2 x 185	2 x 300
315	540	2 x 240	3 x 185
350	600	2 x 300	3 x 240
385	660	3 x 150	3 x 240
420	720	3 x 185	3 x 300

Пренапрежения

Преходни пренапрежения и токове с висока честота се получават при комутация на кондензаторна батерия в процеса на обслужване. Максималният пик на преходните пренапрежения никога (при отсъствието на хармоници в установен режим) не надхвърля удвоената максимална моментна (пикова) стойност на номиналното напрежение при включване на незареден кондензатор.

При зареден кондензатор, в момента на включване на прекъсвача, преходното пренапрежение може да достигне максимална стойност, която е три пъти по-голяма от максималната моментна стойност на номиналното напрежение.

Този максимален режим се получава при едновременното изпълнение на следните три условия:

- Съществуващото напрежение на кондензатора е равно на пиковата стойност на номиналното напрежение;
- Контактите на прекъсвача се затварят в момент на пиковата стойност на захранващото напрежение;
- Полярността на захранващото напрежение е противоположна на полярността на заредения кондензатор.

В тази ситуация преходния ток получава своята максимална стойност. Тя е двойно по-голяма от неговата максимална стойност при включване на предварително незаредения кондензатор, както е посочено по-горе.

За всякакви други стойности на напрежението и полярност на предварително заредения кондензатор преходните пикове на напрежението и тока ще бъдат по-малки от посочените по-горе.

В случай на пиково номинално напрежение на кондензатора, имащ същата полярност както и захранващото напрежение и включване на прекъсвача в момента на пика на захранващото напрежение не се получава преходно напрежение или ток.

Когато се извършва автоматичното превключване на степените на кондензаторна батерия е необходимо да се вземат мерки, осигуряващи пълно разреждане на изключваната секция.

Времето за разреждане може да се намали, ако е необходимо, с помощта на разрядни резистори, имащи ниски стойности на съпротивлението.

(1) Минималното напречно сечение не трябва да отчита каквито и да са корекции (режим на монтаж, температура и др.). Пресмятането е направено за еднофазни кабели, положени на открито, за температура на околната среда 30 °C.

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава M
Ограничаване въздействието на хармониците

Съдържание

1	**Проблем: Защо е необходимо да се откриват и отстраняват хармониците?**	**M2**
2	**Стандарти**	**M3**
3	**Общи положения**	**M4**
4	**Основни ефекти от хармониците в електрическите уредби**	**M6**
	4.1 Резонансен	M6
	4.2 Увеличени загуби	M6
	4.3 Претоварвания на обзавеждането	M7
	4.4 Смущения, влияещи на чувствителни потребители	M9
	4.5 Икономически последици	M10
5	**Основни показатели на хармониците и принципи за измерване**	**M11**
	5.1 Коефициент на мощност	M11
	5.2 Пик-фактор	M11
	5.3 Параметри на мощността и на хармоници	M11
	5.4 Хармоничен спектър и хармонично изкривяване	M12
	5.5 Общ коефициент на хармонични изкривявания (THD)	M12
	5.6 Използване на различни показатели	M13
6	**Измерване на показатели**	**M14**
	6.1 Устройства, използвани за измерване на показатели	M14
	6.2 Процедури за хармоничен анализ на разпределителни вериги	M14
	6.3 Контрол на хармонични съставящи	M15
7	**Устройства за откриване**	**M16**
8	**Решения за намаляване на хармоници**	**M17**
	8.1 Основни решения	M17
	8.2 Филтриране на хармоници	M18
	8.3 Метод	M20
	8.4 Конкретни модели на филтри	M20

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Проблем: Защо е необходимо да се откриват и отстраняват хармониците?

Смущения, предизвикани от хармониците

Хармониците, протичащи в разпределителните мрежи, предизвикват намаляване качеството на електрическата енергия.

Това може да предизвика редица отрицателни ефекти:

- претоварвания в разпределителните мрежи поради увеличена ефективна стойност на тока;
- претоварвания в нулевите (неутрални) проводници, поради сумиране на токовете с висши хармоници, кратни на три, които се генерират от еднофазни товари;
- претоварвания, вибрации и ускорено стареене на генератори, трансформатори и електродвигатели, както и увеличен шум на трансформаторите;
- претоварвания и ускорено стареене на кондензаторите за повишаване фактора на мощността;
- изкривяване формата на захранващото напрежение, което може да смущава работата на чувствителни потребители;
- смущения в комуникационните мрежи и телефонните линии.

Икономически последици от хармониците, нарушаващи нормалната работа

Хармониците предизвикват значителни икономически последици:

- ускореното стареене на обзавеждането означава, че то е необходимо да се замени по-рано от планирания срок, освен, ако за него от самото начало не е предвидено съответно преоразмеряване;
- претоварванията в разпределителната мрежа могат да доведат до по-високи нива на потребление на електрическа енергия и увеличаване на загубите;
- изкривяване формата на кривата на тока може да предизвика неправилно заработване на автоматичните прекъсвачи, което може да доведе до спиране на производствения процес.

Все по-сериозни последици

Само до преди 10 години хармониците не се разглеждаха като реален проблем, тъй като тяхното влияние в разпределителните мрежи като цяло беше незначително. Но, масовото въвеждане на силова електроника в обзавеждането, доведе до това, че присъствието на хармоници започна сериозно да влияе върху всички сектори на икономическата дейност.

Освен това обзавеждането, пораждащо такива хармоници, често е много важно за компанията или организацията.

Кои хармоници трябва да бъдат измервани и елиминирани?

Най-често срещаните хармонични съставящи в трифазни разпределителни мрежи са от нечетен ред. С увеличаване на честотата амплитудата на хармониците обикновено се намалява. Хармониците с ред над 50 имат малка амплитуда и измерването им няма практически смисъл.

Достатъчно точни резултати се получават при измерване на хармоници до 30-ти ред.

Електроснабдителните компании наблюдават хармониците от 3-ти, 5-ти, 7-ми, 11-ти и 13-ти ред в захранващите мрежи. Обикновено, е достатъчно да се отстранят хармониците с малък ред (до 13-ти). При по-изчерпателен контрол се отчитат хармоници до 25-ти ред включително.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Стандарти

Въпросите на хармоничните емисии в електрическите уредби се регламентират в различни стандарти и норми:

- стандарти за осигуряване на електромагнитна съвместимост за разпределителните мрежи;
- нормативни изисквания за обзавеждане, генериращо хармоници;
- препоръки на електроснабдителни компании за използваните електрически уредби.

В действие е тройна система от стандарти и норми, насочена за бързо намаляване влиянието на хармониците, която е основана на изброените по-долу документи:

Стандарти, регламентиращи електромагнитната съвместимост между електрически мрежи и изделия

Тези стандарти определят необходимата електромагнитна съвместимост между разпределителните мрежи и обзавеждането:

- хармониците, предизвикани от устройство не трябва да създават в разпределителната мрежа смущение над определено ниво;
- всяко устройство трябва да запазва работоспособност при наличие на смущения до определени нива;
- стандарт IEC 61000-2-2 „Електромагнитна съвместимост (EMC) Част 2: Околна среда. Раздел 2: Нива на съвместимост за нискочестотни кондуктивни смущаващи въздействия и пренасяне на сигнали в обществени захранващи системи ниско напрежение" (БДС EN 61000-2-2:2004);
- стандарт IEC 61000-2-4 „Електромагнитна съвместимост (EMC) Част 2: Околна среда. Раздел 4: Нива на съвместимост за нискочестотни кондуктивни смущения в промишлени предприятия" (БДС EN 61000-2-4:2004).

Стандарти, регламентиращи качеството на електрическата енергия, осигурявана от разпределителни мрежи:

- стандарт EN 50160 „Характеристики на напрежението на електрическата енергия доставяна от обществените разпределителни електрически системи" (БДС EN 50160:2007);
- стандарт IEEE 519-1992 „Препоръчвани практики и изисквания за хармоничен контрол в електроенергийни системи". Той дава общия подход на електроснабдителните компании и потребители за ограничаване влиянието на нелинейните товари. Електроснабдителните компании стимулират предприемането на превантивни мерки, предназначени за повишаване качеството на електрическа енергия, намаляване температурните прегрявания и влиянието на фактора на мощноста. Тези мерки ще доведат до глоби на потребители, които са основни източници на хармоници в захранващите мрежи.

Стандарти, регламентиращи изисквания към електрообзавеждането:

- стандарт IEC 61000-3-2 или EN 61000-3-2 „Електромагнитна съвместимост (EMC). Част 3-2: Гранични стойности. Гранични стойности за излъчвания на хармонични съставящи на тока (входен ток на устройства/съоръжения до и включително 16 A за фаза) (БДС EN 61000-3-2:2006);
- стандарт IEC 61000-3-12 „Електромагнитна съвместимост (EMC). Част 3-12: Гранични стойности. Гранични стойности на хармонични съставящи на тока, създавани от съоръжения, свързани към обществени захранващи системи ниско напрежение, с входен ток > 16 A и ≤ 75 A за фаза (БДС EN 61000-3-12:2006).

Максимално допустими нива на хармониците

Резултатите от международни изследвания позволяват да се съберат данни и да се оцени типовото съдържание на хармоници в електрически мрежи. В **Табл. M1** са представени нивата, които по мнение на по-голяма част от електроснабдителните компании, не трябва да бъдат надхвърлени.

Таблица M1: Максимално допустими нива на хармониците

Нечетни хармоници, от ред h, некратни на три				Нечетни хармоници, от ред h, кратни на три				Четни хармоници от ред h			
h	HH	CpH	BH	h	HH	CpH	BH	h	HH	CpH	BH
5	6	6	2	3	5	2.5	1.5	2	2	1.5	1.5
7	5	5	2	9	1.5	1.5	1	4	1	1	1
11	3.5	3.5	1.5	15	0.3	0.3	0.3	6	0.5	0.5	0.5
13	3	3	1.5	21	0.2	0.2	0.2	8	0.5	0.2	0.2
17	2	2	1	> 21	0.2	0.2	0.2	10	0.5	0.2	0.2
19	1.5	1.5	1					12	0.2	0.2	0.2
23	1.5	1	0.7					> 12	0.2	0.2	0.2
25	1.5	1	0.7								
> 25	0.2 + 25/h	0.2 + 25/h	0.1 + 25/h								

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Общи положения

Присъствието на хармоници предполага изкривена форма на тока или напрежението. Изкривяването на токовата или напреженовата вълна означава наличие на смущения в разпределителната мрежа и влошаване качеството на доставяната електрическа енергия.

Източници на хармонични токове са нелинейни товари, присъединени към разпределителната мрежа. Протичането на хармонични съставящи на токове по мрежата, имаща някакво пълно съпротивление, предизвиква появяване на хармонични съставящи на напрежението и съответно изкривяване формата на захранващото напрежение.

Получаване на хармоници

Устройства и системи, които предизвикват хармоници, има във всички сектори на икономиката, т.е. в промишлеността, търговията и строителството. Хармониците се предизвикват от нелинейни товари (т.е. товари, които консумират ток с форма на вълната, различна от формата на вълната на захранващото напрежение).

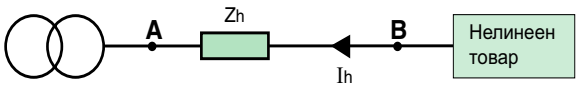
Примери на нелинейни товари:

- Промишлено обзавеждане (заваръчни машини, електродъгови и индукционни пещи, изправители);
- Задвижвания с асинхронни двигатели или с постояннотокови двигатели с регулируема честота на въртене;
- Източници на непрекъсваемо захранване (UPS);
- Офис обзавеждане (компютри, копирни машини, факс апарати и др.);
- Битови електрически уреди (телевизори, микровълнови печки, луминесцентни лампи);
- Устройства с магнитно насищане (трансформатори).

Смущения, създавани от нелинейни товари: хармоници на тока и напрежението

Нелинейните товари потребяват хармоници на токове, които постъпват в разпределителната мрежа.

Хармониците на напрежението се предизвикват от протичането на хармониците на токовете през съпротивленията на захранващите вериги (през трансформатора и разпределителната мрежа за случаи аналогични на този, показан на **Фиг. M2**).



Фиг. M2: Еднолинейна схема, показваща съпротивлението на захранващата верига за хармоник от ред h

Реактивното съпротивление на проводника нараства с увеличаване честотата на тока, протичащ през проводника. Затова, за всеки хармоник на тока (от ред h) в захранващата верига съществува дадено пълно съпротивление Zh.

Когато през съпротивлението Zh протича хармоник на тока от ред h, съгласно закона на Ом, той създава хармоник на напрежението Uh = Zh x Ih. В резултат формата на напрежението в т. В се изкривява и се отличава от синусоидалната. Всички товари, които се захранват през т. В получават напрежение с изкривена форма.

За дадения хармоник на тока, това изкривяване е пропорционално на съпротивлението на разпределителната мрежа.

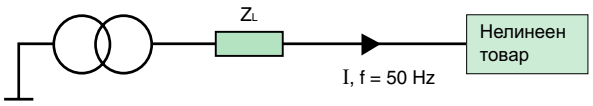
Протичане на хармоници на токове в разпределителните мрежи

Може да се приеме, че нелинейните товари генерират висши хармоници на токове в разпределителната мрежа към захранващия източник.

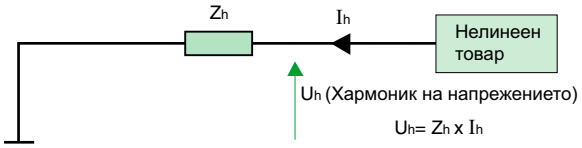
На **Фиг. M3** и **Фиг. M4** на следващата страница е показана уредба замърсена с хармоници. **Фигура M3** показва протичането на ток с честота 50 Hz в уредбата, а **Фиг. M4** – хармониците на тока (от ред h).

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Общи положения

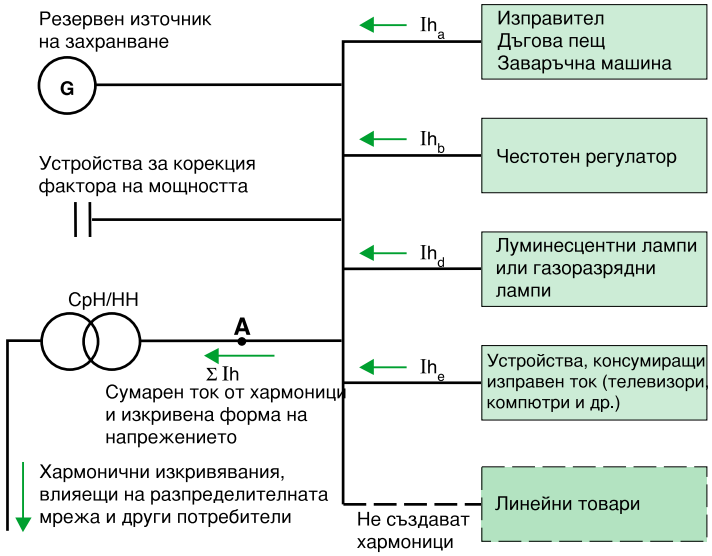


Фиг. M3: Схема на електрическа уредба захранваща нелинеен товар, в която протича само ток с честота 50 Hz



Фиг. M4: Схема на електрическа уредба, захранваща нелинеен товар, в която протича хармоник на тока от ред h

При захранване на нелинеен товар възниква ток I, f = 50 Hz (както е показано на **Фиг. M3**) към който се добавят токове Ih (показани на **Фиг. M4**), съответстващи на хармоници от ред h.
Приемайки, че товарите генерират токове от висши хармоници в разпределителната мрежа в направление към източника на захранване може да се построи схема на протичането на токовете в тази мрежа (виж **Фиг. M5**).



Забележка: Въпреки, че в дадената схема определени товари генерират хармонични съставящи на токовете в разпределителната мрежа, други товари могат да поглъщат тези токове.

Фиг. M5: Протичане на хармонични съставящи на токове в разпределителна мрежа

Основните икономически ефекти от хармониците в електрическите уредби са:
- Увеличен разход на електроенергия;
- Ускорено стареене на електрообзавеждането;
- Производствени загуби.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Основни ефекти от хармониците в електрическите уредби

4.1 Резонансен

Едновременното използване на капацитивни и индуктивни устройства в разпределителните мрежи предизвиква паралелен или последователен резонанс, който се проявява в много големи или в много малки стойности на пълното съпротивление. Измененията на съпротивлението предизвикват изменения на тока и напрежението в разпределителната мрежа. В този раздел се разглежда само паралелния резонанс, като най-разпространен.

Разглежда се следната опростена електрическа схема (виж **Фиг. M6**), представяща уредба, изградена от:

- захранващ трансформатор;
- линейни товари;
- нелинейни товари, потребяващи висши хармоници на тока;
- кондензатори за подобряване фактора на мощност.

По-долу е показана еквивалентната схема за хармоничен анализ (виж **Фиг. M7**). Ако се пренебрегне активното съпротивление R, за пълното съпротивление Z се получава:

$$Z = \frac{jLs\omega}{1-LsC\omega^2},$$

където Ls е индуктивността на захранващата мрежа (разположеният по-горе участък от мрежата + трансформатор + линия);

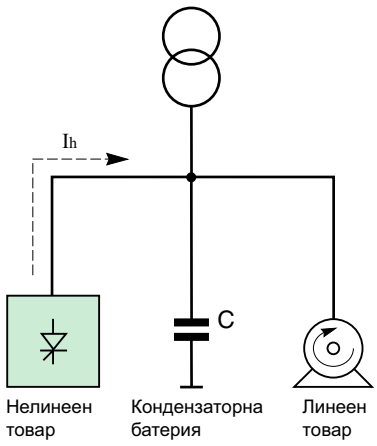
C – капацитетът на кондензаторите за повишаване фактора на мощността;

R – активното съпротивление на линейните товари;

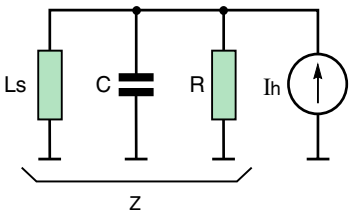
Ih – хармоничната съставяща на тока.

Резонанс настъпва тогава, когато знаменателят $1-LsC\omega^2$ се стреми към нула. Съответната честота се нарича резонансна честота на веригата. При тази честота пълното съпротивление достига максимална стойност и възниква хармонична съставяща на напрежението с голяма стойност. Тя предизвиква значително изкривяване на формата на захранващото напрежение. Изкривяването на формата на напрежението се съпровожда от протичане на хармонични съставящи на токове във веригата Ls+C, които са по-големи от токовете, потребявани от товарите.

В резултат такава разпределителна мрежа и кондензаторите за подобряване коефициента на мощност се подлагат на действието на големи хармонични съставящи на токовете и се претоварват. За да се избегне резонанса последователно на кондензаторите се монтират дросели за компенсация на хармониците.



Фиг. M6: Схема на електрическа уредба



Фиг. M7: Еквивалентна схема на електрическа уредба, показана на Фиг. M6

4.2 Увеличени загуби

Загуби в проводниците

Активната мощност предавана към товара зависи от съставящата I1 на тока.

Когато токът, потребяван от товара съдържа хармонични съставящи ефективната стойност на тока Irms, надвишава тази на I1.

Общият коефициент на хармонични изкривявания (THD) се определя с израза:

$$THD = \sqrt{\left(\frac{Irms}{I1}\right)^2 - 1},$$

откъдето: $Irms = I1\sqrt{1+THD^2}$.

На **Фиг. M8** (на следваща страница) са показани графиките на изменение на следните два параметъра в зависимост от общия коефициент на хармонични изкривявания:

- ефективна стойност на тока Irms за товар, потребяващ даден основен ток;
- Джаулови загуби, без отчитане на скин-ефекта (точката на отчитане на двата параметъра 1 съответства на случай, когато отсъстват хармонични съставящи).

Хармоничните съставящи на токовете предизвикват увеличаване на Джауловите загуби във всички проводници, в които те протичат и допълнително повишаване на температурата в трансформатори, устройства, кабели и др.

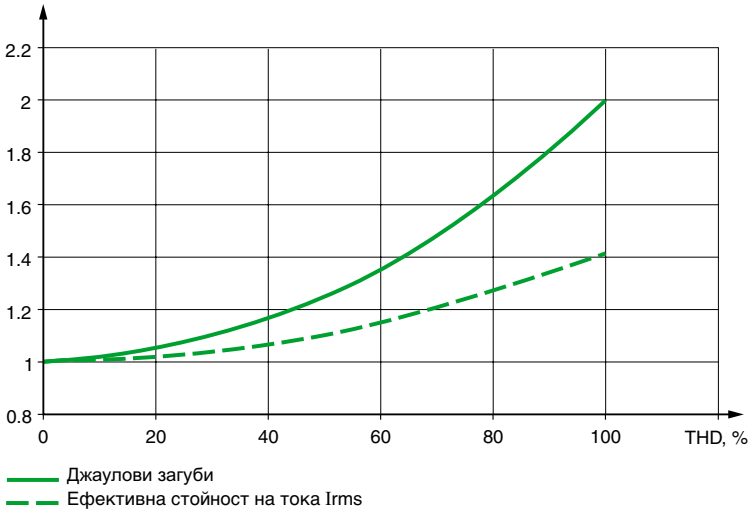
Загуби в асинхронни машини

Хармоничните съставящи на напрежението от ред h, захранващи асинхронните машини, генерират в ротора токове с честота над 50 Hz и са причина за допълнителни загуби.

Стойности на загубите

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Основни ефекти от хармониците в електрическите уредби



Фиг. M8: Увеличаване ефективната стойност на тока и Джауловите загуби в зависимост от общия коефициент на хармонични изкривявания (THD)

■ Захранващо напрежение с правоъгълна форма предизвиква **20 % увеличаване** на загубите;

■ Захранващо напрежение с хармонична съставяща u5 = 8% (от основното напрежение U1), u7 = 5 %, u11 = 3 %, u13 = 1 %, т.е. общият коефициент на хармонични изкривявания на напрежението THDu = 10 % предизвиква допълнително загуби 6 %.

Загуби в трансформатори

Хармоничните съставящи на токовете, протичащи в трансформаторите предизвикват увеличение на загубите в медта поради ефектна на Джаул и увеличени загуби в „желязото" поради вихрови токове. Хармоничните съставящи на напреженията са причина за загуби в „желязото" и от хистерезис.

Обикновено се приема, че загубите в намотките нарастват пропорционално на квадрата на THDi, а загубите в магнитопровода – че са пропорционални на THDu.

В трансформаторите към разпределителните мрежи, в които нивата на изкривявания са ограничени, загубите се увеличават между (10 … 15) %.

Загуби в кондензатори

Хармоничните съставящи на напреженията, приложени към кондензатори, предизвикват появяване на токове пропорционални на честотата на тези хармоници. Тези токове предизвикват допълнителни загуби.

Пример

Захранващото напрежение съдържа следните хармоници:
Основно напрежение U1, хармонични съставящи на напрежението u5 = 8% (от U1), u7 = 5 %, u11 = 3 %, u13 = 1 %, т.е. общият коефициент на хармонични изкривявания на напрежението THDu = 10 %. Токът се увеличава 1.19 пъти, а Джауловите загуби – 1.19^2, т.е. 1.4 пъти.

4.3 Претоварвания на обзавеждането

Генератори

Номиналните характеристики (параметри) на генераторите, захранващи нелинейни товари трябва да бъдат намалени, поради допълнителните загуби, предизвиквани от протичане на хармоничните съставящи на токовете.

Работните параметри на генератора трябва да се намалят приблизително с 10 %, когато хармоничните съставящи от нелинейни товари образуват 30 % от общия товар. Следователно трябва да се използва генератор с по-голяма мощност.

Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

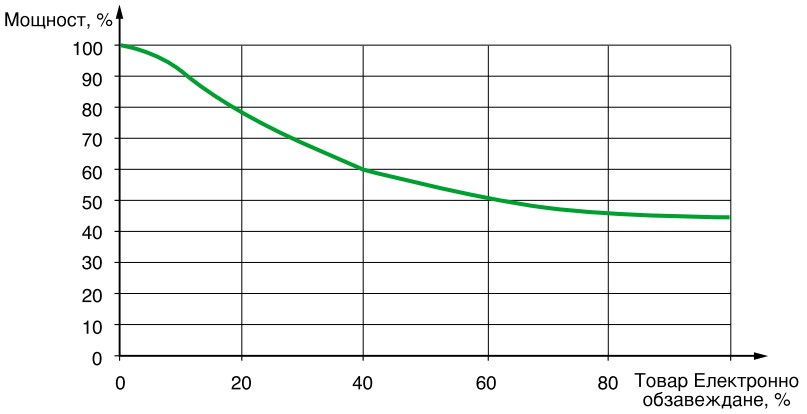
Токът, потребяван от компютърни системи има много голям пик-фактор. Затова източникът на непрекъсваемо захранване, чиито параметри се избират само с отчитане на ефективната стойност на тока, могат да не осигурят необходимия максимален ток и да се окажат претоварени.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Основни ефекти от хармониците в електрическите уредби

Трансформатори

■ Графиката, показана по-долу (виж **Фиг. M9**) изобразява как се намалява мощността на трансформатор, захранващ електронно обзавеждане.



Фиг. M9: Намаляване мощността на трансформатор, захранващ електронно обзавеждане

Пример

Ако трансформаторът захранва сумарен товар, от който 40 % се дължи на електронно обзавеждане, мощността, която може да осигури на трансформатора трябва да бъде намалена с 40 %.

■ Стандарт UTE C15-112 регламентира зависимостта на коефициента на намаляване мощността на трансформатори от хармоничните съставящи на тока.

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.1\left(\sum_{h=2}^{40} h^{1.6}\, T_h^2\right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

Характерни стойности на k за:

■ Ток с правоъгълна форма (амплитуда на хармоника 1/h [1]): k = 0.86;

■ Ток на честотен преобразувател (THD ≈ 50%): k = 0.80

Асинхронни машини

Стандартът IEC 60892 определя термина претеглен коефициент на хармониците HVF (коефициент на хармонични съставящи на напрежение). Максималната му стойност се определя по формулата:

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h}{h^2}} \leqslant 0.02$$

Пример

Захранващото напрежение включва основно напрежение U1 и хармонични съставящи на напрежението u3 = 2 % от U1, u5 = 3 %, u7 = 1 %. Общият коефициент на хармонични изкривявания на напрежението THDu = 3.7 %, а MVF = 0.018. Тази стойност на MVF е много близка до максималната стойност, над която трябва да се извърши коригиране на работните параметри на разглежданата машина. На практика при захранване на асинхронна машина THDu не трябва да бъде по-голям от 10 %.

Кондензатори

В съответствие със стандарт IEC 60831-1 "Шунтиращи силови кондензатори от самовъзстановяващ се тип за системи за променливо напрежение, имащи обявено напрежение до и включително 1000 V. Част 1: Общи положения. Работни характеристики, изпитване и обявени данни. Изисквания за безопасност. Ръководство за монтаж и работа" (БДС EN 60831-1:2002/A1:2004), отношението между работната стойност на тока, протичащ през кондензаторите и номиналната му стойност Irms / I1 не трябва да бъде по-голямо от 1.3.

За посочения по-горе пример хармоничните съставящи на напрежението са: u5 = 8 % (от U1), u7 = 5 %, u11 = 3 %, u13 = 1 %, т.е. общият коефициент на хармонични съставящи на изкривявания THDu = 10%, а отношението $\frac{Irms}{I1} = 1.19$ при номинално напрежение. Ако напрежението надхвърли номиналното с 10 % се получава гранична стойност на отношението $\frac{Irms}{I1} = 1.3$ и е необходимо да се използват кондензатори с повишени характеристики.

(1) Фактически тази форма на тока е близка до правоъгълната. Това е характерно за всички токоизправители (трифазни токоизправители, индукционни пещи).

© Schneider Electric - всички права запазени

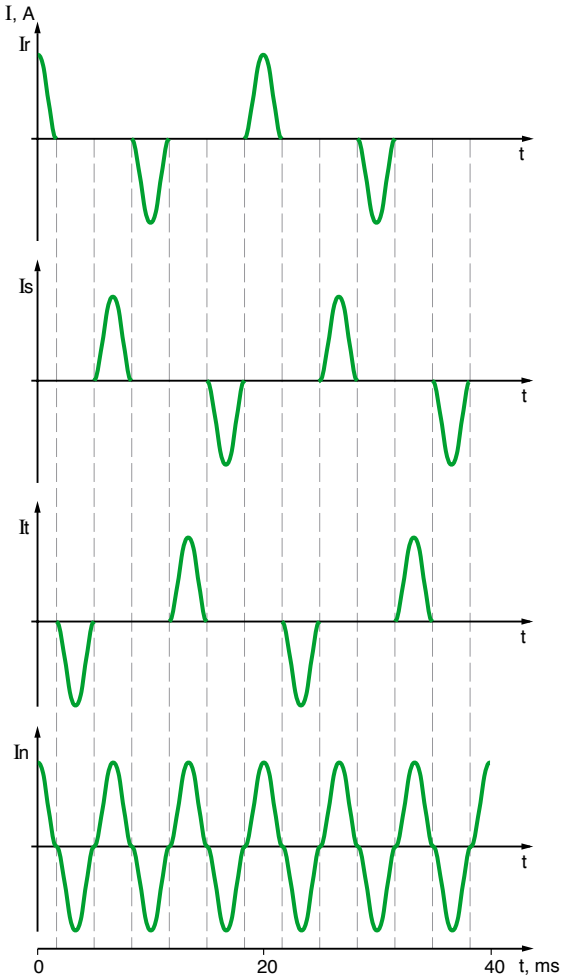
4 Основни ефекти от хармониците в електрическите уредби

Неутрални (нулеви) проводници

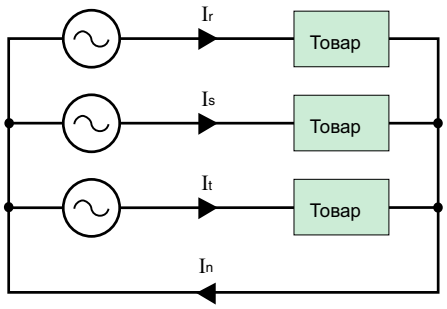
Разглежда се система, изградена от балансиран трифазен захранващ източник и три еднакви еднофазни товара, включени между фазите и неутралата (виж **Фиг. M10**).

Фигура M11 показва характерни форми на токовете, протичащи в тези фази и резултатния ток в неутралния проводник.

В този пример, токът в неутралния проводник има ефективна стойност, която е по-голяма от ефективната стойност на тока във фазовия проводник с $\sqrt{3}$ пъти. Затова нулевият проводник трябва да има по-голямо сечение.



Фиг. M11: Токове, протичащи в проводниците, свързващи трифазен товар (In = Ir + Is + It)



Фиг. M10: Протичане на токове в проводниците, свързани с трифазния захранващ източник

4.4 Смущения, влияещи на чувствителни потребители

Влияние на изкривената форма на захранващото напрежение

Изкривяването на формата на захранващото напрежение може да наруши работата на чувствителни устройства:

- Регулиращи устройства (за температура);
- Компютърно обзавеждане;
- Устройства за управление и контрол (защитни релета).

Изкривяване на телефонни сигнали

Хармоничните съставящи създават смущения във веригите за управление (слаботоковите вериги). Нивото на изкривяване зависи от дължината на паралелно положените силови и управляващи кабели, разстоянието между тях и честотата на хармоничните съставящи.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Основни ефекти от хармониците в електрическите уредби

4.5 Икономически последици

Загуби на енергия

Хармоничните съставящи предизвикват допълнителни загуби на енергия в проводниците и обзавеждането (ефект на Джаул).

Увеличени разходи за електроенергия

Наличието на хармонични съставящи на токовете може да предизвика увеличена консумирана мощност и следователно по-високи разходи.

Освен това, електроразпределителните компании ще въвеждат увеличени тарифи за потребители, които са големи източници на хармонични съставящи.

Преоразмеряване на обзавеждането

- Намаляването на разполагаемата мощност на захранващите източници (генератори, трансформатори, UPS и др.), поради наличие на хармонични съставящи, изисква те да бъдат с по-високи номинални характеристики.
- Сечението на проводниците трябва да се избира с отчитане на протичащите хармонични съставящи на токовете. Освен това, поради скин-ефекта, съпротивлението на тези проводници нараства с увеличаване на честотата. За да се избегнат големите топлинни загуби е необходимо да се използват проводници с по-голямо сечение.
- Протичането на хармонични съставящи на тока в нулевия проводник изисква неговото сечение да бъде увеличено.

Намаляване срока на служба на обзавеждането

Когато нивото на изкривяване на захранващото напрежение (THDu) се доближи до 10 % срокът на служба на обзавеждането значително се съкращава. Установено е, че това намаляване е както следва:

- 32.5 % за еднофазни машини;
- 18 % за трифазни машини;
- 5 % за трансформатори.

За да се осигури срок на служба на обзавеждането, според товара, трябва да се използва обзавеждане с повишени параметри (номинална мощност, сечение на проводници и др.).

Смущения при изключване на автоматични прекъсвачи и уредби

Автоматичните прекъсвачи, използвани в електрическата уредба, са подложени на действието на пикове, създавани от хармонични съставящи на тока.

Тези пикове предизвикват тяхното заработване, което предизвиква производствени разходи и загуба на време за повторно включване на уредбите.

Примери

Отчитайки икономическите последици за изброените по-долу електрически уредби се оказва необходимо инсталиране на филтри за хармоници.

Изчислителен център на застрахователна компания

Изчислено е, че стойността за 1 час престой, предизвикан от неправилно заработване на автоматичния прекъсвач в този център е 100 000 €.

Фармацевтична лаборатория

Хармоничните съставящи са предизвикали извеждането от строя на генераторна уредба и прекъсване на продължителни изпитвания на ново лекарствено средство. Съответните загуби са били оценени на 17 000 000 €.

Металургичен завод

Комплексът от индукционни пещи е предизвиквал претоварване и разрушаване на три трансформатора с мощност от 1 500 до 2 500 kVA в продължение на 1 година. Стойността на прекъсванията в производствен процес е била оценена на 20 000 €/час.

Фабрика, произвеждаща градинска мебел

Аварирането на регулируеми задвижвания е довело до спирания на производството, като загубите са 10 000 €/час.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Основни показатели на хармониците и принципи за измерване

За количествено измерване и оценка на хармоничните изкривявания на формата на токовете и напреженията се използват няколко показатели, а именно:

- Коефициент на мощност;
- Пик-фактор;
- Мощност на нелинейни изкривявания;
- Хармоничен спектър;
- Стойности на хармонични изкривявания.

Тези показатели трябва да се използват при определяне на всяко необходимо коригиращо действие.

5.1 Коефициент на мощност

Определение

Коефициентът на мощност (PF) е отношението между активната мощност P и пълната мощност S.

$$PF = \frac{P}{S}.$$

Електроспециалистите често неправилно го заместват с cos φ :

$$\cos \varphi = \frac{P1}{S1},$$

където P1 е активната мощност на тока с основна честота;

S1 – пълната мощност на тока с основна честота.

Параметърът cos φ се отнася само за основната мрежова честота и по това се отличава от коефициента на мощност PF, който отчита наличието на хармонични съставящи в електрическата уредба.

Интерпретация на коефициента на мощност

Първи признак за наличие на значително количество на хармонични съставящи в електрическата уредба е, когато измереният коефициент на мощност PF е по-малък от измерения cos φ.

5.2 Пик-фактор

Определение

Пик-факторът е отношение между стойността на амплитудата на тока или напрежението (Im или Um) и неговата ефективна стойност:

- за синусоидален сигнал пик-фактора е равен съответно на $\sqrt{2}$;
- за несинусоидален сигнал пик-фактора може да бъде или по-голям или по-малък от $\sqrt{2}$.

В последния случай тези стойности на пик-фактора свидетелстват за отличие от синусоидалната форма на напрежение, т.е. за наличие на изкривявания.

Интерпретация на пик-фактора

За ток, потребяван от нелинейни товари, стойността на пик-фактора е значително по-голяма от $\sqrt{2}$. Обикновено тя е от 1.5 до 2, но в критични случаи може дори да достигне 5. Голямата стойност на пик-фактора свидетелства за наличие на големи свръхтокове, които могат да предизвикат неправилно заработване на защитни устройства.

5.3 Параметри на мощността и хармоници

Активна мощност

Активната мощност P на сигнала, съдържащ хармонични съставящи, е сума от активните мощности на отделните хармоници на тока и напрежението от един и същи ред.

Реактивна мощност

Реактивната мощност се определя изключително за основната честота, т.е.

$$Q = U1 \times I1 \times \sin\varphi 1$$

Мощност на изкривяване

При наличие на хармонични съставящи, мощността на изкривяване D се определя като

$D = (S^2 - P^2 - Q^2)^{1/2}$,

където S е пълната мощност.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Основни показатели на хармониците и принципи за измерване

5.4 Хармоничен спектър и хармонично изкривяване

Теоретични основи

Всеки тип устройство, предизвикващо хармонични съставящи, потребява хармонична съставяща на тока с определена форма (определена амплитуда и фазово изместване).

Тези параметри, особено амплитудата на всеки хармоник, имат съществено значение при анализа.

Изкривяване, внасяно от отделен хармоник (хармонично изкривяване от ред h)

Изкривяването, внасяно от отделния хармоник, се определя от процентното отношение между амплитудата на хармоника от ред h и сигнала с основна честота, т.е.

$$u_h(\%) = 100\frac{U_h}{U_1}$$

или

$$i_h(\%) = 100\frac{I_h}{I_1}$$

Хармоничен спектър

Изобразявайки амплитудата на всеки хармоник във функция от неговата честота може да се получи график, който се нарича хармоничен спектър.

На **Фиг. M12** е изобразен пример на хармоничен спектър за правоъгълен сигнал.

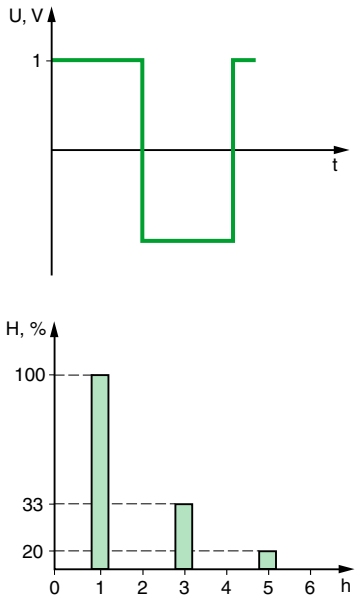
Ефективна стойност

Ефективната стойност на напрежението и тока може да бъде изчислена като функция от ефективната стойност на хармониците с различен ред.

$$Irms = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

и

$$Urms = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}$$



Фиг. M12: Хармоничен спектър на правоъгълен напреженов сигнал U (t)

5.5 Общ коефициент на хармонични изкривявания (THD)

Означението THD (1) означава общ коефициент на хармонични изкривявания и се използва широко при определяне нивото на съдържание на хармониците в знакопроменливи сигнали.

Определяне на THD

За сигнала у коефициентът THD се определя от израза:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}}{y_1}$$

Това се съгласува с термина, посочен в стандарт IEC 61000-2-2 „Електромагнитна съвместимост (EMC) Част 2-2:Околна среда. Нива на съвместимост за нискочестотни кондуктивни смущаващи въздействия и пренасяне на сигнали в обществени захранващи системи ниско напрежение" (БДС EN 61000-2-2:2004).

Необходимо е да се отбележи, че THD не може да има стойност по-голяма от 1.

Съгласно посоченият стандарт, параметърът h се ограничава до 50.

Коефициентът THD позволява с едно число да се изрази степента на изкривявания, влияещи върху тока и напрежението в произволно място на електрическата уредба. Обикновено THD се изразява в %.

Общ коефициент на хармонични изкривявания по ток THDi или напрежение THDu

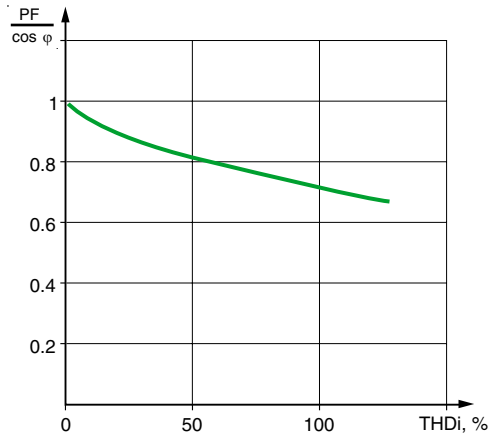
За хармоничните съставящи на тока THDi се определя по:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

(1) Терминът се образува от първите букви на Total Harmonic Distortion (THD).

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Основни показатели на хармониците и принципи за измерване



Фиг. M13: Зависимост на $\frac{PF}{\cos\varphi}$ *от THDi при THDu = 0*

По-долу е посочена еквивалентна формула, която е по-нагледна и удобна за използване при известна пълна ефективна стойност:

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{Irms}{I_1}\right)^2 - 1}$$

За хармоничните съставящи на напрежението формулата е:

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}$$

Връзка между коефициента на мощност и THD (виж **Фиг. M13**)

Когато напрежението е синусоидално или почти синусоидално може да се запише

$P \approx P_1 = U_1.I_1.\cos\varphi_1$

Следователно: $PF = \frac{P}{S} \approx \frac{U_1.I_1.\cos\varphi_1}{U_1.I_{rms}}$

Тъй като: $\frac{I_1}{I_{rms}} = \frac{1}{\sqrt{1+THDi^2}}$

следва: $PF \approx \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1+THDi^2}}$

На **Фиг. M13** е показана графика на отношението $\frac{PF}{\cos\varphi}$ в зависимост от THDi.

5.6 Използване на различни показатели

Коефициентът THDu характеризира изкривяването на формата на напрежението.

По-долу са посочени няколко стойности на THDu и съответното влияние върху процесите, наблюдавани в електрическата уредба:

- THDu < 5 % - нормална ситуация, няма риск от прекъсване в работата на електрообзавеждането;
- THDu = (5…8) % - значително замърсяване на мрежата с хармонични съставящи, възможни са прекъсвания в работата на електрообзавеждането;
- THDu > 8 % - висока степен на замърсяване на мрежата с хармонични съставящи, възможни са прекъсвания в работата на електрообзавеждането. Необходимо е извършването на задълбочен анализ и монтиране на компенсиращи устройства.

Коефициентът THDi характеризира изкривяването на формата на тока.

Устройството, внасящо хармонично смущение, се открива чрез измерване на THDi на входа и изхода на различни вериги и съответно проследяване пътищата на протичане на хармоничните съставящи.

По-долу са посочени няколко стойности на THDi и съответното влияние върху процесите, наблюдавани в електрическата уредба:

- THDi < 10 % - нормална ситуация, няма риск от прекъсване в работата на електрообзавеждането;
- THDi = (10…50) % - значително замърсяване на мрежата с хармонични съставящи с опасност от повишаване на температурата и предизвиканата от това необходимост от преминаване към кабели с по-голямо сечение и по-мощни захранващи източници;
- THDi > 50 % - висока степен на замърсяване на мрежата с хармонични съставящи, възможни са прекъсвания в работата на електрообзавеждането. Необходимо е извършването на задълбочен анализ и монтиране на компенсиращи устройства.

Коефициент на мощност

Използва се, за да се оцени доколко е необходимо да се повиши мощността на захранващия източник на разглежданата уредба.

Пик-фактор

Използва се за оценка способността на генератора (или източника на непрекъсваемо захранване) да осигури моментни токове с голяма стойност. Например, компютърното обзавеждане консумира ток със силно изкривена форма на вълната, за която пик-фактора може да достигне стойност от 3 до 5.

Спектър (разлагане на сигнала на отделни хармонични съставящи)

Спектърът дава друга представа за електрическите сигнали и може да се използва за оценка на степента на тяхното изкривяване.

© Schneider Electric - всички права запазени

6 Измерване на показатели

6.1 Устройства, използвани за измерване на показатели

Избор на устройства

Традиционните методи за контрол и измерване предвиждат използването на:

■ Осцилографи

Първите признаци за изкривяване на сигнала могат да се получат при разглеждане сигналите на тока и напрежението на осцилограф.

Отклоняването от синусоидална форма на вълната ясно показва наличието на хармонични съставящи. На осцилограмите на тока и напрежението се появяват пикове.

Необходимо е да се отбележи, че даденият метод не позволява да се измерят точно хармоничните съставящи.

■ Аналогови анализатори на спектър

Те са комбинация от филтри, пропускащи определена честота и волтметър за ефективни стойности. Анализаторите осигуряват средно качество на измерването и не могат да измерват фазова разлика.

Само последните модели цифрови анализатори позволяват достатъчно точно да се определят стойностите на всички посочени по-горе показатели.

Функции на цифрови анализатори

Микропроцесорите в цифрови анализатори:

■ изчисляват стойностите на показателите на хармонични съставящи (показател на мощност, пик-фактор, мощност на изкривяване, THD);

■ изпълняват различни допълнителни функции (корекция, статистическо откриване, управляване процеса на измерване, визуализиране, обмен на данни и др.);

■ осигуряват разлагане спектъра на токовете и напреженията в реално време (за многоканални анализатори).

Работа на анализатора и обработка на данни

Аналоговите сигнали се преобразуват в последователност от цифрови стойности.

На основата на тези данни алгоритъм за бързо преобразуване на Фурие FFT (1) изчислява амплитудите и фазите на хармоничните съставящи в голяма брой временни прозорци.

При изчисляване на THD повечето цифрови анализатори измерват хармоничните съставящи от ред 20 до 25.

Обработката на последователните стойности, изчислени с помощта на FFT (изглаждане, класификация и статистика), може да бъде извършена от самото измервателно устройство или външно програмно осигуряване.

6.2 Процедури за хармоничен анализ на разпределителни вериги

Процедурите се извършват на страна промишлено или търговско измерване:

■ в качеството на превантивна мярка, с цел на получаване на обща представа, за състоянието на разпределителната мрежа (съставяне на карта на мрежата);

■ във връзка с предприемане на коригиращи мерки:

□ за определяне произхода на смущението и избора на решения, необходими за елиминирането му;

□ за проверка валидността на решението (след въвеждане на изменения в разпределителната мрежа и проверка за намаляване обема на хармонични съставящи).

Режим на работа

Анализират се тока и напрежението на:

■ захранващия източник;

■ шини главно разпределително табло (или на шини CpH);

■ всяка изходяща верига от главно разпределително табло (или от шини CpH).

За провеждане на измерването е необходимо да се познават точно условията на работа на електрическата уредба и в частност състоянието на кондензаторните батерии (включени, изключени, брой на изключени степени).

(1) Съкращението FFT е от началните букви на Fast Fourier Transform.

© Schneider Electric - всички права запазени

Анализ на резултатите

■ Да определи необходимото коригиране на работните параметри на обзавеждането в електрическата уредба, или

■ Да определи количествено параметрите на необходимите системи за филтрация и защита от хармонични съставящи, които трябва да бъдат монтирани в изследваната разпределителна мрежа

■ Да осигури възможност за сравняване на измерените и номиналните стойности на разпределителната мрежа (максимални стойности на хармоничните изкривявания, допустими стойности, номинални стойности).

Използване на измервателни устройства

Измервателните устройства служат за индикация както на моментни, така и на продължителни ефекти от хармонични съставящи. За анализа са необходими стойностите на параметри с продължителност от няколко секунди до няколко минути в продължение на определен брой дни за наблюдение.

Необходимите стойности на параметрите включват:

■ амплитудите на хармоничните съставящи на токове и напрежения;

■ съдържанието на всяка хармонична съставяща в тока и напрежението;

■ общият коефициент на хармонични изкривявания THD на тока и напрежението;

■ фазовата разлика между хармоничните съставящи на тока и напрежението от един и същи ред и фазовата разлика на хармоничните съставящи по отношение на базовия сигнал (например, към напрежението с основна честота).

6.3 Контрол на хармонични съставящи

Показателите за хармонични съставящи могат да бъдат измерени:

■ или с помощта на устройства, постоянно включени в разпределителната мрежа;

■ или от експерт, в продължение на минимум половин ден, на площадка, на която се намира електрическата уредба (това дава ограничена представа за състоянието на електрическата уредба).

Стационарни устройства

Поради голям брой причини се предпочита монтирането на стационарни измервателни устройства в разпределителната мрежа:

■ Присъствието на експерт е ограничено по време. Само няколко измервания в различни точки на електрическата уредба, в продължение на достатъчно дълъг период (от 1 седмица до 1 месец), позволяват да се получи обща представа за работата на електрическата уредба и да се отчетат всички ситуация. Те могат да възникнат:

□ при колебание на напрежението в захранващия източник;

□ изменения в работата на електрическата уредба;

□ инсталиране на ново обзавеждане в електрическата уредба.

■ Измервателните устройства, монтирани в разпределителната мрежа осигуряват получаване на необходимите данни. Те облекчават провеждането на диагностика от експерти, съкращавайки по този начин броя и продължителността на техните посещения.

■ Стационарните измервателни устройства откриват всички нови смущения, възникващи след инсталиране на нова обзавеждане, внедряване на нови режими на работа или колебания в параметрите на захранващата мрежа.

Преимущества при използване на вградени устройства за измерване и откриване на хармонични съставящи

Устройствата за измерване и откриване, вградени в електрическо разпределително обзавеждане за обща оценка (превантивен анализ) на състоянието на мрежата:

■ Избягват необходимостта от:

□ наемане на измервателно обзавеждане;

□ търсене на експерти;

□ присъединяване и отделяне на измервателно обзавеждане.

За обща оценка състоянието на мрежата, анализът на главните разпределителни табла НН, често може да бъде изпълнен от входно устройство и/или измервателни устройства, монтирани на всяка изходяща верига.

■ Позволяват коригиращи мерки:

□ за определяне работните условия в момента на аварийна ситуация;

□ за съставяне карта на състоянието на разпределителната мрежа и оценка на внедреното техническо решение.

Използването на специално обзавеждане за решаване на изучавания проблем повишава качеството на диагностиката.

© Schneider Electric - всички права запазени

7 Устройства за откриване

Системата PowerLogic с устройствата Power Meter, Circuit Monitoring и Micrologic притежава всички необходими функции за откриване на хармонични изкривявания

Фиг. M14: Устройство Circuit Monitor (CM)

Фиг. M15: Устройство за контрол Micrologic H с функции за измерване на хармоници за автоматични прекъсвачи от серия Masterpact NT и NW

Измерванията са първа стъпка при установяване контрола върху замърсяване на захранващата мрежа с хармоници. Необходимото решение за всяка електрическа уредба се осигурява в зависимост от условията на експлоатация чрез различни типове измервателно обзавеждане.

Устройства за контрол на мощността

Система PowerLogic с апарати за измерване Power Meter (PM) и Circuit Monitor (CM)

Тези продукти осигуряват възможност за високоефективни измервания в разпределителни мрежи СрН и НН. Те са цифрови устройства, притежаващи функции за контрол върху качеството на електрическата енергия.

Power Logic е комплексна модулна система, състояща се от апарати Power Meter (PM) и Circuit Monitor (CM). Тя позволява да се удовлетвори широк диапазон от изисквания – от най-прости (PM) до много сложни (CM). Тези продукти могат да се изпробват в нови или съществуващи електрически уредби, в които трябва да се поддържа високо ниво на качеството на електрическата енергия. Режимът на тяхната работа може да бъде локален и/или дистанционен.

В зависимост от мястото на монтаж в разпределителната мрежа апаратът PM осигурява начална индикация на качеството на електрическа енергия. Основните параметри, измервани с PM са:

- Общ коефициент на хармонични изкривявания (THD) по ток и напрежение;
- Коефициент на мощност.

В зависимост от модела на апарата тези измервания могат да бъдат обединени с функции за маркиране на време и аварийна сигнализация.

Устройството CM (виж. **Фиг. M14**) изпълнява подробен анализ на качеството на електрическата енергия, а също анализира смущенията в качеството на захранващата мрежа. Основните функции на това устройства са:

- Измерване на повече от 100 електрически параметри;
- Запаметяване и отбелязване на времето с минимална и максимална стойност на всеки електрически параметър;
- Функции за сигнализации, инициирани от стойностите на електрическите параметри;
- Регистрация на данни за събития;
- Регистрация на отклонения на параметрите на тока и напрежение;
- Анализ на хармониците;
- Регистрация на формата на сигнала (контрол върху отклоненията).

Micrologic – устройство за контролиране качеството на електрическа енергия, вградено в автоматичен прекъсвач

В новите електрически уредби устройството за контрол Micrologic H (виж **Фиг. M15**) е съставна част на силовите автоматични прекъсвачи от серията Masterpact, и е особено полезно при измервания на входовете на електрическа уредба или на голям брой изходящи линии.

Устройството за контрол Micrologic H осигурява точен анализ на качеството на електрическата енергия и прецизна диагностика на събития в мрежата. То е предназначено за съвместна работа с монитор на разпределителното табло или контролер. То може:

- да измерва ток, напрежение, активна и реактивна мощност;
- да измерва THD;
- да показва амплитудата и фазата на хармоничните съставящи на тока и напрежението до ред 51 включително;
- да регистрира формата на вълната на сигнала (контрол върху отклонения).

Функциите, изпълнявани от устройството за контрол Micrologic H, са еквивалентни на тези, които се изпълняват от устройството CM.

Работа на устройствата за контрол на качеството на електрическа енергия

Програмно осигуряване за дистанционна работа и анализ

В разпределителната мрежа, която се контролира, се създава възможност за обединяване на различни контролно-измервателни устройства с помощта на мрежа за предаване на данни. Това позволява да се централизира събирането на данни и да се получи обща представа за смущенията в цялата разпределителна електрическа мрежа.

След това, в зависимост от приложението, операторът може да проведе измервания в реално време, да изчисли необходимите стойности, да извърши регистрация на формата на сигналите, да предвиди подаване на предупредителни сигнали и др.

Устройствата за контрол на качеството на електрическа енергия предават наличните данни по мрежи Modbus, Digipact или Ethernet.

Съществената цел на тази система е да помогне при откриване и планиране на дейности по техническо обслужване и ремонт. Тя е ефективно средство за намаляване продължителността на обслужване и стойността на временно монтираните устройства в уредбата или избор на параметри на електрообзавеждането (филтри).

Програмно осигуряване на контрол SMS

Програмният пакет SMS ,предлаган от Schneider Electric е програмно осигуряване, използвано за анализ на разпределителни мрежи, заедно с измервателните устройства към системата PowerLogic. Той се инсталира на персонален компютър и позволява:

- да се покажат резултатите от измерванията в реално време;
- да се покаже „историята" на събитията за определен период;
- да се избере начин за представяне на данни (таблици, различни графики);
- да се извъши статистическа обработка на данни (да се покажат хистограми).

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Решения за намаляване на хармоници

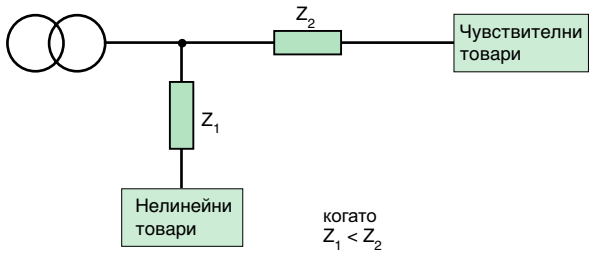
Съществуват три различни начини за намаляване на хармоничните съставящи:
- модификация на електрическата уредба;
- използване на специални устройства в системата за електроснабдяване;
- филтриране.

8.1 Основни решения

За да се ограничи разпространяване на хармоници в разпределителната мрежа, съществуват различни решения, които трябва да бъдат взети под внимание при проектиране на нова уредба.

Разполагане на нелинейните товари близо до захранващия източник

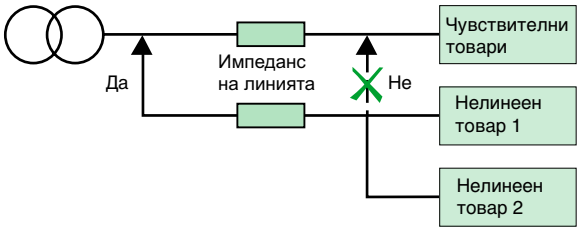
Общите хармонични смущения се увеличават с намаляване на мощността на късо съединение. Без да се отчитат всички икономически съображения се предпочита нелинейните товари да се свързват възможно по-близо до захранващия източник (виж **Фиг. M16**).



Фиг. M16: Нелинейни товари, разположени възможно най-близо до захранващия източник (препоръчвана схема)

Групиране на нелинейни товари

При разработване на еднолинейна схема, нелинейните устройства трябва да бъдат отделени от другите (виж **Фиг. M17**). Тези две групи устройства трябва да се захранват от отделни шинни системи.



Фиг. M17: Групиране на нелинейни товари и тяхното свързване възможно най-близо до захранващия източник (препоръчвана схема)

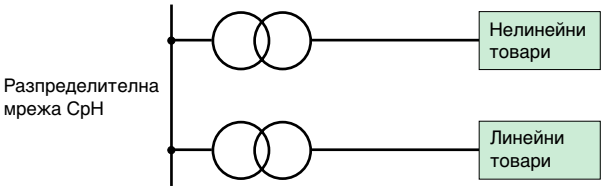
Използване на отделни захранващи източници

За ограничаване съдържанието на хармониците в мрежата може да се използва отделен захранващ трансформатор, както е показано на **Фиг. M18** на следващата страница.

Недостатъкът на този метод е увеличената цена на електрическата уредба.

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Решения за намаляване на хармоници

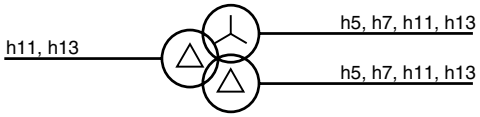


Фиг. M18: Захранване на нелинейни товари от отделен трансформатор

Трансформатори със специални съединения на намотките

Различните съединения на намотките на трансформатора позволяват да се отстранят определени хармоници, както е показано на примерите по-долу:

- съединение Dyd подтиска хармоници от 5-ти и 7-ми ред (виж **Фиг. M19**);
- съединение Dy подтиска хармоника от 3-ти ред;
- съединениеDZ 5 подтиска хармоника от 5-ти ред.



Фиг. M19: Трансформатор със съединение на намотките Dyd подтиска разпространението на хармоник от 5-ти и 7-ми ред нагоре по мрежата

Монтиране на реактори

Монтирането на реактори, при захранване на регулируеми задвижвания, позволява да се изглади формата на тока. Увеличаването на пълното съпротивление на захранващата мрежа ограничава съдържанието на хармоничните съставящи на тока.

Монтирането на реактори за подтискане на хармонични съставящи на кондензаторни батерии увеличава пълното съпротивление на комбинацията реактор-кондензатор за висши хармонични.

Така се избягва настъпването на резонанс и се защитават кондензаторите.

Избор на подходяща схема за заземяване на електрическа уредба

Схема TN-C

При схема TN-C отделният PEN-проводник осигурява защита в случай на късо съединение към земя и протичане на небалансирани токове.

Хармоничните съставящи на тока протичат в PEN-проводника в установен режим. Тъй като той има определено съпротивление, минимални изменения на потенциала (няколко волта) между устройствата могат да предизвикат прекъсване в работата на електронното обзавеждане.

Затова схемата TN-C трябва да се използва само за захранване на силови вериги в началото на уредбата и не трябва да се прилага за захранване на чувствителни товари.

Схема TN-S

Дадената схема се препоръчва при наличие на хармонично съставящи в захранващата мрежа.

Неутралният проводник N и защитният проводник PE са напълно отделени един от друг и затова разпределението на потенциала в разпределителната мрежа е по-равномерено.

8.2 Филтриране на хармоници

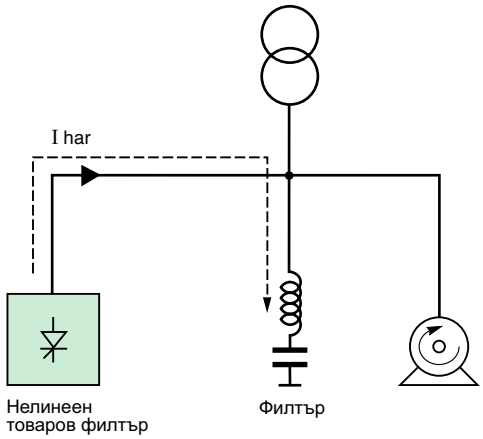
В случаите, когато описаните по-горе мерки са недостатъчни, електрическата уредба трябва да се оборудва със системи за филтриране.

Има три типа филтри:

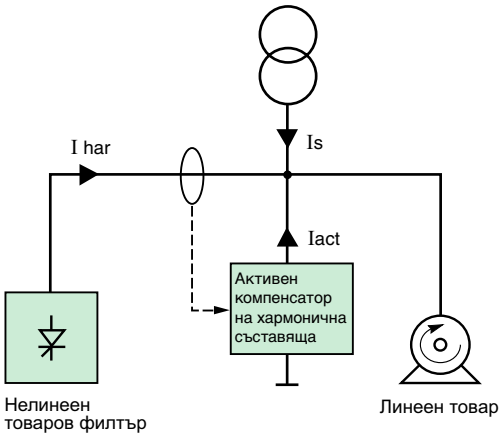
- пасивни;
- активни;
- хибридни.

© Schneider Electric - всички права запазени

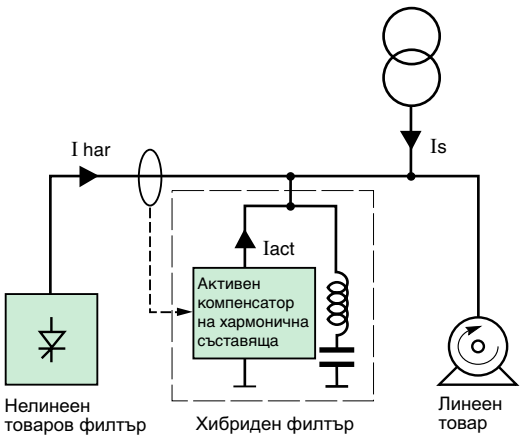
8 Решения за намаляване на хармоници



Фиг. M20: Принцип на действие на пасивен филтър



Фиг. M21: Принцип на действие на активен филтър



Фиг. M22: Принцип на действие на хибриден филтър

Пасивни филтри

Типични приложения

- Индустриалните електрически уредби с няколко нелинейни товари с мощност над 200 kVA (регулируеми задвижвания, източници на непрекъсваеми захранвания, изправители и др.).
- Електрически уредби, в които е необходима компенсация на фактора на мощността.
- Електрически уредби, в които трябва да се намали изкривяването на напрежението, за да се избегне създаването на смущения за чувствителни товари.
- Електрически уредби, в които трябва да се намали изкривяването на тока, за да се избегнат претоварванията.

Принцип на действие

Паралелно с нелинейния товар се включва LC-контур, настроен на честотата на хармоничната съставяща, която трябва да се филтрира (виж **Фиг. M20**). Този паралелен контур поглъща хармониците, предотвратявайки попадането им в разпределителната мрежа.
Обикновено пасивният филтър се настройва на честота, близка до честотата на хармоника, която трябва да се подтиска. Ако се изисква значително намаляване на изкривяванията на няколко хармоника, могат да се използват няколко паралелно свързани филтри.

Активни филтри (активни компенсатори на хармонични съставящи)

Типични приложения

- Електрически уредби в търговски и офис сгради с няколко нелинейни товари с мощност до 200 kVA (регулируеми задвижвания, източници на непрекъсваеми захранвания, офис обзавеждане и др.).
- Електрически уредби, в които трябва да се намали изкривяването на тока, за да се избегнат претоварванията.

Принцип на действие

Тези системи, изградени от силова електроника, се монтират последователно и паралелно на нелинейния товар и компенсират хармоничната съставяща на тока и напрежението, потребявани от този товар.
Фигура M21 показва паралелно свързан активен филтър, компенсиращ хармонична съставяща на тока (Ihar = -Iact).
Активният компенсатор на хармоничната съставяща генерира в разпределителната мрежа хармоници, потребявани от съответния нелинеен товар, но с противоположна фаза. В резултат токът в мрежата Is остава синусоидален.

Хибридни филтри

Типични приложения

- Индустриалните електрически уредби с комплект от нелинейни товари с мощност над 200 kVA (регулируеми задвижвания, източници на непрекъсваеми захранвания, офис обзавеждане и др.).
- Електрически уредби, в които е необходима компенсация на коефициента на мощност.
- Електрически уредби, в които трябва да се намали изкривяването на напрежението, за да се избегне създаването на смущения за чувствителни товари.
- Електрически уредби, в които трябва да се намали изкривяването на тока, за да се избегнат претоварванията.
- Електрически уредби, в които трябва да се спазва много строго ограничаването на хармонични емисии в мрежата.

Принцип на действие

Хибридният филтър се състои от комбинация на активни и пасивни филтри (виж **Фиг. M22**). Той притежава предимствата на двата типа филтри и е приложим в широк диапазон от стойности на мощности и характеристика на уредбите.

Критерии за избор

Пасивен филтър

Той осигурява едновременно компенсация на фактора на мощност и филтриране на хармоничните съставящи на тока. Пасивните филтри също така намаляват нивото на хармонични съставящи на напрежението в уредбите, в които формата на захранващото напрежение е различна от синусоидалната. Ако генерираната от филтъра реактивна мощност е голяма се препоръчва да се изключи монтирания пасивен филтър във времето, когато коефициентът на натоварване на уредбата е малък.
Предварителните изследвания за възможността за приложение на филтъра трябва да отчитат наличието на кондензаторни батерии за компенсация на фактора на мощност, която може да се наложи да бъде отстранена.

Активни компенсатори на хармонични съставящи

Те осигуряват подтискане на хармониците в широк честотен диапазон и могат да работят с произволен тип товар.
От друга страна, номиналните им мощности са ниски.

© Schneider Electric - всички права запазени

8 Решения за намаляване на хармоници

За отстраняване на хармонични съставящи може да бъде предложен пълен комплект от услуги:
- *Анализ на електрическата уредба;*
- *Системи за измерване и контрол;*
- *Устройства за филтриране.*

Хибридни филтри
Те обединяват предимствата на пасивните и активните филтри.

8.3 Метод

Най-доброто решение, с отчитане на техническите и икономическите фактори, се основава на резултати от задълбочен анализ.

Одит за откриване на хармонични съставящи в мрежи CpH и HH

Ако се ползва услуга на експерт се гарантира, че предложеното решение ще даде ефективни резултати (т.е. гарантира общ коефициент на хармонични изкривявания THDu).

Одитът за наличие на хармонични съставящи се извършва от инженер-специалист по смущения в разпределителните електрически мрежи. Той ползва мощна апаратура и програмно осигуряване за анализ и моделиране.

Одитът включва следните етапи:

- измерване на смущения, влияещи на тока, междуфазното напрежение и напрежението между фаза и нула на източника на захранване, смущения от изходящи вериги и нелинейни товари;
- компютърно моделиране на явления в мрежата за изясняване на причините и избор на най-добро решение;
- пълен отчет за резултата от одита включващ:
  - текущите нива на смущения;
  - максимално допустимите нива на смущения (IEC 61000, IEC 34 и др.);
- предложение, съдържащо решения с гарантирани нива на функциониране на електрическите уредби;
- реализация на избраното решение с използване на необходимите средства и ресурси.

Целият процес на одита е описан в стандарт ISO 9002.

8.4 Конкретни модели на филтри

Пасивни филтри

Пасивните филтри са направени от комплект бобини и кондензатори, настроени на конкретната честота на хармоника, която трябва да се подтиска.
За отстраняване на няколко хармонични съставящи системата може да съдържа няколко филтъра. За трифазни напрежения 400 V максимално допустимите мощности са:

- 265 kVAr / 470 A за хармоник от 5-ти ред;
- 145 kVAr / 225 A за хармоник от 7-ми ред;
- 105 kVAr / 145 A за хармоник от 11-ти ред.

Пасивните филтри могат да се създават за всички нива на тока и напрежението.

Активни филтри

- Активни компенсатори на хармонични съставящи SineWave:
  - Подходящи са за трифазни напрежения 400 V. Те могат да осигурят токове от 20 до 120 A.
  - Компенсират всички хармонични съставящи от 2-ри до 25-ти ред.

Компенсирането може да бъде пълно или да се отнася за хармоници с определен ред.
- Намаляване нивото на изкривяване: при номинална мощност отношението THDi на товара към THDi на разположения по-горе участък е по-голямо от 10.
- Изпълнявани функции: корекция на фактора на мощност, компенсация на хармоничните съставящи с нулева последователност, система за диагностика и техническо обслужване, паралелно включване, дистанционно управление, интерфейс за връзка Modbus/RS485.

- Активни филтри AccuSine:
  - Подходящи са за трифазни напрежения 400 и 480 V. Те могат да филтрират токове от 30 до 50 A;
  - Филтрират всички хармонични съставящи до 50-ти ред.
  - Изпълнявани функции: корекция на фактора на мощност, паралелно включване, мигновена реакция при изменение на товара.

Хибридни филтри

Тези филтри обединяват в себе си предимствата на пасивния филтър и активния компенсатор на хармонични съставящи SineWave.

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава N
Характеристики на специфични захранващи източници и товари

Съдържание

1 Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги N2

1.1 Защита на генератора N2
1.2 Защита на мрежи НН N5
1.3 Контролни функции N5
1.4 Паралелно свързване на генераторна уредба N10

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS) N11

2.1 Осигуреност на електроснабдяването и качество на електрическата енергия N11
2.2 Видове статични източници на непрекъсваемо захранване N12
2.3 Акумулаторни батерии N15
2.4 Схема за заземяване на уредби с източници на непрекъсваемо захранване N16
2.5 Избор на защитни схеми N18
2.6 Монтаж, свързване и оразмеряване на кабели N20
2.7 Източници на непрекъсваемо захранване и съпътстваща апаратура N22
2.8 Допълнително обзавеждане N22

3 Защита на трансформатори НН/НН N24

3.1 Намагнитващ ток на трансформатора при включване N24
3.2 Защита на захранващата верига на трансформатор НН/НН N24
3.3 Типови електротехнически характеристики на трансформатори НН/НН, за честота 50 Hz N25
3.4 Защита на трансформатори НН/НН, използващи автоматични прекъсвачи на Schneider Electric N25

4 Осветителни вериги N27

4.1 Технологии за изработване на лампи N27
4.2 Електротехнически характеристики на лампи N29
4.3 Ограничения, свързани с осветителни устройства и препоръки N34
4.4 Осветление на обществени места N40

5 Асинхронни двигатели N42

5.1 Функции на веригите на двигателя N42
5.2 Стандарти N44
5.3 Области на приложение N45
5.4 Максимални параметри на двигатели, захранвани от мрежа НН N49
5.5 Компенсация на реактивна мощност (компенсация на фактора на мощността) N49

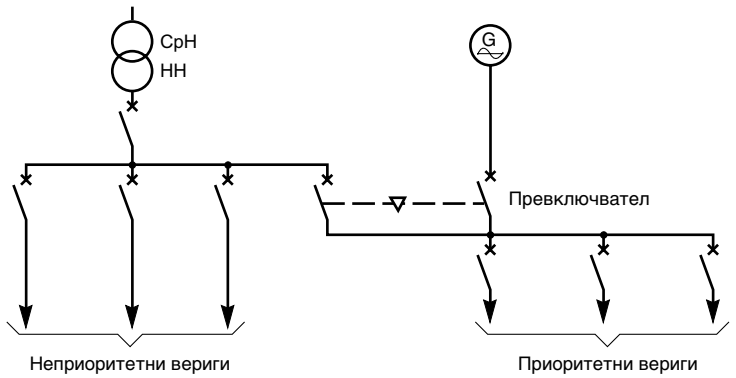
© Schneider Electric - всички права запазени

1 Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги

Повечето електрически уредби в индустриални и големи търговски и административни сгради са изградени от много на брой важни потребители. Тяхното снабдяване с електрическа енергия трябва да се осигурява дори и в случай на прекъсване на захранването от електрическата мрежа:

- тъй като те са свързани със системи за безопасност (аварийно осветление, автоматична система за противопожарна защита, димни вентилатори, устройства за сигнализация и др.), или
- защото имат отношение към приоритетни вериги. Например, определено обзавеждане, спирането на което предизвиква производствени загуби или разрушаване на машини и т.н.

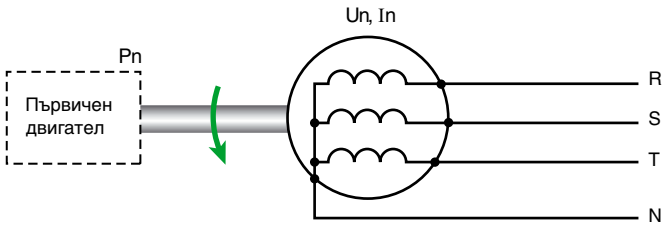
Един от начините за осигуряване захранването на така наречените „приоритетни" потребители [1] в случай на отказ на други захранващи източници е използването на дизел-генераторна уредба. Тя се присъединява чрез превключвател към разпределително табло за аварийно захранване, от което получават електроенергия приоритетните електрически потребители (виж **Фиг. N1**).



Фиг. N1: Пример на вериги, захранвани от трансформатор или генератор

1.1 Защита на генератора

Фигура N2 по-долу показва електротехническите параметри на една генераторна уредба. Pn, Un и In са съответно мощността на първичния двигател, номиналното напрежение и номиналният тон на генератора.



Фиг. N2: Блоксхема на генераторна уредба

Защита от претоварване

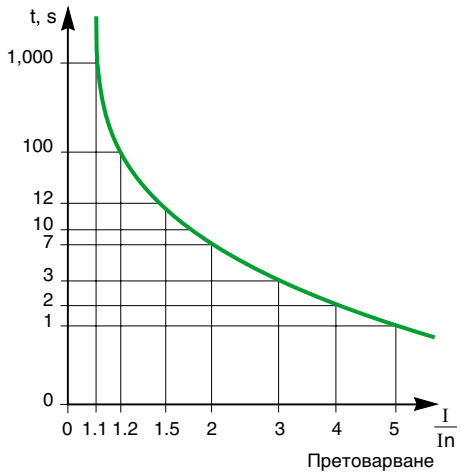
Защитата на генератора може да бъде анализизирана съгласно **Фиг. N3**. Стандартите и изискванията за областта на приложение могат също така да определят конкретния режим на претоварване. Например:

I/In	t
1.1	> 1 h
1.5	30 s

Настройките на защитните устройства срещу претоварване (или времезакъснението) трябва да отговарят на тези изисквания.

Забележки относно претоварванията

- Поради икономически съображения първичният двигател на резервната уредба трябва да бъде точно оразмерен по отношение на неговата номинална мощност. При претоварване по активна мощност дизеловият двигател ще намали честотата на въртене. Необходимо е да се отчита баланса по активна мощност на приоритетните товари.
- Уредбата трябва да бъде оразмерена за следните режими на претоварване:
  - □ Едночасово претоварване;
  - □ Едночасово 10 % претоварване на всеки 12 часа (работен режим).



Фиг. N3: Пример на крива на претоварване t = f(I/In)

(1) Категориите на потребителите на електрическа енергия по осигуреност на електроснабдяването са категоризирани в България, съгласно Наредба № 3 от 09 юни 2004г.

© Schneider Electric - всички права запазени

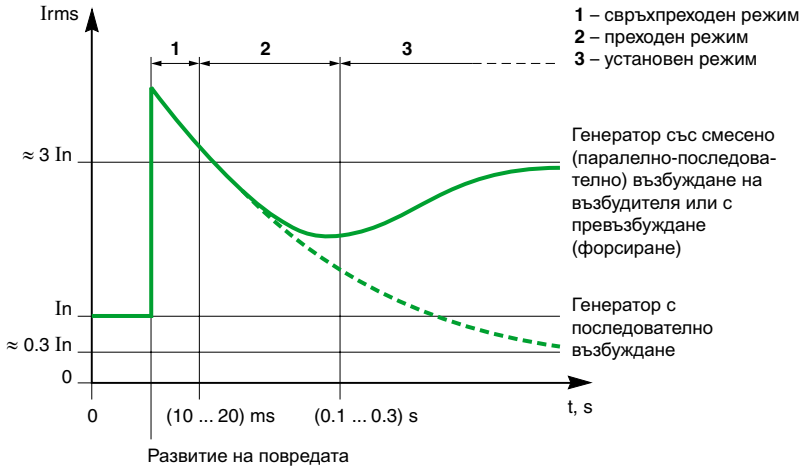
1 Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги

Защита от ток на късо съединение

Изчисляване тока на късо съединение

Токът на късо съединение е сума от:
- апериодичната съставяща на тока;
- затихващия синусоидален ток.

Уравнението на тока на късо съединение показва, че той се изчислява на три етапа (виж **Фиг. N4**).



Фиг. N4: Стойност на тока на късо съединение в продължение на трите етапа

■ Свръхпреходен етап

При възникване на късо съединение на клемите на генератора първоначалният ток има относително висока стойност (6…12) In в продължение на първия цикъл (10…20) ms.

Амплитудата на изходния ток на късо съединение се определя от три параметъра:
- □ свръхпреходното реактивно съпротивление на генератора;
- □ нивото на възбуждане преди възникване на повредата;
- □ пълното съпротивление на повредената верига.

Пълното съпротивление на късо съединение на генератора е свръхпреходното реактивно съпротивление x”d, изразявано в проценти от Uo (напрежение между фаза и нула), задавано от производителя. Типичната стойност е (10…15) %.

Свръхпреходното пълно съпротивление на късо съединение на генератора X″d, в Ω, се определя по формулата

$$X''d = \frac{U_n^2 x''d}{100\ S},$$

където $S = \sqrt{3}\ Un\ In$

■ Преходен етап

Преходният етап е с продължителност от 100 до 500 ms след момента на възникване на късо съединение. Стойността на тока се намалява от тази в свръхпреходния период до стойност (1,5 … 2) In.

Пълното съпротивление на късо съединение за този период е преходното реактивно съпротивление x’d, изразено в % от Uo, задавано от производителя. Типичната стойност е (20 … 30) %.

■ Установен етап

Установеното състояние възниква след 500 ms.

При трайно късо съединение изходното напрежение на уредбата се намалява. Системата за регулиране на възбуждане се опитва да повиши изходното напрежение. В резултат се появява стабилизиран установен траен ток на късо съединение:
- □ ако възбуждането на генератора не се повишава в продължение на късото съединение (няма превъзбуждане), но се поддържа на нивото преди късото съединение, токът се стабилизира до стойност, определяна от синхронното реактивно съпротивление xd на генератора. Типична стойност е xd е над 200 %. Като следствие крайният ток ще бъде по-малък от номиналния ток на генератора (нормално около 0.5 In);
- □ ако в системата за регулиране на възбуждане е предвидено форсиране на възбудителното поле, или ако системата е изпълнена по така наречената паралелно-последователна схема, увеличаването на напрежението на възбуждане предизвиква нарастване на тока на късо съединение за около 10 s. Той, като правило, достига стойност два-три пъти по-голяма от номиналния ток на генератора.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги

Изчисляване тока на късо съединение

Обикновено производителите посочват стойността на пълното съпротивление и времеконстантите, необходими за анализ на работата в преходен или установен режим (виж **Табл. N5**).

Таблица N5: Стойности на пълното съпротивление на генератор в %

S, kVA	75	200	400	800	1600	2500
x"d	10.5	10.4	12.9	10.5	18.8	19.1
x'd	21	15.6	19.4	18	33.8	30.2
xd	280	291	358	280	404	292

Активните съпротивления са винаги пренебрежимо малки в сравнение с реактивните съпротивления. Параметрите при изследване на тока на късо съединение са:

- Стойност на тока на късо съединение на клемите на генератора.

Амплитудната стойност на тока на късо съединение в преходен режим е:

$$I_{sc3} = \frac{Un}{X'd} 100 \quad (X'd, \Omega)$$

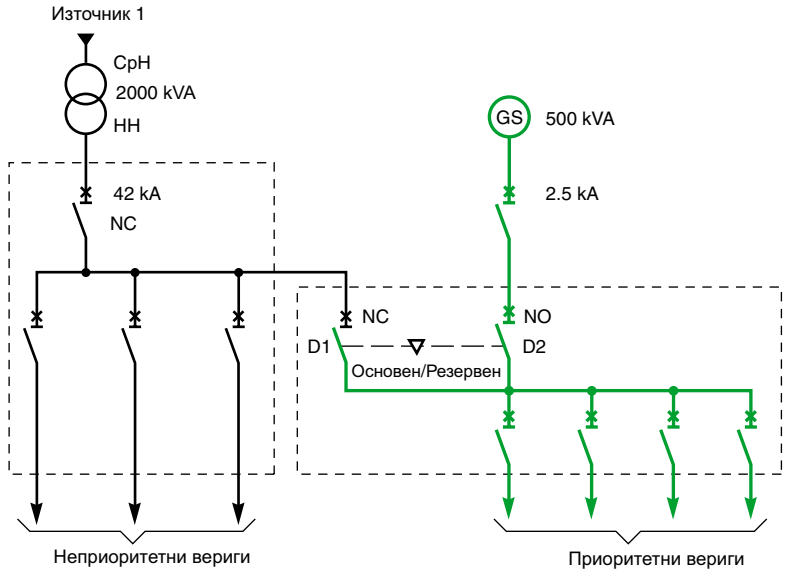
или

$$I_{sc3} = \frac{Un}{x'd} 100 \quad (x'd, \%)$$

където Un е линейното напрежение на генератора.

Забележка: Тази стойност може да бъде сравнена с тока на късо съединение на клемите на трансформатор. При една и съща мощност, токовете на късо съединение близо до генератора ще бъдат (5 ... 6) пъти по-малки от токовете, които могат да възникнат при захранване от трансформатор.

Стойността на тази разлика се увеличава при отчитане на факта, че мощността на генераторната уредба като правило е по-малка от мощността на трансформатора (виж **Фиг. N6**).



NC: Нормално затворен
NO: Нормално отворен

Фиг. N6: Пример за разпределително табло за приоритетни товари със захранване (в авариен режим) от резервна генераторна уредба

При захранване на мрежата НН от основния източник 1 (2000 kVA) токът на късо съединение е 42 kA на главните шини на разпределителното табло НН. При захранване на мрежата НН от резервния източник GS (500 kVA) с преходно реактивно съпротивление 30 %, токът на късо съединение е приблизително 2.5 kA (т.е. 16 пъти по-малък, отколкото при захранване от основния източник).

© Schneider Electric - всички права запазени

1.2 Защита на мрежи НН

Защита на приоритетни вериги

Избор на апарати

Изключвателната възможност на автоматичните прекъсвачи трябва да бъде съобразена с тока на късо съединение на основния източник (трансформатора СрН/НН).

Настройка на бързодействащата защита (STD)

■ Междинни разпределителни табла

Номиналните стойности на защитните устройства за междинни и крайни разпределителни вериги са винаги по-ниски от номиналния ток на генераторната уредба. Следователно, с изключение на специални случаи, режимите са аналогични както при захранване от трансформатор.

■ Главно разпределително табло НН

□ Обикновено параметрите на защитните устройства на главната захранваща линия са аналогични на тези на генераторната уредба. Настройката на STD трябва да бъде съобразена с характеристиката на късо съединение на генераторната уредба (виж „Защита от ток на късо съединение" на стр. N3).

□ Селективността на защитните устройства на приоритетните захранващи линии трябва да бъде осигурена при работа на генераторната уредба (тя може да бъде задължителна за линиите, захранващи системите за електробезопасност). Необходимо е да се сравни настройката STD на защитните устройства към основните захранващи линии с аналогичните устройства на междинните разпределителни вериги (нормалната настройка за разпределителните вериги е 10 x In).

Забележка: При работа на генераторната уредба използването на нискочувствителна дефектнотокова защита позволява да се изключи повреда в изолацията и осигурява лесно постигане на необходимата селективност.

Безопасност на хора

В схемите на заземяване IT (втора повреда) и TN защитата на хора срещу индиректен допир се осигурява от бързодействащата защита на автоматичните прекъсвачи (STD). Тяхната работа при повреда трябва да се гарантира при захранване от основния източник (трансформатор) или резервния източник (генераторна уредба).

Изчисляване на тока при повреда в изолацията

Токът на късо съединение по веригата фаза-нула се дава с израза:

$$If = \frac{Un\sqrt{3}}{2\,X'd + X'o}$$

където x'd е реактивното съпротивление с нулева последователност, изразено в % от Uo (по x'o, зададено от производителя). Типична стойност – 8 %.

Токът при повреда на изолацията за схема на заземяване TN е малко по-голям от тока на трифазно късо съединение. Например, токът при повреда в изолацията за системата, разгледана на стр. N4, е 3 kA.

1.3 Контролни функции

Работните параметри на генераторната уредба трябва да се контролират при свързване на специални товари.

Работните характеристики на генератора се различават от работните характеристики на трансформатора:

■ Активната мощност, осигурявана от генератора се оптимизира при фактор на мощността 0.8.

■ При по-малък фактор на мощността от 0.8 генераторът може да осигури, за сметка на повишеното възбуждане, част от реактивната мощност.

Кондензаторна батерия

Включването на кондензаторна батерия към ненатоварен генератор може да предизвика неговото самовъзбуждане и следователно да увеличи пренапрежението.

Следователно, кондензаторните батерии, използвани за регулиране фактора на мощността трябва да се изключат.

Тази операция може да бъде изпълнена чрез подаване на команда за спиране на регулатора (ако той е свързан към системата за управление на превключванията на източника) или чрез изключване на прекъсвача за захранване на кондензаторите.

Ако кондензаторите са необходими не се използва реле за фактор на мощността, т.к. в този случай се извършва неправилно или „свръхбавно" заработване.

Повторно включване и самопускане на двигател

Генераторът може да осигури, в края на преходния период, ток от (3 … 5) In. При включване двигателят потрябва ток около 6 In в продължение (2 … 20) s.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги

Ако общата мощност на двигателите, захранвани от генератора е голяма, при тяхното едновременно пускане може да се получи повреда поради големите пускови токове. Големият пад на напрежение, предизвикан от големите стойности на преходното и свръхпреходното съпротивление на генераторната уредба (20 … 30) %, ще породи риск от:

- Невъзможност за развъртане на двигателите;
- Повишаване на температурата им поради увеличената продължителност на пусковия режим, предизвикана от пада на напрежение;
- Изключване на устройствата за топлинна защита.

Освен това се нарушава работата на мрежата и задвижванията, поради пада на напрежение.

Пример (виж **Фиг. N7**)

Генератор захранва определен брой двигатели.
Характеристиките на генератора са Pn = 130 kVA при cos φ = 0.8, In = 150 A, x'd = 20% (за примера). Следователно Isc = 750 A.

- Общата мощност на двигателите е

Σ Pд = 45 kW (45 % от мощността на генератора).
Изчисляване пада на напрежение при пускане:
Σ Pд = 45 kW, Im = 81 A.
Следователно, пусковият ток Id = 480 A в продължение на (2 ... 20) s.
Падът на напрежение на сборни шини при едновременно пускане на двигателите е:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{Id - In}{Isc - In}\right), \%$$

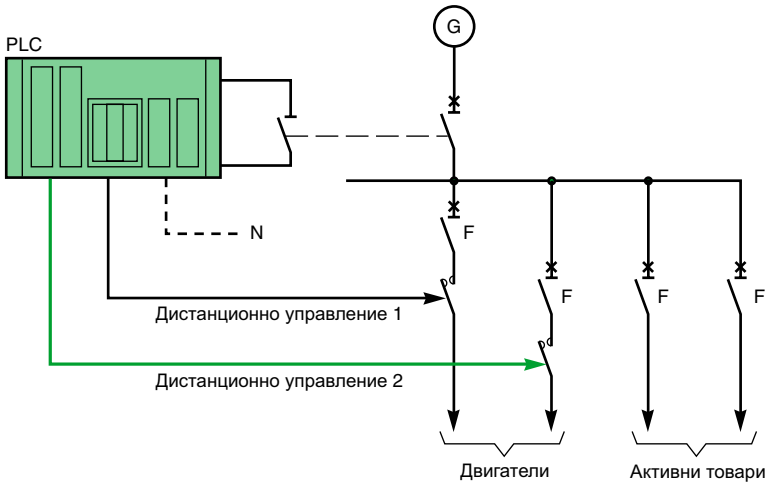
ΔU = 55 %,
което е неприемливо за двигателите (невъзможност за пускане).

- Общата мощност на двигателите е Σ Pд = 20 kW (20 % от мощността на генератора)

Изчисляване пада на напрежение при пускане:
Σ Pд = 20 kW, Im = 35 A. Следователно, пусковият ток Id = 210 A в продължение на (2...20)s.
Падът на напрежение на сборни шини при едновременно пускане на двигателите е:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{Id - In}{Isc - In}\right), \%$$

ΔU = 10 %,
което е приемливо (в зависимост от типа на товара).



Фиг. N7: Повторно включване на приоритетни двигатели (P > 1/3 Pn)

Препоръки за повторно включване

- Ако за най-големия двигател Pmax > $\frac{1}{3}$Pn, на двигателят трябва да се монтира устройство за плавно пускане.
- Ако Σ Pдвигатели > $\frac{1}{3}$Pn, груповото повторно включване на двигателите трябва да се управлява с PLC.
- Ако Σ Pдвигатели < $\frac{1}{3}$Pn, няма проблеми при повторно включване.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги

Нелинейни товари – пример за източник на непрекъсваемо захранване (UPS)

Нелинейни товари

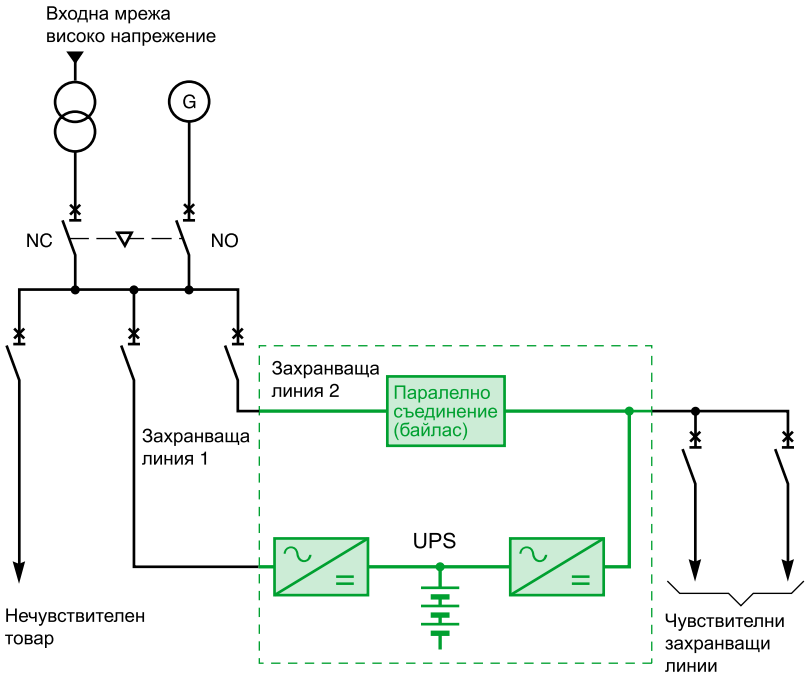
Основно това са:

- Наситени магнитни вериги;
- Разрядни лампи; луминесцентни лампи;
- Електронни преобразуватели;
- Информационни технологични системи: PC, компютри и др.

Тези товари генерират хармонични съставящи на тока. При захранване от генераторна уредба това може да предизвика изкривяване на формата на напрежението, поради малката мощност на късо съединение на генератора.

Източник на непрекъсваемо захранване (виж **Фиг. N8**)

Комбинацията от UPS и генераторна уредба е оптимално решение за осигуряване качествено електроснабдяване при продължително автономно захранване на чувствителни товари.
UPS е също нелинеен товар поради вградения си входен изправител.



Фиг. N8: Комбинация от генераторна уредба и UPS за осигуряване на качество на електрическата енергия

Мощност на UPS

Максималната мощност на UPS трябва да е съобразена със следното:

- Номинална мощност на захранваните потребители. Това е сумата от пълните мощности Sn, потребявани от всеки консуматор. Освен това, за да не се преоразмерят параметрите на системата е необходимо да се отчита претоварващата способност на ниво UPS (например, 1.5 In в продължение на 1 min и 1.25 In в продължение на 10 min);
- Мощността Sr, необходима за зареждане на акумулаторната батерия. Токът на зареждане е пропорционален на времето за автономна работа при зададена мощност. Параметърът Sr на UPS се определя по формулата:

Sr = 1.17 x Sn

В **Табл. N9** на следващата страница са дадени пусковите токове и токовете на защитни устройства за захранване на изправителя (захранваща линия 1) и резервните мрежи (захранваща линия 2).

© Schneider Electric - всички права запазени

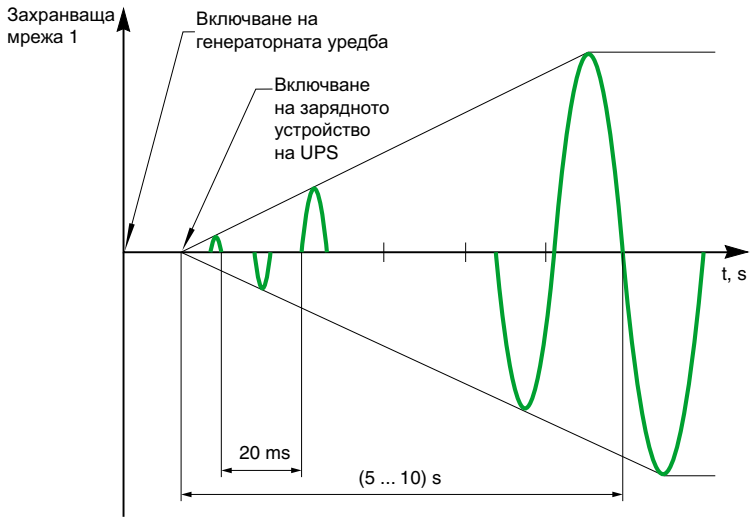
Таблица N9: Пусков ток и ток на защитно устройство при захранване на изправителя и резервните мрежи

Номинална мощност Sn, kVA	Стойност на тока, A	
	Захранваща линия 1 с трифазна акумулаторна батерия 400 V - I1	Захранваща линия 2 или трифазно захранване 400 V - Iu
40	86	60.5
60	123	91
80	158	121
100	198	151
120	240	182
160	317	243
200	395	304
250	493	360
300	590	456
400	793	608
500	990	760
600	1180	912
800	1648	1215

Комбинация от генераторна уредба и UPS

■ Превключване на изправителя на UPS за захранване от генераторна уредба.

Изправителят на UPS може да има система за плавно пускане на зарядното устройство за предотвратяване на нежелани последици от пускови токове, когато уредбата се превключва за захранване от генератора (виж **Фиг. N10**).



Фиг. N10: Плавно включване на изправителя на UPS, тип 2

■ Хармонични съставящи и изкривяване формата на напрежение

Общото изкривяване формата на напрежение се определя по формулата:

$$\tau(\%) = \frac{\sqrt{\Sigma U_{hn}^2}}{U_1}$$

където Uhn е хармоничната съставяща на напрежението от ред n.

Тази стойност зависи от следните параметри:

□ хармоничните съставящи на тока, генерирани от изправителя, пропорционални на необходимата мощност Sr на изправителя;

□ надлъжното свръхпреходно реактивно съпротивление на генератора X″d;

□ мощността на генератора Sg.

Определя се напрежението на късо съединение на генератора U′Rcc, в %, приведено към мощността на изправителя Sr, по формулата:

$$U'Rcc(\%) = X''d\frac{Sr}{Sg},$$

т.е. $\tau = f(U'Rcc)$.

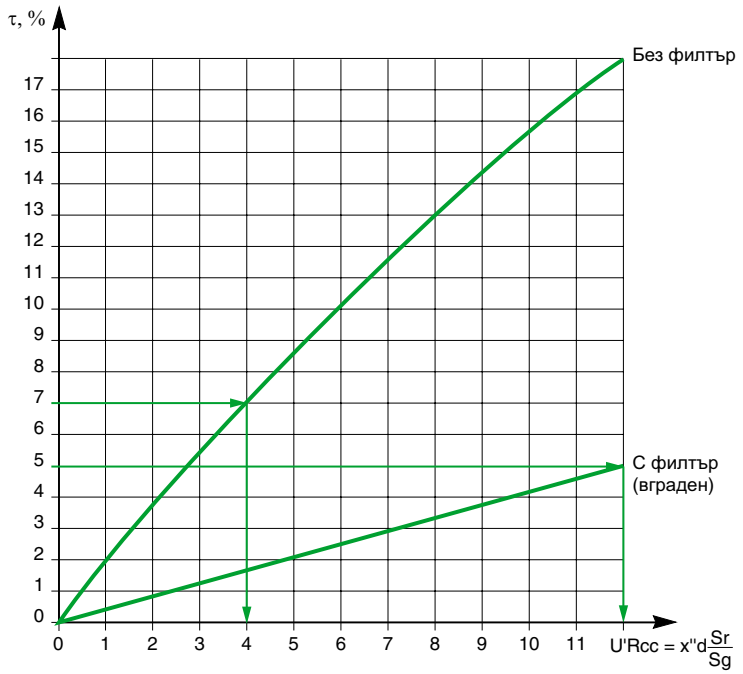
© Schneider Electric - всички права запазени

1 Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги

Забележка 1: Тъй като свръхпреходното реактивно съпротивление е голямо, хармоничното изкривяване, като правило е твърде голямо в сравнение с допустимата стойност (7 … 8) % за икономически обоснованите параметри на генератора. Използването на подходящ филтър е приемливо и икономически ефективно решение.
Забележка 2: Хармоничното изкривяване няма нежелани последици за изправителя, но може да бъде вредно за други товари, захранвани паралелно с изправителя.

Приложение

Определянето на общото изкривяване формата на напрежение τ в зависимост от U′Rcc се извършва графично (виж **Фиг. N11**).



Фиг. N11: Графика за определяне на общото изкривяване формата на напрежение

Тази графика позволява да се определи:
- стойността на τ като функция от U□Rcc, или
- стойността на U′Rcc като функция от τ.

Тези величини се използват за изчисляване мощността на генератора Sg.

Пример: Оразмеряване мощността на генератор

- UPS със Sn = 300 kVA, без филтър, има свръхпреходно реактивно съпротивление x″d = 15 %.

Мощността на изправителя е Sr = 1.17 x 300 kVA = 351 kVA
При допустима стойност на τ < 7%, от **Фиг. N11** се отчита U′Rcc = 4%
Следователно мощността на генератора ще бъде:

$$Sg = 351 \times \frac{15}{4} \approx 1400 \text{ kVA}$$

- UPS със Sn = 300 kVA, с филтър, има свръхпреходно реактивно съпротивление x″d = 15 %.

Мощността на изправителя е Sr = 1.17 x 300 kVA = 351 kVA
За τ = 5 %, от **Фиг. N11** се отчита U′Rcc = 12 %,
Следователно мощността на генератора ще бъде:

$$Sg = 351 \times \frac{15}{12} \approx 500 \text{ kVA}$$

Забележка: Със захранващ трансформатор Sn = 630 kVA на UPS със Sn = 300 kVA, без филтър, се получава отношение 5 %.
Това означава, че работата на генераторната уредба трябва постоянно да се контролира за хармонични съставящи.
Ако хармоничните изкривявания на формата на напрежението са много големи, използването на филтър в мрежата е най-ефективното решение за намаляване на хармоничните съставящи до стойности, допустими за чувствителни товари.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Защита на генераторна уредба НН и изходните вериги

1.4 Паралелно свързване на генераторна уредба

Паралелното свързване на генераторна уредба изисква по-строг контрол върху съединението, т.е. допълнителни контролни функции.

Паралелна работа

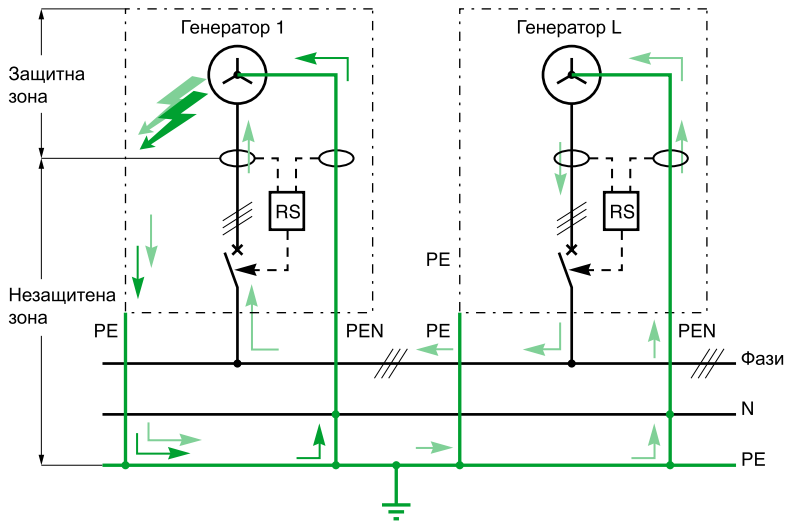
Паралелно работещите генераторни уредби генерират енергия за един и същи товар. За това те трябва да бъдат синхронизирани (по напрежение, честота) и разпределението на товара между тях трябва да бъде балансирано. Тази функция се изпълнява от регулатор към всяка генераторна уредба (чрез регулиране на задвижващия двигател и чрез регулиране на възбуждането). Параметрите (честота, напрежение) се контролират до присъединяването. Ако стойностите на параметрите са коректни може да се извърши включване.

Пробив на изолацията (виж **Фиг. N12**)

Повредата на изолацията в металния корпус на генераторна уредба може сериозно да повреди генератора, ако повредата има характер на късо съединение фаза-земя. Повредата трябва да бъде откривана и отстранявана бързо. В противен случай другите генератори ще подават енергия към повредения участък и ще бъдат изключени поради претоварване. При това непрекъснатостта на захранване не може да бъде гарантирана. Защита срещу земно съединение (GFP), вградена във веригата на генератора, се използва за следните цели:

- бързо изключване на повредения генератор и осигуряване непрекъснатост на електроснабдяването;
- въздействие върху веригата за управление на повредения генератор до неговото спиране и намаляване на вероятността за повреда.

Защитата GFP е от типа „Residual Sensing" (RS) (1). Тя трябва да се монтира колкото е възможно по-близо до защитното устройство на всеки генератор със заземен корпус през PE-проводник (съгласно схема на заземяване TN-C/TN-S (2)). Този тип защита се нарича "Restricted Earth Fault" (3).



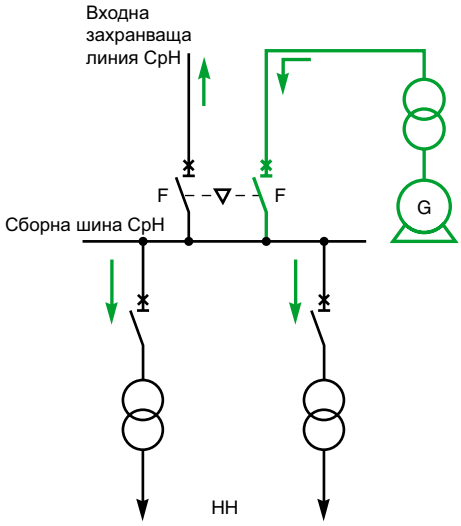
Фиг. N12: Повреда на изолация в генератора

Генераторна уредба, работеща като товар (виж **Фиг. N13 и Фиг. N14**)

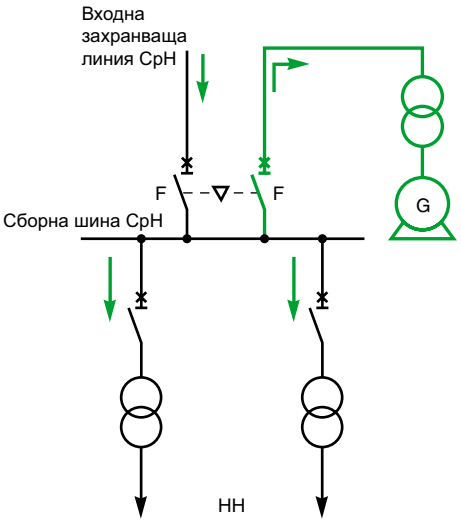
Една от паралелно включените генераторни уредби може да престане да работи като генератор и да започне да работи в качество, например на двигател (при отсъствие на възбуждане). Това може да доведе до претоварване на другите генераторни уредби и да предизвика извеждане на цялата система от работа. За проверка на това, че генераторът действително подава захранване към електрическата уредба (работа като генератор), е необходимо да се следи посоката на енергийния поток към сборни шини (контрол за обратна мощност). При възникване на повреда, т.е. генераторът работи като двигател, такъв контрол позволява да се отстрани повредата.

Заземяване на паралелно свързани генераторни уредби

Заземяването на паралелно свързани генераторни уредби може да доведе до циркулиране на токове на земно съединение (хармонични съставящи от ред 3-ти и техните кратни) при свързване на неутралите към общо заземяване (при схеми на заземяване TN или TT). Следователно, за предотвратяване протичането на такива токове между генераторните уредби се препоръчва да се монтира разделително (развързващо) съпротивление.



Фиг. N13: Посока на предаване на енергията – генераторна уредба, работеща като генератор



Фиг. N14: Посока на предаване на енергията – генераторна уредба, работеща като потребител

(1) Чувствителна към ток с нулева последователност.
(2) За уредби със схема на заземяване TN-C, работещи в качеството на „генератор" и за уредби със схема на заземяване TN-S, работещи в качество на „потребител".
(3) Ограничаване тока на земно съединение.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

2.1 Осигуреност на електроснабдяването и качество на електрическата енергия

Посочените по-горе смущения влияят върху:

- Безопасността на хората;
- Състоянието на имуществото;
- Ефективността на компанията или технологичният процес.

Затова смущенията трябва да се отстраняват.

Редица технически решения се използват за постигане на тази цел с различна степен на ефективност. Тези решения могат да се сравняват по два критерия:

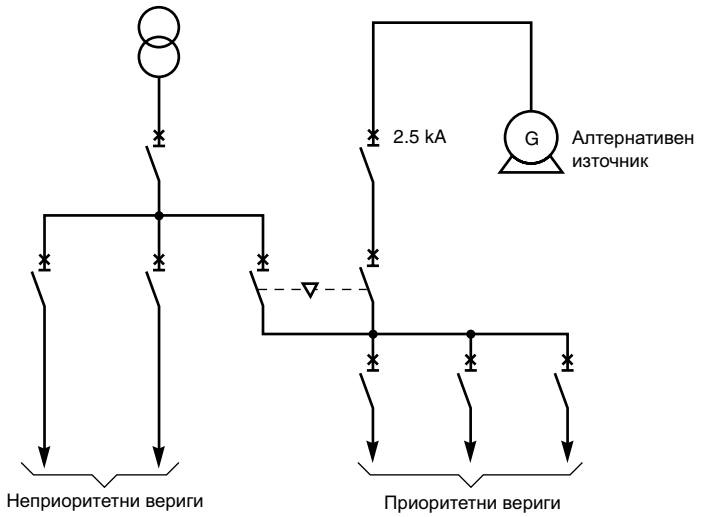
- Осигуреност на електроснабдяването;
- Качество на подаваната електрическа енергия.

Осигуреността на електроснабдяването може да бъде оценена чрез времето за една година, в продължение на което има напрежение на клемите на товара. Осигуреността се намалява поради прекъсвания в електроснабдяването, в резултат на излизане от строя на захранващия източник или повреди в електрическите вериги.

Съществуват редица решения за ограничаване на вероятността от прекъсване на електроснабдяването:

- Захранване на уредбата от няколко източници, а не само от един;
- Отделяне в уредбата на приоритетни и неприоритетни вериги с осигуряване на захранване при необходимост на приоритетните вериги от друг източник;
- Изключване на товар, при необходимост, за да може намалената мощност да бъде захранена от резервен източник;
- Избор на схема на заземяване в съответствие с целите за непрекъснато обслужване, например схема IT;
- Селективност на защитните устройства (селективно изключване) за ограничаване на последиците от повреда в част от уредбата.

Трябва да се отбележи, че единственият начин да се гарантира осигуреност на електроснабдяването с отчитане на излизането от строя на захранващите източници, в допълнение на посочените по-горе мерки, е осигуряването на автономен алтернативен източник, най-малко за приоритетните товари (виж **Фиг. N15**).



Фиг. N15: Осигуреност на електроснабдяването

Такъв източник поема товара в случай на повреда в системата. При това е необходимо да се отчетата два фактора:

- Времето за превключване (времето, необходимо за превключване от системата към източника), което трябва да бъде допустимо за товара;
- Времето за работа, в продължение на което такъв източник може да захранва товара.

Качеството на електрическа енергия се определя чрез отстраняване на смущенията на клемите на потребителя.

Алтернативният източник е средство за гарантиране осигуряването на електроснабдяването на клемите на потребителя. Обаче, в много случаи той не гарантира качеството на доставяната енергия с отчитане на посочените по-горе смущения.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

В момента, много чувствителни електронни устройства изискват електроснабдяване практически без такива смущения. При това въобще не се обсъжда въпроса за прекъсване на електроснабдяването, а се разглеждат допуски, по-малки от регламентираните за електроенергийната система като цяло.
Например, за изчислителни центрове, автоматични телефонни централи и много системи за управление и контрол на производствения процес.
Такива области изискват решения, които гарантират осигуреност на електроснабдяването и качество на електроенергията.

Технически решения, използващи UPS

Решението за чувствителни електрически потребители е в изграждането на интерфейс между енергийната система и чувствителните потребители с осигуряване на напрежение, отговарящо на следните изисквания:
■ Отсъствие на каквито и да са смущения в електроснабдяването и спазване на строгите условия за допустими отклонения, изисквани от товарите;
■ Осигуряване на електроснабдяването в случай на излизане от строя на един от захранващите източници, при специфични изисквания.
На тези изисквания отговарят UPS по отношение на осигуреност на електроснабдяването и качество на електрическата енергия чрез:
■ Подаване на напрежение към електрическите потребители при спазване на строгите изисквания за отклонения с използване на инвертор;
■ Осигуряване на автономен алтернативен източник чрез използване на акумулаторни батерии;
■ Превключване от системата към UPS, т.е. без прекъсване на електрозахранването на потребителите, с използване на статичен превключвател.
Тези характеристики правят UPS „идеален" захранващ източник за всички чувствителни електрически потребители, тъй като те позволяват осигуреност на електроснабдяването и качество на електрическата енергия, независимо от състоянието на енергийната система.
Източника на непрекъсваемо захранване включва следните основни компоненти:
■ Токоизправител/зарядно устройство, които произвеждат постояннотокова мощност за зареждане на акумулаторна батерия и за захранване на инвертора;
■ Инвертор, които осигурява качествена електроенергия, т.е.:
□ без смущения, в частност, кратковременни прекъсвания в електроснабдяването;
□ в границите на допустими отклонения, сравними с изискванията на чувствителни електронни устройства (например за Galaxy, отклоненията за амплитуда и честота са съответно ± 0.5 % и ± 1 %. В сравнение със съответните отклоненията в енергийната система ± 10 % и ± 5 % те са 20 и 5 пъти по-малки);
■ Акумулаторна батерия с достатъчно време за осигуряване на резервно захранване (от 8 min до 1 h или повече) за осигуряване безопасността на хора и запазване на собствеността чрез замяна на захранването от електроенергийната система при необходимост;
■ Статичен превключвател – полупроводниково устройство, което превключва товара от инвертора към енергийната система и обратно без прекъсване на електроснабдяването.

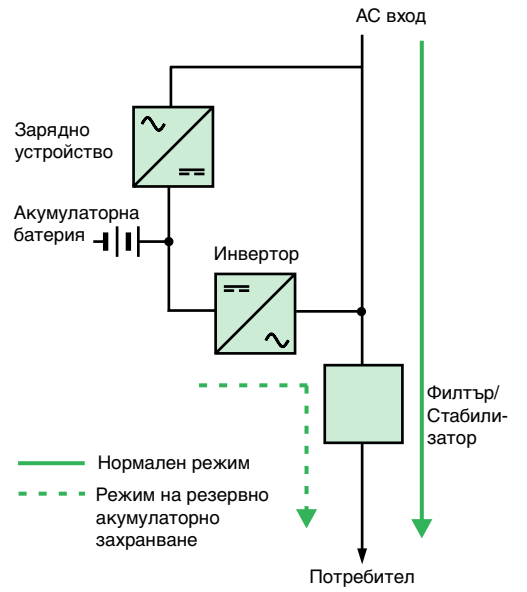
2.2 Видове статични източници на непрекъсваемо захранване

Стандарт IEC 62040 (1) определя типовете статични UPS.
Стандартът дефинира три работни режима:
■ Режим на пасивно резервиране (т.н. режим off-line).
■ Линейно-интерактивен режим.
■ Режим на двойно преобразуване (т.н. режим on-line).
Тези определения се отнасят до работата на UPS по отношение на основния захранващ източник, включително разпределителната система до UPS.
Стандартът IEC 62040 дефинира следните термини:
■ Първично електроснабдяване: нормално непрекъсваемо електроснабдяване, осигурявано обикновено от електроенергийната компания, но понякога, за сметка на генерираната мощност на потребителя;
■ Резервно електроснабдяване: електроснабдяване, предназначено за замяна на първичното електроснабдяване в случай на аварирането му;
■ Паралелна мощност: мощност, осигурявана чрез паралелно съединение.
Като правило, UPS е съоръжение с два променливотокови AC входа. В това Ръководство те се наричат съответно нормален и паралелен променливотоков вход (виж фигурите на следващата страница);
■ Нормалният AC вход, посочен като мрежов вход 1, получава първично електроснабдяване, т.е. по кабел, съединен със захранващата линия от енергийната система, или от частна разпределителна система;
■ Паралелният AC вход, посочен като мрежов вход 2, като правило получава резервно електроснабдяване, т.е. по кабел, съединен със захранващата линия, различен от този на нормалния AC вход, със резервиране чрез алтернативен източник (например, двигател-генератор, друг UPS и т.н.).
При отсъствие на резервно електрозахранване паралелният AC вход получава първично електроснабдяване (втори кабел, паралелен на кабела свързан към нормалния AC вход).
Паралелният AC вход се използва за захранване паралелни линии на UPS, ако те съществуват. При това, паралелните линии получават първично или резервно захранване в зависимост от осигуреността на електроснабдяването от резервен захранващ източник.

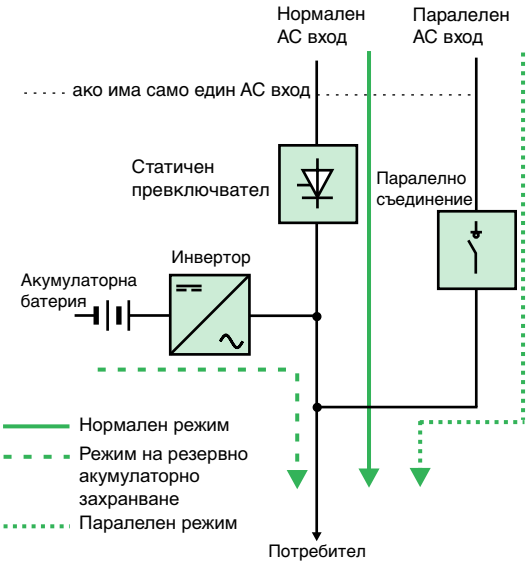
(1) БДС EN 62040:2004 Непрекъсваеми захранващи системи (UPS).

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)



Фиг. N16: Източник на непрекъсваемо захранване, работещ в режим на пасивно резервиране



Фиг. N17: Източник на непрекъсваемо захранване, работещ в линейно-интерактивен режим

Източник на непрекъсваемо захранване, работещ в режим на пасивно резервиране (of-line режим)

Принцип на работа

Инверторът е свързан паралелно с AC входовете на UPS в режим на резервно захранване (виж **Фиг. N16**).

■ Нормален режим

Товарът се захранва от енергийната система през филтър, който отстранява определени смущения и осигурява в някаква степен регулиране на напрежението (в стандарта се използва термина „допълнителни устройства … за осигуряване кондициониране параметрите на електроснабдяване"). Инверторът работи в режим на пасивно резервиране.

■ Режим на резервно акумулаторно захранване

Когато входното AC напрежение е извън регламентираните отклонения, посочени за UPS, или при прекъсване на електроснабдяването от електроенергийната система, се включва инвертор и акумулаторна батерия за осигуряване на непрекъснато електроснабдяване на товара. Превключването се извършва за много кратко време (< 10 ms).

Източникът на непрекъсваемо захранване продължава да работи, осигурявайки електрозахранване от акумулаторната батерия до изчерпване на нейния капацитет или до възвръщане на енергийната система в нормален режим. При това, потребителят се превключва обратно към AC входа (нормален режим).

Приложение

Фактически тази конфигурация е с приемливо ниво на защита от смущения и приемлива цена. Тя може да се използва при малка номинална мощност (< 2 kVA). В UPS няма статичен ключ и затова е необходимо определено време за превключване на товара към инвертора. Това време е приемливо за определени индивидуални приложения, но е недопустимо за по-сложни чувствителни системи (големи изчислителни центрове, автоматични телефонни централи и др.).

Освен това, честотата не се регулира и отсъства паралелен AC вход.

Забележка: В нормален режим захранването на товара не преминава през инвертора и затова този UPS се наричат "Off-line". Това е неправилен термин, тъй като той предполага „не захранван от енергийната система", докато фактически потребителят се захранва от енергийната система през AC вход в нормален режим на работа. Ето защо стандарт IEC 62040 препоръчва използването на термина „пасивен резервен източник".

Източник на непрекъсваемо захранване, работещ в линейно-интерактивен режим

Принцип на работа

Инверторът е свързан паралелно с AC входовете в резервна конфигурация, но също зарежда и акумулаторната батерия. Затова, той взаимодейства (обратим режим) с AC входа на източника (виж **Фиг. N17**).

■ Нормален режим

Потребителят получава стабилизирано електрозахранване през паралелно свързване на AC входа и инвертора. Инверторът осигурява стабилизация на изходното напрежение и/или зареждането на акумулаторната батерия. Изходната честота зависи от честотата на AC входа.

■ Режим на резервно акумулаторно захранване

Когато входното AC напрежение е извън регламентираните отклонения, посочени за UPS, или при прекъсване на електроснабдяването от електроенергийната система, инверторът и акумулаторната батерия се включват за осигуряване непрекъснато електроснабдяване на товара след превключване без прекъсване на захранването с помощта на статичен превключвател. Той отсъединява AC входа за предотвратяване постъпване на захранване от инвертора в енергийната система.

Източникът на непрекъсваемо захранване продължава да работи, осигурявайки електрозахранване от акумулаторната батерия до изчерпване на нейния капацитет или до възвръщане на енергийната система в нормален режим. При това, потребителят се превключва обратно към AC входа (нормален режим).

■ Паралелен режим

Този тип UPS може да се осигури с паралелно съединение. Ако една от функциите на UPS откаже потребителят може да се превключи през паралелно съединение към AC входа (от енергийната система или резервен източник в зависимост от обекта).

Приложение

Тази конфигурация не е много подходяща за регулиране на чувствителни товари в диапазона средни и високи мощности поради невъзможност за регулиране на честотата. Поради тази причини тя рядко се използва, освен в случаи на малка номинална мощност.

Източник на непрекъсваемо захранване, работещ в режим на двойно преобразуване (on-line режим)

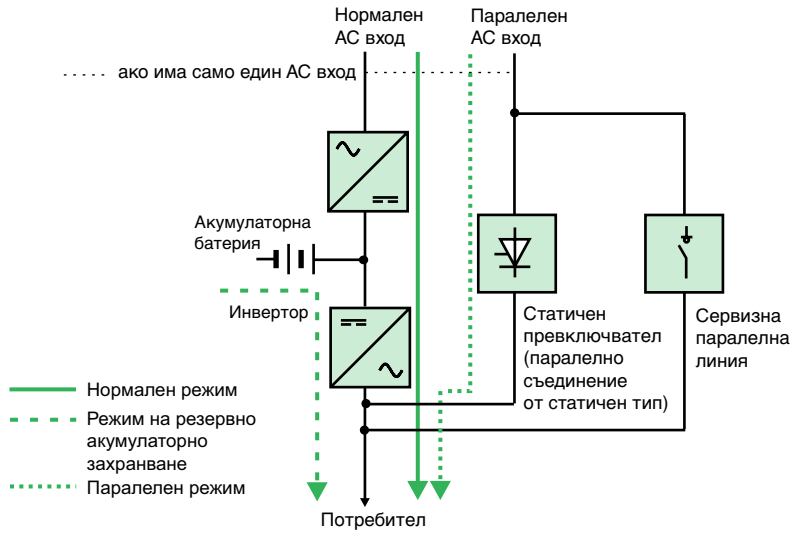
Принцип на работа

Инверторът е свързан последователно между AC входа и потребителя.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

■ Нормален режим.
При нормален режим захранването, подавано към потребителя, преминава през токоизправител/зарядно устройство инвертор, които заедно изпълняват двойно преобразуване AC – DC – AC. От тук произтича и наименованието на режима.
■ Режим на резервно акумулаторно захранване.
Когато входното AC напрежение е извън регламентираните отклонения, посочени за UPS, или при прекъсване на електроснабдяването от електроенергийната система, инверторът и акумулаторната батерия осигуряват непрекъснато електроснабдяване на товара без прекъсване на захранването с помощта на статичен превключвател.
Източникът на непрекъсваемо захранване продължава да работи, осигурявайки електрозахранване от акумулаторната батерия до изчерпване на нейния капацитет или до възвръщане на енергийната система в нормален режим. При това, потребителят се превключва обратно към AC входа (нормален режим).
■ Паралелен режим.
Като правило този тип UPS се осигурява с паралелно съединение от статичен тип, наричан често статичен ключ (виж **Фиг. N18**).
Товарът може да се превключва без прекъсване на захранването към паралелния AC вход (захранван от енергийната система или от резервният източник, в зависимост от уредбата) в следните случаи:
□ отказ на UPS;
□ преходни токове на товара (големи токове при включване или при повреда);
□ пикове на товара.
Обаче, наличието на паралелно съединение предполага еднаква входна и изходна честота и при различни нива на напрежение изисква подходящ трансформатор. За определени товари UPS трябва да бъде синхронизиран с паралелното електроснабдяване за осигуряване на непрекъснато електроснабдяване на товара. Освен това, когато UPS е в паралелен режим, смущенията от нормалния AC вход на източника могат да се предават непосредствено на товара, тъй като инверторът не е включен.
Забележка: Може да бъде предвидена и друга паралелна линия, често наричана сервизна паралелна линия, за извършване на техническо обслужване. Тя се изключва с ръчен прекъсвач.



Фиг. N18: Източник на непрекъсваемо захранване, работещ в режим на двойно преобразуване (on-line)

Приложение
При такава конфигурация, времето необходимо за превключване на товара към инвертора е пренебрежимо малко.
Освен това, изходното напрежение и честотата не зависят от режима на входното напрежение и от честотата. Това означава, че UPS, проектиран за тази цел, може да работи като преобразувател на честота.
На практика това е основна конфигурация, използвана за средни и високи номинални мощности (над 10 kVA). В тази Глава ще се разглежда само посочената конфигурация.
Забележка: Този тип UPS често се нарича „on-line", което означава, че товарът постоянно се захранва през инвертора, независимо от режима на работа на AC входа на източника. Обаче този термин е неточен, защото той предполага товар „захранван от енергийната система". Фактически товарът получава захранване, получено от система за двойно преобразувано. Ето защо, стандартът IEC 62040 препоръчва термина двойно преобразуване.

© Schneider Electric - всички права запазени

2.3 Акумулаторни батерии

Избор на типа акумулаторна батерия

Акумулаторната батерия се състои от взаимносвързани клетки, които могат да бъдат от типа вентилирани или от типа с рекомбинация на газове.
Разработени са два основни типа акумулаторни батерии:
- Никел-кадмиеви;
- Оловно-киселинни;
- Клетки с вентилация (олово-антимон). Те са осигурени с отвори за следните цели:
  - изпускане в атмосферата на кислород и водород, които се образуват в резултата на различни химически реакции;
  - проверка нивото на електролита и доливане с дестилирана или минерализирана вода.
- Клетки с рекомбинация на газове (оловни, чисто оловни, оловно-калени акумулаторни батерии). Нивото на рекомбинация на газовете е не по-малко 95 % и затова те не изискват добавяне на вода при експлоатация на клетките.

В текста по-нататък тези акумулаторни батерии се наричат батерии с вентилация или с рекомбинация на газове (акумулаторните батерии с рекомбинация на газове се наричат „херметични").
Основните типове акумулаторни батерии, използвани заедно с UPS са:
- Херметични оловно-киселинни акумулаторни батерии. Те се използват в 95 % от случаите, тъй като са лесно за техническо обслужване и не изискват специално помещение.;
- Оловно-киселинни акумулаторни батерии с вентилация;
- Никел-кадмиеви акумулаторни батерии с вентилация.

Посочените по-горе три типа акумулаторни батерии могат да бъдат предлагани в зависимост от икономическите и експлоатационните изисквания на обекта, с различни срокове на служба.
Необходимият капацитет на акумулаторната батерия и времето за резервно захранване се съобразяват с изискванията на потребителя.
Разглежданите акумулаторни батерии са много подходящи за UPS, тъй като те се разработват с водещи производители на подобен тип електрообзавеждане.

Избор на времето за резервно захранване

Изборът зависи от следните фактори:
- Средна продължителност на прекъсванията в електроснабдяването;
- Налични резервни захранващи източници (дизел-генератори и т.н.);
- Област на приложение.

Предлаган типичен диапазон:
- Стандартно време за резервно захранване – 10, 15 или 30 min;
- Време за резервно захранване – по поръчка.

Използват се следните общи правила:
- Компютърни приложения.

Времето за резервно акумулаторно захранване трябва да бъде достатъчно за завършване на процедурата за съхраняване на файловете и изключване на системите, необходими за осигуряване на контролирано завършване на работата на компютърната система. Обикновено, изчислителните отдели определят необходимото време за резервно захранване в зависимост от конкретните изисквания.
- Производствени процеси.

Времето за резервно захранване трябва да се съобрази с отчитане на икономическите загуби в резултат на прекъсвания в производствения процес и времето, необходимо за възобновяване на процеса.

Таблица за избор

Таблица N19 на следващата страница съдържа основни характеристики на различни типове акумулаторни батерии.
Акумулаторните батерии с рекомбинация на газове са по-търсени на пазара, поради следни причини:
- не се нуждаят от техническо обслужване;
- лесен монтаж;
- монтаж в помещения от произволен тип (компютърни зали, технически помещения без специални изисквания за вентилация и др.).

В някои случаи, обаче, се препоръчват акумулаторни батерии от типа вентилирани поради следните причини:
- голям срок на служба;
- голямо време за резервно захранване;
- голяма номинална мощност.

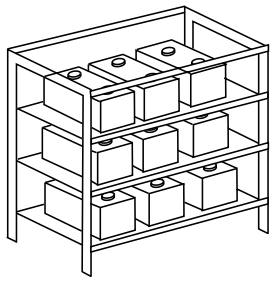
Тези акумулаторни батерии трябва да се разполагат в специални помещения в съответствие с установени правила и изискват съответно техническо обслужване.

© Schneider Electric - всички права запазени

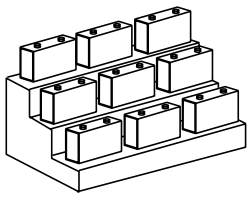
2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

Таблица N19: Основни характеристики на различни типове акумулаторни батерии

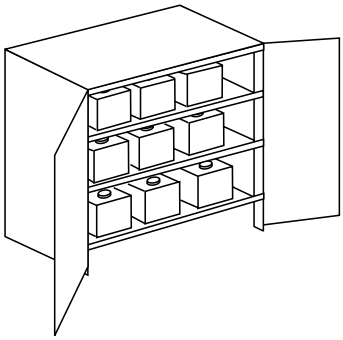
Тип на акумулаторните батерии	Срок на служба	Компактност	Температурен работен диапазон	Честота на техническо обслужване	Специално помещение	Цена
Херметични оловно-киселинни	5 или 10 години	+	+	Малка	Не се изисква	Ниска/средна
Вентилирани оловно-киселинни	5 или 10 години	+	++	Средна	Изисква се	Ниска
Никел-кадмиеви	5 или 10 години	++	+++	Голяма	Не се изисква	Висока



Фиг. N20: Монтаж на акумулаторни батерии на стелаж



Фиг. N21: Монтаж на акумулаторни батерии на редове



Фиг. N22: Монтаж на акумулаторни батерии на лавици в шкаф

Основни характеристики на различни типове акумулаторни батерии

В зависимост от типа на UPS капацитетът на акумулаторната батерия и времето за резервно захранване акумулаторната батерия може да бъде:
- ■ Херметична. Тя се разполага в обвивката на UPS;
- ■ Херметична. Разполага се в няколко обвивки (от 1 до 3);
- ■ Вентилирана или херметична. Монтира се на стойка. В този случай методът за монтаж може да бъде на:
  - □ Стелаж (виж **Фиг. N20**).

Този метод на монтаж е възможен за херметични акумулаторни батерии или вентилирани акумулаторни батерии, които не изискват техническо обслужване и доливане на електролит.
  - □ Редове (виж **Фиг. N21**).

Този метод на монтаж е подходящ за всички акумулаторни батерии и в частност за вентилирани акумулаторни батерии поради лесния начин за доливане и проверка нивото на електролита.
  - □ Лавици в шкаф (виж **Фиг. N22**).

Този метод на монтаж е възможен за херметични акумулаторни батерии. Той е лесно реализуем и осигурява максимална безопасност.

2.4 Схема за заземяване на уредби с източници на непрекъсваемо захранване

Използването на схеми за защита, предвидени от стандартите, в уредби, съдържащи UPS изисква редица предпазни мерки за безопасност поради следните причини:
- ■ UPS изпълнява двойна функция:
  - □ товар за горестоящата система;
  - □ захранващ източник за долустоящата система.
- ■ Когато акумулаторната батерия не е монтирана в обвивка, при повреда на изолацията в системата за постоянен ток може да се развие ток на земно съединение.

Този ток може да наруши работата на отделните защитни устройства, особено на RCD, използвани за защита на хора.

Защита срещу директен допир (виж **Табл. N23**)

Всички уредби, удовлетворяват изискванията, защото обзавеждането се разполага в шкафове, осигуряващи степен на защита IP20. Това е вярно дори и за акумулаторни батерии, разположени в обвивка.

Ако акумулаторните батерии не са разположени в шкаф, в специалното помещения трябва да се предприемат мерки, посочени в края на тази Глава.

Забележка: Схема TN (вариант TN-S или TN-C) се препоръчва най-често при електроснабдяване на компютърни системи.

Таблица N23: Основни характеристики на схемите на заземяване

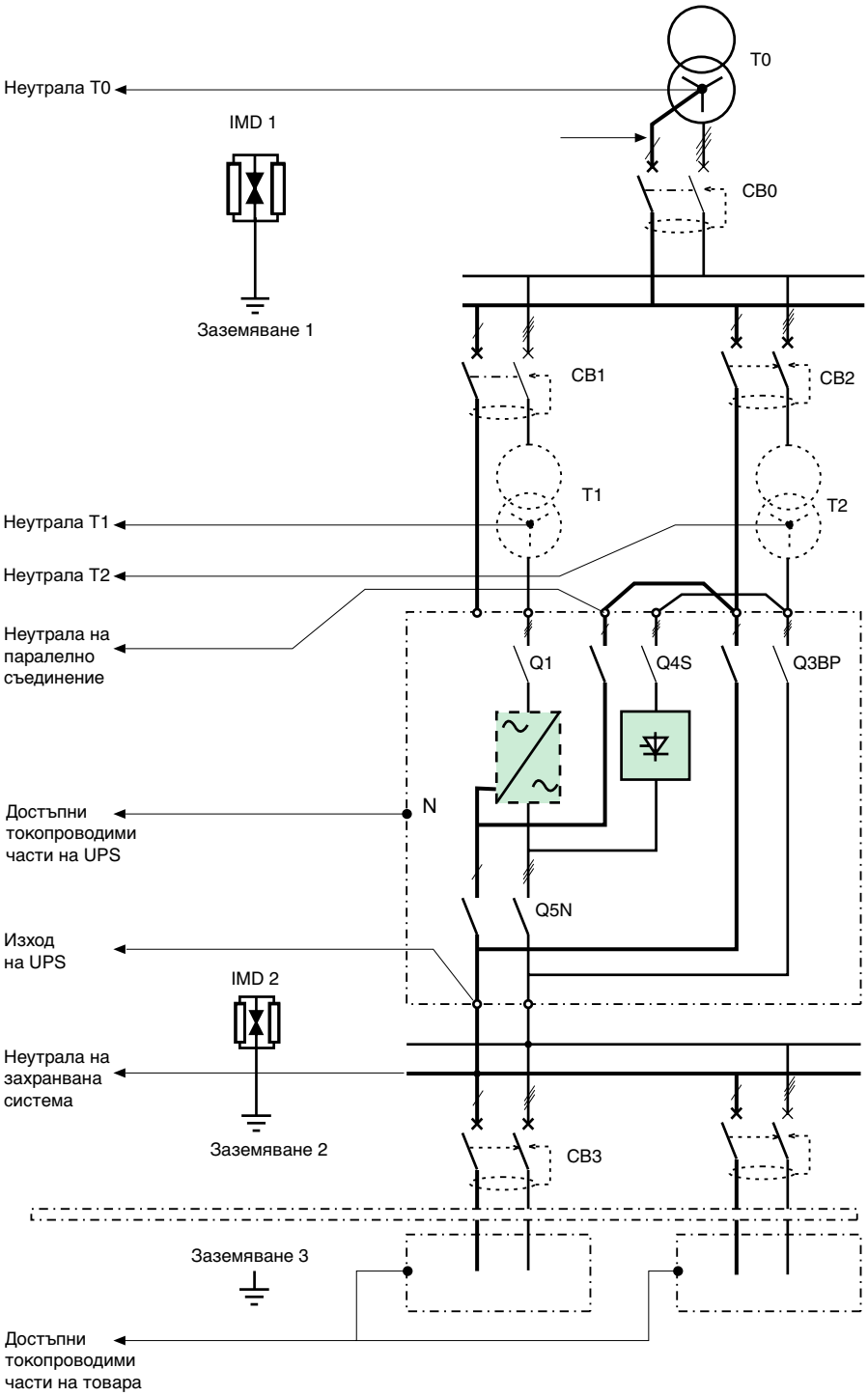
Тип на схемата	Схема IT	Схема TT	Схема TN
Принцип на работа	■ Сигнализация за първа повреда в изолацията ■ Откриване и отстраняване на първа повреда ■ Изключване при втора повреда в изолацията	■ Изключване при първа повреда в изолацията	■ Изключване при първа повреда в изолацията
Метод за защита на хора	■ Съединяване и заземяване на токопроводими части ■ Контрол за първа повреда с помощта на устройство за контрол на изолация (IMD) ■ Изключване при втора повреда (автоматичен прекъсвач или стопяем предпазител)	■ Заземяване на токопроводимичасти, комбинирано с използване на RCDs ■ Първа повреда на изолацията предизвиква изключване при откриване токове на утечка	■ Задължително свързване и заземяване на токопроводими части и неутрала ■ Първа повреда на изолацията предизвиква изключване при откриване свръхтокове (автоматичен прекъсвач или стопяеми предпазител)
Предимства и недостатъци	■ Решение, осигуряващо оптимална непрекъснатост на електроснабдяването (сигнализация за първа повреда) ■ Изисква се квалифициран персонал (откриване на първа повреда)	■ Най-просто решение при проектиране и монтаж ■ Не изисква устройство за контрол на изолация (IMD) ■ Всяка повреда предизвиква изключване на веригата	■ Решение с ниска цена за монтаж ■Трудно проектиране (изчисляване пълното съпротивление на контура) ■ Изисква се квалифициран технически персонал ■ Големи токове при повреда

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

Основни точки, които трябва да бъдат проверявани при UPS

Фигура N24 показва всички основни точки, които трябва да бъдат съединени, а също и устройствата, които трябва да бъдат монтирани (трансформатори, RCD и др.), за да се осигури съответствие на уредбата със стандартите за безопасност.



Фиг. N24: Основни точки, които трябва да бъдат съединени в схемите за заземяване

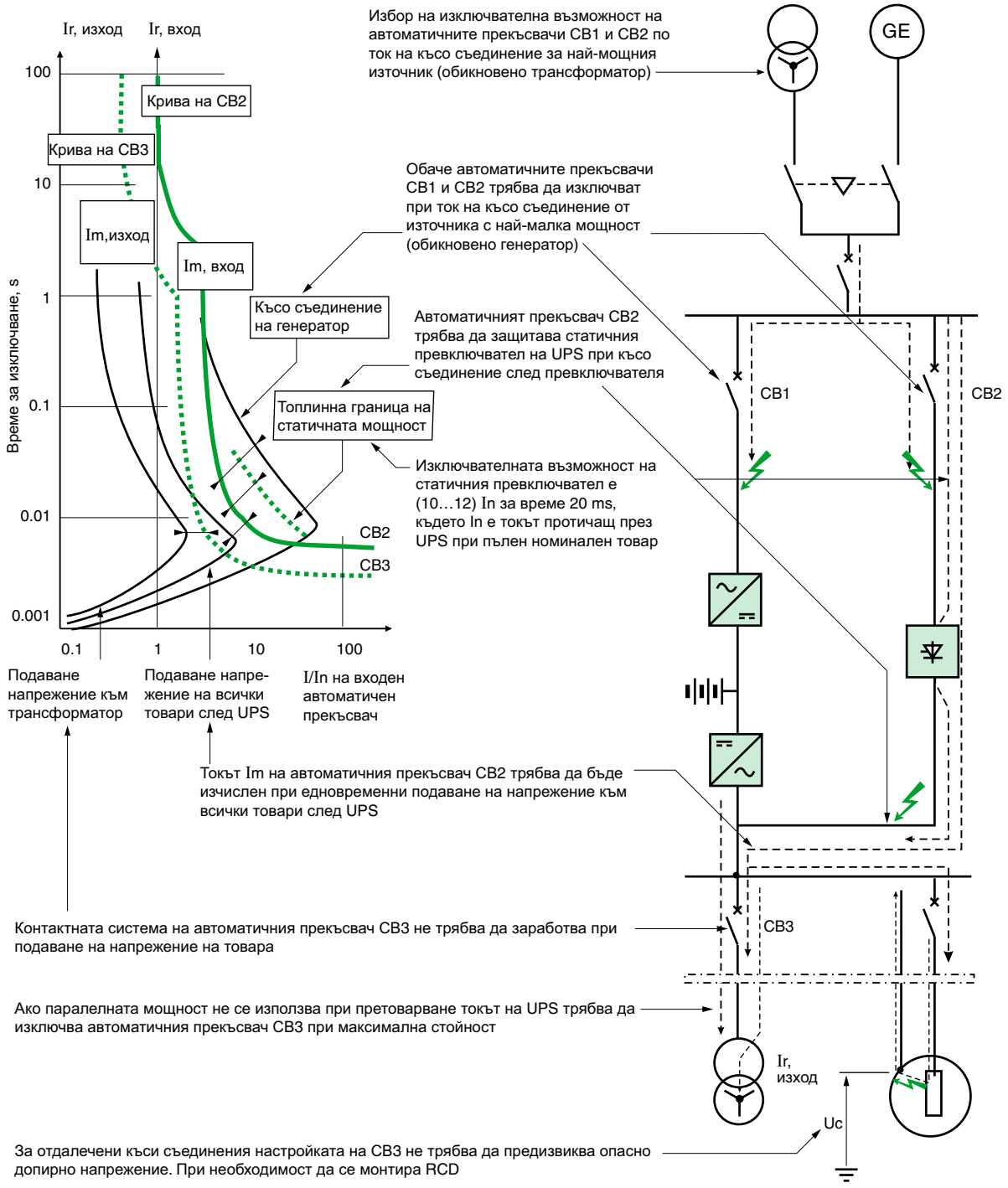
© Schneider Electric - всички права запазени

2.5 Избор на защитни схеми

Автоматичните прекъсвачи имат основна роля в уредбата, но тяхното значение често се оценява само при аварии, които се случват сравнително рядко. Най-доброто оразмеряване на UPS и най-добрият избор на конфигурация могат да бъдат компрометирани при неправилен избор дори само и на един единствен прекъсвач.

Избор на автоматичен прекъсвач

Фигура N25 показва как трябва да се избират автоматичните прекъсвачи.



Фиг. N25: Автоматичните прекъсвачи се избират в зависимост от различните ситуации

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

Номинални параметри

Номиналният ток на избрания автоматичен прекъсвач трябва да бъде съобразен с номиналния ток на защитавания изходящ кабел.

Изключвателна възможност

Изключвателната възможност трябва да се избира малко по-голяма от тока на късо съединение, който се получава в точка от уредбата.

Прагови стойности (настройки) на Ir и Im

Таблица N26 показва как трябва да се избират праговите стойности (настройки) на Ir (претоварване: топлинно или продължително) и на Im (късо съединение: електромагнитен или електронен) за осигуряване на селективност в зависимост от изключващите елементи на входа и изхода.

Забележки (виж **Фиг. N26**)

- Времевата селективност трябва да се задава от квалифициран персонал, тъй като времезакъснението преди изключване увеличава топлинното напрежение (I^2t) на изхода (кабели, полупроводникови елементи и др.). Изисква се особено внимание, ако изключването на автоматичния прекъсвач CB2 е със зададено времезакъснение на Im.
- Енергийната селективност не зависи от контактната система, а само от типа на автоматичния прекъсвач.

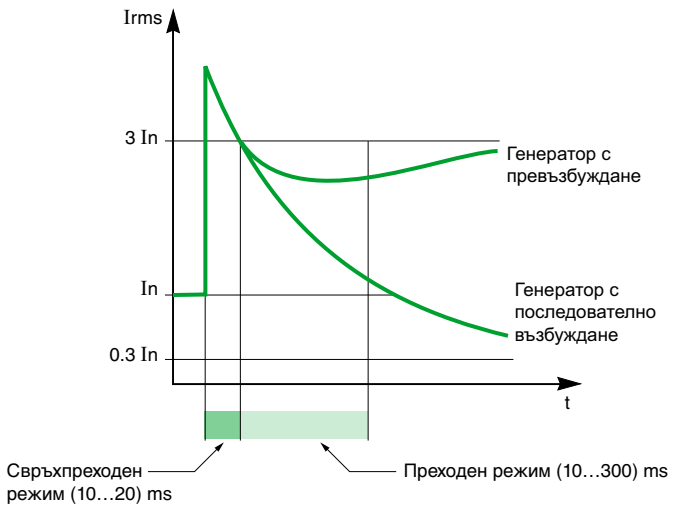
Таблица N26: Прагови стойности на Ir и Im в зависимост от изключващите елементи на входа и изхода

Тип на изходната верига	Ir на входа / Ir на изхода	Im на входа / Im на изхода	Im на входа / Im на изхода
Изключващ елемент на изхода	Всички типове	Електромагнитен	Електронен
Разпределен товар	> 1.6	>2	>1.5
Асинхронен двигател	>3	>2	>1.5

Особен случай при късо съединение в генератор

На **Фиг. N27** е показана реакцията на генератор при късо съединение.

За да се избегне всякаква неопределеност, по отношение на типа на възбуждане, изключването става при първия пик (от 3 до 5 пъти In в съответствие със стойността на X"d) при настройка на защитата Im без времезакъснение.



Фиг. N27: Реакцията на генератор при късо съединение

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

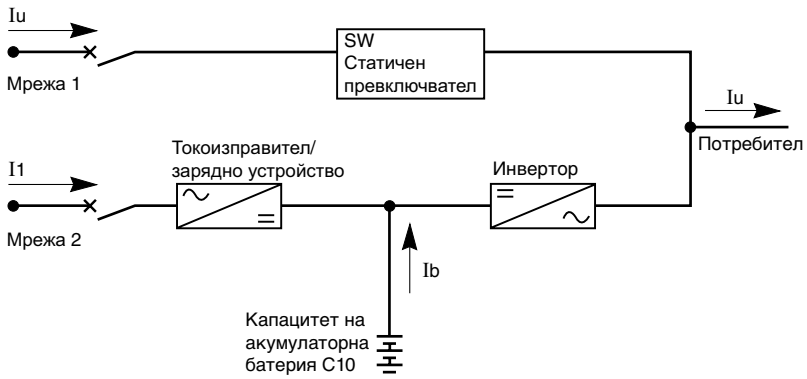
2.6 Монтаж, свързване и оразмеряване на кабели

Източници на непрекъсваемо захранване, предназначени за непосредствено използване

Източниците на непрекъсваемо захранване с малка мощност, предназначени например за микрокомпютърни системи, се предлагат за директно използване. Вътрешното опроводяване се изпълнява от производителя с отчитане характеристиките на устройствата.

Други изпълнения на UPS

За други UPS, опроводяването към системата за електроснабдяване, акумулаторната батерия и товара не се включва в доставката.
Проводниците за връзка се избират от големината на тока, както е посочено на **Фиг. N28**.



Фиг. N28: Ток, който трябва да се взема под внимание при избор на проводници за връзка

Изчисляване на токовете I1, Iu

- Входният ток Iu, консумиран от мрежата, е токът на товара.
- Входният ток I1, консумиран от зарядното устройство/токоизправителя зависи от следните параметри:
  - капацитетът на батерията (C10) и токът при режима на зареждане (Ib);
  - характеристиките на зарядното устройство;
  - КПД на инвертора.
- Токът Ib е токът в точката на свързване на акумулаторната батерия.

Тези токове се посочват от производителите.

Повишаване на температурата на кабела и падовете на напрежение

Сечението на кабела зависи от следните параметри:

- Допустимо повишаване на температурата;
- Допустим пад на напрежение.

При зададен товар всеки от тези параметри определя минималното допустимо сечение. Трябва да се използва по-голямата от двете стойности.

При полагане на кабели трябва да се вземат мерки за осигуряване на необходимите разстояния между контролните и силови вериги. Така се предотвратяват всякакви смущения, предизвикани от високочестотни токове.

Повишаване на температурата на кабела

Допустимото повишаване температурата на кабелите се ограничава от топлоустойчивостта на изолацията на кабела.

Повишаването на температурата в кабелите зависи от следните фактори:

- Материалът на тоководещото жило на кабела (Cu или Al);
- Методът за монтаж;
- Броят на кабелите, положени в непосредствена близост.

Стандартите предвиждат максимално допустим ток за всеки тип кабел.

Падове на напрежения в кабелите

Максимално допустимите падове на напрежения са:

- 3 % за AC вериги (f = 50 или f = 60 Hz);
- 1 % за DC вериги.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

Таблици за избор

Таблица N29 показва пада на напрежение, в %, за верига с дължина на кабела 100 m. За изчисляване пада на напрежение във верига с дължина на кабела L е необходимо да се умножи табличната стойност с L/100.

- Sph: Сечение на фазовите проводници;
- I_n: Номинален ток на защитните устройства на веригата.

Трифазна верига

Ако падът на напрежение е по-голям от 3 % (f = 50…60 Hz) трябва да се увеличи сечението на проводниците.

Постояннотокова верига

Ако падът на напрежение е по-голям от 1 % трябва да се увеличи сечението на проводниците.

Таблица N29: Пад на напрежение, в %, за трифазни вериги (a) и вериги за постоянен ток (b)

a - Трифазни вериги (медни проводници)
50-60 Hz - 380 V / 400 V / 415 V, cos φ = 0.8, , балансирана система, три фази + нула

In,	Sph, mm²											
A	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
10	0.9											
15	1.2											
20	1.6	1.1										
25	2.0	1.3	0.9									
32	2.6	1.7	1.1									
40	3.3	2.1	1.4	1.0								
50	4.1	2.6	1.7	1.3	1.0							
63	5.1	3.3	2.2	1.6	1.2	0.9						
70	5.7	3.7	2.4	1.7	1.3	1.0	0.8					
80	6.5	4.2	2.7	2.1	1.5	1.2	0.9	0.7				
100	8.2	5.3	3.4	2.6	2.0	2.0	1.1	0.9	0.8			
125		6.6	4.3	3.2	2.4	2.4	1.4	1.1	1.0	0.8		
160			5.5	4.3	3.2	3.2	1.8	1.5	1.2	1.1	0.9	
200				5.3	3.9	3.9	2.2	1.8	1.6	1.3	1.2	0.9
250					4.9	4.9	2.8	2.3	1.9	1.7	1.4	1.2
320							3.5	2.9	2.5	2.1	1.9	1.5
400							4.4	3.6	3.1	2.7	2.3	1.9
500								4.5	3.9	3.4	2.9	2.4
600									4.9	4.2	3.6	3.0
800										5.3	4.4	3.8
1000											6.5	4.7

За трифазна верига 230 V да се умножи табличната стойност с $\sqrt{3}$.
За еднофазна верига 208/230 V да се умножи табличната стойност с 2

b - Постояннотокови вериги (медни проводници)

In,	Sph, mm²											
A	-	-	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
100			5.1	3.6	2.6	1.9	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4
125				4.5	3.2	2.3	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.5
160					4.0	2.9	2.2	1.6	1.2	1.1	0.6	0.7
200						3.6	2.7	2.2	1.6	1.3	1.0	0.8
250							3.3	2.7	2.2	1.7	1.3	1.0
320								3.4	2.7	2.1	1.6	1.3
400									3.4	2.8	2.1	1.6
500										3.4	2.6	2.1
600										4.3	3.3	2.7
800											4.2	3.4
1000											5.3	4.2
1250												5.3

Особен случай за неутрални проводници

В трифазни системи, хармониците от ред 3 (и кратните) на еднофазните товари се сумират в неутралния проводник (сума от токовете в трите фази).

Поради тази причина се използва следното правило:

Сечението на неутралния проводник S_N, в mm², е:

$S_N = 1.5\ Sph$

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

Пример

Разглежда се трифазна верига от медни проводници с дължина L = 70 m, за електроснабдяване с номинален ток In = 600 A при номинално напрежение U = 400 V.

Стандартът IEC 60364 регламентира минималното напречно сечение в зависимост от начина на монтаж и товара.

Приема се минимално сечение Sph = 95 mm^2.

Необходимо е да се провери условието падът на напрежение да не е по-голям от 3 %.

Съгласно **Табл. N29a** при In = 600 A и сечение 300 mm^2 падът на напрежение е 3 % за кабел с дължина L = 100 m, т.е. при дължина на кабела 70 m се получава:

$3 \times \frac{70}{100} = 2.1$ %.

Аналогично пресмятане може да се извърши и за постояннотокови вериги. Нека протичащият ток през медните проводници с дължина L= 10 m бъде In = 1000 A. Падът на напрежение за кабел с дължина L = 100 m, сечение Sph = 240 mm^2 и номинален ток In = 1000 A е 5,3 % (виж **Табл. N29b**), т.е. за кабел с дължина 10 m той е:

$5.3 \times \frac{10}{100} = 0.53$ %,

т.е. по-малко от 3 %.

2.7 Източници на непрекъсваемо захранване и съпътстваща апаратура

Източниците на непрекъсваемо захранване могат да работят с електрическо или компютърно обзавеждане. Те могат да получат някои данни и да осигурят информация за своята работа за следните цели:

- Оптимизация на защитата

Например, UPS осигурява важна информация за работното състояние на компютърна система (товар на инвертора, товар на паралелната линия, товар на акумулаторната батерия, предварителна сигнализация за разреждане на батерията).

- Дистанционно управление

Източниците на непрекъсваемо захранване осигуряват данни от измерване и информация за работното състояние, позволяващи на операторите да вземат съответни мерки.

- Управление на уредбата

Операторът има автоматизирана система за диспечерско управление, която позволява да се получава и съхранява информация от UPS за осигуряване сигнализацията на събития и вземане на мерки.

Постиженията в направлението съвместимост на компютърно обзавеждане и UPS, предизвикват включването в тях на нови вградени функции.

2.8 Допълнително обзавеждане

Трансформатори

Двунамотъчният трансформатор, монтиран преди статичния превключвател на верига 2 позволява:

- Изменение нивото на напрежение, когато мрежовото напрежение се различава от напрежението на потребителите;
- Възможност за изменение схемата на заземяване между мрежите.

Освен това, трансформаторът осигурява още:

- Намаляване тока на късо съединение във вторичната намотка (т.е. на страната на товара) в сравнение с тока на захранващата мрежа;
- Предотвратяване появяването на хармонични съставящи на токовете от ред 3-ти, които са възможни във вторичната намотка, в захранващата мрежа, при свързване на първичната намотка на трансформатора в триъгълник.

Филтър за намаляване на хармониците

Източникът на непрекъсваемо захранване включва зарядно устройство на акумулаторната батерия с тиристорно или транзисторно управление. Получаваните импулси на тока „генерират" хармонични съставящи в мрежата.

Такива нежелани съставящи се филтрират на входа на изправителя и за повечето случаи намаляването на нивото на хармоничния ток е достатъчно за всички практически цели.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Източници на непрекъсваемо захранване (UPS)

Обаче, в определени особени случаи, особено на големи обекти може да се изисква допълнителна верига за филтър.
Например, в следните случаи:
- Номиналната мощност на UPS е голяма в сравнение с мощността на захранващия трансформатор СрН/НН;
- Сборните шини НН захранват товари, които са особено чувствителни към хармонични съставящи;
- Генератор с дизелово (или газотурбинно и друго задвижване), монтиран в качеството на резервен източник.

В тези случаи трябва да се проведе консултация с производителите на UPS.

Комуникационна апаратура

Връзката с обзавеждането, свързано с компютърни системи, може да налага използването на съответните технически средства в UPS. Такива средства могат да се вградят в изходната конструкция (виж **Фиг. N30a**) или да се добавят към съществуващи системи по поръчка (виж **Фиг. N30b**).

Фиг. N30a: Външен вид на UPS готов за експлоатация (с модул DIN)

Фиг. N30b: Модулен блок UPS, повишаващ надеждността и качеството на доставяната електроенергия за компютърни системи

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита на трансформатори HH/HH

Тези трансформатори обикновено са с мощност от няколко стотици VA до няколко стотици kVA и често се използват за:

- Изменение нивото на напрежение HH за:
  - спомагателно захранване за вериги за управление, сигнализация и индикация;
  - осветителни вериги (получаване на напрежение 230 V при напрежение на трифазна трипроводна захранваща мрежа 400 V);
- Изменение схемата на заземяване за определени товари с относително висок капацитивен ток на земно съединение (компютърно обзавеждане) или активен ток на утечка (електрически пещи, обзавеждане за индукционно и диелектрично нагряване, електрически уредби за обществено хранене и др.).

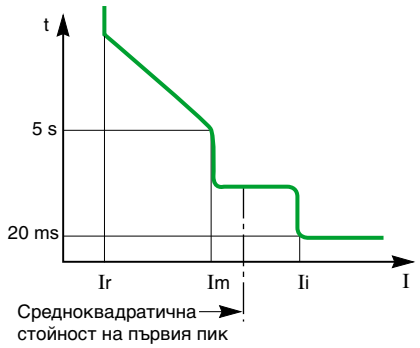
Обикновено, трансформаторите HH/HH имат вградени системи за защита и е необходимо да се изисква подробна информация от производителите. Във всеки случай първичната намотка трябва да бъде снабдена със защита по максимален ток.

Експлоатацията на такива трансформатори изисква познаване на техните конкретни функции, а също и на информацията, посочена по-долу.

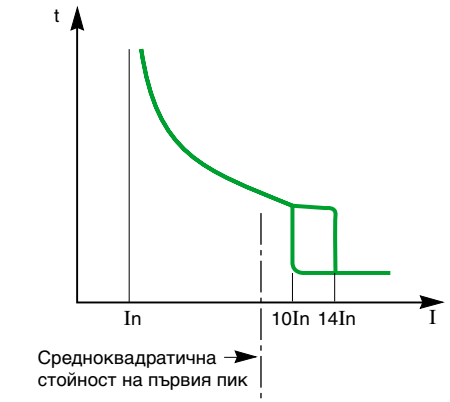
Забележка: В специфични случаи на използване на трансформатори за защитно разделяне HH/HH и за безопасно свръхниско напрежение се изисква заземен метален екран между първичната и вторичната намотка в съответствие с местните условия, както се препоръчва в европейския стандарт EN 60742.

3.1 Намагнитващ ток на трансформатора при включване

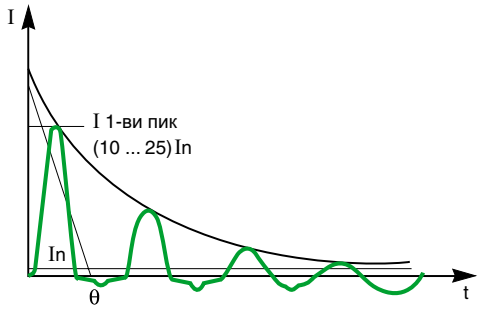
В момента на подаване на напрежение към трансформатора се наблюдават високи стойности на преходния ток (включващ значителна съставяща на постоянния ток), които трябва да се отчитат при разглеждане на защитните схеми (виж **Фиг. N31**).



Фиг. N32: Изключвателна характеристика на автоматичен прекъсвач Compact NS с електронен блок за управление STR



Фиг. N33: Изключвателна характеристика на автоматичен прекъсвач Multi 9 крива D



Фиг. N31: Намагнитващ ток на трансформатор при включване

Амплитудата на токовия импулс зависи от следните параметри:

- големината на напрежението в момента на включване на трансформатора;
- големината и полярността на остатъчния поток в магнитопровода на трансформатора;
- характеристиките на товара, свързан към трансформатора.

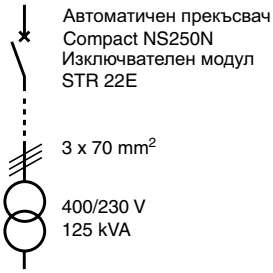
Първият пик на тока може да стигне стойност (10…15) пъти по-голяма от номиналния ток, а за трансформатор с малка мощност (S < 50 kVA) – (20…25) пъти по-голяма от номиналния ток. Такъв преходен ток бързо намалява с времеконстанта на затихване θ, от няколко ms до няколко десетки ms.

3.2 Защита на захранващата верига на трансформатор HH/HH

Устройствата за защита на захранващите вериги на трансформаторите HH/HH трябва да предотвратяват възможност за неправилно заработване поради пикове на намагнитващия ток, посочен по-горе. Затова е необходимо да се използва следното:

- селективни автоматични прекъсвачи (с времезакъснение) от типа Compact NS STR (виж **Фиг. N32**) или
- автоматични прекъсвачи с много голяма настройка на електромагнитния изключвател от типа Compact NS или Multi 9, крива D (виж **Фиг. N33**).

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. N34 : Пример

Пример

Трифазна верига с Un = 400 V захранва трансформатор с параметри: Sn = 125 kVA, Un1 / Un2 = 400 V / 230 V и In = 180 A. Първият пик на намагнитващия ток може да достигне 12In, т.е. I1 = 12 x 180 = 2160 A. Този ударен ток съответства на ефективна стойност 1530 A.
Автоматичният прекъсвач тип Compact NS 250N с настройки Ir = 200 A и Im = 8 x Ir = 1600 A, е подходящ за защитно устройство.

Специфичен случай: Защита срещу претоварване, монтирана на вторичната намотка на трансформатора (виж **Фиг. N34**)

Предимството на защитата срещу претоварване, монтирана на вторичната намотка е в това, че защитата срещу късо съединение в първичната намотка може да има настройка за голям ток на заработване. Като алтернативен вариант може да се използва автоматичен прекъсвач тип MA (само с електромагнитен изключвател). Обаче, настройката на защитата срещу късо съединение в първичната намотка трябва да осигури достатъчна чувствителност, гарантираща работата в случай на късо съединение във вторичната намотка на трансформатора.

Забележка: Защитата на първичната намотка понякога се осъществява от стопяеми предпазители от типа aM. Тази практика им два недостатъка:

- стопяемите предпазители трябва да бъдат оразмерени за значителен ток (минимум четири пъти по-голям от номиналния ток на трансформатора);
- за осигуряване изключване на трансформатора от захранващия източник на страната първична намотка, заедно с предпазителите трябва да се използват товарен прекъсвач или контактор.

3.3 Типови електротехнически характеристики на трансформатори HH/HH, за честота 50 Hz

Трифазен трансформатор																								
Номинална мощност, kVA	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800
Загуби на празен ход, W	100	110	130	150	160	170	270	310	350	350	410	460	520	570	680	680	790	950	1160	1240	1485	1855	2160
Общи загуби, W	250	320	390	500	600	840	800	1180	1240	1530	1650	2150	2540	3700	3700	5900	5900	6500	7400	9300	9400	11400	13400
Напрежение на късо съединение, %	4.5	4.5	4.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5	5	4.5	5	5	5.5	4.5	5.5	5	5	4.5	6	6	5.5	5.5

Еднофазен трансформатор															
Номинална мощност, kVA	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	
Загуби на празен ход, W		105	115	120	140	150	175	200	215	265	305	450	450	525	635
Общи загуби, W	400	530	635	730	865	1065	1200	1400	1900	2000	2450	3950	3950	4335	
Напрежение на късо съединение, %	5	5	5	4.5	4.5	4.5	4	4	5	5	4.5	5.5	5	5	

3.4 Защита на трансформатори HH/HH, използващи автоматични прекъсвачи на Schneider Electric

Автоматичен прекъсвач тип Multi 9

Номинална мощност на трансформатор, kVA			Автоматичен прекъсвач крива D или K	Номинален ток , A
Еднофазен 230/240 V	Трифазен 230/240 V Еднофазен 400/415 V	Трифазен 400/415 V		
0.05	0.09	0.16	C60, NG125	0.5
0.11	0.18	0.32	C60, NG125	1
0.21	0.36	0.63	C60, NG125	2
0.33	0.58	1.0	C60, NG125	3
0.67	1.2	2.0	C60, NG125	6
1.1	1.8	3.2	C60, C120, NG125	10
1.7	2.9	5.0	C60, C120, NG125	16
2.1	3.6	6.3	C60, C120, NG125	20
2.7	4.6	8.0	C60, C120, NG125	25
3.3	5.8	10	C60, C120, NG125	32
4.2	7.2	13	C60, C120, NG125	40
5.3	9.2	16	C60, C120, NC100, NG125	50
6.7	12	20	C60, C120, NC100, NG125	63
8.3	14	25	C120, NC100, NG125	80
11	18	32	C120, NC100, NG125	100
13	23	40	C120, NG125	125

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Защита на трансформатори НН/НН

Автоматични прекъсвачи тип Compact NS100…NS250 с термомагнитна защита TM-D

Номинална мощност на трансформатор, kVA			Автоматичен прекъсвач	Изключвател
Еднофазен 230/240 V	Трифазен 230/240 V Еднофазен 400/415 V	Трифазен 400/415 V		
3	5…6	9…12	NS100N/H/L	TM16D
5	8…9	14…16	NS100N/H/L	TM25D
7…9	13…16	22…28	NS100N/H/L	TM40D
12…15	20…25	35…44	NS100N/H/L	TM63D
16…19	26…32	45…56	NS100N/H/L	TM80D
18…23	32…40	55…69	NS160N/H/L	TM100D
23…29	40…50	69…87	NS160N/H/L	TM125D
29…37	51…64	89…111	NS250N/H/L	TM160D
37…46	64…80	111…139	NS250N/H/L	TM200D

Автоматични прекъсвачи тип Compact NS100…NS1600 и Masterpact с електронна защита STR или Micrologic

Номинална мощност на трансформатор, kVA			Автоматичен прекъсвач	Изключвател	Настройка Ir max
Еднофазен 230/240 V	Трифазен 230/240 V Еднофазен 400/415 V	Трифазен 400/415 V			
4…7	6…13	11…22	NS100N/H/L	STR22SE 40	0.8
9…19	16…30	27…56	NS100N/H/L	STR22SE 100	0.8
15…30	5…50	44…90	NS160N/H/L	STR22SE 160	0.8
23…46	40…80	70…139	NS250N/H/L	STR22SE 250	0.8
37…65	64…112	111…195	NS400N/H	STR23SE / 53UE 400	0.7
37…55	64…95	111…166	NS400L	STR23SE / 53UE 400	0.6
58…83	100…144	175…250	NS630N/H/L	STR23SE / 53UE 630	0.6
58…150	100…250	175…436	NS800N/H - NT08H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1
74…184	107…319	222…554	NS800N/H - NT08H1 - NW08N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1
90…230	159…398	277…693	NS1000N/H - NT10H1 - NW10N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1
115…288	200…498	346…866	NS1250N/H - NT12H1 - NW12N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1
147…368	256…640	443…1,108	NS1600N/H - NT16H1 - NW16N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1
184…460	320…800	554…1,385	NW20N1/H1	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1
230…575	400…1,000	690…1,730	NW25N2/H3	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1
294…736	510…1,280	886…2,217	NW32N2/H3	Micrologic 5.0/6.0/7.0	1

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Осветителни вериги

От общото количество електроенергия, потребявано в индустрията и сградите, за осветление, като източник на комфорт и производителност, се използва съответно 15 % и 40 %. Качеството на осветлението (устойчивост и непрекъснатост) зависи от качеството на електрическата енергия, потребявано за тази цел. При това, подаването на електроенергия в осветителните мрежи има голямо значение.
По-долу се предлага анализ на различни технологии за изработване на лампи, който може да бъде полезен при разработване и подпомагане избора на съответни средства за защита. Обсъждат се типични характеристики на осветителни вериги и тяхното влияние върху устройствата за управление и защита. Посочват се препоръки при по-сложни варианти за реализация на осветителни вериги.

4.1 Технологии за изработване на лампи

Изкуствена светлина може да бъде създадена с помощта на електрическа енергия на два принципа: топлинно излъчване и електролуминесценция.
Топлинното излъчване е излъчване на светлина чрез нагряване. Най-простият пример е метална жичка, нагрята до бяло състояние при протичане на електрически ток. Получената енергия се преобразува в Джаулова топлина и светлинен поток.
Луминесценцията е процес на излъчване от материала на видими или почти видими вълни. Газовете (или парите), в които се развива електрически разряд, излъчват светлина (електролуминесценция на газове).
Тъй като газът не пропуска електрически ток при нормална температура и налягане, разрядът се предизвиква от генерирани заредени частици, които йонизират газа. Съставът, налягането и температурата на газа определя спектъра на видимото лъчене.
Фотолуминесценцията е луминесценция на материала, подложен на въздействие на лъчения от видимия или почти видимия спектър (ултравиолетово, инфрачервено). Явлението, при което веществото поглъща ултравиолетови лъчи и изпуска видими лъчения, което се прекратява след кратък интервал от отнемане на напрежение, се нарича флуоресценция.

Лампи с нажежаема жичка

Лампите с нажежаема жичка са исторически най-старите и най-често използваните средства за осветление.

Те са основани на принципа на нагряване на жичка във вакуум или в неутрална среда, които предотвратяват изгарянето ѝ.

Различават се два типа лампи:

- Стандартни лампи

Те имат волфрамова жичка и са запълнени с инертен газ (азот и аргон или криптон).

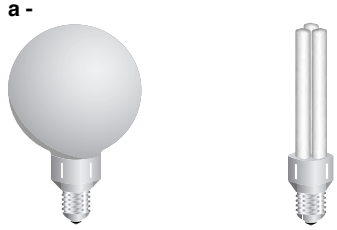
- Халогенни лампи

Те имат волфрамова жичка, но са запълнени с халогенен състав и инертен газ (криптон или ксенон). Хомогенният състав осигурява възстановяване на жичката, което повишава срока на служба на лампите и предотвратява тяхното почерняване. Освен това, той осигурява повишена температура на жичката и като следствие повишена светимост за лампи с малък размер.
Основните недостатъци на нажежаемите лампи са в голямото топлоотделяне, което определя техния малък светлинен добив.

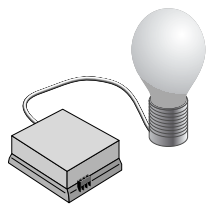
Луминесцентни лампи

Към тази група се отнасят тръбни и компактни луминесцентни лампи. Те са известни като живачни лампи с ниско налягане.
В тръбните луминесцентни лампи електрическият разряд се предизвиква от взаимодействие на електрони с йони на живачни пари, в резултат на което се получава ултравиолетово излъчване поради активирането на живачните атоми. Луминесцентният материал, с който е покрита вътрешната страна на тръбата, преобразува това излъчване във видима светлина.
Тръбните луминесцентни лампи отделят по-малко топлина и имат по-голям срок на служба от лампите с нажежаема жичка. За тях обаче се изисква запално устройство, наречено стартер, и устройство (баластно съпротивление) за ограничаване тока на дъгата след запалване. То обикновено представлява дросел, свързан последователно на лампата.
Компактните луминесцентни лампи са основани на същия принцип както и тръбните луминесцентни лампи. Функциите на стартер и баластно съпротивление се изпълняват от електронна верига (вградена в лампата), което позволява да се използват тръби, оформени като спирала.
Компактните луминесцентни лампи (виж **Фиг. N35**) са разработени, за да заменят лампите с нажежаема жичка. Те осигуряват значителна икономия на електрическа енергия (15 W срещу 75 W при еднакво ниво на яркост) и имат увеличен срок на служба.
Лампите, известни като „индукционни или безелектродни" работят на принципа на йонизация на газ в тръба чрез електромагнитно поле с много висока честота (до 1 GHz). Техният срок на служба може да достигне 100 000 h.

a -

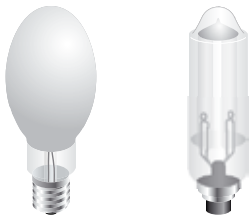


b -



Фиг. N35: Компактни луминесцентни лампи: а – стандартни; б – високочестотни газоразрядни (индукционни)

© Schneider Electric - всички права запазени



Фиг. N36: Газоразрядни лампи

Газоразрядни лампи (виж Фиг. N36)
Светлината се излъчва чрез електрически разряд между електроди, разположени в газова среда на кварцова колба. Всички тези лампи изискват баластно съпротивление за ограничаване на тока на електрическата дъга. Разработени са редица технологии за различни области на приложения.
Натриеви лампи с ниско налягане.
Те имат най-висок светлинен добив, но при много ниско цветопредаване, тъй като осигуряват само монохроматично оранжево лъчение.
Натриевите лампи с високо налягане излъчват бяла светлина с оранжев оттенък.
В живачните лампи с високо налягане електрическият разряд става в кварцова или керамична колба при високи налягания. Тези лампи се наричат „луминесцентни живачни разрядни лампи". Те излъчват характерна синкаво-бяла светлина.
Металхалогенните лампи се произвеждат по една от последните технологии. Те осигуряват широк спектър от цветове. Използването на керамични тръби осигурява повишен светлинен добив и подобрено цветопредаване.

Светлоизлъчващи диоди (LED)
Принципът на работа на светодиодите е в излъчване на светлина от полупроводник при протичане на електрически ток през него. Светодиодите намират широко приложение в многобройни области. Последната разработка на бели или сини диоди с висок светлинен добив, открива нови перспективи, особено за сигнализация (улични светофари, указатели на изход или аварийно осветление).
Светодиодите са устройства за ниско напрежение и ток и са подходящи за акумулаторно захранване. Използва се инвертор за захранване на линията.
Предимство на светодиодите е тяхното ниско електропотребление. В резултат, те работят при много ниска температура, което им осигурява продължителен срок на служба. Обаче стандартният светодиод има ниска яркост. При това, за осветителна уредба с висока мощност е необходим голям брой светодиоди, свързани последователно или паралелно (виж **Табл. N37**).

Таблица N37: Употреба и технически характеристики на различни видове лампи

Тип на лампата	Област на приложение	Предимства	Недостатъци
Стандартна лампа с нажежаема жичка	- Битово осветление - Локално декоративно осветление	- Директно свързване без междинна апаратура - Ниска цена - Компактност - Мигновено запалване - Добро цветопредаване	- Малък светлинен добив и високо електропотребление - Значително топлоотделяне - Малък срок на служба
Халогенна лампа	- Спот (насочено) осветление - Интензивно осветление	- Директно свързване - Ефективност - Превъзходно цветопредаване	- Среден светлинен добив
Луминесцентна тръба	- Цехове, офиси, работилници - Външно осветление	- Голям светлинен добив - Средно цветопредаване	- Малка яркост от една тръба - Чувствителност към ниски температури
Компактна луминесцентна лампа	- Битово осветление - Офиси - Замяна на лампи с нажежаема жичка	- Добър светлинен добив - Добро цветопредаване	- Висока първоначална инвестиция в сравнение с лампите с нажежаема жичка
Живачна лампа с високо налягане	- Работилници, зали, хангари - Заводски цехове	- Добър светлинен добив - Добро цветопредаване - Компактност - Голям срок на служба	- Време за включване на осветлението от порядъка на няколко минути
Натриева лампа с високо налягане	- Външно осветление - Големи зали	- Много добър светлинен добив	- Време за включване на осветлението от порядъка на няколко минути
Натриева лампа с ниско налягане	- Външно осветление - Аварийно осветление	- Добра видимост в мъгла - Икономичност	- Време за включване на осветлението от порядъка на пет минути - Ниско цветопредаване
Металхалогенна лампа	- Големи площи - Зали с високи тавани	- Добър светлинен добив - Добро цветопредаване - Голям срок на служба	- Време за включване на осветлението от порядъка на няколко минути
Светодиодна лампа (LED)	- Сигнализация (трицветни светофари, указатели на изход и аварийно осветление)	- Нечувствителност към циклите включване – изключване - Малко електропотребление - Ниска температура	- Ограничен брой на цветове - Ниско ниво на яркост от една лампа

Тип на лампата	Мощност, W	КПД (lm/W)	Срок на служба, h
Стандартна лампа с нажежаема жичка	3 – 1,000	10 – 15	1,000 – 2,000
Халогенна нажежаема лампа	5 – 500	15 – 25	2,000 – 4,000
Луминесцентна тръба	4 – 56	50 – 100	7,500 – 24,000
Компактна луминесцентна лампа	5 – 40	50 – 80	10,000 – 20,000
Живачна лампа с високо налягане	40 – 1,000	25 – 55	16,000 – 24,000
Натриева лампа с високо налягане	35 – 1,000	40 – 140	16,000 – 24,000
Натриева лампа с ниско налягане	35 – 180	100 – 185	14,000 – 18,000
Металхалогенна лампа	30 – 2,000	50 – 115	6,000 – 20,000
Светодиодна лампа (LED)	0.05 – 0.1	10 – 30	40,000 – 100,000

© Schneider Electric - всички права запазени

4.2 Електротехнически характеристики на лампи

Лампи с нажежаема жичка с директно захранване

Поради много високата температура на жичката (до 2500 °C), нейното съпротивление зависи от състоянието на лампата – включено или изключено. Тъй като съпротивлението ѝ в студено състояние е малко при включване се получава токов импулс, който може да надхвърли (10…15) In в продължение на части от ms или дори няколко ms.

Това ограничение влияе върху използването на стандартни и халогенни лампи. То налага изискването за намаляване на максималния брой лампи, които могат да се захранват през такива устройства, като импулсни релета за дистанционно управление, модулни контактори и релета за сборни шини.

Халогенни лампи за свръхниско напрежение (ELV)

■ Някои халогенни лампи с малка мощност работят при захранване със свръхниско напрежение (ELV) 12 или 24 V, получавано от трансформатор или електронен преобразувател. При захранване през трансформатор процесът на намагнитване се усилва с изменение съпротивлението на жичката при включване. Токът при включване може да достигне (50…75) In в продължение на няколко ms. Употребата на светлинен регулатор (димер), монтиран пред лампата, позволява да се намали чувствително това ограничение.

■ Електронните преобразуватели със същата номинална мощност са много по-скъпо решение в сравнение с използването на трансформатор. Този икономически недостатък може да се компенсира за сметка на удобството при монтажа. Поради по-ниското топлоотделяне на преобразувателите те могат да се монтират върху запалителна основа. Освен това, като правило, те имат вградена температурна защита.

Новите халогенни лампи за ELV се предлагат на пазара с трансформатор, вграден в техния цокъл. Те могат да бъдат захранени непосредствено от мрежата НН и могат да заменят стандартни лампи без някакви специални приспособления.

Регулиране на светлината на лампи с нажежаема жичка

Такова регулиране може да се осъществи чрез изменение на напрежението, подавано на лампата.

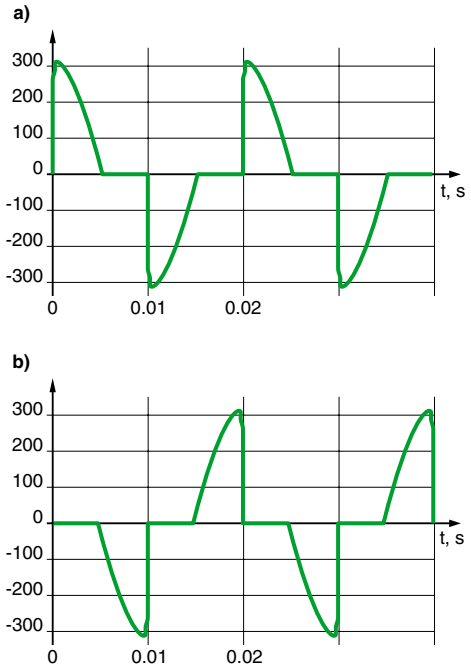
Напрежението обикновено се регулира чрез специално устройство, т.нар. Triac димер, чрез изменение ъгъла на отпушване на симистор. Формата на вълната на напрежение, подавано на лампата, е показана на **Фиг. N38a**. Този метод, известен като „управление с отпушване”, може да се използва за захранване на активни или индуктивни вериги.

Друг метод, подходящ за захранване на капацитивни вериги, е разработен на основата на използване на електронни компоненти MOS и IGBT. При този метод се изменя напрежението чрез блокиране на тока до завършване на полупериода (виж **Фиг. N38b**). Този метод е известен като „управление със запушване”.

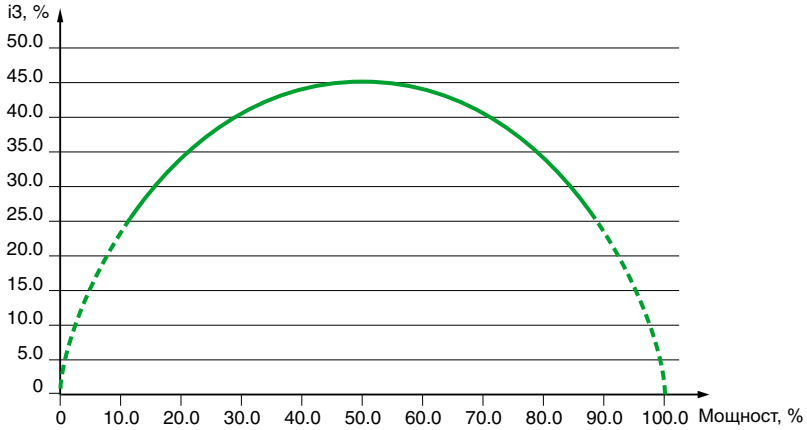
Постепенното включване на лампи може също да намали дори да отстрани импулсния ток при запалване.

При използване на електронна комутация формата на тока през лампата се изкривява и се генерират хармонични съставящи. Преобладават хармоници от ред 3-ти. Изменението на хармоничните съставящи на тока от ред 3-ти, в %, спрямо основния ток (при максимална мощност) е показано на **Фиг. N39**.

Трябва да се отбележи, че на практика мощността, подавана на лампата през димер може да се изменя само в диапазона (15…85)% от Pmax на лампата.



Фиг. N38: Форма на напреженовата вълна, подавана през електронен регулатор при 50 % от максималното напрежение при използване на: a) метод за „управление с отпушване”; b) метод за “управление със запушване”.



Фиг. N39: Зависимост между хармоничните съставящи на тока от ред 3-ти и мощността, подавана през електронен регулатор към лампа с нажежаема жичка

© Schneider Electric - всички права запазени

Съгласно стандарт IEC 61000-3-2, регламентиращ граничното съдържание на хармониците за електрически или електронни системи при In ⩽ 16 A, се използват следните правила:

- автономните електронни светлинни регулатори за лампи с нажежаема жичка с Pn ⩽ 1 kW не се ограничават по отношение на хармоничните съставящи;
- в останалите случаи или за светлинни уредби с лампи с нажежаема жичка с вграден димер или димер, вграден в обвивката, максималният допустим хармоничен ток от ред 3-ти е 2.30 A.

Луминесцентни лампи с магнитно баластно съпротивление

Луминесцентните тръби и газоразрядните лампи изискват ограничаване интензивността на дъгата. Това ограничаване се изпълнява чрез дросел (магнитно баластно съпротивление), включен последователно с лампата (виж **Фиг. N40**).

Тази схема се използва най-често в жилищни помещения с ограничен брой на тръбите. В този случай не се налагат особени ограничения на прекъсвачите.

Електронните светлинни регулатори са несъвместими с магнитните баластни съпротивления – при отсъствие на напрежение се прекъсва разряда и това предизвиква пълно изключване на лампите.

Стартерът изпълнява двойна функция. Той предварително нагрява електродите на тръбата и след това генерира високо напрежение за запалване на тръбата. Такова повишаване на напрежението се създава чрез отваряне на контакта (управляван от топлинен превключвател), който прекъсва протичането на тока в магнитното баластно съпротивление.

При работа на стартера (приблизително 1 s) токът, потребяван от осветителя е приблизително два пъти по-голям от номиналния ток.

Тъй като токът, потребяван от тръбата с баластно съпротивление е предимно индуктивен, коефициентът на мощност е малък (средно 0.4 … 0.5). В уредбите, съдържащи голям брой тръби е необходимо да се осигури компенсация за подобряване фактора на мощността.

За големи осветителни уредби, единственото възможно решение, е централизирана компенсация с помощта на кондензаторни батерии. Но, често такава компенсация се осъществява при всяко осветително тяло чрез подходящи схеми (виж **Фиг. N41**).

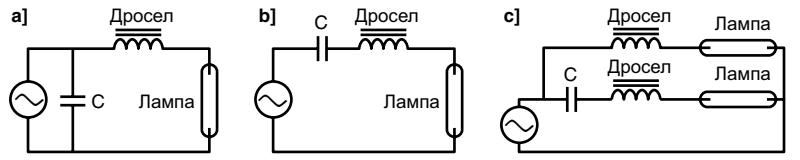
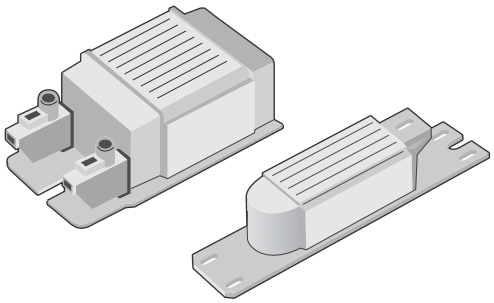


Схема за компенсация	Област на приложение	Забележки
Без компенсация	Жилищни помещения	Едно свързване
Паралелна [a]	Офиси, работилници, универсални магазини	Риск от големи токове за управляващите устройства
Последователна [b]		Избор на кондензатори с високо работно напрежение (450…480) V
Двойно последователна [c]		Избягване на трептения

Фиг. N41: Различни схеми за компенсация: a – паралелна; b – последователна; c - двойно последователна



Фиг. N40: Външен вид на дросел

Компенсиращите кондензатори се оразмеряват така, че общият фактор на мощността да бъде по-голям от 0.85. В повечето случаи на паралелна компенсация техният капацитет е средно 1 μF за активна мощност 10 W, за лампа от произволен вид. Тази компенсация обаче е несъвместима с електронните светлинни регулатори - димери.

Ограничения, влияещи на компенсацията

Схемата за паралелна компенсация налага ограничения върху запалването на лампата. Тъй като кондензаторът първоначално е разреден, при включване се наблюдава повишена консумация на тока. Освен това възникват пренапрежения поради колебания във веригата, съдържаща кондензатор и индуктивност.

Следващият пример може да се използва за определяне порядъка на отделните величини.

© Schneider Electric - всички права запазени

Пример

Разглежда се осветителна уредба с 50 луминесцентни лампи. Всяка лампа е с мощност 36 W:

- сумарната активна мощност е Pn = 1800 W;
- сумарната пълната мощност е Sn = 2 kVA;
- сумарният ефективен ток е 9 A;
- токовият импулс е 13 A.

Уредбата съдържа:

- кондензатори със сумарен капацитет: C = 175 μF
- входна индуктивност (съответстваща на тока на късо съединение 5 kA) с L = 150 μH

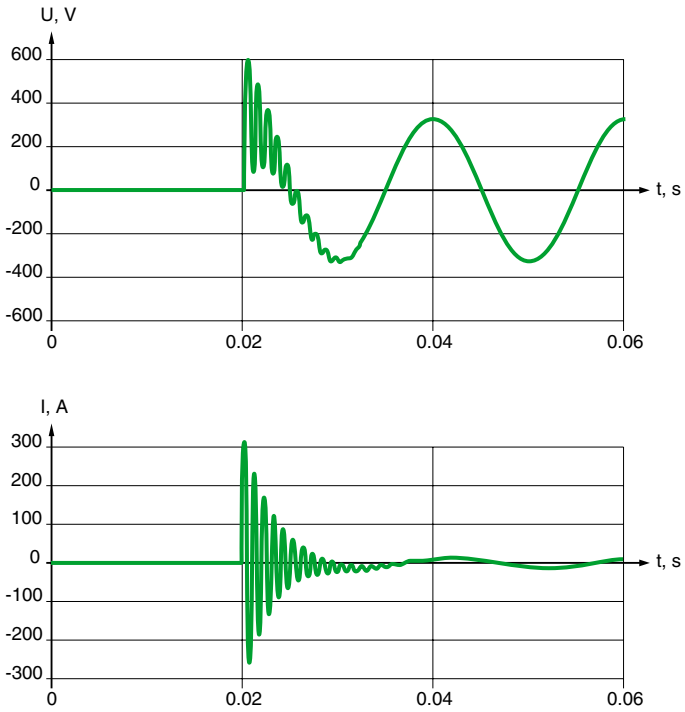
Максималният импулс на тока при включване е:

$$Ic = V_{max}\sqrt{\frac{C}{L}} = 230\sqrt{2}\sqrt{\frac{175 \times 10^{-6}}{150 \times 10^{-6}}} = 350 \text{ A}$$

Следователно, теоретичният импулс на тока при включване е **27 пъти** по-голям от този на тока при нормален режим на работа.

На **Фиг. N42** са показани формата на вълната на напрежението и тока в момента на затваряне на ключ при максимална стойност на захранващото напрежение.

Следователно, съществува вероятност за заваряване на контактите на електромеханични устройства за управление (импулсно реле за дистанционно управление, контактор, прекъсвач) или за разрушаване на полупроводниковите превключватели.



Фиг. N42: Захранващо напрежение и максимален ток при включване

На практика смущенията не са толкова големи поради пълното съпротивление на кабелите.

Запалването на луминесцентните лампи, когато са на групи, налага още едно конкретно ограничаване. При вече включена група от тръби, компенсиращите кондензатори към тези тръби под напрежение, участват в тока на включване в момента на запалване на втората група тръби. Те „усилват" импулсния ток в управляващия ключ в момента на запалване на втората група.

© Schneider Electric - всички права запазени

Таблица N43 е разработена на основата на резултати от измервания и показва стойността на първия импулс на тока за различни стойности на очаквания ток на късо съединение Isc. Както се вижда от таблицата, максималната стойност на тока може да се умножи по 2 или 3, в зависимост от броя на тръбите, използвани в момента на включване на последната група тръби.

Таблица N43: Амплитуда на импулсния ток в управляващия ключ в момента на запалване на втора група от тръби

Включени тръби, бр.	Тръби, които се включват, бр.	Максимален импулсен ток, A		
		Isc = 1,500 A	Isc = 3,000 A	Isc = 6,000 A
0	14	233	250	320
14	14	558	556	575
28	14	608	607	624
42	14	618	616	632

Препоръчва се последователното запалване на всяка група от тръби за намаляване на импулсния ток в главния прекъсвач.

Последните разработки на магнитните баластни съпротивления са известни като дросели с „ниски загуби". Магнитната им верига е оптимизирана, но принципът на работа е същият. Това ново поколение баластни съпротивления намира широко приложение поради влияние на новите норми (Европейска директива, Закон за енергийна политика – САЩ).

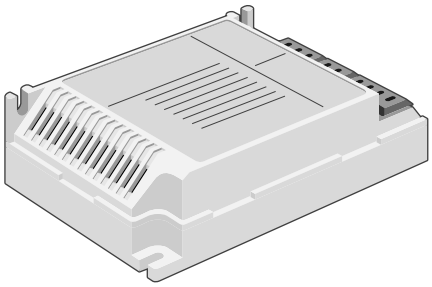
При тези условия използването на електронни баластни съпротивления много скоро ще се увеличи за сметка намаляване използването на магнитни баластни съпротивления.

Луминесцентни лампи с електронно баластно съпротивление

Електронните баластни съпротивления се използват за замяна на магнитните баластни съпротивления при захранване на луминесцентни лампи (включително компактни луминесцентни лампи) и газоразрядни лампи. Те също осигуряват функцията на „стартер" и не изискват никакви средства за компенсация.
Принципът на работа на електроните баластни съпротивление (виж **Фиг. N44**) се заключва в захранване дъгата на лампата през електронно устройство. То генерира напреженова AC вълна с правоъгълна форма с честотата (20 … 60) kHz. Захранването на дъгата с високочестотно напрежение напълно отстранява трептенията и стробоскопичния ефект. Електронното баластно съпротивление работи безшумно.
В продължение на периода за предварително нагряване на газоразрядната лампа баластното съпротивление осигурява увеличаване напрежението на лампата, създавайки по този начин почти постоянен ток. В установен режим то регулира напрежението, подавано на лампата, независимо от всякакви колебания в захранващото напрежение.
Оптималният режим на напрежение на дъгата осигурява икономия на електроенергия (5 … 10) % и увеличава срока на служба на лампата. Освен това, КПД на електронното баластно съпротивление може да надхвърли 93 %, докато средният КПД на магнитните устройства е само 85 %.
Факторът на мощност е висок (по-голям от 0.9).
Електронното баластно съпротивление се използва също и за функция регулиране силата на светлината. Изменението на честотата фактически изменя големината на тока в дъгата и следователно силата на светлината.

Максимален ток на включване

Основното ограничение, налагано от електронното баластно съпротивление към мрежовото захранване е големият максимален ток при включване, свързан с началния товар на изглаждащите кондензатори (виж **Табл. N45**).



Фиг. N44: Електронно баластно съпротивление

Табл. N45: Порядък на максималните стойности на тока на включване в зависимост от използваната технология

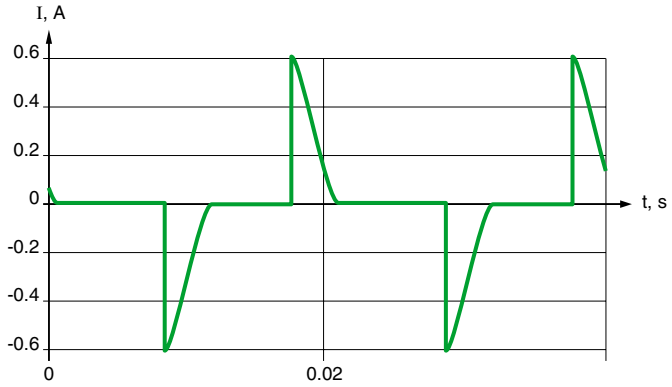
Технология	Максимален ток на включване	Продължителност
Изправител с кондензатор за компенсация фактора на мощността	(30 ... 100) In	⩽ 1 ms
Изправител с дросел	10 до 30 In	⩽ 5 ms
Магнитно баластно съпротивление	⩽ 13 In	(5 ... 10) ms

© Schneider Electric - всички права запазени

На практика, поради пълното съпротивление на проводниците, максималната стойност на тока при включване на група лампи е много по-ниска от посочените стойности – от порядъка на (5 … 10) In за време по-малко от 5 ms. За разлика от магнитните баластни съпротивление, такъв максимален ток не е съпроводен от пренапрежение.

Хармонични съставящи на тока

За баластните съпротивления, свързани с разрядни лампи с голяма мощност, токът потребяван от мрежата има по-малко общо хармонично изкривяване (по-малко от 20 % в общия случай и по-малко от 10 % за най-сложните устройства). И обратно, устройствата, свързани с лампи с малка мощност, в частност компактни луминесцентни лампи потребяват ток с висока степен на изкривяване (виж **Фиг. N46**). Общото хармонично изкривяване може да достигне 150 %. В тези условия ефективната стойност на тока, потребяван от мрежата е 1.8 пъти по-голям от тока, съответстващ на активната мощност на лампата. Това отговаря на фактор на мощност 0.55.



Фиг. N46: Форма на вълната на тока, потребяван от компактна луминесцентна лампа

За разпределяне на товара между различни фази, осветителните вериги обикновено се свързват между фази и неутрала за осигуряване на баланс. В тези условия високото ниво на хармоника от ред 3-ти и хармоници, кратни на 3 може да предизвика претоварване на неутралния проводник. В най-неблагоприятната ситуация, токът в неутралата може да бъде $\sqrt{3}$ Iph.

Граничните стойности на съдържанието на хармоници за електрически и електронни системи се регламентират в стандарт IEC 61000-3-2. За опростяване, граничните стойности за осветително обзавеждане, се посочват само за хармоничните съставящи от ред 3-ти и 5-ти. Те са най-значими в конкретния случай (виж **Табл. N47**).

Табл. N47: Максимален допустим хармоничен ток

Хармонична съставяща, ред	Активна входна мощност Pi > 25W	Активна входна мощност Pi ≤ 25W използва се една от двете гранични стойности:	
	% от основната (първа) хармонична съставяща на тока	% от основната (първа) хармонична съставяща на тока	Хармонична съставяща на тока спрямо активната мощност
3	30	86	3.4 mA/W
5	10	61	1.9 mA/W

Ток на утечка

Електроните баластни съпротивления обикновено имат кондензатори, монтирани между захранващите проводници и земята. Тези кондензатори предизвикват постоянно циркулиращ ток на утечка от порядъка на (0.5 … 1) mA за баластно съпротивление. Като следствие, това ограничава броя на баластните съпротивления, които могат да се захранят през една дефектнотокова защита.

При включване на такива кондензатори могат да възникнат токови импулси, стойността на които може да достигне няколко ампера в продължение на 10 μs. Такъв импулс на тока може да предизвика нежелано заработване на устройствата за изключване.

© Schneider Electric - всички права запазени

Високочестотни смущения

Електронните баластни съпротивления са източници на високочестотни индуктирани и излъчвани електромагнитни смущения.
Много стръмният фронт на напрежение на изхода на електронния баласт предизвиква появяване на импулсни токове през паразитните капацитети към земя. В резултат паразитните токове циркулират в заземяващите и захранващите проводници. Поради високата честота на тези токове възниква и електромагнитно излъчване. За ограничаване на такива високочестотни смущения лампата трябва да се монтира в непосредствена близост до баластно съпротивление за намаляване дължината на най-интензивно излъчващите проводници.

Различни режими на електрозахранване (виж **Табл. N48**).

Табл. N48: Различни режими на електрозахранване

Тип на лампата	Режим на електрозахранване	Други устройства
Стандартна лампа с нажежаема жичка	Директно електрозахранване	Електронен регулатор (димер)
Халогенна нажежаема лампа		
Халогенна лампа за свръхниско напрежение	Трансформатор	Електронен преобразувател
Луминесцентна тръба	Магнитно баластно съпротивление и стартер	Електронно баластно съпротивление Електронен регулатор (димер) + баластно съпротивление
Компактна луминесцентна лампа	Вградено електронно баластно съпротивление	
Живачна лампа	Магнитно баластно съпротивление	Електронно баластно съпротивление
Натриева лампа с високо налягане		
Натриева лампа с ниско налягане		
Металхалогенна лампа		

4.3 Ограничения, свързани с осветителни устройства и препоръки

Фактически потребяван ток от осветителни тела

Вероятност за отказ

При разработване на електрически уредби е необходимо преди всичко да се определят основните параметри. В противен случай е голяма вероятността защитните устройства от претоварване да изключват осветлението, оставяйки хората на тъмно.

Очевидно е, че параметрите трябва да се определят с отчитане потреблението на всички компонентни, особено в случай на луминесцентни осветителни уредби. В този случай мощността потребявана от баластните съпротивления трябва да се сумира с мощността, потребявана от тръбите и лампите.

За луминесцентно осветление, ако не е посочено друго, мощността на магнитните баластни съпротивления може да се приеме за 25 % от мощността на лампите. За електронните баластни съпротивление тази мощност е по-малка, от порядъка на (5…10) %.

Настройката на устройствата за максималнотокова защита трябва да се извърши с отчитане на общата мощност и фактора на мощността, определени за всяка верига.

Максимални токове при включване

Вероятност за отказ

За управление и защита на осветителни вериги се използват устройства като релета, електронни регулатори, импулсни релета за дистанционно управление, контактори или автоматични прекъсвачи.

Основното ограничение, свързано с тези устройства, е импулсният ток при подаване на напрежение. Този импулсен ток зависи от типа на използваните лампи, а също параметрите на електрическата уредба (мощност на силовия трансформатор, дължина на кабелите, брой на лампите) и момента на подаване на напрежение. Големият импулсен ток, макар и кратковременен, може да доведе до заваряване на контактите на електромеханичните устройства за управление или разрушаване на полупроводниковото устройство.

© Schneider Electric - всички права запазени

Две решения

Поради пиковете на тока при включване голяма част от стандартните релета са несъвместими със захранването на осветителните устройства. Обикновено се спазват следните препоръки:

- Ограничаване броя на лампите, присъединявани към едно устройство, така че тяхната мощност да бъде по-малка от максимално допустимата мощност на устройството;
- Проверка с работните гранични стойности, препоръчани от производителите на устройства.

Тези предпазни мерки са много важни при замяна на лампи с нажежаема жичка с компактни луминесцентни лампи.

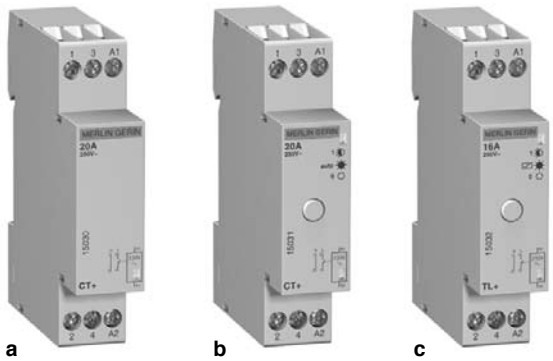
Като пример, **Табл. N49** посочва максималния брой компенсирани луминесцентни тръби, които могат да се управляват с различни устройства при номинален ток 16 A. Трябва да се отбележи, че броят на контролираните лампи е много по-малък от броят, съответстващ на максималната мощност на устройствата.

Таблица N49: Броят на контролираните луминесцентни тръби е много по-малък от броят, съответстващ на максималната мощност на устройствата

Единична мощност на луминесцентна тръба, W	Брой на луминесцентни тръби, съответстващи на мощността P = 16 x 230 = 3700 W	Максимален брой луминесцентни тръби, които могат да се управляват с помощта на		
		Контактори GC16 A CT16 A	Импулсни реле-та за дистан-ционно управле-ние TL16 A	Автоматични прекъсвачи C60-16 A
18	204	15	50	112
36	102	15	25	56
58	63	10	16	34

Съществува метод за ограничаване импулса на тока при подаване на напрежение във верига с капацитивни характеристики (магнитни баластни съпротивления с паралелна компенсация и електронни баластни съпротивления). Той се състои в осигуряване на включването в момент, когато напрежението преминава през нула. Само статичните ключове осигуряват такава възможност (виж **Фиг. N50a**). Този метод е доказал своята ефективност при разработване на нови осветителни вериги.

В последно време са разработени устройства на основата на хибридна технология с използване на статичен ключ (включването в момент, когато напрежението преминава през нула) и електромеханичен контактор, шунтиращ статичния ключ (намаляване на загубите в полупроводниците) (виж **Фиг. N50b**).



Фиг. N50: Стандартен CT контактор (a), CT контактор с ръчно управление, бутон за избор на работен режим и лампа за индикация на избрания работен режим (b), TL импулсно реле за дистанционно управление (c), производство на Schneider Electric

© Schneider Electric - всички права запазени

Максимален брой лампи, включвани към импулсни релета за дистанционен контрол TL16 A и TL32 A (еднофазно захранване 230 V, производство на Schneider Electric)

Таблица N51: Максимален брой на лампи, включвани към импулсно реле за дистанционно управление TL16 A и TL32 A, производство на Schneider Electric

Тип на лампата	Мощност на лампата, W	TL 16A	TL 32A
Стандартна лампа с нажежаема жичка	40	40	106
	60	25	66
	75	20	53
	100	16	42
	200	8	21
	Обща мощност	**1600 W**	**4260 W**
Халогенна нажежаема лампа	300	5	13
	500	3	8
	1000	1	4
	1500	1	2
	Обща мощност	**1500 W**	**4000 W**
Халогенна лампа за свръхниско напрежение	20	70	180
	50	28	74
	75	19	50
	100	14	37
	Обща мощност	**1400 W**	**3700 W**
Некомпенсирана луминесцентна лампа	18	70	186
	36	35	73
	58	21	55
	Обща мощност	**1300 W**	**3400 W**
Компенсирана луминесцентна лампа	18	50	133
	36	25	66
	58	16	42
	Обща мощност	**930 W**	**2400 W**
Луминесцентна лампа с двойна компенсация (дуо схема)	2x18	56	148
	2x36	28	74
	2x58	17	45
	Обща мощност	**2000 W**	**5300 W**
Луминесцентна лампа с електронно баластно съпротивление	16	80	212
	32	40	106
	50	26	69
	Обща мощност	**1300 W**	**3400 W**
Двойна луминесцентна лампа с електронно баластно съпротивление	2x16	40	106
	2x32	20	53
	2x50	13	34
	Обща мощност	**1300 W**	**3400 W**
Натриева лампа с ниско налягане	55	24	63
	90	15	40
	135	10	26
	180	7	18
	Обща мощност	**1300 W**	**3400 W**
Натриева лампа с високо налягане, Металхалогенна лампа	250	5	13
	400	3	8
	1000	1	3
	Обща мощност	**1300 W**	**3400 W**

© Schneider Electric - всички права запазени

Максимален брой лампи, включвани към контактори GC и CT (еднофазно захранване 230 V) на Schneider Electric

Таблица N52: Максимален брой на лампи, включвани към контактори GC и CT

Тип на лампата	Мощност на лампата, W	GC16A CT16A	GC25A CT25A	GC40A CT40A	GC63A CT63A
Стандартна лампа с нажежаема жичка	40	38	57	115	172
	60	30	45	85	125
	75	25	38	70	100
	100	19	28	50	73
	150	12	18	35	50
	200	10	14	26	37
Халогенна нажежаема лампа	300	7	10	18	25
	500	4	6	10	15
	1000	2	3	6	8
Халогенна лампа за свръхниско напрежение	20	15	23	42	63
	50	10	15	27	42
	75	8	12	23	35
	100	6	9	18	27
Некомпенсирана луминесцентна лампа	18	22	30	70	100
	36	20	28	60	90
	58	13	17	35	56
Компенсирана луминесцентна лампа	18	15	20	40	60
	36	15	20	40	60
	58	10	15	30	43
Луминесцентна лампа с двойна компенсация (дуо схема)	2x18	30	46	80	123
	2x36	17	25	43	67
	2x58	10	16	27	42
Луминесцентна лампа с електронно баластно съпротивление	18	74	111	222	333
	36	38	58	117	176
	58	25	37	74	111
Двойна луминесцентна лампа с електронно баластно съпротивление	2x18	36	55	111	166
	2x36	20	30	60	90
	2x58	12	19	38	57
Натриева лампа с ниско налягане	18	14	21	40	60
	35	3	5	10	15
	55	3	5	10	15
	90	2	4	8	11
	135	1	2	5	7
	180	1	2	4	6
Натриева лампа с високо налягане, Металхалогенна лампа	70	6	9	18	25
	150	6	9	18	25
	250	2	4	8	12
	400	2	3	6	9
	1000	1	2	4	6

© Schneider Electric - всички права запазени

Максимален брой баластни съпротивления, включени към прекъсвачи C60N (брой на осветителни тела за фаза, захранване 230/400 V), на Schneider Electric

Посочените данни (виж **Табл. N53**) се отнасят за крива на изключване D (настройка на заработване при максимален ток (10…14) In), позволяващи включване на максимален брой тела с надеждна термична защита и без вероятност за нежелани изключвания при подаване на захранване.

Таблица N53: Максимален брой на баластни съпротивления, присъединявани към автоматични прекъсвачи C60N/C120, производство на Schneider Electric

Обзавеждане	Мощност на луминесцентна тръба, W	Номинален ток на автоматичния прекъсвач, A													
		1	2	3	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Магнитно баластно съпротивление без компенсация	18	4	9	14	29	49	78	98	122	157	196				
	36	2	4	7	14	24	39	49	61	78	98				
	58	1	3	4	9	15	24	30	38	48	60				
Магнитно баластно съпротивление с компенсация	18	7	14	21	42	70	112	140	175	225	281	351	443	562	703
	36	3	7	10	21	35	56	70	87	112	140	175	221	281	351
	58	2	4	6	13	21	34	43	54	69	87	109	137	174	218
	2x18	3	7	10	21	35	58	70	87	112	140	175	221	281	351
	2x36	1	3	5	10	17	26	35	43	56	70	87	110	140	175
	2x58	1	2	3	6	10	17	21	27	34	43	54	68	87	109
Електронно баластно съпротивление	18	5	11	17	35	58	93	117	146	186	230	290	366		
	36	4	8	13	26	43	71	90	113	144	179	226	284		
	58	2	5	10	20	33	58	68	85	109	136	171	215		
	2x18	4	8	13	26	43	71	90	113	144	179	226	184		
	2x36	2	5	8	15	26	44	55	69	88	110	137	173		
	2x58	1	5	5	11	18	30	38	47	61	76	95	120		

Претоварване на неутралния проводник

Вероятност за отказ

В електрическа уредба, включваща голям брой електронни баластни съпротивления, включени между фазите и неутралата, замърсяването с хармоници от ред 3-ти и хармоници кратни на три предизвиква прегряване на неутралния проводник. В **Табл. N54** са показани характерни стойности на хармонични съставящи на тока от ред 3-ти (h3), генерирани от осветлението.

Табл. N54: Характерни стойности на хармонични съставящи на тока от ред 3-ти (H3), генерирани от осветлението

Тип на лампа	Мощност, W	Режим на регулиране	Характерна стойност на h3, %
Лампа с нажежаема жичка с димер	100 W	Димер	от 5 до 45
Халогенни лампи за свръхниско напрежение (ELV)	25 W	Електронен трансформатор за ELV	5
Луминесцентна тръба	100 W	Магнитно баластно съпротивление	10
	< 25 W	Електронно баластно съпротивление	85
	> 25 W	+ компенсация на фактора на мощност (PFC)	30
Газоразрядна лампа	100 W	Магнитно баластно съпротивление	10
		Електронно баластно съпротивление	30

Решение

Преди всичко, използването на неутрален проводник с малко сечение (наполовина на фазовия) е забранено от стандарта IEC 60364, раздел 523-5-3, ако съдържанието на трети хармоник в тока е по-голямо от 10%.

При използване на устройства за максималнотокова защита, е необходимо да се осигурят четириполюсни автоматични прекъсвачи със защитена неутрала (с изключение на схемата TN-C, за която PEN-проводника, обединен неутрален и защитен проводник, не трябва да се изключва).

Този тип устройство може да бъде също така използвано за изключване на всички полюси, което е необходимо при включване на осветителни тела към линейно (междуфазно) напрежение в случай на повреда.

При това, изключващото устройство трябва да изключва веригата на фазата и неутралата едновременно.

© Schneider Electric - всички права запазени

Ток на утечка към земя

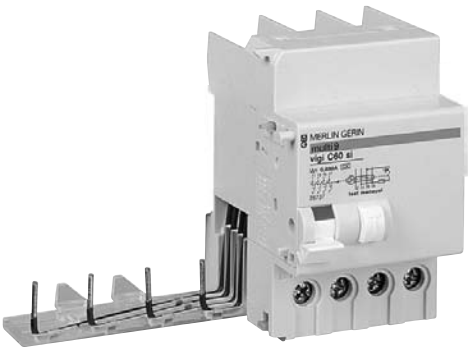
Вероятност за отказ

При включване, заземените капацитети на електронните баласти предизвикват токове на утечка към земя, които могат да бъдат причина за непреднамерено изключване на дефектнотоковите защити.

Две решения

Използването на дефектнотокова защита, устойчива срещу смущения от такъв тип импулсен ток, се препоръчва и дори е необходима при обзавеждане на съществуваща уредба (виж **Фиг. N55**). Много подходящи са дефектнотоковите защити тип „**si**" на Schneider Electric.

За нова уредба е целесъобразно да се използват полупроводникови или хибридни устройства за управление (контактори или импулсни релета за дистанционно управление), които намаляват тези импулсни токове (включване при преминаване напрежението през нула).



Фиг. N55: Външен вид на супер устойчива дефектнотокова защита тип „si" срещу импулсни токове, (производство на Schneider Electric)

Пренапрежения

Вероятност за отказ

Както е посочено в предходните раздели, включването на осветителна верига предизвиква преходно състояние, което се проявява в голям преходен ток. Този ток се съпровожда от силни колебания на напрежението, подавано на клемите на потребителя, включен към мрежата. Тези колебанията на напрежението могат да нарушат работата на чувствителни товари (микрокомпютри, регулатори на температура и др.).

Решение

Препоръчва се да се отделя източника на захранване на такива чувствителни потребители от източника, захранващ веригата за осветление.

Чувствителност на осветителни устройства към резки отклонения на напрежението

Кратковременни прекъсвания

■ Вероятност за отказ

Газоразрядните лампи изискват време за повторно запалване от порядъка на няколко минути след изключване на захранването им.

■ Решение

Трябва да се осигури частично осветление с лампи, позволяващи мигновено включване (лампи с нажежаема жичка или газоразрядни лампи с бързо повторно запалване или луминесцентни лампи), ако това изискват правилата за техника на безопасност. Такава захранваща верига обикновено се различава от основната осветителна верига и изискванията към нея се определят от действащите норми.

Колебания на напрежението

■ Вероятност за отказ

По-голяма част от осветителните устройства (с изключение на лампи с електронно баластно съпротивление) са чувствителни към краткотрайни колебания на напрежението. Такива отклонения предизвикват мигане, което не само увеличава дискомфорта на потребителите, но може да предизвика и значителни проблеми. Тези проблеми зависят от честотата на колебанията и от тяхната големина.

Стандартът IEC 61000-2-2 (1) регламентира максимално допустимата стойност на колебанието на напрежението като функция от броя на колебанията за 1 s или 1 min.

Тези колебания на напрежението са предизвикани главно от мощни потребители с променлив товар (електродъгови пещи, заваръчни апарати, при пускане на електродвигатели и др.).

(1) БДС EN 61000-2-2:2004. Електромагнитна съвместимост (EMC) Част 2-2:Околна среда. Нива на съвместимост за нискочестотни кондуктивни смущаващи въздействия и пренасяне на сигнали в обществени захранващи системи ниско напрежение.

© Schneider Electric - всички права запазени

■ Решение
За намаляване колебанието на напрежението могат да се изпълват специални методи. Препоръчва се, при възможност, да се осигури захранването на осветителни вериги чрез отделни линии. Използването на електронни баластни съпротивления се препоръчва за обекти с високи изисквания (болници, помещения с особено чиста атмосфера, компютърни зали и др.).

Разработки в областта на апаратурата за управление и защита

Електронните светлинни регулатори (димери) намират все по-широко приложение. При тях ограниченията, свързани със запалване на лампи се намаляват, а отклоненията от нормите на работните параметри на апаратурата за управление и защита стават по-малко значими. Внедряват се нови устройства за защита, разработени с отчитане на изискванията към осветителните вериги. Например, автоматични прекъсвачи, производство на Schneider Electric, и RCD със специална защита, такива като разединител с дефектнотокова защита ID и модули Vigi тип “si”. С развитие на апаратурата за управление и защита се осигурява дистанционно управление, 24 часов мениджмънт, регулиране на осветлението, намаляване на електропотреблението и др.

4.4 Осветление на обществени места

Нормално осветление

Нормите, регулиращи минималните изисквания към обществените здания в повечето европейски страни предвиждат следното:
■ Управлението и защитата на уредби за осветление на обществени места трябва да се осигурява отделно от електрическите уредби за осветление на други места;
■ Прекъсването на електрозахранването на крайна осветителна верига, т.е. стопяване на предпазител или изключване на автоматичен прекъсвач не трябва да предизвиква пълно изключване на осветлението на обществени места, предназначени за повече от 50 човека;
■ Използването на дефектнотокова защита (RCD) трябва да бъде разпределено, т.е. трябва да се използват няколко устройства.

Аварийно осветление

Такива схеми включват светлинни указатели на авариен изход и указатели за посока, а също и общо осветление.

Светлинни указатели за авариен изход

В местата, къде се събират повече от 50 човека, трябва да се монтират светлинни указатели, посочващи най-близкия авариен изход.

Общо аварийно осветление

Общото осветление е задължително за местата, където се събират не по-малко от 100 човека (50 човека или повече за подземни обекти).
Аварирането на осветителната разпределителна верига не трябва да нарушава работата на другите вериги:
■ Изисква се пълна селективност на максималнотоковата защита и защитите от ток на утечка (RCD) с осигуряване изключване само на повредената верига.

Захранващи източници за аварийно осветление

Захранващите източници на системите за аварийно осветление трябва да бъдат изчислени за захранване на всички лампи при най-неблагоприятни възможни условия, а също и за време на осветление, необходимо за пълна евакуация от помещенията. Във всеки случай то трябва да бъде не по-малко от 1 час.

Съвместимост между аварийното осветление и други части на уредбата

Източниците за аварийно осветление трябва да осигуряват захранване, изключително за вериги, предназначени само за работа в аварийни ситуации. Резервните системи за осветление трябва да работят за поддържане на осветлението при авария на нормални осветителни вериги, (като правило, в неаварийни ситуации). Но отказът в нормалната осветителна верига трябва да предизвика автоматично включване на системата за аварийно осветление. Централните източници за аварийно захранване могат също така да се използват за резервно захранване при едновременното изпълнение на следните условия:
■ в случай на няколко източника, при отказ на един източник, трябва да остава достатъчна разполагаема мощност за поддържане на системите за безопасност с автоматично изключване на товари с по-ниска категория по осигуреност на електроснабдяване (при необходимост);
■ отказът на един източник или една единица обзавеждане за безопасност не трябва да нарушава работата на всички други устройства за безопасност;
■ всички устройства към системата за безопасност трябва да могат да получават захранване от кой да е източник.

© Schneider Electric - всички права запазени

Класификация на схемите за аварийно осветление

Много страни притежават норми, установени със закон, отнасящи се до безопасността в сгради и обществени места.
Класификацията на такива места позволява да се определят различни типове решения, допустими за използване в схемите за аварийно осветление на различни места. По-долу се посочват четири типа класификации:

Тип A

Лампите получават постоянно захранване при присъствие на хора от отделен централен източник (батерия или акумулатор или генератор със задвижване от дизелов двигател). Такива вериги трябва да бъдат независими от останалите (1).

Тип B

Лампите трябва да получават постоянно захранване при наличие на хора с помощта на следните устройства:

- акумулаторна батерия с постоянно свързани към нея лампи и непрекъснато подзареждане от нормален източник на осветление, или
- генератор, задвижван от двигател, чиито характеристики гарантират възстановяване захранването на основните товари в продължение на 1 s (тъй като агрегата вече работи и захранва аварийно осветление), в случай на отказ на нормалния източник на захранване, или
- автономни блокове, които постоянно се захранват от нормален източник за осветление и продължават да светят (минимум 1 час) след нарушаване на нормалното електрозахранване, благодарение на автономната акумулаторна батерия. Батерията непрекъснато се подзарежда в нормални условия. Такива блокове включват луминисцентни лампи за указатели на изхода и посоката на изхода. Веригите за захранване на всички аварийни лампи трябва да бъдат независими от останалите (1).

Тип C

Лампите могат да не получават захранване при нормални условия. Но когато получават захранване то е от нормалната осветителна система или от източник на аварийно осветление.

- Акумулаторните батерии за аварийно осветление трябва да бъдат постоянно в режим на подзаряд от нормален източник с помощта на автоматични регулатори. Така се осигурява захранване на аварийното осветление в продължение на 1 час.
- Генераторните уредби, задвижвани от двигатели с вътрешно горене, трябва да бъдат способни да поемат пълното натоварване на аварийно осветление от резервно (стационарно) състояние за време по-малко от 15 s след отказа на нормалния захранващ източник. Пускането на двигателя се осигурява от акумулаторна батерия, изчислена за 6 пускания или от система със сгъстен въздух. Минималните запаси от енергия на двете системи за пускане трябва да се поддържат автоматично.
- Авариране на централния източник за аварийно захранване трябва да се открива чрез контролиране на достатъчен брой точки със съответстваща сигнализация за повреда към диспечерския (обслужващия) персонал.
- Автономните блокове могат да светят постоянно или само при отпадане на захранването. Веригите на всички аварийни лампи трябва да бъдат независими от всички останали вериги (2).

Тип D

Този тип аварийно осветление включва преносими осветители, захранвани от батерии (първични или вторични елементи), намиращи се на разположение в обслужващия персонал или хората.

(1) Веригите за типове A и B, в случай на централен източник за аварийно осветление, трябва да бъдат огнеустойчиви. Съединителните муфи в разпределителните табла и др. трябва да преминат изпитване за топлоустойчивост в съответствие с националните стандарти или веригите трябва да се монтират в защитни кабелни канали, жлебове, тръби и др., осигуряващи удовлетворителната работа на веригите в продължение най-малко на 1 час в случай на пожар.

(2) За кабелни вериги тип C не се изисква спазване на правила (1).

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Асинхронни двигатели

Асинхронният (индукционния) двигател е надежден при експлоатация и има широко приложение. От всички двигатели, използвани в индустрията, бита, земеделието и др., 95 % са асинхронни. Затова защитата на такива двигатели е важен въпрос за много области на приложение.

Последиците от неподходяща защита на двигателя се заключват в следното:
- ■ За хората:
  - □ задушаване поради спиране на вентилаторния двигател;
  - □ поражение от електрически ток поради електрически пробив в изолацията на двигателя;
  - □ инцидент, поради невъзможност за спиране на двигателя при авария във веригата за управление, в случай на неправилно изпълнена защита.
- ■ За задвижваните машини и технологичните процеси:
  - □ повреждане на съединителните муфи, валове, оси и др. поради заклинване на ротора;
  - □ производствени загуби;
  - □ забавяни доставки.
- ■ За двигателя:
  - □ изгаряне на намотките поради застопорен ротор;
  - □ разходи за демонтаж и монтаж на двигателя или замяна на двигателя;
  - □ разходи за ремонт на двигателя.

Следователно, безопасността на хората и материалните ценности, и нивата на надеждност и готовност зависят от избора на защитно обзавеждане.

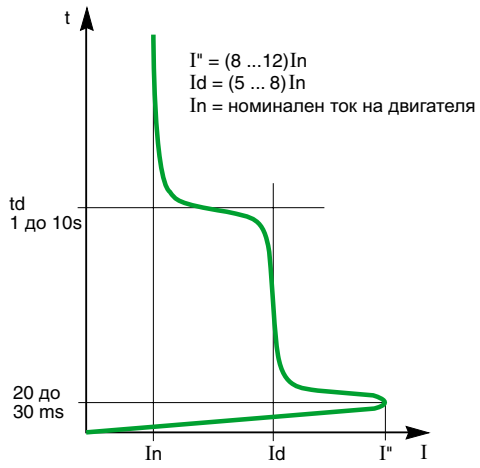
Общите разходи за отстраняване на аварията трябва да бъдат разглеждани и в икономически аспект. Тези разходи се увеличават с нарастване на мощността и габаритите на двигателя и усложняване на достъпа до него за ремонт. Производствените разходи са също важен фактор.

Конкретните работни характеристики на двигателя определят избора на вериги за захранване, необходими за удовлетворителна работа.

Веригите за захранване на двигателя налагат определени изисквания, които нормално не се отнасят към другите (общи) разпределителни вериги. Те се дължат на особените характеристики, типични за двигателя. Например:
- ■ голям пусков ток (виж **Фиг. N56**). Той има предимно реактивен характер и може да бъде причина за значителен пад на напрежение;
- ■ висока честота и голям брой на пусканията;
- ■ защитните устройства трябва да имат работни характеристики, предотвратяващи изключването на двигателя в пусковия период.

5.1 Функции на веригите на двигателя

Схемите за двигател трябва да осигуряват следните функции:
- ■ Основни функции:
  - □ изключване;
  - □ управление на двигателя – местно или дистанционно;
  - □ защита от късо съединение;
  - □ защита от претоварване;
- ■ Допълнителни средства за защита:
  - □ топлинна защита чрез директно измерване температурата на намотките;
  - □ топлинна защита чрез индиректно измерване температурата на намотките;
  - □ непрекъснат контрол на изолационното съпротивление;
  - □ специални функции на защита на двигателя.
- ■ Специални устройства за управление:
  - □ електромеханични пускатели;
  - □ устройства за защита и управление;
  - □ устройства за плавно пускане;
  - □ честотно-регулируеми задвижвания.



Фиг. N56: Изменение на пусковия ток на асинхронен двигател

Основни функции

Изключване

Необходимо е пълно или частично изключване на веригите от захранващата мрежата за осигуряване на персонала при извършване на техническо обслужване. Тази функция се изпълнява от разединители. Могат да се използват и други устройства, предназначени за изключване, например прекъсвач-разединители.

Управление на двигател

Функцията управление на двигател се заключва във включване и изключване на машината. В случай на ръчно управление тази функция може да се изпълни от автоматични или от ръчни прекъсвачи. В случай на дистанционно управление тази функция се изпълнява от контактори, пускатели или устройства за управление и защита.

Функцията управление на двигател може също така да се реализира от:
- ■ защита срещу претоварване;
- ■ допълнителна защита;
- ■ изключване при намаляване на напрежението (изисква се за много машини).

Функцията управление на двигател може също така да се изпълнява и от специално обзавеждане.

© Schneider Electric - всички права запазени

Защита от къси съединения

■ Междуфазно късо съединение

Този тип повреда, вътре в машината, се среща много рядко. Обикновено причина за неговото появяване е механична повреда на кабела, захранващ двигателя.

■ Късо съединение между фаза и земя.

Влошаването на изолационното състояние на намотката е основна причина за този тип повреда. Токът на повреда зависи от схемата на заземяване. За схема TN е характерен много висок ток на повреда и в повечето случаи двигателят аварира. При други схеми на заземяване защитата на двигателя се осигурява чрез защита от земно съединение (земна защита).

При избор на защита от късо съединение се препоръчва да се обърне особено внимание за избягване на внезапни изключвания при пускане на двигателя. Пусковият ток на стандартен двигател е (6 … 8) In. При повреда на машина той достига 15 In. Пусковият ток не трябва да предизвиква заработване на защитата. Освен това, повредата във веригата на двигателя не трябва да нарушава работата на горестоящите вериги. Принципът за селективност на електромагнитната максималнотокова защита се прилага за всички части на уредбата.

Защита от претоварване

Технологичните и механичните претоварвания са основна причина за претоварване на двигателя. Те предизвикват увеличен ток и прегряване на двигателя. Срокът на служба на двигателя може да се съкрати, а в някои случаи той може да бъде повреден. Затова трябва да се открива претоварването на двигателя. Такава защита може да бъде осигурена чрез:

■ Специално реле за термична защита.

■ Специален термомагнитен прекъсвач. Той обикновено се нарича „моторна защита".

■ Допълнителни средства за защита (виж по-долу). Например, топлинни първични преобразуватели или електронно реле за защита от повреда.

■ Електронни регулатори за плавно пускане или регулируеми задвижвания (виж по-долу).

Допълнителни средства за защита

■ Топлинна защита чрез директно измерване температурата на намотката.

Тя се осигурява от първични преобразуватели на температура, вградени в намотките на двигателя и комплектовани с релета.

■ Топлинна защита чрез индиректно измерване температурата на намотката.

Тя се осигурява чрез многофункционално реле, което измерва тока и изчислява характеристиките на двигателя (например, топлинна времеконстанта).

■ Реле за непрекъснат контрол на изолационното съпротивление или диференциално реле за защита от токове с нулева последователност.

То осигурява откриване и защита от ток на утечка към земя и земно съединение, позволяващо да се извършва техническо обслужване преди авариране на двигателя.

■ Специални функции за защита на двигателя.

Такива функции, като защита срещу продължителен пусков процес или застопорен ротор, защита от несиметрия, прекъсване или неправилно редуване на фази, защита от земно съединение, защита от работа без товар, защита от заклинване на ротора (по време на пускане или след това)…; предупреждаваща сигнализация (индикация) за прегряване, комуникация и др., могат да бъдат осигурени от многофункционални релета.

Специални устройства за управление

■ Електромеханични пускатели (звезда-триъгълник, автотрансформатор, реостатни роторни пускатели,…).

Обикновено се използват при пускане на празен ход в продължение на пусковия период (помпа, вентилатор, малка центрофуга, струг и др.).

□ Предимства:

Добро отношение между пусковите момент и ток; силно намаляване на пусковия ток.

□ Недостатъци:

Малък пусков момент, отсъствие на средства за регулиране, изключване на захранването при преходни процеси, необходими са 6 захранващи кабели.

■ Устройства за защита и управление.

Осигуряват основните функции, изброени по-горе в рамките на един блок, а също и няколко допълнителни функции и възможност за предаване на данни. Освен това, такива устройства осигуряват запазване на работоспособността в случай на късо съединение.

■ Регулатори за плавно пускане (софтстартери).

Използват се за помпи, вентилатори, компресори, конвейери.

□ Предимства:

Намаляване пика на тока, на пада на напрежение и на механични напрежения при пускане на двигателя; вградена температурна защита, компактност, възможност за предаване на данни.

□ Недостатъци:

© Schneider Electric - всички права запазени

Малък пусков момент; влошено топлоотдаване.

■ Честотно-регулируеми задвижвания

Те се използват за помпи, вентилатори, компресори, конвейери, машини с голям съпротивителен момент и машини с голям инерционен момент.

□ Предимства

Непрекъснато регулиране на скоростта (обикновено в диапазона от 2 до 230 % от номиналната скорост), възможност за повишаване на скоростта; регулиране на ускорението и спирането; висок момент при пускане и спиране; малък пусков ток; вградена температурна защита; възможност за предаване на данни.

□ Недостатъци

Влошено топлоотдаване, голям обем, висока цена.

5.2 Стандарти

Управлението и защитата на двигателя могат да бъдат постигнати по различен начин:

■ Чрез използване на комбинация от устройства за защита от къси съединения и електромеханични устройства, като:

□ Електромеханични пускатели, отговарящи на изискванията на стандарт IEC 60947-4-1 (1).

□ Полупроводникови пускатели, отговарящи на изискванията на стандарт IEC 60947-4-2 (2).

□ Регулируеми задвижвания, отговарящи на изискванията на стандарт IEC 61800 (3).

■ Чрез използване на едно устройство за управление и контрол, покриващо всички основни функции и отговарящо на стандарт IEC 60947-6-2 (4).

В този документ се разглеждат само схеми на двигател, включващи комбинация от електромеханични устройства, като пускатели и средства за защита от къси съединения. Устройствата, отговарящи на изискванията на стандарт IEC 60947-6-2, полупроводниковите пускатели и регулируемите задвижвания ще бъдат разгледани само за специални приложения.

Схемата на двигателя трябва да отговаря на правилата на IEC 60947-4-1 и преди всичко на:

■ Координацията между устройствата към схемата на двигателя.

■ Класът на изключване на топлинни релета.

■ Категорията на използване на контактори.

■ Координацията на изолация.

Забележка: Първата и последната точка се изпълняват от всички устройства, отговарящи на изискванията на IEC 60947-4-1, тъй като те осигуряват непрекъсната работа.

Стандартизация на групата автоматичен прекъсвач + контактор + термично реле

Категория на използване на контакторите

Стандартът IEC 60947-4-1 посочва категория на използване, което съществено облекчава избора на подходящ контактор за дадена област на приложение. Категориите на използване включват препоръки по:

■ диапазон от функции, които контакторът трябва да може да изпълнява;

■ необходимата изключвателна възможност и максималният ток на включване;

■ стандартни стойности за изпитване при продължителни товари, съгласно категорията на използване.

Таблица N57 дава някои типови примери на категории за използване.

Таблица N57: Категории на използване на контактори

Категория на използване	Характеристики на областта на приложение
AC-1	Неиндуктивни (или малко индуктивни) товари, които имат cos φ ≥ 0.95 (електрически нагреватели, разпределителни мрежи, лампи с нажежаема жичка и др.)
AC-2	Пускане и изключване на колекторни двигатели
AC-3	Пускане и изключване на асинхронни двигатели с късо съединен ротор по време на нормална работа
AC-4	Асинхронни двигатели с късо съединен ротор, работещи в ПВ-режим или в продължителен режим, но спирани с противовключване

Забележка: Тези категории на използване са адаптирани за устройствата, отговарящи на други стандарти. Например, AC 3 става AC 53 за полупроводникови пускатели (IEC 60947-2) и става AC 43 за устройства за управление и защита CPS (IEC 60947-6-2).

(1) БДС EN 60947-4-1:2002. Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 4: Контактори и пускатели за двигатели. Раздел 1: Електромеханични контактори и пускатели за двигатели.
(2) БДС EN 60947-4-2:2000/A2:2007. Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 4-2: Контактори и пускатели за двигатели. Променливотокови полупроводникови контролери и пускатели за двигатели.
(3) БДС EN 61800-1:2003. Системи за задвижвания с регулируема скорост.
(4) БДС EN 60947-6-2:2003/A1:2007. Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 6-2: Многофункционални апарати. Комутационни устройства (или апарати) за управление и защита (CPS).

© Schneider Electric - всички права запазени

Типове съгласуване

За всяка група от устройства се посочва типа на съгласуване в съответствие със състоянието на компонентите след изключване на автоматичния прекъсвач при повреда или изключване на контактора при претоварване

Стандартът IEC 60947-4-1 определя два типа на съгласуване (тип 1 и тип 2), които установяват максимално допустимите граници на влошаване на работните параметри на комутационната апаратура в случай на къси съединения.

Независимо от типа на съгласуване се изисква контакторът или пускателят никога да не представляват заплаха за персонала и за уредбата. По-долу се посочват характеристики за всеки тип:

■ Тип 1

Влошаването на работните характеристики на пускателя е допустимо след къси съединения и работата на пускателя може да бъде възстановена след ремонт или замяна на някои негови части.

■ Тип 2

Вероятност от залепване на контакти на контактор са единствените допустими рискове.

Избор на типа съгласуване

Типът на съгласуване зависи от параметрите на експлоатация и трябва да се избира за удовлетворяване (оптимално) потребностите на потребителя с отчитане стойността на уредбата.

■ За тип 1:

□ квалифицирано техническо обслужване;

□ намаляване обема и цената на комутационната апаратура;

□ непригодност за работа след късо съединение без ремонт или замяна на части.

■ За тип 2:

□ само малък ремонт след късо съединение за следващо използване.

5.3 Области на приложение

Системата за управление и защита на двигателя може да включва 1, 2, 3 или 4 различни устройства, които изпълняват една или няколко функции.

В случай на комбинация от няколко устройства съгласуването между тях е важно за осигуряване на оптимална защита на двигателя.

За защита на двигателя е необходимо да се отчитат много параметри, които зависят от:

■ областта на приложение (тип на задвижвана машина, безопасност на работа, брой на включвания и др.);

■ изискванията за непрекъснатост на работа в зависимост от областта на приложение;

■ стандартите, които трябва да бъдат спазвани за осигуряване на защита и безопасност.

Изисква се осигуряване на разнообразни електротехнически функции:

■ Пускане, нормален режим на работа и спиране без внезапно изключване с изпълнение на изисквания към управление, брой на включвания, изисквания за дълготрайност и правила за техника на безопасност (аварийни спирания), а също защита и на веригите и на двигателят, изключване за осигуряване на безопасност на персонала при извършване на техническо обслужване.

Сред многото възможни методи за защита на двигателя комбинацията автоматичен прекъсвач + контактор + термично реле (1) осигурява много предимства.

Основни схеми за защита: автоматичен прекъсвач + контактор + термично реле

Предимства

Комбинацията от тези устройства опростява монтажа, експлоатацията и техническото обслужване чрез:

■ намаляване обема на техническо обслужване: за автоматичните прекъсвачи се избягва замяната на изгорели предпазители, не се изисква поддържане на резерв от запасни части (с различни размери и тип);

■ подобрява се непрекъснатостта на работа: уредбата може да се включи веднага след отстраняване на повредата и проверка на пускателя;

■ възможност за лесен монтаж на допълнителни устройства, които понякога са необходими за веригите на двигателя;

■ изключването на трите фази е гарантирано (следователно се избягва възможността за еднофазно включване);

■ възможност за изключване на тока при пълен товар (с помощта на автоматичен прекъсвач) в случай на повреда на контактора, например, при заваряване на контактите;

■ блокировка;

■ разнообразни средства за дистанционна индикация;

(1) Комбинацията на контактор с термично реле често се нарича пускател.

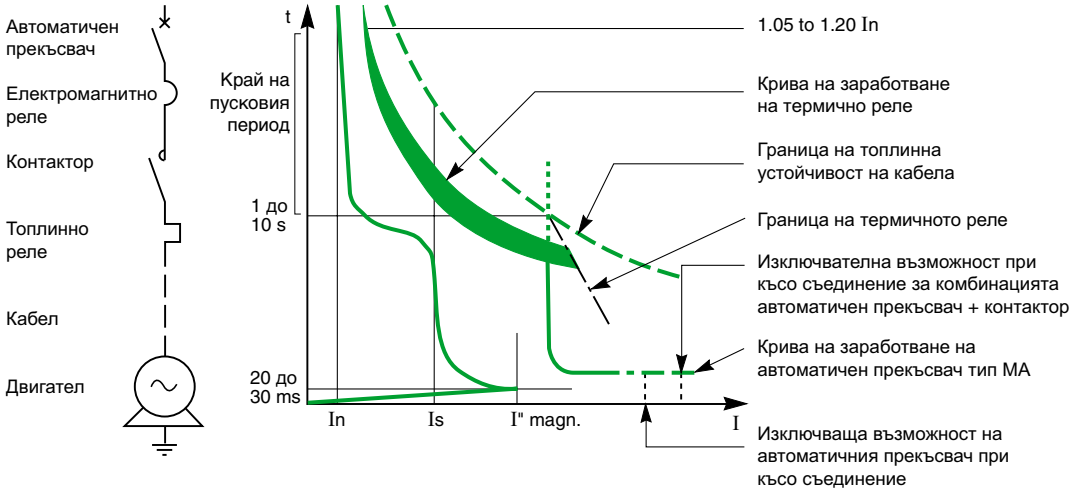
© Schneider Electric - всички права запазени

■ По-добра защита на пускателя в случай на претоварване по ток и по специално при къси съединение през съпротивление (1), съответстващо на ток приблизително 30In на двигателя (виж **Фиг. N58**).

■ Възможност за добавяне на дефектнотокова защита (RCD):

□ предотвратяване на вероятност за пожар (при $I_{\Delta n} \leq 500$ mA);

□ защитен срещу излизане на двигателя от строя (късо съединение между пластините на магнитопровода), в резултат на ранно откриване на токовете на утечка към земя ($I_{\Delta n}$ = 300 mA … 30 A).



Фиг. N58: Криви на изключване на комбинацията автоматичен прекъсвач + контактор + термично реле (1)

Заключение

Комбинацията автоматичен прекъсвач + контактор + термично реле (2) за управление и защита на двигател е много подходяща поради:

■ намаляване обема на необходимото техническо обслужване на уредбата. Като правило, такова намаляване се изисква за предприятия от сферата на обслужване, а също за малки и средни промишлени предприятия.

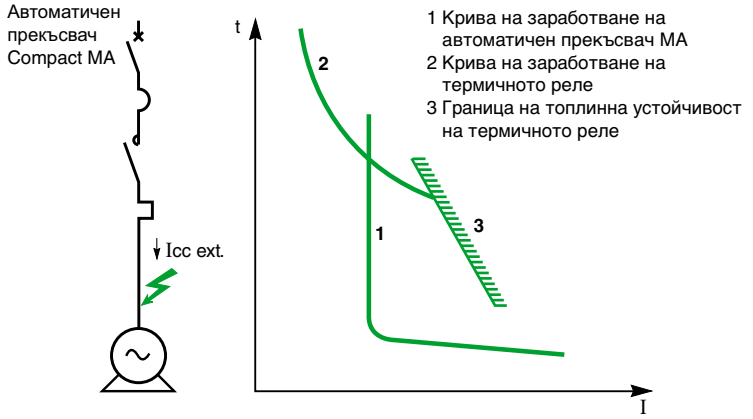
■ допълнителни функции, предвидени от технологично задание.

■ определени изисквания за изключване на товара за извършване на техническо обслужване.

Основни елементи за успешна комбинация автоматичен прекъсвач + пускател

Стандартите точно определят елементите, които трябва да се вземат под внимание за постигане на коректно съгласуване от типа 2:

■ Абсолютна съгласуваност между термичното реле на пускателя и електромагнитния изключвател на автоматичния прекъсвач. На **Фиг. N59** термичното реле е защитено, ако неговата граница на термична устойчивост е разположена надясно от кривата на заработване на електромагнитния изключвател на автоматичния прекъсвач. В случай на моторна защита, с електромагнитно и термично реле, координацията трябва да бъде предвидена в конструкцията.



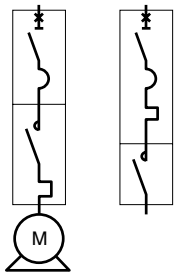
Фиг. N59: Пример за абсолютна съвместимост между термично реле на пускател и електромагнитен изключвател на автоматичен прекъсвач

(1) В повечето случаи късите съединения възникват в двигателя. Токът се ограничава от съпротивлението на кабелите и проводниците към пускателя. Такива къси съединения се наричат къси съединения през съпротивление.

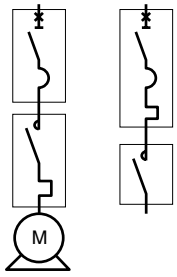
(2) Комбинацията на контактор с термично реле често се нарича пускател.

© Schneider Electric - всички права запазени

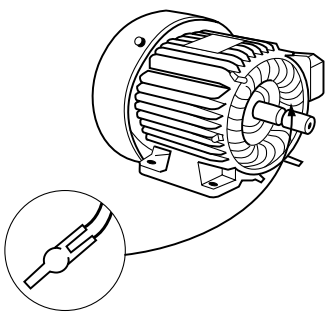
Невъзможно е да се прогнозира изключвателната възможност при късо съединение за групата автоматичен прекъсвач + контактор. Само лабораторни изпитвания, извършвани от производители, позволяват да се определи нейната стойност. Например, Schneider Electric може да предложи таблица с комбинация автоматични прекъсвачи Multi 9 и Compact MA, с различни типове пускатели.



Фиг. N60: Автоматичен прекъсвач и контактор, монтирани в непосредствена близост



Фиг. N61: Автоматичен прекъсвач и контактор, монтирани отделно



Фиг. N62: Защита от прегряване с помощта на топлинни първични преобразуватели

■ Изключвателната възможност при максимален допустим ток за контактора трябва да бъде по-голяма от тока, съответстващ на настройката на електромагнитния изключвател на автоматичния прекъсвач;
■ при късо съединение поведението на контактора и неговото термично реле трябва да съответстват на изискванията за специфичен тип съгласуване.

Изключвателна възможност при късо съединение за комбинация автоматичен прекъсвач + контактор

Изключвателната възможност при късо съединение, която трябва да се сравнява с очаквания ток на късо съединение се определя по следния начин:
■ Като изключвателна възможност на комбинацията автоматичен прекъсвач + контактор, ако автоматичният прекъсвач е разположен в непосредствена близост до контактора (виж **Фиг. N60**), т.е. в една секция на таблото за управление на двигателя. Късото съединение при тази комбинация се ограничава в някаква степен от пълните съпротивления на контактора и на термично реле. Затова, такава комбинация може да се използва във верига, за която очакваното ниво на тока на късо съединение е по-голямо от номиналната изключвателна възможност при късо съединение за автоматичния прекъсвач. Тази възможност често представлява значително икономическо предимство;
■ Или като изключвателна възможност само за автоматичния прекъсвач в случай, когато контакторът е отделен от автоматичния прекъсвач (виж **Фиг. N61**) при съществуване на вероятност от късо съединение между пускателя (или контактора) и автоматичния прекъсвач.

Избор на електромагнитен изключвател с мигновено действие за автоматичния прекъсвач

Настройката на тока на заработване на този изключвател не трябва да бъде по-малка от 12 In, за предотвратяване на внезапно изключване поради 1-ви пик на тока при пускане.

Допълнителни средства за защита

Допълнителните средства за защита включват:
■ първични топлинни преобразуватели в двигателя (сензори в намотки, лагери, охлаждащ въздух и т.н.);
■ многофункционални защитни устройства (съвкупност на функции);
■ устройства за защита при повреда на изолация на работещ двигател или неподвижен двигател.

Топлинни първични преобразуватели

Използват се за откриване на ненормално повишаване на температурата в двигатели чрез директно измерване. Като правило, тези преобразуватели са вградени в статорната намотка (за двигатели НН). Сигналите от преобразувателите се обработват от съответно управляващо устройство, изключващо контактора или автоматичния прекъсвач (виж **Фиг. N62**).

Многофункционално защитно реле на двигател

Многофункционалното защитно реле, свързано с известен брой първични преобразуватели и блокове за индикация, осигурява защита на двигателя и задвижваната машина. То изпълнява защитни функции при:
■ топлинно претоварване;
■ застопорен ротор или продължителен пусков процес;
■ прегряване;
■ небалансирани фазни токове, прекъсване на една фаза, обратно въртене;
■ земно съединение (чрез RCD);
■ празен ход, застопорен ротор при пускане.

Основни предимства:
■ комплексна защита, осигуряваща надежден, ефективен и непрекъснат контрол/управление;
■ ефективен контрол на всички технологични режими на двигателя;
■ сигнализация и индикация;
■ възможност за предаване на данни чрез комуникационни шини.

Пример: Релето LR6, производство на Schneider Electric, с функции за непрекъснат контрол/управление и връзка по шина или блок за контрол LUCM и модул за връзка за TeSys, модел U.

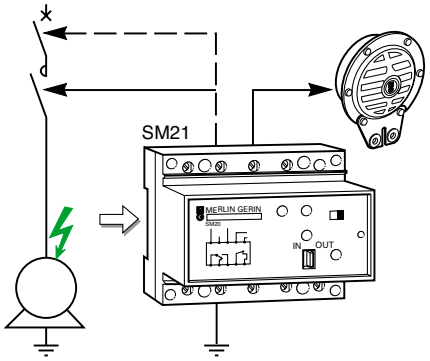
Превантивна защита на неработещи двигатели

Тази защита е свързана с непрекъснат контрол на нивото на изолационно съпротивление на неработещ двигател. Този контрол позволява да се предотвратят отрицателните последици от повреда на изолацията в процеса на работа, включително:
■ отказ при пускане или работа на двигател, използван в аварийни системи;
■ производствени загуби.

Този тип защита е необходим за двигатели към основни и аварийни системи, особено в условията на висока влажност или съдържание на прах. Такава защита предотвратява авариране на двигателя поради земно съединение при пускане (една от най-често срещаните повреди). Тя предупреждава за необходимост от техническо обслужване на двигателя.

© Schneider Electric - всички права запазени

Пример за област на приложение:
Система за противопожарна защита, „спринклерни” помпи, помпи за напояване за сезонна работа и т.н.
Пример: Релето Vigilohm SM21 (производство на Schneider Electric) осигурява непрекъснат контрол върху изолационното съпротивление на двигател. То подава звукова и визуална сигнализация при всяко ненормално намаляване нивото на изолационно съпротивление. Освен това, при необходимост релето може да предотврати всеки опит за пускане на двигателя (виж **Фиг. N63**).



Фиг. N63: Превантивна защита на неработещи двигатели

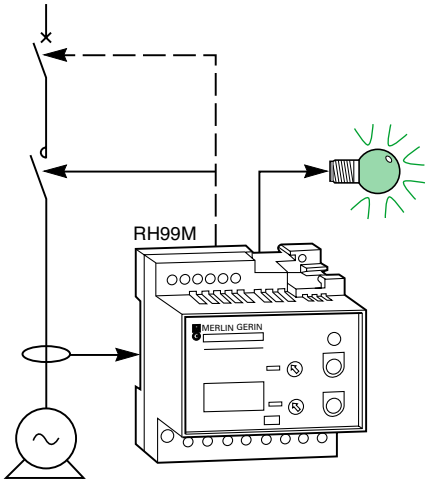
Ограничителни защитни устройства
Дефектнотоковите защити (RCD) могат да притежават висока чувствителност и да откриват ниски стойности на тока на утечка към земя при повреда на изолация (от физическа повреда, замърсяване, висока относителна влажност и т.н.). Някои модели на RCD, със сухи контакти, специално проектирани за такива приложения, осигуряват още:

- Предотвратяване аварирането на двигателя (при перфорация и/или къси съединения в статорния пакет) поради развитие на електрическа дъга към земя. Такова защитно устройство може да открие бавно развиваща се повреда при токове на утечка в диапазона от 300 mA до 30 A с отчитане характеристиките на двигателя (приблизителна чувствителност: 5 % In);
- Намаляване на вероятността за пожар: IΔn ⩽ 500 mA.

Например: Релето RH99M (производство на Schneider Electric) осигурява

(виж **Фиг. N64**):

- Пет нива на чувствителност: IΔn = 0.3, 1, 3, 10 и 30 A;
- Селективност или възможност за отчитане конкретния режим на работа при три времезакъснения: 0, 90 и 250 ms;
- Автоматично изключване при повреда на веригата от токовия трансформатор към релето;
- Защита от нежелани изключвания;
- Защита срещу DC токове на утечка (RCD тип A).



Фиг. N64: Пример за използване на реле RH99M

Ограничаване пада на напрежение на двигател при пускане
За да се пусне двигателя и за да достигне своята нормална честота на въртене за съответно време, неговият пусков момент трябва да бъде по-голям от

© Schneider Electric - всички права запазени

съпротивителния момент поне със 70 %. Обаче, пусковият ток е много по-голям от тока на двигателя при номинален товар. В резултат се наблюдава много голям пад на напрежение, моментът на двигателя значително намалява (моментът на двигателя е пропорционален на U^2), което може да доведе до невъзможност за пускане.

Пример:

- При напрежение 400 V, подадено на клемите на двигателя неговият момент е 2.1 пъти по-голям от съпротивителния момент;
- При пад на напрежение 10 % при пускане момента на двигателя е $2.1 \times 0.9^2 = 1.7$, т.е. 1.7 пъти по-голям от съпротивителния момент. Двигателят нормално достига своята номинална честота на въртене;
- При пад на напрежение 15 % при пускане момента на двигателя е $2.1 \times 0.85^2 = 1.5$, т.е. 1.5 пъти по-голям от съпротивителния момент. Времето за развъртане на двигателя ще бъде по-дълго от нормалното.

Като правило, регламентирания максимален допустим пад на напрежение при пускане на двигателя е 10 %.

5.4 Максимални параметри на двигатели, захранвани от мрежа НН

Смущенията, предизвикани в разпределителните мрежи НН при пускане на мощни двигатели за променлив ток непосредствено в мрежата, могат да създадат значителни проблеми за съседни потребители. Затова, повечето енергосистеми с общо преназначение установяват строги правила, насочени към ограничаване на такива нарушения до допустими нива.
Големината на смущението, създадено от даден двигател зависи от „якостта" на мрежата, т.е. от стойността на тока на късо съединение в съответната точка. Колкото е по-голям токът на късо съединение, толкова е „по-здрава" мрежата и по-малко смущението (има се предвид пада на напрежение), изпитвано от съседните потребители. Типовите стойности на максимално допустимия пусков ток и съответните стойности на максималната номинална мощност за двигатели, директно включени към мрежа са посочени в **Табл. N65** и **Табл. N66** (тези стойности се използват в разпределителните мрежи на много страни).

Съществуват други (но като правило с по-голяма себестойност) алтернативни методи за пускане, които намаляват големите пускови токове на двигателите при директно включване към мрежата, до приемливи нива. Например, превключватели звезда-триъгълник, колекторни двигатели, електронни устройства за плавен пуск и др.

Таблица N65: Максимални допустими стойности на пусковия ток за двигатели НН, директно включени към мрежа 230/240 V

Тип на двигателя	Разположение	Максимален пусков ток, A	
		Въздушна мрежа	Подземна кабелна мрежа
Еднофазен	Жилищни помещения	45	45
	Други помещения	100	200
Трифазен	Жилищни помещения	60	60
	Други помещения	125	250

Таблица N66: Максимални допустими стойности на номинална мощност за двигатели НН, директно включени към мрежа

Разположение		Тип на двигателя		
		Еднофазен 230 V, kW	Трифазен 400 V	
			Директно включване към мрежа при пълен товар, kW	Други методи за включване, kW
Жилищни помещения		1.4	5.5	11
Други	Въздушна линия	3	11	22
	Подземна кабелна линия	5.5	22	45

5.5 Компенсация на реактивна мощност (компенсация на фактора на мощността)

Методът за коригиране на коефициента на мощност се разглежда в Глава L.

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава P
Жилищни и други специални помещения

Съдържание

1 Жилищни и други подобни помещения **P2**

1.1 Общи положения P2
1.2 Елементи на разпределителни табла P2
1.3 Защита на хора P4
1.4 Електрически вериги P6
1.5 Защита срещу пренапрежения и мълнии P7

2 Бани и душове **P8**

2.1 Класификация на зоните P8
2.2 Изравняване на потенциали P11
2.3 Изисквания, регламентирани за всяка зона P11

3 Препоръки, отнасящи се за специални уредби и помещения **P12**

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Жилищни и други подобни помещения

Към електрическите уредби в жилищните помещения се формулират високи изисквания за безопасност и надеждност.

1.1 Общи положения

Използвани стандарти

Повечето страни имат собствени национални наредби и/или стандарти, регламентиращи правилата, които трябва стриктно да бъдат спазвани при проектиране и изпълнение на електрически уредби за жилищни и други подобни помещения.Съответният международен стандарт е IEC 60364 (1).

В енергийните системи с общо предназначение неутралната точка на намотката НН на понижаващия разпределителен трансформатор се заземява. Всички електрически уредби НН, съдържащи щепселни съединения с общо предназначение, трябва да бъдат защитени с дефектнотокови защити (RCD). Всички достъпни токопроводими части трябва да бъдат съединени една с друга и заземени.

Електрическа мрежа

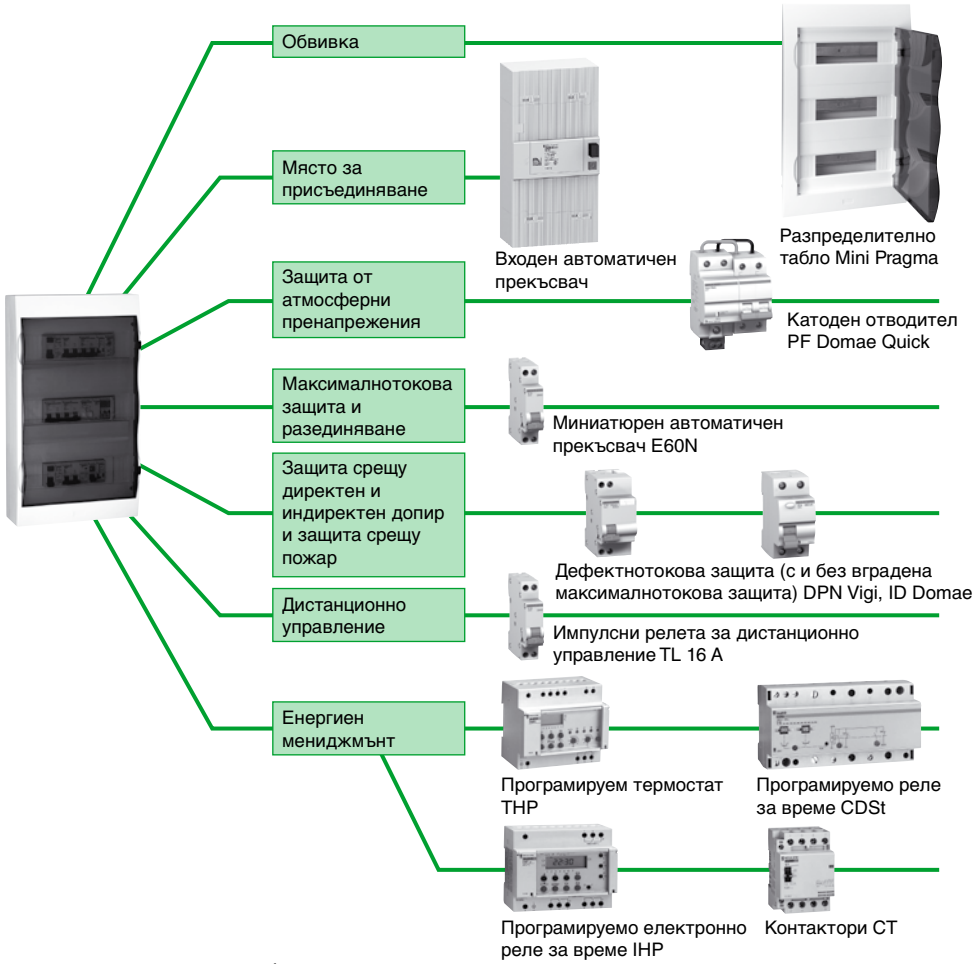
Най-често в енергийната система с общо предназначение неутралната точка на намотката НН на понижаващия разпределителен трансформатор се заземява. Поради това, в дадената област, за защита на хората срещу поражение от електрически ток се използва принципа, описан в Глава F. Използваните мерки зависят от приетата схема на заземяване: TT, TN или IT.

За електрически уредби, заземени по схема TT или IT, са необходими дефектнотокови защити (RCD). За електрически уредби, заземени по схема TN, защитата им срещу директен допир се осигурява от бързодействащи прекъсвачи или RCD. При използване на RCD тази защитна функция се разпространява и след неподвижните щепселни съединения – за подвижни съоръжения. Така се повишава и защитата срещу пожари от електрически произход.

Качеството на електрообзавеждането, използвано в жилищни помещения обикновено се гарантира със знак за съответствие, разположен на предната част на всеки елемент.

1.2 Елементи на разпределителни табла (виж **Фиг. P1**)

В разпределителните електрически табла (в жилищните помещения като правило се монтира само едно) обикновено се вгражда електромер(-и) (2). В някои страни (особено, когато електроснабдителните организации налагат приложението на схема на заземяване TT и/или поставят и тарифни условия, ограничаващи максимално допустимия ток) се използва главен автоматичен прекъсвач, комбиниран с дефектнотокова защита. Потребителят има свободен достъп до този прекъсвач.

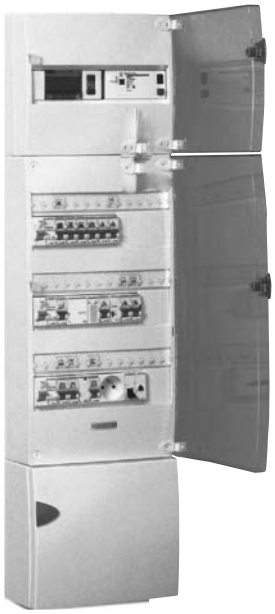


Фиг. P1: Функции, изпълнявани в разпределително табло

(1) Система от стандарти БДС HD 384.XX Електрически уредби в сгради.
(2) В България електромерите се монтират в електромерни табла, изнесени на границата на собствеността.

© Schneider Electric - всички права запазени

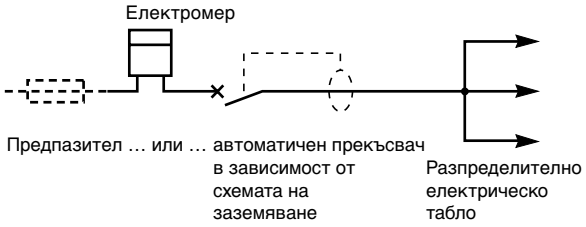
Фиг. P3: Входен автоматичен прекъсвач (1)



Фиг. P4: Табло за управление и разпределение на електрическа енергия

Ако при схема на заземяване TT, стойност на съпротивлението на заземяващия електрод 80 Ω не може да се постигне, трябва да се монтира RCD с IΔn = 30 mA.

Доставчикът на електрическа енергия, обикновено защитава електрическите уредби, заземени по схема TN, чрез автоматичен прекъсвач или стопяем предпазител, включен във веригата непосредствено преди входните клеми на електромера (електромерите) (виж **Фиг. P2**). Абонатът няма достъп до тези предпазители.



Фиг. P2: Компоненти на контролно и разпределително табло

Входен захранващ автоматичен прекъсвач (виж **Фиг. P3**)

На абонатът се разрешава при необходимост да включи/изключи този прекъсвач (например, повторно включване се налага ако консумирания ток е надвишил допустима граница; да го изключва в аварийни ситуации или за централно изключване на захранването).
Ако входящия прекъсвач изпълнява и функцията на дефектнотокова защита то нейния праг на сработване трябва да бъде 300 mA.
Ако схемата на заземяване е от типа TT съпротивлението на заземяващия електрод трябва да бъде по-малко от

$R = \frac{50\ V}{300\ mA} = 166\ \Omega$. На практика, съпротивлението на заземяващия електрод на всяка нова електрическа уредба трябва да бъде по-малко от 80 Ω ($\frac{R}{2}$).

Табло за управление и разпределение на електрическа енергия (абонатно табло) (виж **Фиг. P4**)

Това табло съдържа:

- Място за монтаж (при необходимост) на захранващия автоматичен прекъсвач и друго спомагателно електрообзавеждане, каквото се изисква;
- Място за закрепване на 1, 2 , 3 реда (до 24 броя автоматични прекъсвачи тип Multi 9 на ред), или подобни миниатюрни автоматични прекъсвачи (MCB) или предпазители и др.;
- Монтажни материали за закрепване на проводници, релси за закрепване на автоматични прекъсвачи, основи на предпазители и т.н., нулева и заземяваща шина и др.;
- Кабелни канали или тръби, монтирани на повърхността или в кабелни жлебове в стени.

Забележка: за да може при едно бъдещо разширение на системата да се извършва по-лесно изменение всички съответни документи (фотографии, схеми, графики и др.) се препоръчва да се поставят на достъпно място, близо до електроразпределителното табло.
Таблото трябва да бъде монтирано на такава височина, че ръкохватките, скалите на уредите (електромери и др.) да се разположени на (1 … 1.8) m от пода (при наличие на хора с физически недостатъци или възрастни хора – на разстояние 1.3 m от пода).

Катодни отводители

В електрически уредби НН, съдържащи чувствително (например, електронно) електрообзавеждане, се препоръчва силно употребата на катодни отводители, включени в захранващата линия на системата.

Тези устройства трябва автоматично да се изключват от системата в случай на късо съединение или да се защитават с автоматичен прекъсвач. В случай на жилищни помещения, използването на ддефектнотокова защита на входа 300 mA тип S (с малко времезакъснение) осигурява ефективна защита от ток на утечка към земя и защита от пожар по електрически причини, като в същото време такъв прекъсвач няма да изключва без необходимост всеки път, когато заработи катодният отводител.

Съпротивление на заземяващия електрод

В случаите, когато съпротивлението на заземяване е по-голямо от 80 Ω, трябва да се монтират една или няколко дефектнотокови защити с IΔn = 30 mA, вместо устройства за защита от късо съединение към земя на входния прекъсвач.

(1) Такива входящи автоматични прекъсвачи с вградена дефектнотокова защита се използват масово в някои европейски страни.

© Schneider Electric - всички права запазени

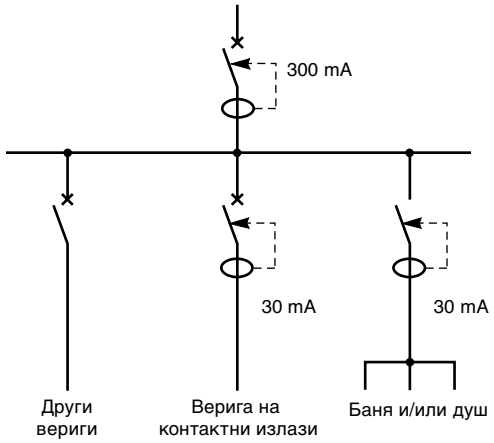
1 Жилищни и други подобни помещения

В случаите, когато системите на електроснабдяване и електрическите уредби на потребителите образуват схема на заземяване тип TT съответните стандарти за осигуряване защита на хора регламентират използване на RCD. Независимо от използваната схема на заземяване (TN-S, TT) дефектнотокова защита с праг на задействане 30 mA трябва да се използва за защита на токови кръгове, захранващи контактни излази, в които могат да се включват преносими електроуреди, както и при контактни излази в бани и мокри помещения.

1.3 Защита на хора

В електрическите уредби със схема на заземяване TT защитата на хора се осъществява чрез следните мерки:

- Защита срещу опасности от индиректен допир чрез RCD (виж **Фиг. P5**) с чувствителност (300 mA) на входа на уредбата. Тази мярка е свързана със заземяващ електрод, монтиран от абоната, към който трябва да се присъединят защитния заземяващ проводник (PE) от достъпните токопроводими части на всички електрически уреди и електрообзавеждане, от клас на защита I, а също и от заземяващите клеми на всички контактни излази;
- Ако входният автоматичен прекъсвач на уредбата не е комплектован с RCD, то за осигуряване безопасност на хората всички вериги, включени пред входните клеми на първия RCD трябва да имат клас на защита II. Ако корпусът на разпределителното табло е метално, всички части, намиращи се под напрежение трябва да имат двойна изолация (чрез използване на допълнителни междини или изолации, използване на капаци и т.н.), а проводниците трябва да бъдат надеждно закрепени;
- Задължителна защита на веригите на контактните излази, веригите за захранване на бани, перални помещения и др., с чувствителни RCDs с IΔn = 30 mA (всички подробности за тази защитна мярка са дадени в т.3 на тази Глава).



Фиг. P5: Схема на уредба с входен захранващ автоматичен прекъсвач с мигновена дефектнотокова защита

Входен захранващ автоматичен прекъсвач с мигновена дефектнотокова защита

В този случай:

- пробив на изолацията към земя може да доведе до изключване на цялата уредба;
- когато в уредбата е монтиран катоден отводител, неговото задействане (т.е. разряда на пренапреженовата вълна към земя) може да бъде възприето като пробив към земя, в резултат на което RCD ще изключи захранването.

Препоръки за използване на подходяща апаратура на Schneider Electric

- Входен захранващ автоматичен прекъсвач с RCD с IΔn = 300 mA.
- Високо чувствително RCD с IΔn = 30 mA (например, автоматичен прекъсвач 1P + N тип DPN Vigi) за веригите захранващи контактни излази.
- Високо чувствително RCD с IΔn = 30 mA (например, товаров прекъсвач тип ID) за вериги, захранващи бани, душове, перални помещения и контактни излази.

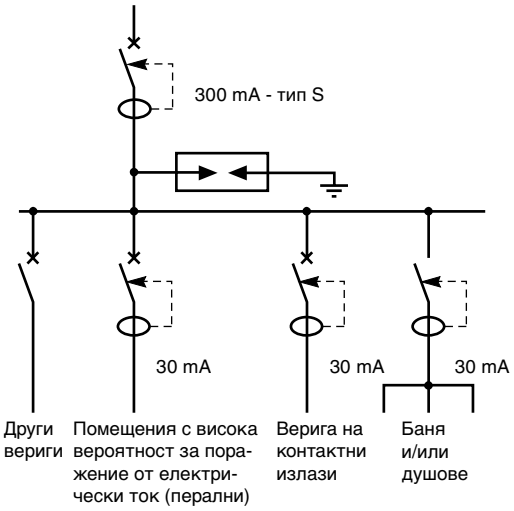
Входен захранващ автоматичен прекъсвач с дефектнотокова защита с времезакъснение (тип S)

Този тип автоматичен прекъсвач осигурява защита срещу земно съединение, но благодарение на малкото времезакъснение преди заработване позволява да се реализира селективност с дефектнотоковите защити, разположени по посока на товара. Също в случай на мълнии или други пренапрежения изключването на входния автоматичен прекъсвач от тип S и съответните последици (например, размразяване на хладилник) стават малко вероятни. Токът на разряда към земя през катодния отводител не предизвиква изключване на входния захранващ автоматичен прекъсвач тип S.

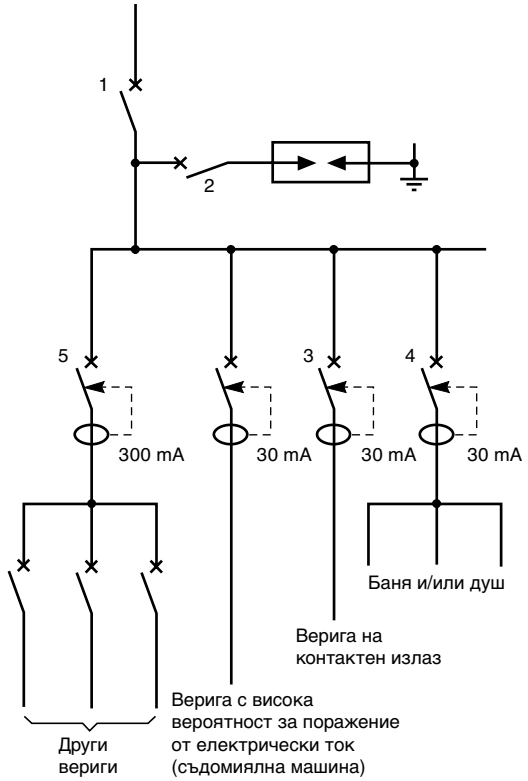
© Schneider Electric - всички права запазени

Препоръки за използване на подходяща апаратура на Schneider Electric (виж **Фиг. P6**)

- Входен захранващ автоматичен прекъсвач с RCD с IΔn = 300 mA тип S.
- Високо чувствително RCD с IΔn = 30 mA (например, автоматичен прекъсвач 1P + N тип DPN Vigi) за веригите, захранващи перални и съдомиялни машини.
- Високо чувствително RCD с IΔn = 30 mA (например, товаров прекъсвач тип ID) за вериги, захранващи бани, душове, перални помещения и контактни излази.



Фиг. P6: Схема на уредба с входен захранващ автоматичен прекъсвач с RCD тип S



Фиг. P7: Схема на уредба с входен захранващ автоматичен прекъсвач без RCD

Схема на заземяване TN-S

При схема на заземяване TN-S (1) важат горните схеми и разсъждения, като дефектнотоковата защита на входния захранващ прекъсвач с чувствителност 300 mA не е задължителна, но се препоръчва за защита от пожар по електрически причини.

Схема на заземяване TT и входен захранващ автоматичен прекъсвач без дефектнотокова защита

В този случай безопасността на хората да се осигури както следва:

- Всички вериги до изходните клеми на RCD трябва да имат клас II на защита срещу поражение от електрически ток.
- Всички изходни вериги на разпределителното електрическо табло трябва да се защитават чрез RCDs с IΔn = 30 mA или IΔn = 300 mA в зависимост от типа на съответните вериги, както е описано в Глава F.

Когато катодният отводител се включва във веригата пред входните клеми на разпределителното табло (за защита на чувствително електронно обзавеждане като микропроцесорна техника, видеомагнетофони, телевизори, електронни касови апарати и т.н.) в случай на негов отказ (наблюдаван рядко, но все пак възможен) това устройство трябва задължително автоматично да се изключва от уредбата. В някои устройства се използват сменяеми стопяеми предпазители, но препоръчваният метод, както е показано на **Фиг. P7**, е чрез използване на автоматичен прекъсвач.

Препоръки за използване на подходяща апаратура на Schneider Electric

На **Фиг. P7** са използвани следните означения:

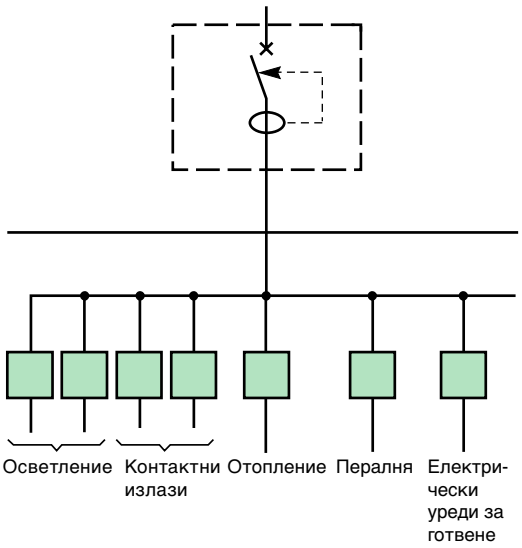
1. Входен захранващ автоматичен прекъсвач без RCD;
2. Автоматично изключващо устройство (ако е монтиран катоден отводител).
3. RCD с IΔn = 30 mA (например, автоматичен прекъсвач 1P + N тип DPN Vigi) за всяка верига, захранваща един или повече контактни излази;
4. RCD с IΔn = 30 mA (например, товаров прекъсвач тип ID) за вериги, захранващи бани, и душове или контактни излази или автоматичен прекъсвач с RCD с IΔn = 30 mA за всяка верига;
5. RCD с IΔn = 300 mA (например, товаров прекъсвач) за всички останали вериги.

(1) Схемата на заземяване TN-S е масово използваната в България схема за новоизграждащи се електрически уредби.

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Жилищни и други подобни помещения

Разделянето и класификацията на веригите създава удобство при работа и опростява откриването на мястото на повредата.



Фиг. P8: Класификация на веригите според типа на използване

Стандартите IEC и повечето национални стандарти изискват наличие на защитен проводник във всяка верига.

1.4 Електрически вериги

Класификация

Националните стандарти обикновено препоръчват разделянето на електрическите вериги да се прави в зависимост от категориите на използване (виж **Фиг. P8**):

- Най-малко една верига за осветление. Всяка верига захранва не повече от 8 светлинни точки;
- Най-малко една верига за контактен излаз с In = 10/16 A. Всяка верига захранва не повече от 8 контактни излази. Контактните излази могат да бъдат единични и двойни (двойните се състоят от две гнезда с In = 10/16 A, монтирани на обща основа в кутия, предназначена за вграждане в стена);
- Една верига за всеки битов електрически уред като бойлер, пералня, съдомиялна, електрическа печка, хладилник и др. На **Табл. P9** е посочен препоръчван брой контактни излази (10/16 A или подобни) и брой на неподвижни точки за осветление в съответствие с предназначението на съответните стаи на жилището.

Таблица P9: Препоръчван минимален брой осветителни точки и точки за захранване в жилищни помещения

Предназначение на стаята	Минимален брой неподвижни точки за осветление	Минимален брой контактни излази с 10/16 A
Всекидневна	1	5
Спалня, стая за отдих, кабинет, столова	1	3
Кухня	2	4 (1)
Баня, душ	2	1 or 2
Антре, килер	1	1
Тоалетна, складово помещение	1	-
Пералня	-	1

(1) От които 2 над работната повърхност и 1 за специализирана верига: допълнително се монтира отделен контактен излаз 16/20 A за нагревателни плочи и една съединителна кутия или контактен излаз за специална верига с In = 32 A.

Защитни проводници

Стандартите IEC и повечето национални стандарти изискват наличие на защитен проводник във всяка верига. Тази практика се препоръчва силно при използване на битови електрически уреди и електрообзавеждане от клас I на защита срещу поражение от електрически ток. Този случай се среща най-често.
Защитните проводниците трябва да свързват заземяващия контакт във всеки от контактните излази и клемите на заземяване на обзавеждането от клас I с главната заземителна шина на входа на уредбата.
Освен това, контактните отвори на контактните излази с с In = 10/16 A (или с подобни номинални стойности) трябва да бъдат снабдени с устройства за „детска защита".

Сечение на проводниците (виж **Фиг. P10**)

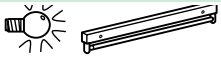
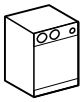
Сеченията на проводниците и максимално допустимият ток на съответното защитно устройство зависят от големината на тока на веригата, температурата на средата, типа на електрическата уредба, и влиянието на съседните вериги (виж **Глава G**). Освен това, фазовите проводници, нулевият проводник и защитните проводници на всяка конкретна верига трябва да бъдат с едно и също сечение (когато проводниците са изработени от един и същи материал – мед или алуминий).

Фиг. P10: Автоматичен прекъсвач E60N+

© Schneider Electric - всички права запазени

Таблица P11 показва сечението на проводниците, необходими за най-често използваните битови електрически уреди.

Таблица P11: Сечения на проводници и номинален ток на защитни устройства в сградни електрически уредби (в скобите е посочено сечението на алуминиевите проводници)

Тип на веригата: Еднофазна 230 V 1 фаза + N или 1 фаза + N + PE	**Сечение на проводниците, mm²**	**Максимална мощност, W**	**Тип на защитното устройство**
Неподвижен осветител 	1.5 (2.5)	2 300	Автоматичен прекъсвач 16 A
10/16 A	2.5 (4)	4 600	Автоматичен прекъсвач 25 A
Вериги с индивидуален товар			
Бойлер	2.5 (4)	4 600	Автоматичен прекъсвач 25 A
Съдомиялна 	2.5 (4)	4 600	Автоматичен прекъсвач 25 A
Пералня	2.5 (4)	4 600	Автоматичен прекъсвач 25 A
Печка или котлон (1)	4 (6)	6 200	Автоматичен прекъсвач 32 A
Електрически нагревател	2.5 (4)	4 600	Автоматичен прекъсвач 25 A

1.5 Защита срещу пренапрежения и мълнии

Изборът на катоден отводител е описан в Глава J

Правила за монтаж

Трябва да се спазват някои основни правила:

1. За монтаж на катоден отводител трябва задължително да се използват три дължини на проводници, всяка от които е не повече от 50 cm, т.е.:
   - проводниците под напрежение, свързани към разединителя;
   - проводниците от разединителя към катодния отводител;
   - проводниците от катодния отводител към заземяващата шина на разпределителното табло (да не се бърка с главния защитен заземяващ проводник (PE) и главната заземителна клема на уредбата).

2. Необходимо е да се използва такъв тип разединител, който се препоръчва от производителя на катодния отводител.

3. За осигуряване на непрекъснатост на електроснабдяването се препоръчва да се монтира автоматичен прекъсвач с времезакъснение или селективен тип.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Бани и душове

Местата с вани за къпане и душове са помещения с висока вероятност за поражения от електрически ток, тъй като при овлажняване или потапяне във вода съпротивлението на човешкото тяло става много малко. Поради това за тези помещения са предвидени много сериозни мерки за безопасност и действат по-строги правила отколкото за други подобни помещения.

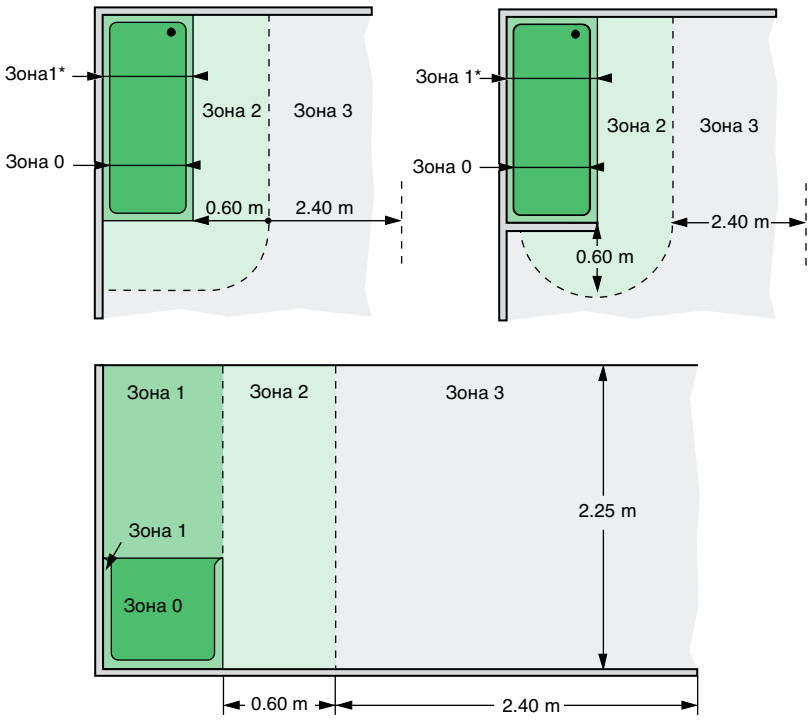
Стандартът IEC 60364-7-701 (1) регламентира изискванията за посочените места.

Изискваните мерки за безопасност се базират на три основни принципа:

- Разделяне на 4 зони, означавани като зона 0, 1, 2 и 3, в които разполагането на какво да е електрообзавеждане строго се ограничава или забранява, а ако е разрешено, за него се предвиждат изисквания по отношение на електротехническа или механическа защита.
- Осигуряване изравняване на потенциалите на всички достъпни метални части и метални части с неелектротехническо предназначение в съответните зони.
- Строго съблюдаване на изискванията, предвидени за всяка зона, посочени в т.3.

2.1 Класификация на зоните

Дефинирането на зони 0, 1, 2 и 3, предвидено от раздел 701.32 на IEC 60364-7-701, се извършва съгласно следните схеми (виж **Фиг. P12** по-долу и фигурите до **P18** на следващите страници):



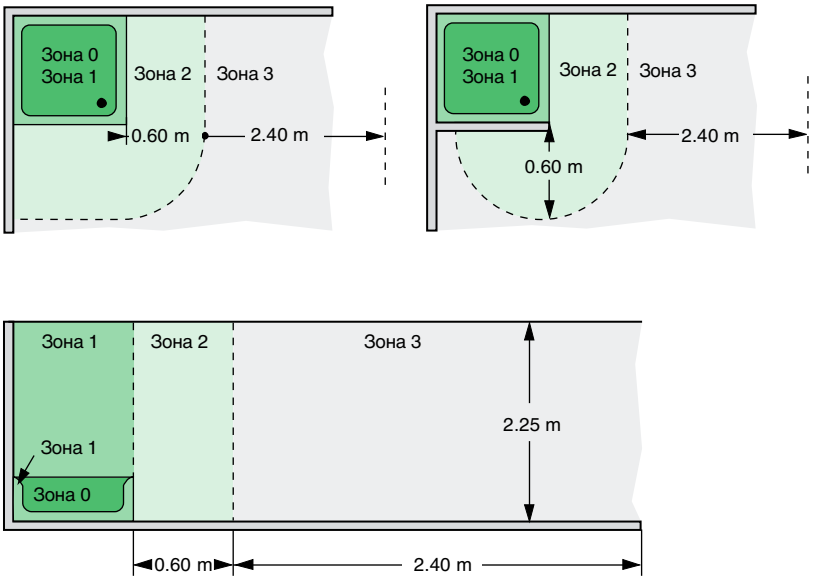
(*) Зона 1 включва пространството над ваната, както е показано на вертикалната проекция

Фиг. P12: Класификация на зони 0, 1, 2 и 3 в зависимост от близостта до ваната

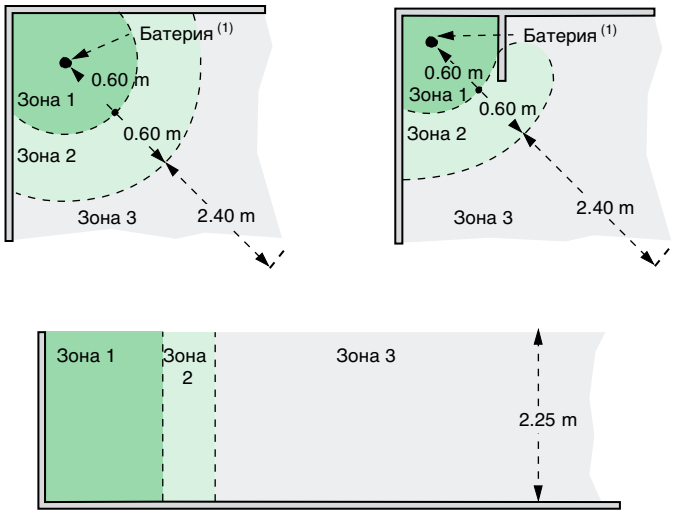
© Schneider Electric - всички права запазени

(1) БДС IEC 60364-7-701:2001 "Електрически уредби в сгради.Част 7: Изисквания за уредби и места със специално предназначение. Раздел 701: Места с вани за къпане и душове.

2 Бани и душове

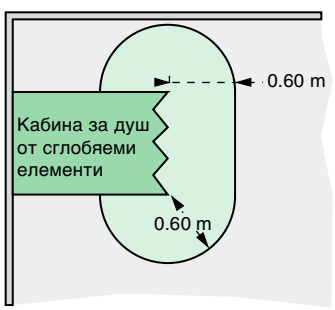


Фиг. P13: Класификация на зони 0, 1, 2 и 3 в зависимост от близостта до душа и поддушовото корито



(1) Когато разпръскващата глава на душа е монтирана на края на гъвкав шланг се приема, че радиусът за определяне на границите на зоните започва от точката на закрепване на шланга към смесителя.

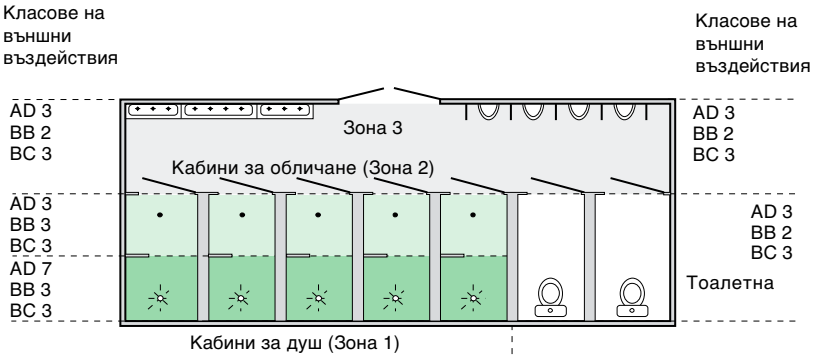
Фиг. P14: Класификация на зони 0, 1, 2 и 3 в зависимост от близостта до душа без поддушовото корито



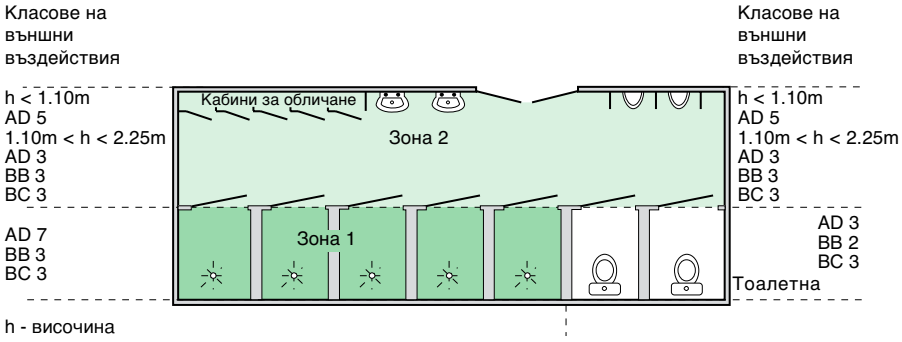
Фиг. P15: Не се разрешава монтирането на никакви прекъсвачи или контактни излази в границите на 60 cm от отворената врата на душ-кабината

© Schneider Electric - всички права запазени

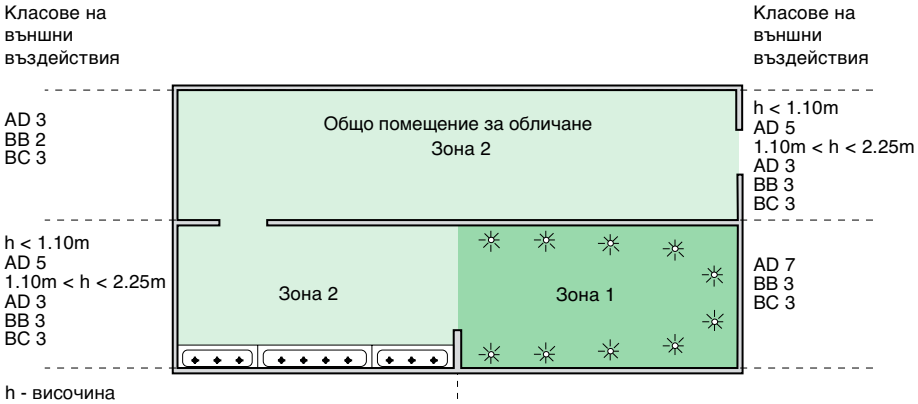
2 Бани и душове



Фиг. P16: Индивидуални кабини за душ с кабини за обличане



Фиг. P17: Индивидуални кабини за душ с отделни кабини за обличане



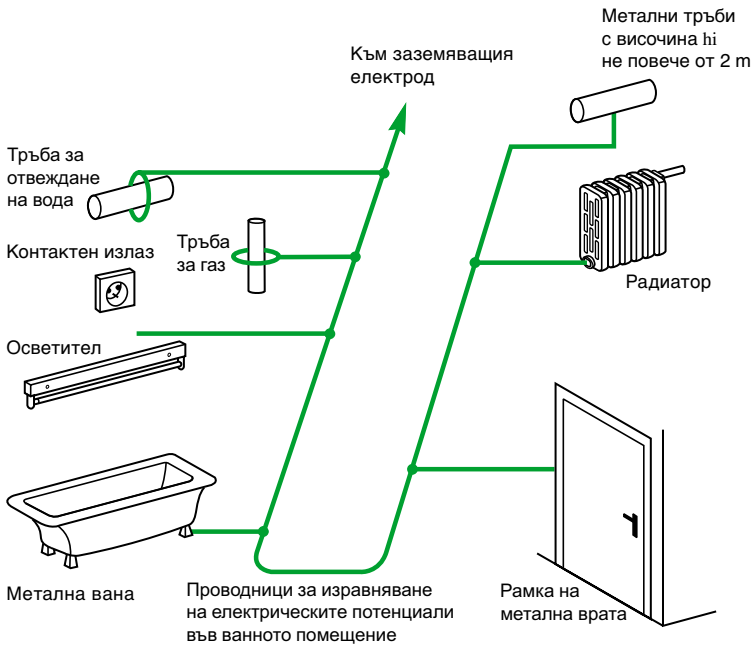
Фиг. P18: Помещения с общи душове (зона 1) и общо помещение за обличане (зона 2)

Забележка: Класове на външни въздействия виж **Табл. E46**.

© Schneider Electric - всички права запазени

2 Бани и душове

2.2 Изравняване на потенциали (виж **Фиг. P19**)



Фиг. P19: Допълнително изравняване на електрически потенциали в място с вана

2.3 Изисквания, регламентирани за всяка зона

В **Табл. P20** се описва използването на принципите, разгледани в Главата и други подобни случаи.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Препоръки, отнасящи се за специални уредби и помещения

В **Табл. P20** са посочени основните изисквания, регламентирани от много национални и международни стандарти.
Забележка: В скоби са посочени съответните раздели на стандарт IEC 60364-7.

Таблица P20: Основни изисквания, регламентирани от много национални и международни стандарти (продължава на срещуположната страница)

Разположение	Принципи на защита	IP код	Проводници и кабели	Комутационна апаратура	Контактни излази	Електрически уреди
Жилищни и други помещения	■ Схема на заземяване TT или TN-S; ■ Дефектнотокова защита на входа (задължителна при TT схема): □ 300 mA ако съпротивлението на заземителния електрод е ≤ 80 Ω, мигновено задействане или времезакъснение (тип S); □ 30 mA ако съпротивлението на заземителния електрод е ≥ 500 Ω. ■ Ограничител на пренапрежение на входа ако: □ захранването от въздушна линия с неизолирани проводници; □ броя на ударите на мълния на 1 km² е по-голям от 25. ■ Защитен PE-проводник във всички вериги.	20		Ръкохватките за управление на прекъсвачите и други подобни устройства на разпределителните табла да бъдат монтирани на височина (1 … 1.8) m над пода	RCDs с IΔn = 30 mA	
Места с вани за къпане и душове (раздел 701)	Допълнително изравняване на електрически потенциали в зони 0, 1, 2 и 3					
Зона 0	Само безопасно свръхниско напрежение (SELV) 12 V	27	Клас II на защита, ограничен строго до минимум			Специални електрически уреди
Зона 1	SELV 12 V	25	Клас II на защита, ограничен строго до минимум			Специални електрически уреди Бойлер
Зона 2	SELV 12 V или RCD с IΔn = 30 mA	24	Клас II на защита, ограничен строго до минимум			Специални електрически уреди Бойлер Осветители от клас II на защита
Зона 3		21		Само контактни излази, защитени чрез: ■ RCDs IΔn = 30 mA или ■ Електрическа изолация или ■ SELV 50 V		
Плувни басейни (раздел 702)	Допълнително изравняване на електрически потенциали в зони 0, 1 и 2					
Зона 0	SELV 12 V	28	Клас II на защита, ограничен строго до минимум			Специални електрически уреди
Зона 1		25	Клас II на защита, ограничен строго до минимум			Специални електрически уреди
Зона 2		22 (В помещение) 24 (Извън помещение)		Само контактни излази, защитени чрез: ■ RCDs IΔn = 30 mA или ■ Електрическа изолация или ■ SELV 50 V		
Сауни (раздел 703)		24	Клас II на защита,			Адаптиране към температурата
Уредби на строителни площадки (раздел 704)	Нормирано гранично напрежение (UL), намалено до 25 V	44	Защита от механични въздействия		RCDs с IΔn = 30 mA	
Електрически уредби в селскостопански помещения (раздел 705)	Нормирано гранично напрежение (UL), намалено до 25 V Защита срещу пожари чрез RCDs с IΔn = 500 mA	35			RCDs с IΔn = 30 mA	

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Препоръки, отнасящи се за специални уредби и помещения

Таблица P20: Основни изисквания, регламентирани от много национални и международни стандарти (край)

Разположение	Принципи на защита	IP код	Проводници и кабели	Комутационна апаратура	Контактни излази	Електрически уреди
Токопроводими места с ограничени размери (раздел 706)		2x				Защита на: ■ Преносими инструменти чрез: □ SELV или □ Електрическа изолация. ■ Преносими лампи чрез: □ SELV или ■ Стационарно електро обзавеждане чрез: □ SELV или □ Електрическа изолация □ RCDs с IΔn = 30 mA; □ Специално допълнително изравняване на потенциали
Фонтани (раздел 702)	Защита чрез RCDs с IΔn = 30 mA и изравняване на потенциалите на всички достъпни токопроводими части и метални части с неелектро-техническо предназначение					
Обработка на информация (раздел 707)	Препоръчва се схема на заземяване TN-S. Допуска се схема TT, ако токът на утечка е ограничен. Защитен проводник с минимално сечение 10 mm^2 ако е от алуминий. При по-малко сечение (на медни проводници) трябва да се взема проводник с удвоено сечение.					
Електрически уредби на площадки за каравани и в каравани (раздел 708)		55	Гъвкав кабел с дължина 25 m		Контактни излази трябва да се монтират на височина (0.8 … 1.5) m от пода. Защита на вериги с RCDs с IΔn = 30 mA (една за 6 контактни излаза)	
Яхти развлекателни съдове (раздел 709)	Дължина на захранващия кабел трябва да бъде не повече от 25 m				Защита на вериги с RCDs с IΔn = 30 mA (една за 6 контакт ни излаза)	
Медицински помещения (раздел 710)	Изравняване на електрическите потенциали на медицински системи, заземени по схема IT				Защита на вериги с RCDs с IΔn = 30 mA	
Изложби, зали за развлечения и щандове (раздел 711)	Схема на заземяване TT или TN-S	4x			Защита на вериги с RCDs с IΔn = 30 mA	
Балнеотерапия,	Индивидуални: виж раздел 701 (том 0 и 1). Колективни: виж раздел 702 (том 0 и 1) лечебни вани.					
Бензиностанции	Вероятност за взрив в зоните за безопасност		Ограничава се до минимум			
Транспортни средства	Защита чрез RCDs или електрическа изолация					
Външни осветителни уредби (раздел 714)		23			Защита на вериги с RCDs с IΔn = 30 mA	
Преносими и транспортируеми единици (раздел 717)	Не се разрешава употребата на схема TN-C вътре в коя и да е единица				RCDs с IΔn = 30 mA трябва да бъде използвано за всички контактни излази, захранващи обзавеждане извън единицата.	

© Schneider Electric - всички права запазени

Глава Q
Препоръки за осигуряване на електромагнитна съвместимост

Съдържание

1 Схеми за разпределение на електрическата енергия Q2

2 Принципи и структура на схемите за заземяване Q3

3 Конструктивно изпълнение Q5
- 3.1 Еквипотенциални съединения в и извън сградите Q5
- 3.2 Подобряване условията за еквипотенциалност Q5
- 3.3 Полагане на кабели Q7
- 3.4 Двойни подове Q7
- 3.5 Разполагане на кабели Q8
- 3.6 Използване на екранирани кабели Q11
- 3.7 Комуникационни мрежи Q11
- 3.8 Ограничители на пренапрежения Q12
- 3.9 Структурно окабеляване Q13
- 3.10 Стандарти Q13

4 Механизми за електромагнитна връзка и мерки за противодействие Q14
- 4.1 Общи положения Q14
- 4.2 Галванична връзка Q15
- 4.3 Капацитивна връзка Q16
- 4.4 Индуктивна връзка Q17
- 4.5 Връзка чрез излъчване Q18

5 Препоръки при изграждане на електрически инсталации Q20
- 5.1 Класове на линии за предаване на сигнали Q20
- 5.2 Препоръки при изграждане на електрически инсталации Q20

© Schneider Electric - всички права запазени

1 Схеми за разпределение на електрическата енергия

За да се осигури електробезопасност на хората и за да се запази имуществото е необходимо правилно да се избере схемата на заземяване на електрическата уредба. При това е необходимо да се отчита поведението на различни устройства в електрическата уредба по отношение на осигуряване на електромагнитна съвместимост. На **Табл. Q1** са посочени някои справочни основни характеристики. Европейските стандарти EN (виж EN 50174-2 (1), параграф 6.4 и EN 50310 (2), параграф 6.3) препоръчват да се използва схема на заземяване TN-S, която създава минимални проблеми с осигуряване на електромагнитна съвместимост (EMC) за електрически уредби, съдържащи електрообзавеждане за обработка на информация и телекомуникационно обзавеждане.

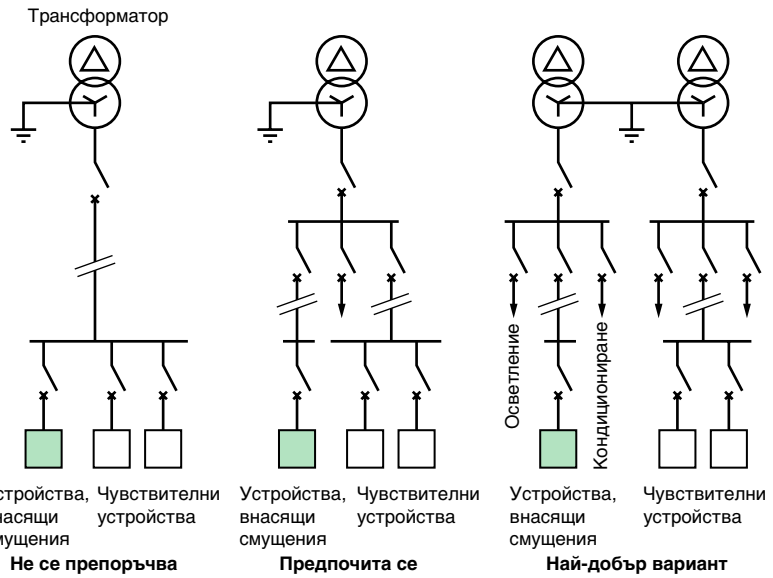
Таблица Q1: Основни характеристики на схемите за заземяване

Схема на заземяване	TT	TN-S	IT	TN-C
Електробезопасност на хора	Добра Използването на RCD е задължително	Добра Трябва да се осигури непрекъснатост на PE-проводника в границите на електрическата уредба		
Съхраняемост на имущество	Добра	Недостатъчна	Добра	Недостатъчна
съединение	Средна стойност на тока на късо съединение (по-малка от няколко десетки A)	Голям ток на късо съединение (приблизително 1 kA)	Малък ток на късо съединение при първа повреда (по малък от няколко десетки mA), но голям ток на късо съединение при втора повреда	Голям ток на късо (приблизително 1 kA)
Осигуреност на електроснабдяването	Добра	Добра	Висока	Добра
Степен на EMC	Добра - Опасност от пренапрежения; - Проблеми с изравняване на електрически потенциали; - Необходимост от управление на устройства с големи токове на утечка.	Отлична - Малко проблеми, породени от изравняване на електрически потенциали; - Необходимост от управление на устройства с големи токове на утечка; - Големи токове на къси съединения (смущения при преходни процеси).	Недостатъчна (да се избягва) - Опасност от пренапрежение; - Обикновените филтри и ограничителите на пренапрежение трябва да издържат междуфазните пренапрежения; - При наличие на входни кондензатори RCDs са подложени на погрешни заработвания; - Еквивалентна схема TN за случай на втора повреда.	Недостатъчна (да не се използва) - PEN-проводник; - Циркулация на токове в достъпни токопроводими части (силно излъчване на магнитно поле); - Големи токове на късо съединение (смущения при преходни процеси).

Когато електрическата уредба е изградена от електрообзавеждане с голяма мощност (електродвигатели, системи за кондициониране, асансьори, елементи на силова електроника и др.) се препоръчва да се монтират един или няколко специални трансформатора. Захранването на електропотребителите в уредбата трябва да се осъществява от главно разпределително табло НН (MLVS) по радиална схема.

Електронните системи (управление/контрол, регулиране, измерване и др.) трябва да се захранват от специален трансформатор със схема на заземяване TN-S.

Тези препоръки са илюстрирани по-долу на **Фиг. Q2**.



Фиг. Q2: Препоръки за използване на различни схеми за електроснабдяване

(1) БДС EN 50174-2:2002 Информационни технологии. Окабеляване. Част 2: Планиране и изпълнение вътре в сградата.
(2) БДС EN 50310:2006 Използване на свързване за изравняване на потенциалите и заземяване в сгради с устройства за информационни технологии.

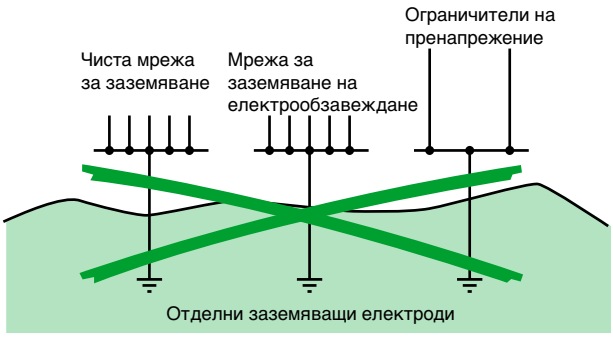
© Schneider Electric - всички права запазени

2 Принципи и структура на схемите за заземяване

В дадения раздел са разгледани въпросите на заземяване и еквипотенциалното съединение на устройства за обработка на информация и други подобни устройства, свързани електрически помежду си, за обработка на сигнали.
Схемите за заземяване са предназначени за изпълнение на няколко функции. Те могат да работят отделно или заедно и да осигурят една или няколко от следните функции:
- защита на хора срещу поражения с електрически ток;
- защита на електрообзавеждане от действие на електрическия ток;
- еталонна стойност за надеждни висококачествени сигнали;
- приемливи характеристики на EMC.

Схемата за заземяване обикновено се проектира и изгражда, за да осигури малко електрическо съпротивление, позволяващо протичане на токовете на късо съединение и високочестотните токове от електронни устройства и системи към земя. Съществуват различни схеми на заземяване и за някои от тях се изисква спазването на специални условия. Тези условия не винаги се изпълняват в типичните електрически уредби. Посочените в дадения Раздел препоръки са предназначени именно за такива електрически уредби.
За професионални и промишлени електрически уредби използването на обща мрежа на еквипотенциално съединение (CBN), може да осигури по-добра EMC по отношение на:
- цифрови системи и нови технологии;
- съответствие с изискванията за EMC на директива EEC 89/336 (по отношение на паразитни излъчвания и защита от смущения);
- подобряване електромагнитната съвместимост за голям диапазон от електрически уредби;
- висока степен на системите за безопасност и охранителните системи, както и надеждност и/или осигуреност на електроснабдяване на електропотребителите.

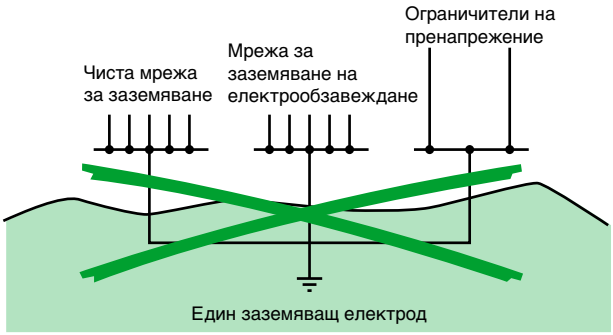
Обаче, за жилищни помещения, където използването на електрически устройства е ограничено, за предпочитане може да се окаже приложението на изолирана мрежа на еквипотенциални съединения (IBN). Или, още по-добре, затворена изолирана мрежа на еквипотенциални съединения под формата на метална мрежа или решетка.
Приема се, че използването на независими специални заземяващи електроди, всеки от които обслужва отделна мрежа за заземяване, е не само неприемливо от гледна точка на EMC, но и представлява и сериозна заплаха за безопасността. В някои страни, действащите строителни норми и правила, забраняват използването на такива схеми.
Използването на отделна „чиста” схема за заземяване за електронно обзавеждане и „замърсена” схема на заземяване за силово електрообзавеждане не се препоръчва от гледна точка на осигуряване на необходимата EMC дори ако се използва един заземяващ електрод (виж **Фиг. Q3** и **Фиг. Q4**). При мълниев разряд в електрическата уредба възникват високочестотни смущения, ток на късо съединение и преходни токове. В резултат на това, появилите се преходни напрежения предизвикват повреда или излизане на електрическата уредба от строя. Ако монтажните работи и техническото обслужване се извършват по съответния начин, използването на такъв подход се допуска (при промишлена честота на захранващата мрежа), но обикновено той не е приемлив от гледна точка осигуряването на EMC и не се препоръчва за основно използване.



Фиг. Q3: Използването на независими заземяващи електроди обикновено е неприемливо от гледна точка осигуряване на безопасността и EMC

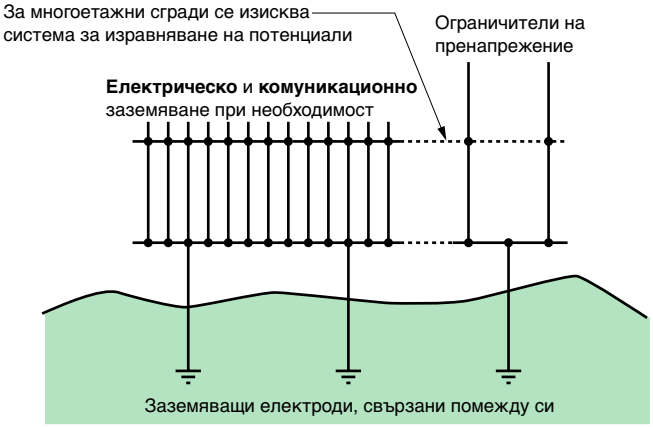
© Schneider Electric - всички права запазени

2 Принципи и структура на схемите за заземяване



Фиг. Q4: Електрическа уредба с един заземяващ електрод

Препоръчва се използването на двумерна или тримерна конфигурация на мрежа за заземяване и заземяващи електроди (виж **Фиг. Q5**). Такъв подход се препоръчва за общо използване от гледна точка на осигуряване на безопасността и EMC. Тази препоръка не изключва други специални конфигурации, които са също подходящи в случай, че се извършва подходящо техническо обслужване.



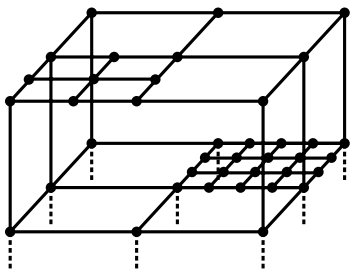
Фиг. Q5: Уредба с няколко заземяващи електроди, свързани помежду си

В типичната електрическа уредба за многоетажна сграда всеки етаж трябва да има собствена мрежа за заземяване (обикновено изпълнена във вид на решетка) и всички мрежи трябва да бъдат съединени по между си и свързани към заземяващия електрод. Изискват се не по-малко от две съединения (допълнително резервиране), за да може в случай на прекъсване на един от проводниците, нито една от секциите на равномерно разпределената електрическа мрежа да не се окаже отсъединена.

На практика за получаване на по-равно разпределение на токовете се използват повече от две съединения. Това намалява разликата в потенциалите и общото съпротивление между различните етажи на сградата.

Много паралелни контури на тока имат различни резонансни честоти. Ако един от контурите има по-голямо пълно съпротивление, той най-вероятно се шунтира от друг контур, имащ друга резонансна честота. Като цяло, в широк честотен диапазон (от десетки Hz до MHz), наличието на голям брой паралелни контури предизвиква намаляване на пълното съпротивление на системата (виж **Фиг. Q6**).

Всяко помещение в сградата трябва да има проводници за еквипотенциално съединение на устройства и системи, кабелопроводи, магистрални системи и конструкции. Тази система може да се подобри с помощта на метални тръби, канали, опори, рамки и др. В специални случаи, например в апаратни или монтиране на компютри на двойни подове, за подобряване заземяването на чувствителни устройства и защита на съединителните кабели, в местата на разполагане на електронни системи може да се използват заземяващи шини (главна заземяваща шина или шини PE в разпределителни табла, шкафове и др.).



Фиг. Q6: Всеки етаж има своя мрежа за съединяване. Тези мрежи са съединени помежду си в няколко точки. Някои мрежи са усилени, за да удовлетворят потребностите за определени участъци.

© Schneider Electric - всички права запазени

3 Конструктивно изпълнение

3.1 Еквипотенциални съединения в и извън сградите

Основните цели на заземяването и еквипотенциалното съединение са:

■ Осигуряване на електробезопасност

Чрез ограничаване стойността на допирното напрежение и дължината на контура на токовете на късо съединение.

■ Осигуряване на електромагнитна съвместимост

Чрез отстраняване на разликата в потенциалите и създаване на екраниращ ефект. В системата за заземяване неизбежно протичат блуждаещи токове. Не е възможно да се отстранят всички източници на смущения в електрическата уредба. Неизбежни са, също така, и контурите за заземяване. Когато електрическа уредба се окаже под въздействие на магнитно поле, например поле, създадено от мълния, в контурите, образувани от различни проводници възникват различни потенциали, а в системата на заземяване протичат токове. Затова, системата на заземяване се оказва под непосредствено влияние на всякакви мерки, предприети извън сградата.

До тогава, докато тези токове протичат в системата на заземяване, а не в електронните вериги, те не предизвикват щети. Обаче, ако мрежите на заземяване не са еквипотенциални, например, когато те са съединени към заземяващия електрод на звездата, т.е. радиално, високочестотните блуждаещи токове ще протичат навсякъде, където това е възможно, в това число и във веригите за управление. В резултат на това са възможни смущения в работата на електрообзавеждането. То може да бъде повредено или дори разрушено.

Единственият прост начин за разделяне на токовете в системата за заземяване и за поддържане на приемливи еквипотенциални характеристики е съединението между веригите за заземяване. Това помага за изравняване на потенциалите в границите на системата за заземяване, но не отстранява необходимостта от използване на защитни проводници. За да се удовлетвори установеното от Закона изискване за осигуряване на електробезопасност на хората между всяка единица електрообзавеждане и клемата на заземяване трябва да бъдат монтирани защитни проводници с достатъчно сечение. Освен това, голямо количество проводници за ограничители на пренапрежение или за системата за мълниезащита трябва да бъдат непосредствено присъединени към заземяващия електрод.

Основната разлика между защитния PE-проводник и кабела, излизащ от ограничителите на пренапрежение е в това, че по първия проводник вътрешните токове се „връщат” в неутралата на понижаващия трансформатор CpH/HH, докато по втория проводник външният ток (по отношение на разглежданата уредба) протича към заземяващия електрод.

В сградата се препоръчва да се съединяват мрежата за заземяване с всички достъпни токопроводими конструкции, а именно метални греди, рамки на врати, тръби и др. Обикновено е достатъчно да се съединят металните кабелни канали, скари, тръби, вентилационни тръбопроводи и др. в максимално възможен брой точки. В местата, където има много електрообзавеждане и размерът на отворите на мрежата на съединение е по-голям от 4 m, трябва да бъде положен допълнителен проводник за изравняване на потенциали. Сечението и типът на проводника нямат особено значение.

Много важно е да се съединят помежду си мрежите за заземяване на сградите, имащи общи кабелни съединения. Съединението между мрежите за заземяване трябва да се изпълни чрез няколко проводници и всички вътрешни метални конструкции или връзки на тези сгради (при условие, че те не са прекъснати).

В отделна сграда различните мрежи за заземяване (електронно обзавеждане, компютърна техника, телекомуникационно обзавеждане и др.) трябва задължително да бъдат съединени помежду си и трябва да образуват обща система за изравняване на потенциали.

Тази система за заземяване трябва да бъде по възможност затворена. Ако системата за заземяване е еквипотенциална разликата в потенциалите между взаимодействащите устройства ще бъде малка и това позволява да се решат много проблеми за осигуряване на EMC. Разликата в потенциалите също се намалява в случай на пробив в изолацията или удар на мълния.

Ако не могат да бъдат осигурени условия за еквипотенциалност между сградите или разстоянията между сградите са повече от 10 m, се препоръчва силно използването на оптични влакна за връзка и галванично разделяне в системите за измерване и комуникация.

Посочените мерки са задължителни, ако в системата за електроснабдяване се използва схема на заземяване IT или TN-C.

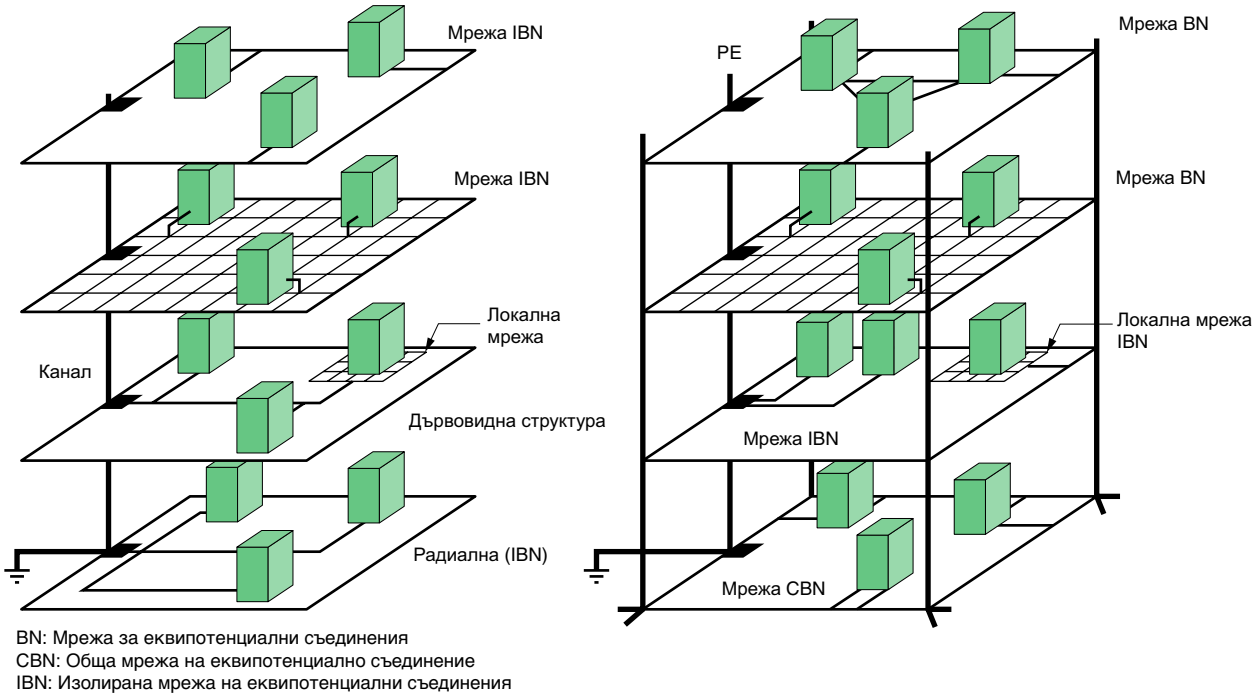
3.2 Подобряване условията за еквипотенциалност

Мрежи за еквипотенциални съединения

Въпреки че идеалната мрежа за изравняване на потенциали трябва да представлява метален лист или фина метална мрежа (с малки отвори) опитът показва, че използването на затворена мрежа с размер на отворите 3x3 m позволява да се отстранят голям брой смущения.

Примери на различни мрежи за еквипотенциални съединения са показни на **Фиг. Q7** на следващата страница. Минималната конфигурация на препоръчваната схема съдържа проводник (например, меден кабел или шина), разположени по периметъра на помещението.

© Schneider Electric - всички права запазени



BN: Мрежа за еквипотенциални съединения
CBN: Обща мрежа на еквипотенциално съединение
IBN: Изолирана мрежа на еквипотенциални съединения

Фиг. Q7: Примери на мрежи за еквипотенциални съединения

Дължината на съединението между структурния елементи и мрежата за еквипотенциално съединение не трябва да надхвърля 50 cm и паралелно на определено разстояние от първото съединение трябва да бъде монтирано допълнително съединение. Индуктивността на съединението между заземяващата шина (PE) на защитната обвивка за няколко единици електрообзавеждане и мрежата за изравняване на потенциали (виж по-долу) би трябвало да бъде по-малка от 1 μH (по възможност 0.5 μH).
За да се намали взаимната индуктивност между два проводника, може да се използва един проводник с дължина 50 cm или два паралелни проводника с L= 1 m, разположени на минимално разстояние един от друг (най-малко 50 cm).
По възможност съединението с мрежата трябва да се изпълнява в мястото на пресичане, което позволява да се разделят високочестотните токове на четири, без да се удължава това съединение. Профилът на съединителните проводници няма голямо значение, но плоският профил се предпочита. Освен това, проводникът трябва да бъде колкото е възможно по-къс.

Паралелен заземяващ проводник (PEC)

Паралелният заземяващ проводник е предназначен да намали тока с нулева последователност, протичащ по проводниците, по които също се предава диференциален сигнал (намалява се импеданса на контура „фаза-нула”).
Паралелният заземяващ проводник трябва да бъде изчислен за големи токове, когато той се използва за мълниезащита или за протичане на токове на късо съединение. Когато в качеството на PEC се използва екраниращата обвивка на кабел трябва да се отчита, че тя не е в състояние да пропуска големи токове. В този случай се препоръчва полагането на кабела по протежение на металните елементи на конструкцията или кабелопроводите, които за всеки кабел ще изпълняват функция на паралелни заземяващи проводници. Друга възможност е да се положи екраниран кабел, заедно с паралелен заземяващ проводник с голямо сечение. При това двата края и на кабела и на PEC се свързват към локална клема за заземяване на съответното обзавеждане или устройство. В случай на много големи разстояния се препоръчва да се използва допълнителни съединения на PEC със системата на заземяване на различни разстояние между устройствата. Тези допълнителни съединения образуват по-къс обратен контур за токове на смущения, протичащи по PEC. За U-образни кабелни скари, екраниращи обвивки и тръби, допълнителните съединения трябва да бъдат външни, за да се осигури тяхното отделяне от вътрешните съединения (екраниращ ефект).

Съединителни проводници

Съединителните проводници могат да бъдат метални ленти, плоски оплетени въжета или кръгли проводници. За високочестотните системи металните ивици и плоските оплетки са за предпочитане (поради отсъствие на скин ефект), тъй като кръглият проводник има по-високо пълно съпротивление, отколкото плоският проводник със същото сечение. По възможност отношението между дължината и ширината не трябва да надхвърля 5.

© Schneider Electric - всички права запазени

3.3 Полагане на кабели

Физическото разделяне при полагане на силови и контролни кабели е много важно за осигуряване на EMC особено, когато контролните кабели не са екранирани или екраниращата обвивка не е свързана с достъпни токопроводими части. Чувствителността на електронното обзавеждане в голяма степен зависи от съответната кабелна система.

Ако не се извършва разделяне на кабелите (използване в отделни кабелопроводи на различни типове кабели, минимално разстояние между силови и контролни кабели, типове кабелопроводи и др.) електромагнитната връзка е много силна. В такива условия електронното обзавеждане е чувствително към електромагнитни смущения, разпространявани по съответните кабели.

За големи номинални мощности се препоръчва силно използването на шинопроводи Canalis или системи от сборни шини. Нивата на излъчваните магнитни полета при използването на такива шинопроводи са между 10 и 20 пъти по-малки в сравнение със стандартните кабели или проводници.

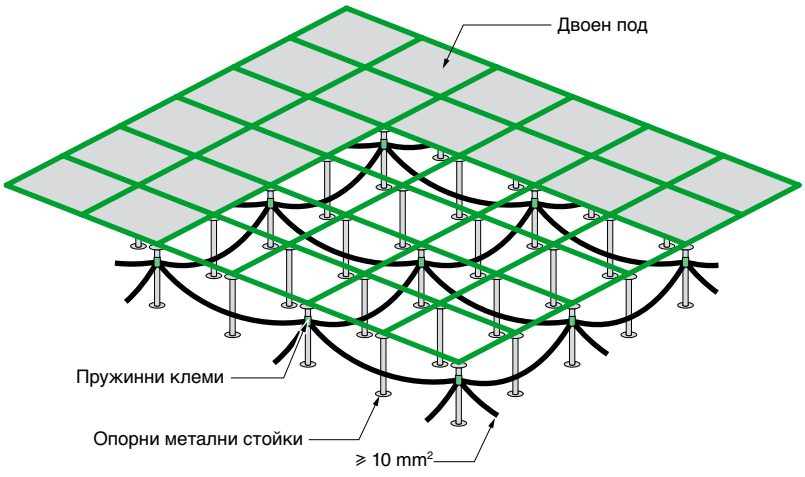
Трябва да се отчитат препоръките, дадени в разделите „Полагане на кабели" или „Препоръки по изграждане на електрическа инсталация".

3.4 Двойни подове

Включването на подове в затворена мрежа за съединение позволява да се изравнят потенциалите в участъка и да се разсеят и намалят смущенията от нискочестотни токове.

Екраниращият ефект на двойния под е непосредствено свързан с неговата еквипотенциалност. Ако между панелите на пода има лош контакт, например, използват се антистатични гумени уплътнения, или ако е нарушен контакта между опорните стойки (поради замърсяване, корозия, плесени или отсъствие на подпорни стойки), е необходимо да се използва допълнителна еквипотенциална мрежа. В този случай е достатъчно да се осигурят добри електрически съединения между опорните метални стойки. На пазара се предлагат малки пружинни клеми за присъединяване на металните стойки към еквипотенциалната мрежа. В идеалния случай всяка стойка трябва да бъде съединена, но често се оказва достатъчно да се съедини всяка втора стойка по дадено направление. В повечето случаи се оказва приемлива мрежата с размери на отворите 1.5x2 m. Препоръчваното сечение на медния проводник е 10 mm² или повече. Обикновено се използва плоско оплетено въже. За намаляване на ефекта от корозия се препоръчва използването на калайдисан меден проводник (виж **Фиг. Q8**).

Ако перфорираните панели на пода представляват стоманена клетъчна конструкция те могат да се използват в качеството на обикновени панели на пода. Обикновено веднъж на 5 години трябва да се извършва профилактично техническо обслужване (в зависимост от типа на панелите на пода и условията на експлоатацията, отчитайки влажността, праха и корозията). Трябва да се извършва обслужване и на гумените или полимерни антистатични уплътнения и на опорните повърхности на панелите на пода (почистване с използване на подходящ препарат).



Фиг. Q8: Конструкция на двоен под

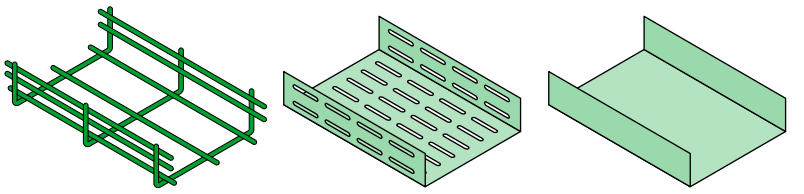
© Schneider Electric - всички права запазени

3.5 Разполагане на кабели

Изборът на материали и тяхната форма зависи от редица критерии:
- интензивност на електромагнитните смущения по кабелните трасета (близост до източниците на електромагнитни смущения, разпространявани чрез проводници или чрез излъчване);
- разрешено ниво на електромагнитни смущения, разпространявани чрез проводници или чрез излъчване;
- тип на кабелите (екранирани, усукани, оптични);
- способност на обзавеждането, присъединено към електрическата инсталация, да издържа на електромагнитни смущения;
- други ограничения, налагани от условията на околната среда (химически, механически, климатични, противопожарни и др.);
- планиране и разширение на електрическата инсталация.

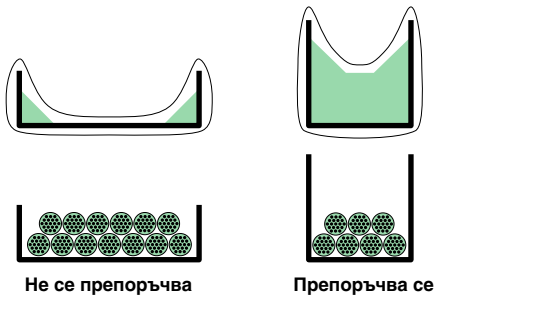
Кабелопроводите от неметални материали са подходящи за използване при:
- постоянно ниско ниво на електромагнитни смущения;
- инсталация с ниско ниво на излъчване на електромагнитни смущения;
- ситуации, в които използването на метални кабелопроводи трябва да се избягва (химически среди);
- системи с използване на оптични кабели.

За метални кабелопроводи именно формата (плоска, U-образна, тръбна и др.) определя характеристичното съпротивление, а не напречното сечение. Затворените форми са за предпочитане пред откритите, защото намаляват електромагнитната връзка. Кабелопроводите често имат канали за закрепване на кабела – колкото по-малко, толкова по-добре. Каналите, предизвикващи минимални проблеми са тези, които се изрязани паралелно и на някакво разстояние от кабелите. Канали, изрязани перпендикулярно на кабели не се препоръчват (виж **Фиг. Q9**).



Фиг. Q9: Ефективност на различни типове метални кабелопроводи

В определени случаи лошият, от гледна точка защитеност от електромагнитни смущения, кабелопровод може да се окаже подходящ, ако електромагнитната среда е с малка интензивност, ако се използват екранирани или оптични кабели или ако се използват отделни кабелопроводи за различни типове кабели (силови, за предаване и обработка на данни и др.).
Препоръчва се да се предвиди място в кабелопровода за определен брой допълнителни кабели. Височината на кабелите трябва да бъде под разделителните прегради на кабелопровода (виж **Фиг. Q10**). Капаците също подобряват EMC на кабелопроводите.
В кабелопроводите с U-образна форма електромагнитното поле се намалява в двата ъгъла. Поради тази причина се предпочитат дълбоките кабелопроводи (виж **Фиг. Q10**).



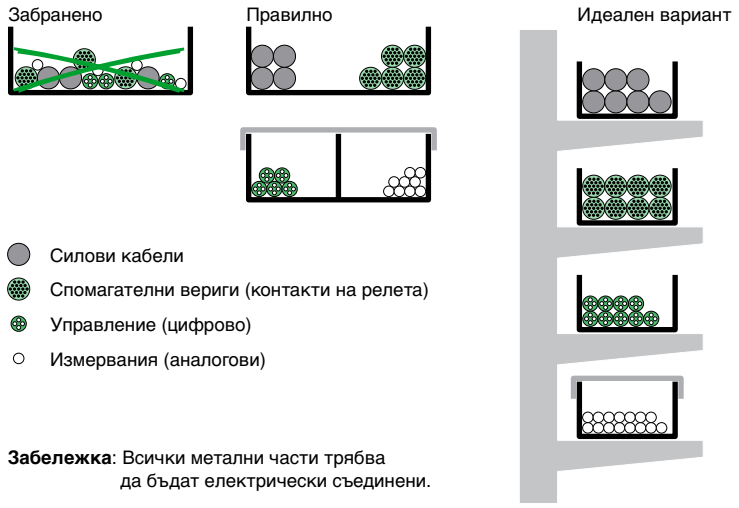
Фиг. Q10: Разположение на различни типове кабели

Различните типове кабели (силови и съединения с ниско ниво на електромагнитни смущения) не трябва да се монтират в един пакет или в един и същ кабелопровод. Кабелите не трябва да заемат повече от 50 % от капацитета на кабелопроводите.

© Schneider Electric - всички права запазени

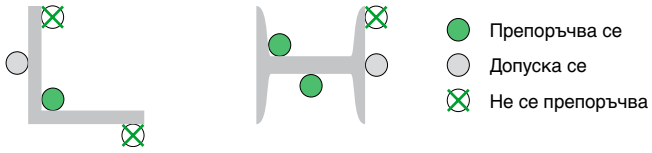
3 Конструктивно изпълнение

Препоръчва се да осъществява електромагнитно отделяне на една група кабели от друга чрез екраниране или полагане на такива кабели в различни кабелопроводи. Качеството на екраниране определя разстоянието между групите. Ако не се използва екраниране трябва да се осигурят достатъчни разстояния (виж **Фиг. Q11**).



Фиг. Q11: Препоръки при полагане на група кабели в метални кабелопроводи

Металните елементи на конструкцията на сградата могат да се използват за осигуряване на EMC. Стоманените греди (от L, H, U или T-профили) често образуват непрекъсната заземена конструкция с големи напречни сечения и повърхности, към които са присъединени многобройни междинни заземяващи съединения. По възможност, кабелите трябва да се полагат по протежение на тези греди. Разместването им по вътрешните ъгли е за предпочитане, отколкото по външните повърхности (виж **Фиг. Q12**).



Фиг. Q12: Препоръки за монтаж на кабели по стоманени греди

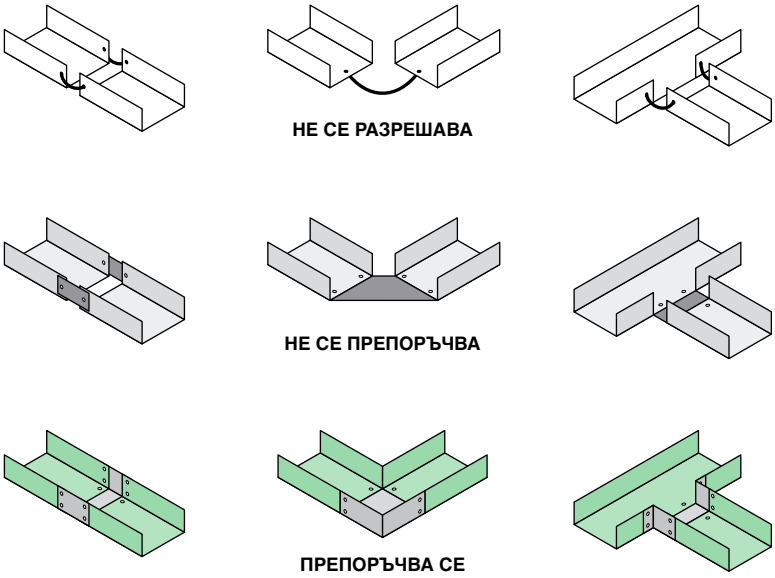
Двата края на металните кабелопроводи трябва винаги да се съединяват с местни заземяващи електроди. За много дългите кабелопроводи се препоръчват да се използват допълнителни съединения със системата за заземяване. По възможност разстоянието между тези съединения трябва да бъде различно (за да се избегне резонанса при еднакви честоти). Всички съединения със системата за заземяване трябва да бъдат къси.
Съществуват метални и неметални кабелопроводи. Металните варианти осигуряват подобрени характеристики на електромагнитната съвместимост. Кабелопроводът (кабелни скари, канали, скоби и др.) трябва от началото до края да представлява една непрекъсната проводима метална конструкция.
Алуминиевият кабелопровод има по-малко съпротивление по постоянен ток от стоманения кабелопровод със същия размер, но пълното му съпротивление Zt на стоманата се намалява при по-малки честоти, особено когато стоманата има висока относителна магнитна проницаемост μ_r.. Трябва да се внимава при използване на различни типове метали, тъй като в определени случаи не се допуска непосредствено електрическо съединение на определени метали, за да се избегне корозия. От гледна точка на EMC това може да бъде недостатък.
В случаите, когато устройствата, присъединени към електрическата инсталация, използват неекранирани кабели и не се подлагат на въздействие на нискочестотно смущение, EMC на неметалните кабелопроводи може да бъде подобрена чрез добавяне в кабелопровода на PEC. Двата края трябва да бъдат съединени към местната система за заземяване. Присъединяванията трябва да бъдат направени към метална част, имаща малко пълно съпротивление (например, към голям метален панел на корпус на устройство). PEC-проводникът трябва да издържа големи токове на късо съединение и токове от асиметричен (паралелен) режим.

© Schneider Electric - всички права запазени

Изпълнение

Ако металният кабелопровод се състои от няколко къси секции трябва да се обърне внимание върху осигуряване на неговата непрекъснатост чрез подходящото свързване на различните секции. Желателно е тези секции да се заварят по всички краища. Нитови, болтови или резбови съединения се разрешават само в този случай, ако контактните повърхности провеждат ток (няма боя или изолиращи покрития и са защитени от корозия). Трябва да се спазват подходящи моменти на затягане, за да се получи плътен електрически контакт между двете части на кабелопровода.

Ако е избрана специална форма на кабелопровода тя трябва да се използва по цялата му дължина. Всички вътрешни съединения (между секциите на кабелопровода) трябва да имат малко пълно съпротивление. Съединението на секциите на кабелопровода с помощта на един проводник създава голямо местно съпротивление, което рязко влошава характеристиките на EMC. Започвайки с честота няколко MHz, съединение с дължина 10 cm между две секции на кабелопровод, намалява коефициента на затихване повече от 10 пъти (виж **Фиг. Q13**).

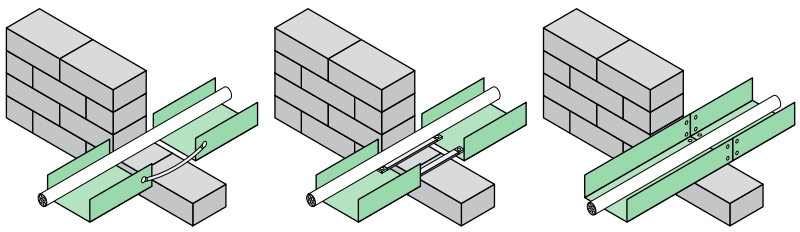


Фиг. Q13: Препоръки при монтаж на метални кабелопроводи

Всеки път, когато се извършва изменение или разширение на електрическа инсталация, е важно да се следи за това, да се спазват правилата за EMC (например, никога да не заменя метален кабелопровод с пластмасов).

Капаците за метални кабелопроводи трябва да отговарят на същите изисквания, както и самите кабелопроводи. Капакът трябва да има голям брой контакти по цялата си дължина. Ако това е невъзможно той трябва да бъде съединен с кабелопровода в двата края с помощта на къси съединения. Например, плетени или мрежести съединения.

В случай на преминаване на кабелопровода през стена (например, противопожарна преграда) между неговите две части трябва да се използват съединения с малко пълно съпротивление (виж **Фиг. Q14**).



Фиг. Q14: Препоръки за съединяване на части от метален кабелопровод при преминаване през стена

© Schneider Electric - всички права запазени

3.6 Използване на екранирани кабели

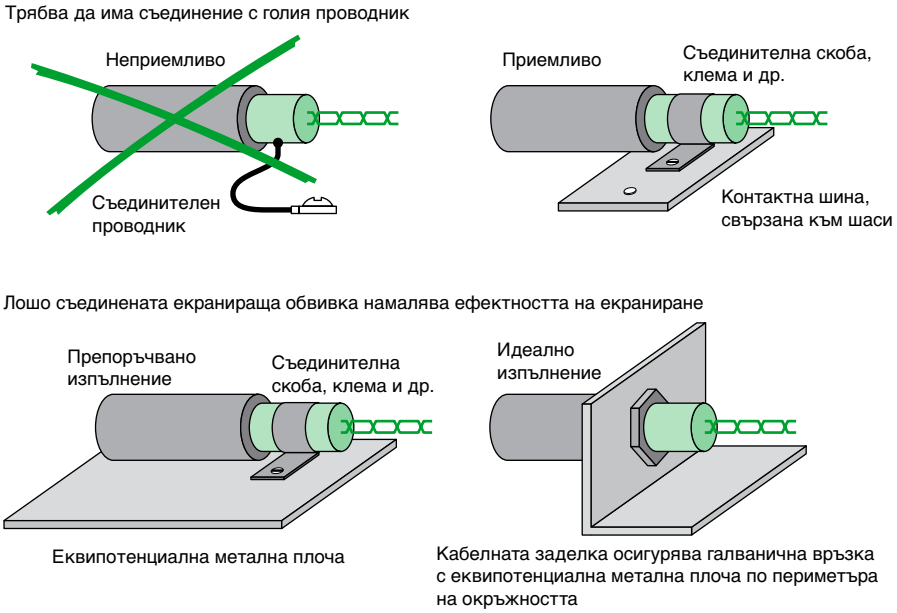
Когато е взето решение да се използват екранирани кабели, е необходимо също да се определи по какъв начин ще се съедини екраниращата обвивка (типа на заземяване, съединителя, кабелния ввод и др.), тъй като в противен случай предимствата ще бъдат в значителна степен намалени. За получаване на ефективно екраниране обвивката трябва да бъде свързана по целия периметър на окръжността. На **Фиг. Q15** са показани различни начини за заземяване на екраниращата обвивка.

За компютърно обзавеждане и цифрови канали за връзка екраниращата обвивка трябва да бъде свързана на всеки край на кабела.

Съединяването на екраниращата обвивка е много важно за осигуряване на електромагнитна съвместимост, но трябва да се обръща внимание на следното.

Ако екраниранят кабел свързва обзавеждане, разположено в една и съща еквипотенциална зона, екраниращата обвивка трябва да бъде свързана към достъпни токопроводими части в двата края на кабела. Ако свързваното обзавеждане не е разположено в една и съща еквипотенциална зона са възможни няколко решения:

- свързването само на единия край към достъпни токопроводими части е опасно. В случай на пробив на изолацията напрежението на екраниращата обвивка може да се окаже опасно за оператора или да доведе до повреда на обзавеждането. Освен това, при високи честоти екранирането не е ефективно;
- свързването на двата края към достъпни токопроводими части може да бъде опасно при пробив на изолацията. В екраниращата обвивка възниква голям ток, който може да я разруши. За отстраняване на този проблем заедно с екранирания кабел е необходимо да се положи паралелен заземяващ проводник. Сечението на този проводник зависи от тока на късо съединение в дадената част от електрическата уредба. Очевидно е, че ако в електрическата уредба се използва система за заземяване със ситна мрежа, то такъв проблем не се появява.



Фиг. Q15: Конструктивно изпълнение на екранирани кабели

3.7 Комуникационни мрежи

Комуникационните мрежи покриват големи разстояния и свързват обзавеждане, монтирано в помещения, в които могат да се използват разпределителни мрежи с различни схеми за заземяване. Освен това, ако различните площадки не са обединени от система за изравняване на потенциалите, между различните устройства, включени към тези мрежи, могат да възникнат големи преходни токове и значителни разлики в потенциалите. Както се отбеляза по-горе това може да стане при къси съединения и удари на мълнии. Максималното издържано напрежение (между проводници под напрежение и достъпни токопроводими части) на комуникационни платки, монтирани в персонални компютри и програмируеми контролери, обикновено не надхвърля 500 V. В най-добрия случай то може да достигне 1.5 kV. В електрическите уредби със затворена схема на заземяване TN-S и относително малки комуникационни мрежи, такова ниво на издържаното напрежение е приемливо. Обаче, при всички случаи се препоръчва защита от удари на мълния (в паралелен и диференциален режим).

© Schneider Electric - всички права запазени

Важен параметър е типа на използвания комуникационен кабел. Той трябва да бъде подходящ за съответния протокол на обмен на информацията. За създаване на надежден канал за връзка е необходимо да се отчитат следните параметри:

- вълново съпротивление;
- тип на кабела (усукани или други типове кабели);
- активно съпротивление и капацитет на единица дължина;
- затихване на сигнала на единица дължина;
- използван тип на екраниране.

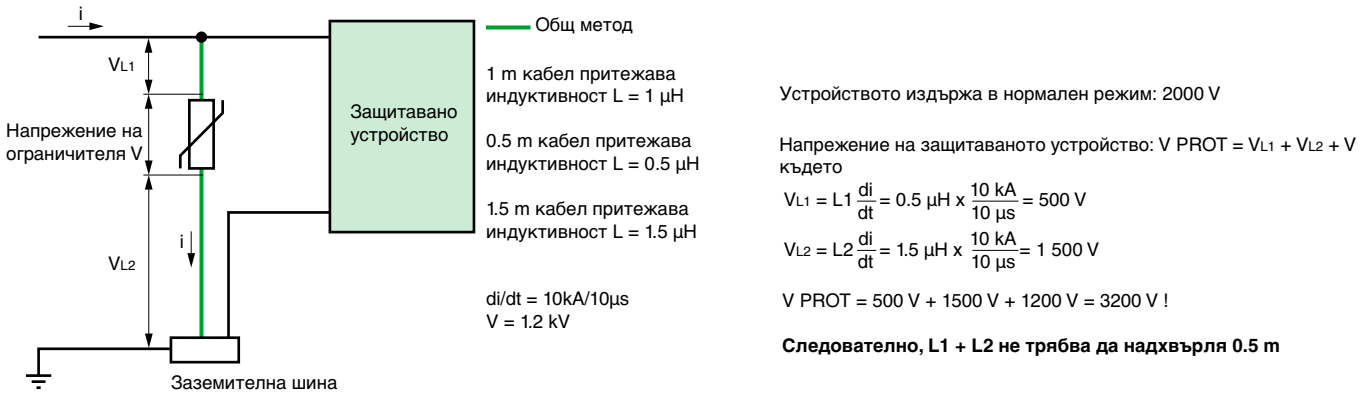
Освен това, е важно да се използват симетрични (диференциални) канали за предаване, тъй като те имат по-високи характеристики от гледна точка на осигуряване на електромагнитна съвместимост.

В условията на интензивни електромагнитни въздействия или големи комуникационни мрежи между уредбите, които не са еквипотенциални или са частично такива, при използване на схема на заземяване IT, TT или TN-C задължително се използват оптични линии за връзка.

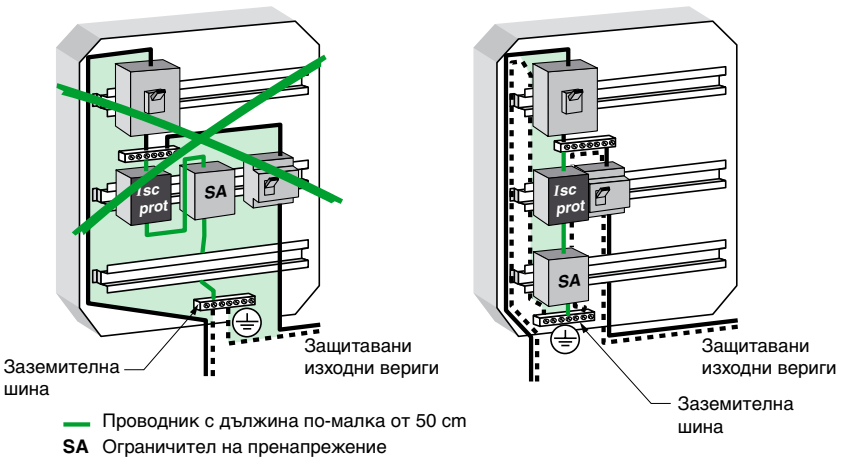
От съображения за безопасност оптичният кабел не трябва да има метални части (поради вероятност за поражение с електрически ток в случай, че този кабел свързва два участъка с различни потенциали).

3.8 Ограничители на пренапрежения

Монтажът и свързването на ограничителите на пренапрежение е толкова важен, колкото и техния избор. По-долу на **Фиг. Q16** и **Фиг. Q17a** е показано, че за ефективна защита дължината на съединителните кабели на ограничителя и неговия автоматичен прекъсвач не трябва да бъде по-голяма от 50 cm.



Фиг. Q16: Пример за свързване на защитавано устройство към клеми на ограничител на пренапрежение

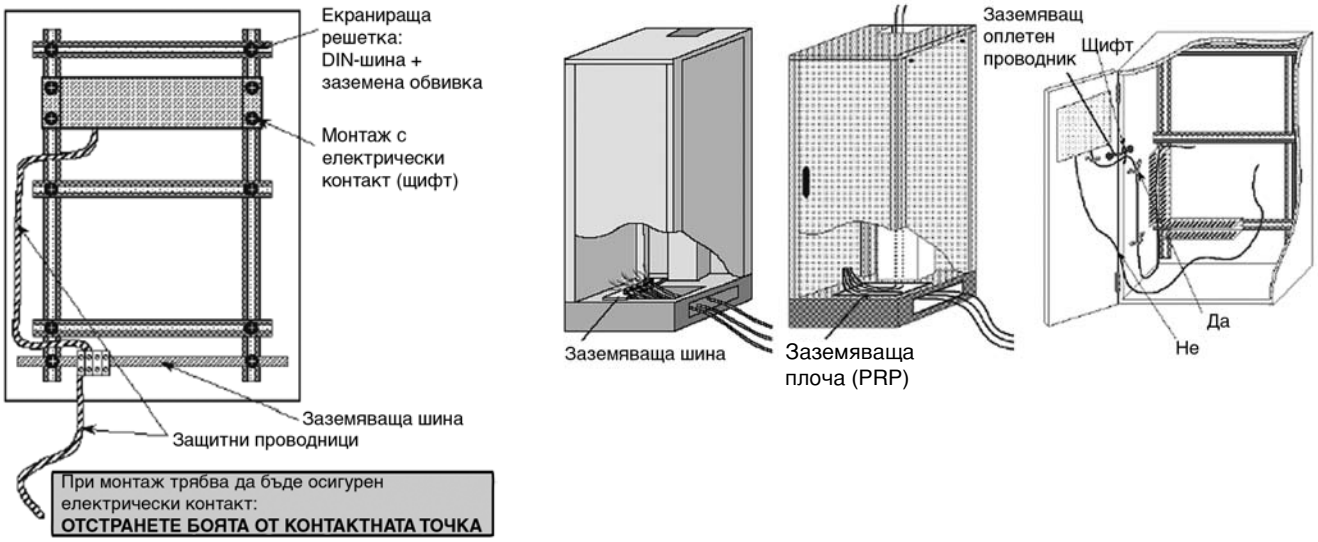


Фиг. Q17a: Примери за монтаж на комбинирани ограничители на пренапрежение SA и автоматични прекъсвачи-разединители за намаляване на пълните съпротивления и площта на горе- и долустоящите контури

© Schneider Electric - всички права запазени

3.9 Структурно окабеляване (виж Фиг. Q17b)

Всяка секция трябва да бъде снабдена със заземителна шина или заземена метална плоча. Всички екранирани кабели и външни вериги трябва да бъдат свързани към тях. Коя да е от металните плочи на секцията или DIN-шината могат да бъдат използвани като земя.
Пластмасови секции не се препоръчват. В този случай DIN-шината трябва да бъде използвана като земя.



Фиг. Q17b: Пример на защитавано устройство, свързано към клемите на ограничителя на пренапрежение

3.10 Стандарти

Необходимо е задължително да се посочват стандарти и препоръки, които трябва да се спазват при изграждане на електрическа уредба.

По-долу са посочени няколко документа, които могат да се използват:

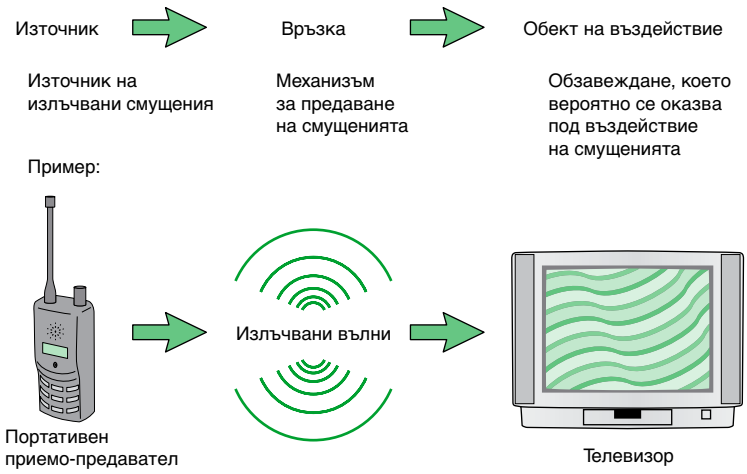
- EN 50174-1 Информационни технологии. Окабеляване. Част 1: Спецификация и осигуряване на качество.
- EN 50174-2 Информационни технологии. Окабеляване. Част 2: Планиране и изпълнение вътре в сградата.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Механизми за електромагнитна връзка и мерки за противодействие

4.1 Общи положения

Пример за въздействие на електромагнитни смущения (EM) е показан на **Фиг. Q18**.



Фиг. Q18: Въздействие на електромагнитни смущения

Източниците на смущения са:

- Радиочестотни излъчвания:
  - безжични системи за връзка (радио и телевизионни предаватели, миниатюрни радиостанции, прекъсвачи, радиотелефони, устройства за дистанционно управление);
  - радиолокатори.
- Електрообзавеждане:
  - мощно промишлено обзавеждане (индукционни пещи, заваръчни машини, системи за регулиране честотата на въртене на асинхронни двигатели);
  - офис-обзавеждане (компютри и електронни вериги, фотокопирни машини, големи монитори);
  - разрядни лампи (неонови, луминесцентни, импулсни и др.);
  - електромеханични устройства (релета, контактори и др., устройства за изключване на тока).
- Енергийни системи:
  - системи за пренасяне и разпределение на електрическа енергия;
  - системи за електрически транспорт.
- Мълнии.
- Електростатични разряди (ESD).
- Електромагнитни импулси от ядрен взрив (EMNP).

Потенциални обекти на въздействие са:

- Радио и телевизионни приемници, радиолокатори, системи за радиовръзка.
- Аналогови системи (първични преобразуватели, системи за измерване и събиране на данни, усилватели, монитори).
- Цифрови системи (компютри, системи за предаване на данни, периферийно обзавеждане).

Примери за различни типове електромагнитна връзка:

- Галванична.
- Капацитивна.
- Индуктивна.
- Връзка чрез излъчване (между кабели, между електрическо поле и кабели, между антени).

© Schneider Electric - всички права запазени

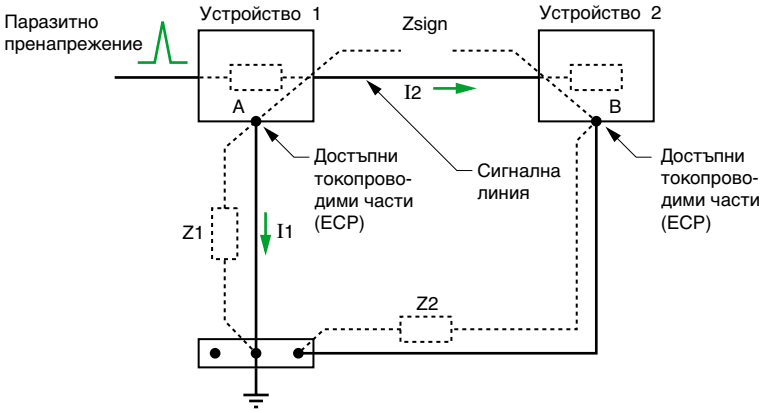
4 Механизми за електромагнитна връзка и мерки за противодействие

4.2 Галванична връзка

Определение

Галваничната връзка се реализира между две или повече устройства, съединени помежду си чрез захранващия източник и комуникационните кабели (виж **Фиг. Q19**). Когато по веригите протичат външни токове (мълниеви токове, токове на късо съединение, смущения) между точките A и B, **за които се предполага, че са еквипотенциални**, възниква нежелано напрежение. Това паразитно напрежение може да създаде смущения за нисковолтовите или бързодействащите електронни вериги.

Всички кабели, включително защитните проводници, имат пълно съпротивление, зависещо при високи честоти.



Достъпните токопроводими части (ECP) на устройствата 1 и 2 са свързани към обща клема за заземяване през пълните съпротивления Z1 и Z2.

Токът, предизвикан от паразитното пренапрежение, протича към земя през Z1. Потенциалът на устройството 1 нараства до стойност Z1xI1. Разликата в потенциалите на устройство 2 (началния потенциал, на което е равен на нула) довежда до протичане на ток I2.

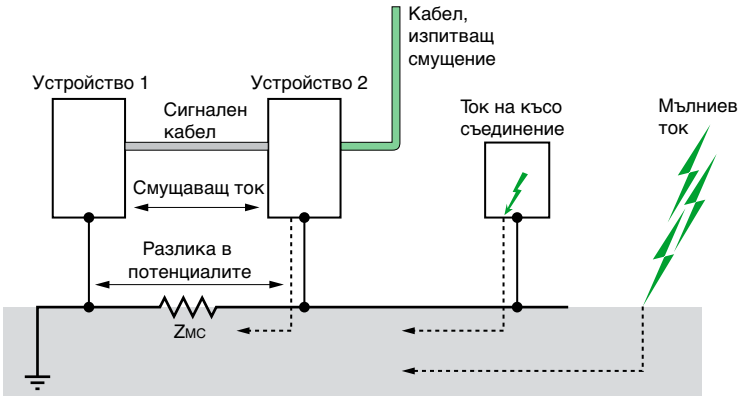
$$Z1\ I1 = (Zsign + Z2)\,I2 \Rightarrow \frac{I2}{I1} = \frac{Z1}{(Zsign + Z2)}$$

Токът I2, протичащ по сигналната линия, смущава устройство 2.

Фиг. Q19: Описание на галванична връзка

Примери (виж **Фиг. Q20**)

- Устройствата, свързани чрез общ защитен проводник (например, PEN или PE) се подлагат на кратковременни или интензивни изменения на тока (ток на земно съединение, мълниев ток, ток на късо съединение, ток при изменение на товара, комутационни токове, хармонични токове, ток на кондензаторни батерии за компенсация на cosφ и др.).
- Обща обратна верига за няколко източници на електрическо напрежение.



Фиг. Q20: Пример за галванична връзка

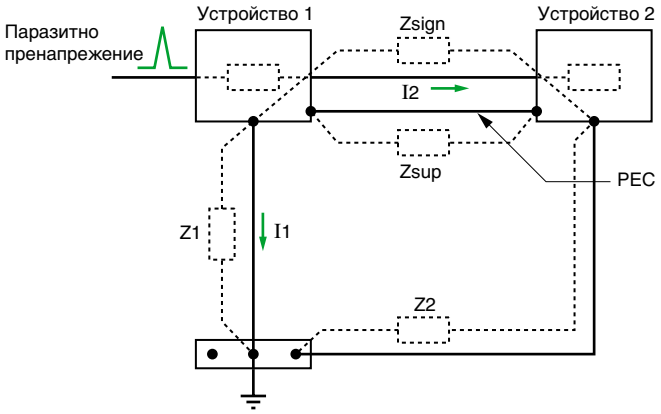
© Schneider Electric - всички права запазени

4 Механизми за електромагнитна връзка и мерки за противодействие

Мерки за противодействие (виж **Фиг. Q21**)

Ако съпротивленията между отделните контури за връзка не могат да се отстранят, то в краен случай е необходимо те да бъдат възможно най-малки. За да се намали влиянието на тези съпротивления трябва:

- Да се намалят пълните съпротивления:
  - да се обединят общите заземяващи проводници за изравняване на потенциалите в мрежата;
  - да се използват къси кабели или плоски плетени въжета, които при равни сечения имат по-малки пълни съпротивления в сравнение с кабелите с кръгло сечение;
  - да се монтира система за изравняване на потенциали между устройствата.
- Да се намали нивото на паразитните токове чрез филтриране на хармоници и използване на дросели за ограничаване на токовете на земно съединение.



Ако пълното съпротивление на паралелния заземяващ проводник (Zsup) е много ниско в сравнение със Zsign, по-голяма част от тока протича през PEC-проводника, а не през сигналната линия, както в предния случай.

Разликата в потенциалите между устройства 1 и 2 става много малка и нивото на смущението се намалява до приемлива стойност.

Фиг. Q21: Мерки за противодействие, намаляващи стойността на смущенията от галванични връзки

4.3 Капацитивна връзка

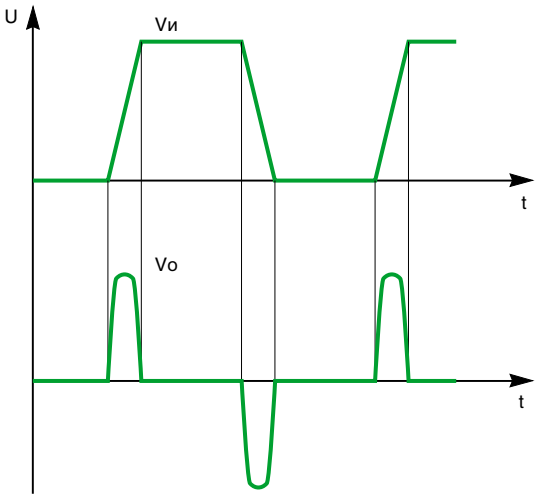
Определение

Нивото на смущение зависи от скоростта на изменение на напрежението (dv/dt) и стойността на капацитивната връзка между източника на смущения и обекта на въздействие.

Капацитивната връзка се усилва с:

- Увеличаване на честотата;
- Намаляване на разстоянието между източника на смущение и обекта на въздействие и увеличаване на дължината на паралелните кабели;
- Намаляване на височината на монтажа на кабелите спрямо заземената повърхност;
- Увеличаване на входното пълно съпротивление на веригата, подложена на въздействие на смущения (вериги с голямо входно съпротивление са по-уязвими);
- Увеличаване на диелектричната проницаемост (ε_r) на изолацията на кабела, подложен на смущаващо въздействие, особено за близко разположени двупроводни линии.

На **Фиг. Q22** са показани резултати от капацитивна връзка между два кабела.



Vи - напрежение на източника на смущение

Vo - напрежение на обекта на въздействие

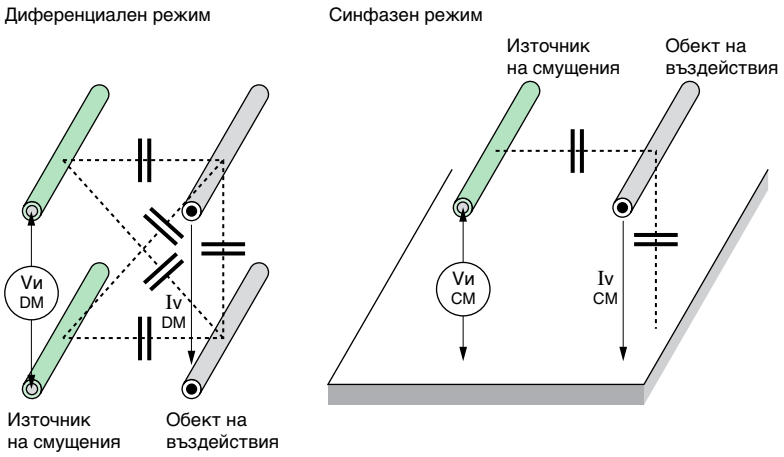
Фиг. Q22: Типичен резултат от капацитивна връзка (капацитивно смущение)

Примери (виж **Фиг. Q23** на противоположната страница)

- Близко разположени кабели, подложени на бързо изменение на напрежението (dv/dt);
- Включване на луминесцентни лампи;
- Комутируеми захранващи източници (фотокопирни машини и др.);
- Капацитивна връзка между първични и вторични намотки на трансформатори;
- Смущения между кабели.

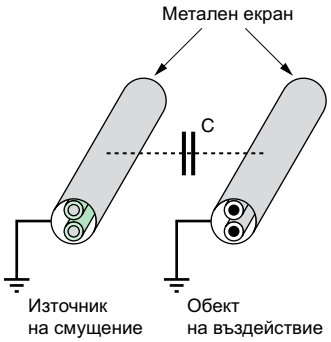
© Schneider Electric - всички права запазени

4 Механизми за електромагнитна връзка и мерки за противодействие



Vи DM: Източник на смущаващо напрежение (диференциален режим)
Iv DM: Смущаващ ток от обекта на въздействие (диференциален режим)
Vи CM: Източник на смущаващо напрежение (синфазен режим)
Iv CM: Смущаващ ток от обекта на въздействие (синфазен режим)

Фиг. Q23: Пример за капацитивна връзка



Фиг. Q24: Кабелният екран с перфорации намалява капацитивната връзка

Мерки за противодействие (виж **Фиг. Q24**)

- Да се ограничи до минимум дължината на паралелно положените кабели – източници на смущения и кабели, обекти на въздействие;
- Да се увеличи разстоянието между източника на смущение и обекта;
- При използване на двупроводни линии проводниците да се полагат колкото е възможно по-близо един до друг;
- Да се полага PEC-проводник, съединен в двата края, между източника на въздействие и обекта на въздействие;
- Да се използват дву- или четирижилни кабели, а не отделни проводници;
- Да се използва симетрично предаване на сигнали по правилно монтирани симетрични системи от проводници;
- Да се екранират кабелите – източници на смущения, кабелите – обект на въздействие, или и двата типа. Екраните трябва да бъдат свързани помежду си;
- Да се намали стойността dv/dt на източника на смущение чрез увеличаване, по възможност, на времето за нарастване на сигнала.

4.4 Индуктивна връзка

Определение

Източникът на смущение и обектът на въздействие са свързани с магнитно поле. Нивото на смущение зависи от скоростта на изменение на тока (di/dt) и големината на взаимната индуктивност.

Индуктивната връзка се усилва с:

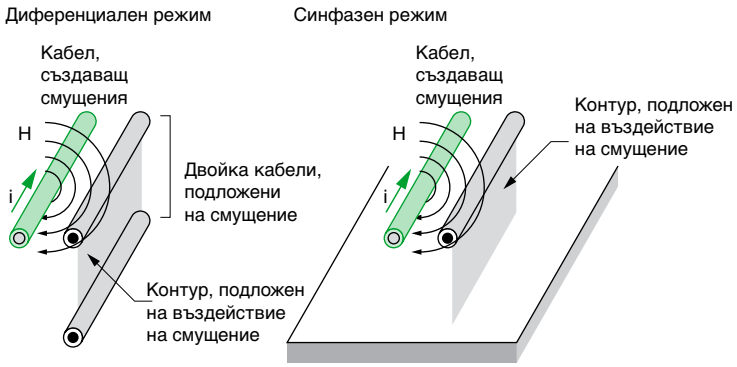
- Увеличаване на честотата;
- Намаляване на разстоянието между източника на смущение и обекта на въздействие и увеличаване на дължината на паралелните кабели;
- Намаляване височината на монтиране на проводниците, спрямо заземената повърхност;
- Увеличаване пълното съпротивлението на товара на веригата, генерираща смущение.

Примери (виж **Фиг. Q25** на следващата страница)

- Близко разположени кабели, подложени на бързо изменение на тока di/dt;
- Къси съединения;
- Токове на повреда;
- Мълниеви токове;
- Полупроводникови устройства за управление на статорни намотки;
- Заваръчни машини;
- Индуктори.

© Schneider Electric - всички права запазени

4 Механизми за електромагнитна връзка и мерки за противодействие



Фиг. Q25: Пример за индуктивна връзка

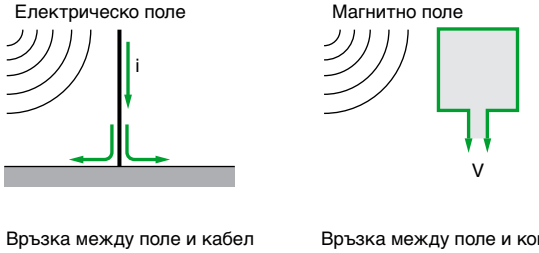
Мерки за противодействие

- Да се намали до минимум дължината на паралелно положените проводници, създаващи смущение и проводниците, обекти на въздействие;
- Да се увеличи разстоянието между източника на смущение и обекта на въздействие;
- При използване на двупроводни линии проводниците да се полагат колкото е възможно по-близо един до друг;
- Да се използват многожилни или взаимно допиращи се едножилни кабели в схеми с триъгълно полагане;
- Да се полага PEC-проводник, съединен в двата края, между източника на въздействие и обекта на въздействие;
- Да се използва симетрично предаване на сигнали по правилно монтирани симетрични системи от проводници;
- Да се екранират кабелите – източници на смущения, кабелите – обект на въздействие, или и двата типа. Екраните трябва да бъдат свързани помежду си;
- Да се намали стойността di/dt на източника на смущение чрез увеличаване, по възможност, на времето за нарастване на сигнала (с помощта на последователно свързани резистори или позистори (PTC) към кабела източник на смущения, феритни пръстени на кабела, източник на смущения и/или кабела обект на въздействие).

4.5 Връзка чрез излъчване

Определение

Източникът на смущение и обектът на въздействие са свързани чрез среда, например въздух. Нивото на смущение зависи от мощността на източника на излъчване и ефективността на излъчвателната и приемащата антена. Електромагнитното поле се състои от магнитно и електрическо поле, които са взаимно свързани. При това е възможно отделно да се анализира електрическата и магнитната съставяща.
В електропроводните линии връзката между електрическото и магнитното поле се осъществява чрез проводници и контури (виж **Фиг. Q26**).



Фиг. Q26: Видове връзки според вида на излъчване

© Schneider Electric - всички права запазени

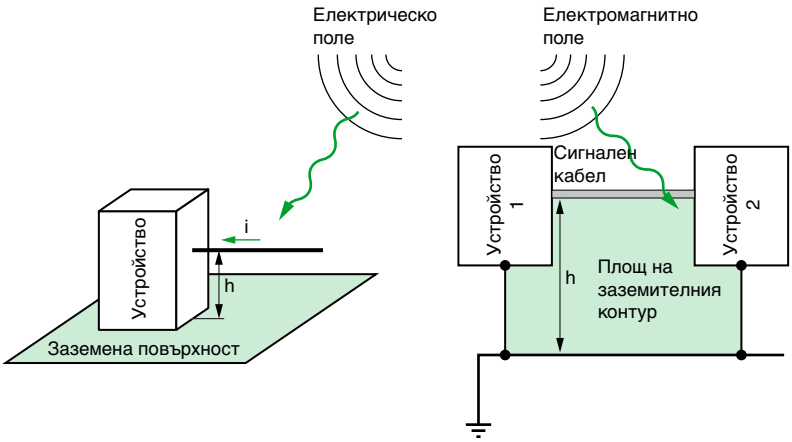
4 Механизми за електромагнитна връзка и мерки за противодействие

Когато кабелът се подлага на въздействие на променливо електрическо поле в него се генерира електрически ток. Това явление се нарича паразитно проникване на сигнал в кабела (от типа поле-проводник).

По аналогичен начин, когато променлив магнитен поток пресича контур, той индуктира противо е.д.н., което генерира разлика в потенциалите между двата края на този контур. Това явление се нарича паразитно проникване на сигнал в контур.

Примери (виж **Фиг. Q27**)

- Радиопредаватели (портативни приемопредаватели, радио- и телевизионни предаватели и мобилни телефони);
- Радиолокатори;
- Запалителни системи на автомобили;
- Машини за електродъгово заваряване;
- Индукционни пещи;
- Устройства за комутация на силови вериги;
- Електростатични разряди;
- Мълнии.



Пример за паразитно проникване на сигнал в кабел

Пример за паразитно проникване на сигнал в контур

Фиг. Q27: Примери за връзка чрез излъчване

Мерки за противодействия

За да се намалят до минимум последиците от електромагнитни паразитни проникванията е необходимо да се вземат мерките, изброени по-долу.

За намаляване паразитно проникване на сигнал в кабел

- Да се намали антенния ефект на обекта на въздействие чрез намаляване на височината H на полагане на кабела спрямо заземената повърхност;
- Да се положи кабела в непрекъснат метален кабелопровод (тръба, канал, скара);
- Да се използват екранирани кабели, които по подходящ начин са положени и съединени;
- Да се използват PEC-проводници;
- Да се монтират на кабела – обект на въздействие филтри или феритни пръстени.

За намаляване паразитно проникване на сигнал в контур

- Да се намали повърхността на контура – обект на въздействие, чрез намаляване височината на монтаж H и дължината на кабела. Да се използват решения, позволяващи намаляване на паразитно проникване на сигнал в кабела. Да се използва принципа на т.нар. Фарадеева клетка.

Електромагнитните паразитни проникванията могат да се отстранят чрез използване принципа на Фарадей. Възможно решение е екраниран кабел, при това двата края на екрана трябва да бъдат свързани към металния корпус на устройството. Достъпните токопроводими части трябва да бъдат съединени за повишаване на ефективността при високи честоти.

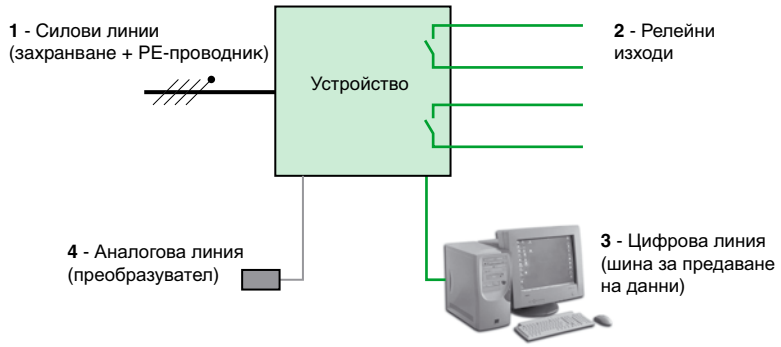
Електромагнитните паразитни проникванията се намаляват с увеличаване на разстоянието и при използване на симетрични канали за предаване.

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Препоръки при изграждане на електрически инсталации

5.1 Класове на линии за предаване на сигнали

(виж **Фиг. Q28**)



Фиг. Q28: Линиите за предаване на вътрешни сигнали могат да се групират в четири класа

Дефинират се четири класа за предаване на вътрешни сигнали:

■ Клас 1

Вериги за силово захранване, силови вериги с висок градиент на изменение на тока di/dt, импулсни захранващи източници, устройства за регулиране на мощността.

Този клас не е много чувствителен, но създава смущения за останалите класове (особено в синфазен режим).

■ Клас 2

Релейни изходи (контакти).

Този клас не е много чувствителен, но създава смущения за останалите класове (комутация, образуване на дъга при отваряне на контакти).

■ Клас 3

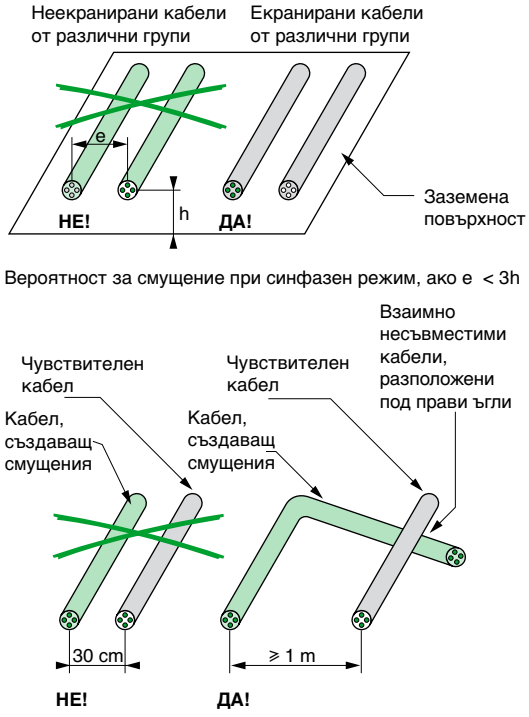
Цифрови линии (високочестотни превключвания).

Този клас е чувствителен към импулсни сигнали, но също създава смущения за следващия клас.

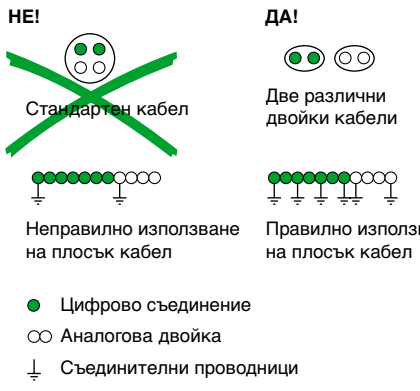
■ Клас 4

Аналогови входни и изходни линии (измервания на слаби сигнали, схеми за захранване на активни преобразуватели). Този клас е чувствителен.

За да се опрости разпознаването и разделянето на кабели на различни класове се препоръчва да се използват за всеки клас проводници с определен цвят. Това е полезно при проектиране и отстраняване на неизправности.



Фиг. Q29: Препоръки при монтаж на кабели, предаващи различни типове сигнали



Фиг. Q30: Използване на кабели и плосък кабел

5.2 Препоръки при изграждане на електрически инсталации

Кабелите, предаващи различни типове сигнали, трябва да бъдат физически разделени (виж **Фиг. Q29**)

Кабелите, създаващи смущения (от клас 1 и 2), трябва да се разполагат на определено разстояние от чувствителните кабели (от клас 3 и 4) (виж **Фиг. Q29** и **Q30**).

Ако кабелите са положени на метален лист разстоянието между тях трябва да бъде не по-малко от 10 cm (за синфазен и диференциален режим). Ако има достатъчно място е желателно разстоянието да бъде 30 cm. Ако кабелите трябва да се пресичат това трябва да бъде направено под прави ъгли, за да се избегне електромагнитно паразитно проникване (дори и ако кабелите се докосват). Изисквания по отношение разстояние между кабелите не се налагат, ако те са разделени с метална преграда, имаща еднакъв потенциал по отношение на достъпните токопроводими части. При това, височината на тази преграда трябва да бъде по-голяма от диаметъра на кабелите.

© Schneider Electric - всички права запазени

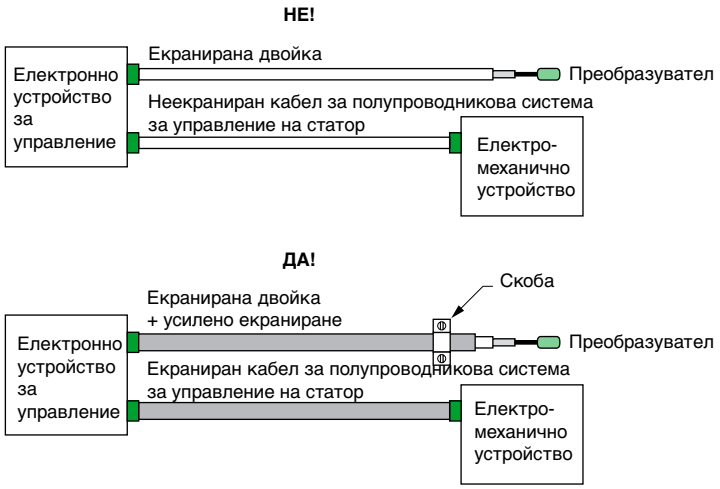
5 Препоръки при изграждане на електрически инсталации

По кабела трябва да се предават сигнали от отделна група (виж **Фиг. Q31**)

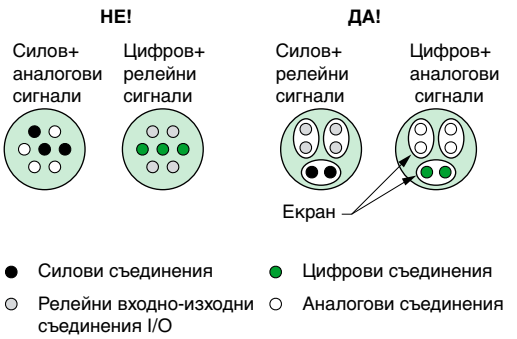
Ако е необходимо да се използва кабел за предаване на сигнали от различни групи, за ограничаване на електромагнитното паразитно проникване (в диференциален режим), използването на вътрешно екраниране е задължително. За групи 1, 2 и 3.

Препоръчва се да се екранират допълнително кабели, създаващи смущения и чувствителните кабели (виж **Фиг. Q32**)

Усиленото екраниране осигурява защита от високочестотни смущения (в синфазен и диференциален режим) ако екрана е съединен на всеки край с помощта на пръстеновиден съединител, пръстеновидна скоба или фиксатор. Използването на обикновен съединителен проводник е недостатъчно.



Фиг. Q32: Екраниране и усилено екраниране на кабел, създаващ смущение и/или чувствителен кабел



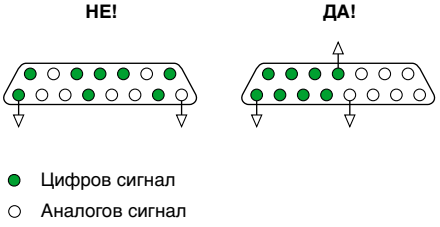
Фиг. Q31: Несъвместими сигнали трябва да се предават по различни кабели

Да се избягва общ съединител за различни групи (виж **Фиг. Q33**)

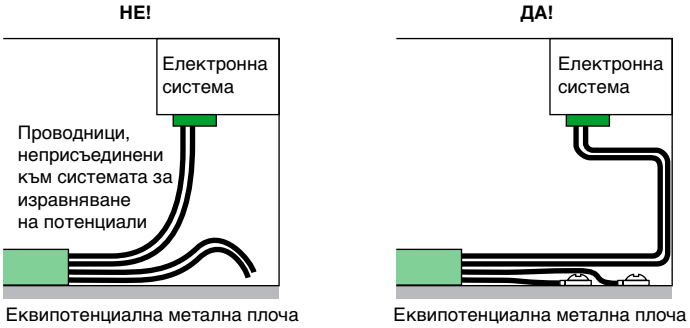
С изключение на групи 1 и 2 (диференциален режим), ако е необходимо. Ако един общ съединител се използва за аналогови и цифрови сигнали тези две групи трябва да бъдат разделени в краен случай с една контактна група, присъединена към нулев потенциал и използвана в качеството на бариера.

Всички неизползвани (резервни) проводници трябва да бъдат винаги съединени в единия си край със системата за изравняване на потенциали (виж **Фиг. Q34**)

За група 4, тези съединения не се препоръчват, за линии с много ниски стойности на напрежението и честотата (поради риск от създаване на шум при предавателни честоти поради магнитна индукция).



Фиг. Q33: Принципът на разделяне се отнася и за електрическите съединители



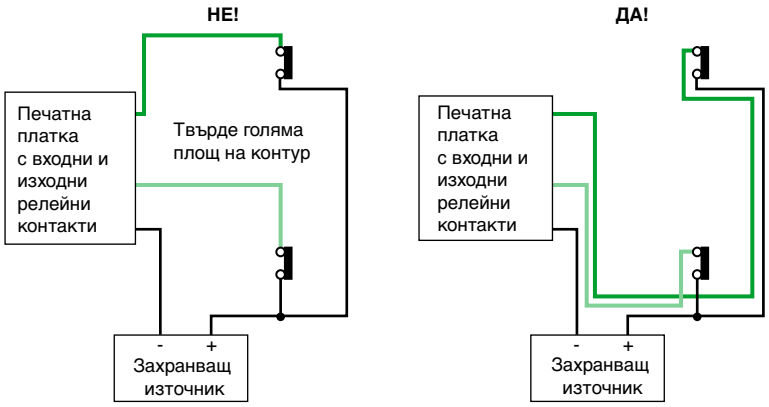
Фиг. Q34: Свободните проводници трябва да бъдат свързани със системата за изравняване на потенциали

© Schneider Electric - всички права запазени

5 Препоръки при изграждане на електрически инсталации

Двата проводника трябва да се разполагат колкото е възможно по-близо един до друг (виж **Фиг. Q35**)

Това е особено важно за преобразуватели, работещи със слаби сигнали. Дори и в случай на релейни сигнали, заедно с активните проводници трябва да се използва по един общ проводник за всеки сноп проводници. За аналогови и цифрови сигнали минимално изискване е използването на усукани двойки проводници. Използването на усукана двойка (диференциален режим) гарантира, че двата проводника остават заедно по продължение на цялата дължина на кабела.



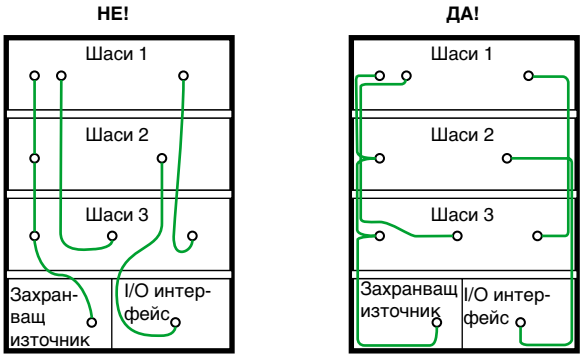
Фиг. Q35: Проводниците, образуващи двойка, трябва винаги да се разполагат близо един до друг

Кабелите от група 1 не се нуждаят от екраниране, ако те са снабдени с филтри.

Но, за осигуряване на съвместимост с изискванията от предния раздел те трябва да бъдат изпълнявани във вид на усукана двойка.

Кабелите трябва винаги да се разполагат по цялата си дължина плътно към съединените метални части на устройствата (виж **Фиг. Q36**)

Например: към капаци, метални кутии, конструкции и др. За да се осигури надеждно, евтино, и чувствително намаляване на смущения (в синфазен режим) и намаляване на електромагнитното паразитно проникване (в диференциален режим).



Всички метални части (рамки, елементи, обвивки, и т.н) са еквипотенциални

Фиг. Q36: Пример за разполагане на проводници до съединени метални части

Употребата на правилно съединена метална кутия значително увеличава вътрешната електромагнитна съвместимост (виж **Фиг. Q37**)

Фиг. Q37: Разпределение на кабели в кабелни скари

© Schneider Electric - всички права запазени

Шнайдер Електрик България ЕООД

София 1766, Младост 4
Бизнес Парк София
сграда 10, ет. 1
тел.: 02 932 93 20
факс: 02 932 93 93

Център “Обслужване на клиенти”
тел.: 0700 110 20, 02 932 93 33
факс: 02 932 93 94
e-mail: csc@schneiderelectric.bg
www.schneider-electric.bg

Варна 9009
Бизнес Парк Варна
сграда 1, ет. 1
тел.: 052 730 140
факс: 052 730 166

Бургас 8000
ул. "Александровска" 87
ет. 4
тел./факс: 056 816 970

MKTBG-EIG-01