Направете най-доброто с Вашата енергия

Шнайдер Електрик България ЕООД

София 1766
ж.к. “Младост” 4
Бизнес Парк София
Офис сграда 4, ет. 6
тел.: 02 932 93 20
факс: 02 932 93 93
e-mail: csc@schneiderelectric.bg
www.schneider-electric.bg

гр. Варна 9009
бул. Владислав Варненчик 258
Варна Тауърс
Източна кула, ет. 4
тел.: (052) 730 155
факс: (052) 730 166

Бургас 8000
ул. “Трайко Китанчев” 47, ет. 1, офис 3
тел./факс: 056 816 970

Завод Пловдив
Индустриална зона Пловдив
с. Радиново 4202
e-mail: HR.Plovdiv@bg.schneider-electric.com
тел.: 032/ 605 721; факс: 032/ 605 757

ART. 960331
MD1 GSA 2E

Стандартите, спецификациите и проектите се изменят периодично. Затова търсете потвърждаване на информацията, предоставена в това ръководство.

Този документ е отпечатан на екологична хартия

N° ISBN : 978-2-9531643-2-9

01/2014

Schneider Electric Ръководство за решения по автоматизация

Практически въпроси на индустриалния контрол 2014

Техническа колекция

Ръководство за решения по автоматизация 2014

Практически въпроси на индустриалния контрол

http://www.schneider-electric.bg

Schneider Electric

Ръководство за решения по автоматизация

Практически въпроси на индустриалния контрол

ПРЕДГОВОР

Тази книга е резултат от продължаващото партньорство между Шнайдер Електрик България ЕООД и Русенски университет „Ангел Кънчев“. То започна в далечната 2001 г., премина през изграждане на Учебен център на Шнайдер Електрик (2003), обучение на инженери и студенти, използващи продуктовата гама на компанията, издаване на Ръководство за електрически уредби (2008) и др.

Настоящият превод на Automation Solution Guide включва разглеждането на разнообразни въпроси от системите за управление на технологични процеси - електроснабдяване, товари на електрически машини, пускови и защитни устройства към електродвигатели, електробезопасност, човеко-машинен интерфейс, комуникационни мрежи, екодизайн и др. Особено полезна е представената справочна информация за основни величини в електротехниката и техните измерителни единици, най-често използвани формули в енергетиката и електрозадвижванията, системи за безопасност, преминаване от една система измерителни единици в международна система измерителни единици и др.

Преводаческият екип предлага на читателите още кратък терминологичен речник на български език и кратък английско-български речник на използваните съкращения. При създаване на книгата са отчетени последните европейски нормативни документи в разглежданата област(например,в оригинала на книгата дадените европейски проекто-директиви са заменени с вече приети в Европейския съюз документи). Положени са много усилия и за коректно терминологично описание на различни схемни решения, графични зависимости и др. Отстранени са някои от забелязаните грешки в буквените и графични означения във версията на английски език. Надяваме се, че тази книга ще бъде полезна на потребителите на продукти на Schneider Electric SA и ще помогне за по-пълно възприемане философията на компанията за непрекъснато и пълно удовлетворяване изискванията на клиентите при възможно най-висока енергийна ефективност, съчетана с грижа за опазване на околната среда.

Преводаческият екип получи съществена помощ от колеги в компанията Schneider Electric SA, както и от преподаватели на Русенски университет „Ангел Кънчев“ при оформяне на ръкописа. На всички, които допринесоха за подобряване качеството на книгата изказваме сърдечна благодарност!

Проф. д-р инж. Никола Михайлов

Доц. д-р инж. Ивайло Стоянов

Превод и техническа редакция

Въведение

Светът на индустриалната автоматизация непрекъснато променя своите технологични граници чрез иновации и предлага решения, които са прости, надеждни и ефективни.
С тази цел, за да се оправдаят очакванията на производителите на машини и системните интегратори Schneider Electric издава това ръководство, чиято първа версия е през 2008 година. То е преведено на много езици и непрекъснато се обновява.

Schneider Electric S.A.

Пазар и потребители

За да се удовлетворят растящите изисквания, и за да се справят с натиска на високите цени и защитят своето конкурентно предимство, производствените предприятия трябва да работят с максимално къс производствен цикъл и бързо да обновяват своите продукти. Те работят по две основни направления: постоянно намаляване на разходите и иновационно подобряване на продуктите.

По тези причини, много производители се концентрират главно на пазара на търсене и непрофилни операции с привличане на външни ресурси. Осен това, те разширяват изискванията за адаптивност и гъвкавост на производствения процес. В продължение на последните 20 години ние съдействахме за създаване на разработки с привличане на външни ресурси: управление на проекти и тяхната реализация с инженерингови и проектантски организации, системни интегратори и производители на оригинално обзавеждане (OEM). Тези доставчици на системи за автоматизация увеличават добавена стойност в разработките и при това преминават към специализация в ограничен брой приложения. Те станаха надеждни партньори и увеличиха дела, който поемат по отношение на отговорността и риска.

В това широко преструктуриране OEM производителите получиха възможността да разширят границите на своята дейност, за да се позиционират в качеството на притежатели на know-how в различни приложни области. Те разшириха своята област на компетенции тъй като нарасна тяхната роля и сложността на изделията.

За OEM производителите срока на доставка на доставка на пазара на нови продукти, в съответствие с бързо изменящите се изисквания към производителите, съществено се намали. Тези изисквания за бързо обновление се отнасят и за доставчиците на обзавеждане за OEM производителите - например доставчици на промишлени табла, които осигуряват комплектни решения.

Другите играчи на пазара, например инженерингови и проектантски организации, и системни интегратори, последваха същата тенденция. Основният продукт, предлаган от системните интегратори, е преработена спецификационна система (избор на решение в съответствие с изискваните характеристики и изпълнение за всеки конкретен случай). Те запазват неутралитет при избора на доставчик на обзавеждане. Инженеринговите и проектантските организации, следвайки политиката на производителите за привличане на външни ресурси за проектантски и други дейности, притежават голяма свобода при преработка на спецификации за обзавеждане, на системи за управление и автоматизации в промишлеността.

Производителите, съсредоточени върху своя основен бизнес стоят пред дилемата за избор на доставчик: намаляване на общата стойност на своята продукция и гаранция за качеството на доставката. В този аспект те сами вземат решения. Интересите на производителите и доставчиците се преплитат, но посредниците често предпочитат да предлагат комплексни решения вместо индивидуални продукти.

Тъй като инженеринговите и проектантските организации, системните интегратори, OEM производителите и производителите на промишлени табла носят все по-голяма отговорност при избора на решения, те изискват от доставчиците по-голяма компетентност в областта на приложение на своето обзавеждане.

Технология

Развитието на технологиите оказва влияние върху пазара на автоматизация и управление в съответствие с приоритетните изисквания на клиентите:

- намаляване срок на доставка на пазара,
- намаляване себестойността на изделието,
- оптимизация чрез модернизиране на инсталираното обзавеждане,
- увеличаване на гъвкавостта (бързо изменение на производствения процес),
- достъп до информация както за производствената изпълнителна система (MES), така и за техническото обслужване с цел оптимизация на производствените разходи и намаляване на времето за престой.

Посочените по-горе изисквания са трансформирани в необходимост от използване на методология за бърза разработка (функционален подход), основана на концепцията за типови устройства.

Традиционният централизиран и йерархически подход, използван до края на 90-те години, приключи. Той беше основан на идеите за интегрирано производство с използване на компютърни технологии (Computer Integrated Manufacturing CIM) за дискретни процеси и глобална система за управление (Plant Wide Systems) за непрекъснати процеси. Той се замени с децентрализирана архитектура, разпределяща функциите за автоматизация (технологичен процес, управление на електроснабдяването, безопасност) така че да се осигури специализация и автономност на функциите за локалния технологичен процес.

WEB-философията се разви в посока „отгоре-надолу“. Тя използва и развива преимуществата на мрежата ETHERNET и протокол TCP/IP, започвайки с мощни и сложни програмируеми логически контролери (PLC) и постепенно обхвана и по-малко мощните PLC-та и другите „интелигентни“ устройства. Съчетанието на ETHERNET и web-технологията позволи да се реализира директно прозрачно взаимодействие на системата за управление на технологични процеси от една страна и системата MES ERP от друга.

Аналогично, външните устройства (изпълнителни устройства, сензори, входно-изходни модули, честотно-регулируеми задвижвания и др.) следваха същия път на развитие „отгоре-надолу“, интегрирайки комуникационни функции и локална обработка и осъществявайки обмен на информация помежду си. Устройствата се развиват последователно в съответствие с концепцията „интелигентни устройства“ (Smart Device Concept).

Паралелно с това бяха приети мрежови комуникационни стандарти, което доведе до намаляване на техния брой. В момента голяма част от компонентите на системата имат възможност за непосредствено включване към комуникационната мрежа. Това е резултат от комбинираното действие на web-технологиите, използвайки възможностите, предлагани от мрежовите стандарти, бързото намаляване на

цените и навлизане на електрониката в електромеханичните устройства.

За последните 10 години средствата за автоматизация и езиците за програмиране придобиха принципно нови възможности, изминавайки пътя от апаратно-ориентирано програмно осигуряване до мощни стандартизирани инструментални средства. Езиците за програмиране на PLC се развиха в направление за осигуряване на функционален подход. Това развитие осигури следните предимства: намаляване на времето за приложни разработки, увеличаване на възможността за използване на типови функционални блокове чрез препрограмиране и съвместна работа с компоненти, разработени от различни ползватели.

Освен това, информацията, получена с помощта на различни програмни средства може да бъде използвана чрез „кооперативни“ средства, благодарение на съвместно обработваните бази от данни, което позволява радикално да се подобри управлението на потоците информация (параметри, променливи др.).

Изводи

Компанията Schneider Electric е лидер в областта на автоматизацията на производствени процеси, отговаряйки на предизвикателства на времето, Компанията отделя голямо внимание за защита на инвестициите, направени от клиентите, тъй като потребителите очакват продължително обслужване и съвместимост с новото обзавеждане за автоматизация.

За да удовлетвори растящите изисквания на своите потребители при комплексни решения и отчитайки развитието на технологиите, компанията Schneider Electric разработи метод за комплексни решения (Solution Approach) за системи за управление на технологични процеси и автоматизация в промишлеността. Методът е ориентиран към изделията на компанията. Тези изделия, в по-голямата си част, са най-добрите в своя клас. Методът за комплексни решения на Schneider Electric има за цел да предложи напълно проверени и изпитани варианти на архитектура за автоматизация, които производителите на комплектно обзавеждане и системни интегратори могат да адаптират, за да използват това решение, което те търсят. Тази книга представя на читателите практически Метод за комплексни решения.

Речник

A

AA (Air Acidification) - окисляване на въздуха
Acceleration ramp - крива на ускоряване
ACK (Acknowledgement) - потвърждаване
Alarm - сигнал
All-in-one-panel - всичко в едно електрическо табло
Arc - електрическа дъга
Arc chute - дъгогасителна камера
ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) - специализирана печатна платка
AS-Interface (Actuator Sensor Interface, AS-i) - интерфейс задвижване-преобразувател
AV (Probability of Avoiding or Limiting the Harm) - вероятност за избягване или ограничаване на вредите
AWG (American Wiring Gauge) - американски стандарт за типоразмер на медни проводници, в който геометричните размери (диаметъра на проводника) се обозначава с кодове от 1 до 50 ssn

B

Bounce - вибрация
Brake resistor - спирачен резистор
Braking chopper - спирачен ключ (електрически)
Branching device - отклонител
Brass - месинг
Break current - ток в момента на прекъсване на веригата
Browser - програма за преглеждане на уеб страници
Byte - единица за обем на информация, записана в цифров (двоичен) вид

C

CANopen (Controller Area Network) - промишлени комуникационни подсистеми за интерфейси на контролери
CCD (Charged Couplet Device) - полупроводникова светочувствителна матрица
CCF (Common Cause Failures) - типична причина за откази
CEN (European Committee for Standardization) - Европейски комитет по стандартизация
CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) - Европейски комитет по стандартизация в областта на електротехниката
Chopper - превключвател
CIM - Computer Integrated Manufacturing
Closed loop - затворена система за управление
Closed-state - включено/отпушено състояние
CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) - комплиментарна логика на MOS (или МОП) транзистори)
CODESYS (Controller Development System) — инструментален програмен комплекс за промишлена автоматизация
COM/DCOM (Distributed Component Object Model) - разпределен обектно ориентиран модел
Continuous duty D1 - продължителен режим на работа
Controlled rectifier - управляем изправител
Converging lens - събирателна леща
Countercurrent braking - спиране с противовключване
CPS (Control and Protection Switching Gear) - интелигентна система за управление и защита
CPU (Central Processing Unit) - централно устройство за управление
CRC (Cyclic Redundancy Check) - алгоритъм, проверяващ за грешки при предаване и съхранение на данни използващ контролна сума
CS (Control System) - система за контрол
CU (Control Unit) - управляващ блок
CVF (Flux Vector Control) - векторно управление

D

DC (Direct Current) - постоянен ток
DC converter - постояннотоков преобразувател на напрежение
DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) - протокол за динамична конфигурация на крайно устройство
DOL (Direct on Line) - директно включване
Down time - време за доставка

E

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) - енергонезависима препрограмируема памет с електрически запис и електрическо изтриване.
EIME (Environmental Information and Management Explorer) - програмно-апаратно средство, осигуряващо информация за околната среда, нейното опазване и рационално използване
Electric screw jack - електрическо винтово устройство
Electrical durability - електрическа дълготрайност
ELV (Extra Low Voltage) - свръхниско напрежение
EMC (Electromagnetic Compatibility) - електромагнитна съвместимост
Emergency stop - авариен стоп
Encoder - кодиращо устройство

End to end - директно свързване
Environmental friendly - благоприятно за околната среда
EPC (Electronic Product Code) - електронен код на продукта
ERP (Enterprise Resource Planning) - система за планиране ресурсите на предприятие
Explosion -proof box - взривонепроницаема обвивка

F
Factorycast - уеб сървъри, вградени „при източника“ в контролера
FB (Function Block) - функционален блок
FBD (Function Block Diagram) - функционална блокова диаграма
FCS (Frame Check Sequence) - контрол на последователността на цикъла
FCV (Frequency-to-Voltage-Converter) - преобразувател на честота и напрежение
FDR (Faulty Device Replacement) - подмяна на неизправно устройство
Feedback - обратна връзка
FeRAM (Ferroelectric RAM) - енергонезависима памет с произволен (непосредствен) достъп на феромагнитна подложка
Flicker - трептене на светлина
Fluorescent lighting - осветление с луминесцентни лампи
Flush mounted - скрит монтаж
FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) - критичен анализ за търсене на откази (неизправности)
Frequency and duration of exposure - честота и продължителност на действие на опасността
Frame - единица за информация (кадър)
FTP (File Transfer Protocol) - протокол за прехвърляне на файлове

G
GTO (Gate Turn Off Thiristor) - специализиран транзистор, управляван от отрицателен импулс
GWP (Global Warming Potential) - потенциал за глобално затопляне

H
Heating - топлотехническа уредба
High set point - горна граница
HMI (Human-Machine-Interface) - интерфейс човек-машина

I
IANA (Internet Assigned Numbers Authority) - администрация на адресното пространство Интернет
IDA (Interface for Distributed Automation) - интерфейс за разпределена автоматизация
IDE (Integrated Development Environment) - интегрирана среда за разработка
IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) - специализиран биполярен транзистор с изолиран гейт
IL (Instruction List) - списък с инструкции
Incandescent lighting - осветление с лампа с нажежаема спирала
Inertia - инерционен момент
Inrush current - пусков ток
Insolation - изолация; разединяване
Insulation category - клас на изолация
Interface management - управление на взаимодействието
Invert locking voltage - обратно напрежение
IPM (Integrated Power Module, Intelligent Power Module) - силови захранващи модули
IPP (Integrated Product Policy) - единна стокова политика
IRreflex - система, използваща стандартно отразяване
Ith - стандартен термичен ток

J
Jerky operation - режим с ударно натоварване
Joystick - лост за управление

L
LAN (Local Area Network) - локална мрежа
LD (Ladded Diagram - релеен език/ладер диаграма
Leakage Inductance – индуктивно съпротивление на разсейване
LED (Light Emitting Diode) - светодиод
LGP pump (Low Ground Pressure Pump) - помпа за ниско налягане
Library object - библиотечен документ (или част от него), създаден със средства на дадено приложение
Life-time - срок на служба
Lighting equipment - осветителна уредба
LSB (Least Significant Bit) - младши разряд
LV (Low Voltage) - ниско напрежение

M
Magnetic flux inductance - индуктивност от основния магнитен поток
Magnetising inductance - индуктивност
Master - главно устройство
Master speed controller - главен скоростен регулатор
Mechanical characteristic - механична характеристика
MES (Manufacturing Execution System) - производствена изпълнителна система
MIB (Management Information Bases) - база от данни за управление на мрежа
MMIS (Information System for Management and Monitoring) - информационна система за управление и наблюдение
Mode - режим
MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) - метал-оксид-полупроводник (МОП). Понякога се търси еднаквост с английското съкращение и се интерпретира като метал-оксид-силиций (МОС)
Motor stall - надвишаване на критичния момент на асинхронен двигател (спиране)
MSB (Most Significant Bit) - старши разряд
MT (Max Torque) - максимален момент
MTTFd (Mean Time to Failure of Device) - средна отработка до опасен отказ на устройство
Multiple - паралелно свързване на изводи
MV (Medium Voltage) - средно напрежение

N
NC normal closed (fault contact) - нормално затворен контакт
NOT (Nominal Operation Temperature) - номинална работна температура
NRZ (Non Return to Zero) - код без връщане към нулата
NTP (Network Time Protocol) - протокол за мрежово време
Non-periodic load and speed variation duty D9 - режим с непериодично изменение на натоварването и скоростта тип D9

O
OD (Ozone Depletion) - изтощаване на озоновия слой
OEM (Original Equipment Manufacturer) - производител на оригинално обзавеждане
Off-state - изключено/запушено състояние
OLE (Object Linking and Embedding) - свързване и вграждане на обекти. Това е най-широко използваната технология за създаване на интегрирани документи.
OLE for Process Control Factory Server - OLE за сървър за управление на технологични процеси
Operating mode - режим на работа
Oscillator - генератор на сигнал
Oversynchronous breaking system - система за свръхсинхронно спиране

P
PDO (Process Data Object) - технологични данни на обект
PEP (Product Environmental Profile) - екологичен профил на продукт
Performance level - ниво на качество
Periodic continued duty with load-speed-linked changes D8 - периодичен непрекъснат режим, с взаимосвързани изменения на скоростта и натоварването тип D8
Periodic intermittent duty D3 - прекъснат периодичен режим (повторно-кратковременен) тип D3
Periodic intermittent duty with starting D4 - повторно-кратковременен режим с пускане тип D4
Periodic intermittent duty with electrical braking D5 - повторно-кратковременен режим с електрическо спиране тип D5
PFHD (Probability of a Dangerous Failure per Hour) - вероятност за опасен отказ в час
PICCS (Performance, Installation, Constraints, Cost, Size) - изпълнение, уредба, външни условия, цена, размери
Pixel - малък базов елемент, използван за изграждане на цифрово изображение
PL (Performance Level) - ниво на качество
PLC (Programmable Logic Controller) – програмируем логически контролер
Plugging - режим на спиране на двигател
POC (Photochemical Ozone Creation) - образуване на фотохимичен озон
Polarized reflex - система, използваща поляризовано отразяване
Positive opening - принудително задействане
Power ratio - предавателно число, cosϕ
Pr (Probability of Occurrence of a Hazardous Event) - вероятност за появяване на опасно събитие
Pre-actuator - реле
Progressive starter - устройство за плавно пускане на електрически двигател
PSTN (Public Switched Telecommunications Network) - обществена телекомуникационна мрежа
PTC (Positive Temperature Coefficient of Resistor) – положителен температурен коефициент на съпротивление
Punch through connector - съединител за съединяване и разединяване на електрически вериги при отсъствие на галванична връзка със захранващата мрежа
PWM (Pulse Width Modulation) - широчинна импулсна модулация (ШИМ)

R
RAM (Random-Access Memory) - памет с произволен (непосредствен) достъп
RC (Rated Current) - номинален ток

Ready-made connections - предварително изработени кабелопроводи/шинопроводи
Ready-to-use - готов за употреба/използване
RFIF (Radio-Frequency Identification) - радио-честотна идентификация
RMD (Raw Material Depletion) - намаляване на суровини запаси
RoHS (Restriction of Hazardous Substances) - ограничаване на опасни вещества
ROM (Read Only Memory)- постоянна памет
RT (Rated Torque) - номинален момент
RTPS (Real Time Publisher Subscriber - протокол „издател-абонат“ в реално време
RTR (Remote Transmission Request) - отдалечена заявка за предаване на данни

S
Safety integrity level - ниво на съвкупна безопасност
SC (Starting Current) - пусков ток
SCADA (Supervisory Control and Data Acquation) - система за диспечерски контрол и събиране на данни
Scanning - развивка, възпроизвеждане на изображение
SCPD (Short Circuit Protective Device) - устройство за защита от къси съединения
Se (Severity) - степен на поражение
Separate constant-rate duty D10 - отделни установени режими тип D10
SERCOS (Serial Real-time Communications System) - серийна комуникационна система в реално време
Shaded pole winding motor - двигател с екранирани полюси (двигател с разцепени полюси или с накъсо съединени навивки на полюсите).
SIL (Safety Integrity Level) - ниво на обща безопасност
Slip ring motor - двигател с навит ротор
Smart device concept – концепция, основана на използването на интелигентни устройства
Smart device - интелигентно устройство
SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) - прост протокол за електронна поща
SNMP (Simple Network Management Protocol) - прост протокол за мрежово управление
Solution approach – последователност на решение
Speed control - управление на скоростта
Squirrel cage motor – асинхронен двигател с накъсосъединен ротор
SRECS (Safety Related Electrical Control System machinery) - безопасно свързани електрически, електронни и програмируеми електронни системи за управление на машини
SRP (Safety-Related Parts) - части, свързани с безопасността
SRS (Safety Requirements Specification) - спецификация на изискванията за безопасност
SS (Sub-system)- подсистема
ST (Starting Torque) - пусков момент
ST (Structured Text - структуриран текст
Start with auxiliary phase - пускане на еднофазен двигател с допълнителна намотка
Starting mode - режим на пускане
Surge pressure - рязко нарастване на налягане (ударна вълна)
SCoD (Smart Control Device) -- интелигентно управляващо устройство

T
Temporary duty D2 - кратковременен режим на работа тип D2
TFTP (Trivial File Transfer Protocol) - опростен протокол за предаване на файлове
THD (Total Harmonic Distortion) - сумарен коефициент на хармонични изкривявания
Thick film resistor - многослоен резистор
Thin film - тънкослоен
Torque - въртящ момент
Touch screen - екран, чувствителен на допир
Transient phenomena - преходен процес
Transparent ready - връзка между всички нива на автоматизация на предприятие с една промишлена шина
Trip signal - сигнал за аварийно изключване

U
UAG (User Application Generator) - генератор на приложни програми
UDE (Unity Developer’s Edition) - редактор на програмно осигуряване
Unbalanced phase - несиметрия на напрежение

V
Voltage dip - кратковременно намаляване на напрежението

W
WAN (World Area Network) - световна мрежа
Watchdog (WDT) - стражев таймер
WD (Water Depletion) - намаляване запасите от вода
WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipment) - отпадъци от електротехническо и електронно обзавеждане
Withstand current - номинален издържан кратковременен ток
WWW (World Wide Web) - мрежа от взаимно свързани хипертекстови документи, достъпни през Интернет

Терминологичен речник

Продукт, свързан с енергопотреблението („продукт“), е всяка стока, която при употребата си оказва въздействие върху потреблението на енергия, който е пуснат на пазара и/или в действие, и включва части, предназначени за монтиране в продукти, свързани с енергопотреблението, обхванати от Директива 2009/125/ЕО, които се пускат на пазара и/или в действие като отделни части за крайни потребители и за които може да се направи независима оценка на екологичното представяне.

Компоненти и монтажни възли са части, предназначени за монтиране в продукти, които не се пускат на пазара и/или в действие като отделни части за крайни потребители и за които не може да се направи независима оценка на екологичното представяне.

Мерки по прилагането са мерките, приети в съответствие с Директива 2009/125/ЕО, които определят изискванията за екодизайн към определени продукти или техните екологични аспекти.

Пускане на пазара е първото доставяне на продукт на пазара на Общността с цел да бъде разпространен или използван в рамките на Общността срещу възнаграждение или безплатно и независимо от техниката на продаване.

Пускане в действие е първото използване на продукт по предназначение от краен потребител в Общността.

Производител е физическо или юридическо лице, което произвежда продукти, обхванати от Директива 2009/125/ЕО, и отговаря за тяхното съответствие с изискванията на настоящата директива по отношение на пускането им на пазара и/или в действие под собственото име или търговската марка на производителя или за да бъдат използвани от самия производител. При отсъствието на производител по смисъла на първото изречение на настоящата точка или на вносител по смисъла на точка 8 всяко физическо или юридическо лице, което пуска на пазара и/или в действие продукти, обхванати от Директива 2009/125/ЕО, се счита за производител.

Упълномощен представител е всяко физическо или юридическо лице, установило се в Общността, което е получило писмено пълномощие от производителя да изпълнява от негово име всички или част от задълженията и формалностите, свързани с Директива 2009/125/ЕО.

Вносител е всяко физическо или юридическо лице, установило се в Общността, което пуска продукт от трета страна на пазара на Общността, упражнявайки търговска дейност.

Материали са всички материали, използвани през жизнения цикъл на продукт.

Продуктов дизайн е поредица от процеси, които трансформират правните, техническите, защитните, функционалните, пазарните и други изисквания, на които трябва да отговаря продуктът, в техническа спецификация на упоменатия продукт.

Екологичен аспект е елемент или функция на продукт, които могат да си взаимодействат с околната среда през неговия жизнен цикъл.

Въздействие върху околната среда е всяка промяна на околната среда, която изцяло или частично е предизвикана от продукт през неговия жизнен цикъл.

Жизнен цикъл са последователните и взаимосвързани етапи на продукт от влагането на суровината до окончателното му изхвърляне.

Повторна употреба е всяка операция, чрез която продукт или неговите компоненти, след като са стигнали края на първото им използване, се използват за целта, за която са били създадени, включително и продължаване на използването на продукт, който е върнат в събирателен пункт, на дистрибутор, на преработвател на вторични суровини или производител, както и повторно използване на продукт след обновяване.

Рециклиране е преработване в производствения процес на отпадъчни материали, за да бъдат използвани за първоначалното си предназначение или за други цели с изключение на оползотворяването на енергия.

Оползотворяване на енергия е използването на горивни отпадъци като средство за производство на енергия чрез директно изгаряне с или без други отпадъци, но като се оползотворява топлинната енергия.

Оползотворяване е всяка от приложимите операции, пред видени в точка Б от приложение II към Директива 2006/12/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 5 април 2006 г., относно отпадъците [1].

Отпадък е вещество или предмет в категориите, дадени в приложение I към Директива 2006/12/ЕО, което собственикът му изхвърля, възнамерява да изхвърли или трябва да изхвърли.

Опасен отпадък е отпадък, обхванат от член 1, параграф 4 от Директива 91/689/ЕИО на Съвета от 12 декември 1991 г., относно опасните отпадъци [2].

Екологичен профил е описание, в съответствие с мярката по прилагането, приложима за продукта, на входните елементи и изходните елементи (например материали, емисии и отпадъци), свързани с продукта през целия му жизнен цикъл, които имат значение от гледна точка на въздействието на продукта върху околната среда и са изразени във физически количества, които могат да се измерят.

Екологично представяне на продукт са резултатите от управлението на екологичните аспекти на продукта от страна на производителя, отразени в техническата документация за продукта.

---

[1] BG 31.10.2009 г. Официален вестник на Европейския съюз L 285/15 OB L 114, 27.4.2006 г., стр. 9;

[2] BG 31.10.2009 г. Официален вестник на Европейския съюз L 285/15 OB L 377, 31.12.1991 г., стр. 20.

Подобряване на екологично представяне е процесът на повишаване на екологичното представяне на продукта през следващите поколения, но не задължително за всички екологични аспекти на продукта едновременно.

Екодизайн е интегрирането на екологичните аспекти в дизайна на продукта с цел подобряване на екологично представяне на продукта през целия му жизнен цикъл.

Изискване за екодизайн е изискване към продукт или дизайна на продукт, предназначено да подобри екологичното му представяне, или изискване за представяне на информация, свързана с екологичните аспекти на продукта.

Генерично изискване за екодизайн е всяко изискване за екодизайн, базирано на екологичния профил като цяло на продукта, без да са определени допустимите **гранични стойности за конкретните екологични аспекти.**

Специфично изискване за екодизайн е измеримо, включително и количествено, изискване за екодизайн, свързано с конкретен екологичен аспект на продукта, като например консумация на енергия при употреба, изчислена за единица резултат от дейността.

Хармонизиран стандарт е техническа спецификация, приета от признат орган по стандартизация съгласно мандат от Комисията в съответствие с процедурата, предвидена в Директива 98/34/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 22 юни 1998 г., за определяне процедура за предоставяне на информация в областта на техническите стандарти и регламенти, с цел да се създаде европейско изискване, съответствието с което не е задължително.

Съдържание

1 Ръководство за решения по автоматизация 16

2 Електроснабдяване 36

3 Електрически товари и двигатели 44

4 Пускане и защита на двигатели за променлив ток 72

5 Устройства за управление на електродвигатели 96

6 Събиране на данни: измерване 148

7 Безопасност на хора и обзавеждане 178

8 Диалог човек-машина 202

9 Индустриални мрежи 222

10 Обработка на данни и програмно осигуряване 258

11 Производство на обзавеждане 282

12 Екодизайн 304

C Справочна информация 318

Ръководство за решения по автоматизация

Подробно съдържание

1 Ръководство за решения по автоматизация 16

1.1 Увод 18
1.2 Автоматизирано обзавеждане 18
1.3 Структура на системите за автоматизация 21
1.4 Основни структури 22
1.5 Избор на автоматизирано обзавеждане 25

2 Електроснабдяване 36

2.1 Увод 38
2.2 Електроснабдяване на машини 38
2.3 Стандарти и правила 38
2.4 Захранващи източници 40
2.5 Захранващи източници на схемите за управление 41

3 Електрически двигатели и товари 44

3.1 Трифазни асинхронни двигатели 46
3.2 Еднофазни двигатели 50
3.3 Синхронни двигатели 51
3.4 Постояннотокови двигатели 54
3.5 Работа на асинхронни двигатели 56
3.6 Сравняване на електрически двигатели 60
3.7 Видове товари 60
3.8 Вентили и винтови електрически механизми 66

4 Пускане и защита на двигатели за променлив ток 72

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател 74
4.2 Електрическо спиране на трифазни асинхронни двигатели 80
4.3 Многофункционални пускатели на двигатели 86
4.4 Защита на двигател 88
4.5 Загуби на мощност в двигателя и нагряване 88
4.6 Причини за неизправности в двигателя и последици от тях 89

5 Устройства за управление на електродвигатели 96

5.1 Увод 98
5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели 98
5.3 Конструкция и принцип на работа на контактор 108
5.4 Избор на контактор 110
5.5 Моторни пускатели и координация 111
5.6 Интелигентни пускатели 116
5.7 Честотни регулатори 119
5.8 Структурни компоненти и електронни скоростни контролери 123
5.9 Силови компоненти 124
5.10 Регулатор на напрежение за постояннотокови двигатели 128
5.11 Честотни преобразуватели за асинхронни двигатели 130
5.12 Регулатор на напрежение за асинхронни двигатели 136
5.13 Регулатор на скорост за синхронни двигатели 137
5.14 Регулатор за стъпкови двигатели 138
5.15 Допълнителни функции на скоростни регулатори 139
5.16 Скоростни регулатори и качество на електрическата енергия 141
5.17 Скоростни регулатори, икономия на електрическа енергия и техническо обслужване 144
5.18 Таблица за избор на устройства за управление на двигател 145

6 Събиране на данни: измерване 148

6.1 Увод 150
6.2 Електромеханични крайни изключватели 151
6.3 Индуктивни безконтактни преобразователи 152
6.4 Капацитивни безконтактни преобразуватели 154
6.5 Фотоелектрически преобразуватели 156
6.6 Ултразвукови преобразователи 158
6.7 RFID - Радио-честотна идентификация 160
6.8 Системи за техническо зрение 163
6.9 Оптични енкодери 166
6.10 Прекъсвачи за налягане и вакуум 172
6.11 Заключение 176
6.12 Препоръки за избор на първични преобразуватели 177

7 Безопасност на хора и обзавеждане 178

7.1 Увод 180
7.2 Термини и определения. Област на приложения на устройства за безопасност 180
7.3 Опасности в промишлеността 182
7.4 Европейско законодателство 184
7.5 Стандарт, използван към избран проект за управление на машина 186
7.6 Стандарт EN/ISO 13849-1 Безопасност на машините. Части от системите за управление, свързани с безопасността 187
7.7 Стандарт EN 62061 Безопасност на машините. Функционална безопасност на безопасно свързани електрически, електронни и програмируеми електронни системи за управление 192
7.8 Сертификация и маркировка 197
7.9 Обзор на опасни условия на околна среда 199

Подробно съдържание

8 Диалог човек-машина 202

8.1 Предназначение на интерфейса човек-машина 204
8.2 Обзор на потребителски изисквания 205
8.3 Избор на решения 208
8.4 Дискретно управление и индикация 211
8.5 Технически решения на Schneider Electric за дискретно управление и индикация 213
8.6 Графични дисплеи и терминали 214
8.7 Промишлени и администраторски компютри 216
8.8 Програмно осигуряване на средства за човеко-машинен интерфейс 217
8.9 Диалогови средства, вградени в продуктите 220
8.10 Изводи 221

9 Индустриални мрежи 222

9.1 Увод 224
9.2 История 224
9.3 Пазарни изисквания и решения 226
9.4 Мрежови технологии 228
9.5 Мрежи, използвани от Schneider Electric 230
9.6 Ethernet TCP/IP 231
9.7 Web услуги и концепция Transparent Ready 234
9.8 Промишлена шина CANopen 242
9.9 Съвместна работа на Ethernet и CANopen 250
9.10 Промишлена шина AS-interface (AS-i) 250
9.11 Заключение 257

10 Обработка на данни и програмно осигуряване 258

10.1 Термини и определения 260
10.2 Увод 260
10.3 Програмиране, конфигуриране и езици 260
10.4 Категория на прилагане 262
10.5 UAG: генератор на приложения 276
10.6 Най-често използвани съкращения 280

11 Производство на обзавеждане 282

11.1 Увод 284
11.2 Избор на доставчик 285
11.3 Разработка на схеми и програми 286
11.4 Методология на програмиране 288
11.5 Избор на технология 289
11.6 Проектиране на обзавеждане 290
11.7 Комплектация на обзавеждане 292
11.8 Монтаж 294
11.9 Инструменти за монтаж на устройства 295
11.10 Стендови изпитвания 296
11.11 Въвеждане на обзавеждането в експлоатация 299
11.12 Техническо обслужване 302

12 Екодизайн 304

12.1 Общи положения 306
12.2 Концепции и основни директиви 308
12.3 Стандарти 309
12.4 Екодизайн 309
12.5 Жизнен цикъл 310
12.6 Основни правила за екодизайна 310
12.7 Заключение 314
12.8 Приложения 314

C Справочна информация 318

C.1 Величини и измерителни единици 320
C.2 Средна стойност на номиналния ток за асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор 321
C.3 Формули в областта на електротехниката 322
C.4 Изчисляване на пускови съпротивления 324
C.5 Формули в областта на механиката 325
C.6 Основни формули 326
C.7 Типове системи за заземяване 327
C.8 Задвижвания 328
C.9 Таблици за преобразуване на стандартни измерителни единици 330

Ръководство за решения по автоматизация

От потребности, избор на архитектура и технология към създаване на продукт

1.1 Увод 18

1.2 Автоматизирано обзавеждане 18

1.3 Структура на системите за автоматизация 21

1.4 Основни структури 22

1.5 Избор на автоматизирано обзавеждане 25

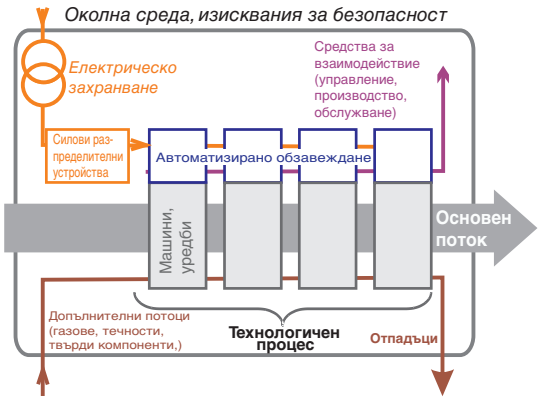
1. Ръководство за решения по автоматизация

1.1 Увод
1.2 Автоматизирано обзавеждане

1.1 Увод

Развитието на средствата за промишлена автоматизация доведе до повишаване производителността на труда в промишлеността и помогна да се намалят разходите. Широкото използване на електроника и мощното, но в същото време гъвкаво програмно осигуряване позволи да се внедрят ефективни модулни производствени проекти, да се използват нови инструментални средства за експлоатация и техническо обслужване.

Заявките от страна на потребителите също се изменяха: конкуренцията, изискванията към производителността и качеството ги заставиха да преразглеждат различните страни от управление на технологичните процеси.



↑ Фиг.1.1 *Процес за създаване на потребителски ценности*

Процес на създаване на потребителски ценности

Процесът за създаване на ценности, за удовлетворяване потребностите на клиента, е свързан с последователността при производство, т.е. „ядрото на бизнеса“. Това може да бъде производство на продукция, транспорт на хора или транспорт на товари *(⇨ Фиг. 1.1)*.

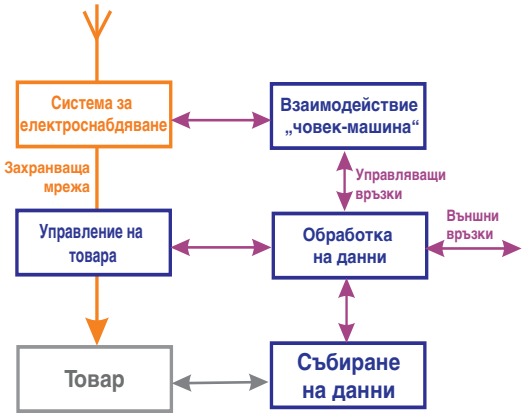
Производственият процес изисква обзавеждане, машини и автоматизирани устройства. Обзавеждането може да бъде съсредоточено на едно място, например в завод или може да се разполага на обширни пространства, например съоръженията за пречистване на вода и водоразпределение.

За стабилната работа на технологичния процес са необходими материални потоци като сгъстен въздух, вода, газ, електричество. За крайният вид на продукта е необходима опаковка.

Производственият процес генерира отпадъци, които трябва да бъдат събирани, транспортирани, обработвани и утилизирани.

1.2 Автоматизирано обзавеждане

Автоматизираното обзавеждане се характеризира с пет основни функции, които се отнасят към силовата част и системите за управление *(⇨ Фиг. 1.2)*.



↑ Фиг. 1.2 *Пет основни функции*

Пет основни функции

Система за електроснабдяване

Тя осигурява разпределение на електроенергията за силовите потребители и управляващите устройства.
Електроснабдяването трябва да бъде непрекъснато. Защитата трябва да се изпълнява в съответствие с правилата за устройство на електрически уредби и техническите изисквания към обзавеждането. Защитната функция се изпълнява от автоматични прекъсвачи или предпазители.

Управление на товара

Управлението на товара, се осъществява от устройство за автоматизация. То може да бъде контактор, използван за директно пускане, или електронен блок (устройство за плавно пускане, честотен преобразувател), за подаване на захранване към двигател или нагревателен елемент.

Взаимодействие „човек-машина“

Най-често използваният термин за представяне на връзката между оператора и обзавеждането е терминът „човеко-машинен интерфейс“ (HMI – human-machine-interface).

Тази функция е предназначена за формиране на управляващи въздействия и за изобразяване състояния на технологичния процес. Управлението се изпълнява с помощта на бутони, клавиатури, сензорни екрани и визуализация чрез светлинни индикатори, табла и екрани.

Обработка на данни

Програмното осигуряване, което е неразделна част от автоматизираното обзавеждане, обработва получените от оператора данни и измерените параметри за състоянието на технологичния процес. То се явява „мозъка“ на технологичното обзавеждане и управлява изпълнителни устройства, изпращайки информация, когато и където е необходимо.

Разработчиците на системите за автоматизация имат широк диапазон от възможности за избор, от най-прости устройства (такива като комплект от бутони, с които директно се управлява контактор) до мощни програмируеми логически контролери, поддържащи връзка между средствата за автоматизация и компютрите. През последните години, благодарение на наличието на прости и евтини електронни устройства, делът на релейно-контакторните схеми за управление силно намалява.

Събиране на данни

За реализиране на обратна връзка в системата за управление е необходимо получаването на данни за технологичния процес. Събирането на данни се заключава в насочването им към най-просто устройство за управление или програмируем логически контролер. В резултат на техническия прогрес голяма част от физическите величини могат да бъдат идентифицирани и измерени.

Допълнителни изисквания към обзавеждането

- да осигури безопасност на хората и производственото обзавеждане;
- да работи при определени условия (температура, интензивност и амплитуда на удари, запрашеност и агресивни среди).

Силови електрически вериги

Това са връзките между компонентите на системата, които включват кабели, шини, контакти, механична защита, например защитни екрани, обвивки и др. Диапазонът от стойности на силата на тока варира от единици до няколко хиляди ампера. Веригите трябва да бъдат проектирани и изпълнени по такъв начин, че да издържат на електродинамични, топлинни и механични въздействия.

Вериги за управление

Те се използват за контрол и управление на средствата за автоматизация. Обикновените кабелни системи с отделни проводници постепенно се заменят с предварително подготвени вериги със съединители и комуникационни шини.

Жизнен цикъл на автоматизираното обзавеждане

Автоматизираното обзавеждане се проектира, след това се използва и обслужва в продължение на определен експлоатационен срок . Продължителността на жизнения цикъл на обзавеждането зависи от потребителите, от тяхната потребност, изискванията към обзавеждането и други задължителни условия (посочват се в закони, стандарти и др.). Етапите на този цикъл са следните:

- техническо задание, описващо обзавеждането или производствения процес, което се съставя от потребителя;
- избор на необходимо автоматизирано обзавеждане;
- комплектация;
- изпитвания, въвеждане в експлоатация;
- експлоатация на обзавеждането на обекта;
- техническо обслужване и ремонт;
- демонтаж, преработка и утилизация.

Стойност на автоматизирано обзавеждане

Задачата за намаляване на стойността се формулира на всеки етап, започвайки от техническо задание, и влияе на процеса на вземане на решения. Въпреки, че в даденото Ръководство се разглеждат само технически въпроси, необходимо е да се отчита и икономическата ефективност.

Влияние на пазара и еволюция в потребностите на потребителя

През последните години пазарът на средства за автоматизация се намира под силен икономически и технологичен натиск. Основните приоритети на купувачите в момента са:

- намаляване времето за излизане на пазара;
- подобряване на офертата (предложението) с отчитане на съвместимостта, т.е. новите разработки да бъдат пускани на пазара без необходимост от внасяне на изменения в производствената гама;
- изготвяне на предложение за изработване на средства за автоматизация по зададени технически условия на потребителя;
- намаляване на себестойността.

Тази ситуация доведе до появяване на нови задачи:

- намаляване времето за разработка;
- намаляване сложността на процесите на жизнеият цикъл;
- увеличаване на гъвкавостта, особено възможността за взаимозаменяемост при преминаване на серии от следващи поколения;
- събиране на информация за оптимизация на задачите за управление на производството и техническото обслужване (намаляване на стойността, съкращаване на времето за доставка и др.).

За да се удовлетворят тези изисквания, една оферта за надеждно и високопроизводително обзавеждане трябва да предвиди и така наречените “ready - to - use” (готови за използване) типови архитектури, позволяващо на междинни участници на пазара, като системни интегратори и OEM производители да специфицират и изработят готови решения, за всеки краен потребител. *Фигура 1.3* илюстрира взаимната връзка между участниците на пазара и офертата на Schneider Electric.

↑ *Фиг. 1.3* *Участници на пазара за индустриална автоматизация*

Структурата на системата за автоматизация добавя самостоятелна потребителска ценност за междинните участници на пазара за автоматизация (дилъри, дистрибутори, производители на табла, пусково-наладъчни работи и др. Това е глобален подход, който им позволява да отговорят на крайните потребители по-надеждно, по-точно и по-бързо при решаване на задачи в различни отрасли на промишлеността, например в хранителната промишленост, инфраструктурни обекти и строителство.

1.3 Структура на системите за автоматизация

Непрекъснатото развитие на автоматизираните системи за управление на дискретни и непрекъснати технологични процеси в края на 90-те години доведе до изграждане на децентрализирани структури. В този случай функциите за автоматизация максимално се доближават до технологичния процес.

Развитието на web-технологиите, използващи Ethernet и протоколите TCP/IP, позволи да започне тяхното използване в комплексни системи за автоматизация: техните компоненти придобиха нови комуникационни и изчислителни функции, което доведе до развитие на „интелигентни устройства“ (smart devices).

Такава структура дава възможност да се получи „прозрачно“ информационно взаимодействие между системи за управление на технологични процеси и централни системи за управление (MES и ERP).

В същото време различните компоненти (изпълнителни механизми, честотни преобразуватели за управление на двигатели, първични преобразуватели, входно-изходни блокове) постепенно придобиха качества на интелигентни устройства, притежаващи възможности за програмиране и комуникационни функции.

Интелигентни устройства

Това са устройства със сравнително малка степен на автоматизация (например PowerLogic, Sepam, DialPact) и устройства с функции за регулиране (например честотни преобразуватели). Устройствата са достатъчно прецизни, за да могат да управляват локално кой да е технологичен процес, а също и да взаимодействат помежду си.

Прозрачното информационно взаимодействие означава, в частност, че такива устройства могат да бъдат конфигурирани и диагностирани по комуникационна мрежа. Това напълно се съгласува с работния процес чрез използване на web-технологии: индивидуално адресиране, готово за използване на информация в подходящ формат, дистанционно управление и др.

Продуктовата линия „интелигентни устройства“, е в съответствие с технологията „постави и работи“ (Plug-and-Play) и се използва в устройства за управление на товар, комуникационни шини и преобразуватели. Този подход позволява лесно и за кратко време да се извърши замяна на обзавеждане в случай на авария.

Вграждането на програма за разглеждане на информация (browser) в различни системи човеко-машинен интерфейс (устройства с клавиатури и екрани, устройства с радиоуправление и др. информационни системи за управление и наблюдение (MMIs)) ускориха внедряването на web-технологиите, включително до ниво компонент *(вж. глава 9 за по-подробна информация)*.

Вграждането на функции за управления в интелигентни устройства съкрати потока данни по комуникационните мрежи, в резултат на което техническите средства за автоматизация намалиха стойността си, консумираната мощност и времето за реакция. Силно се редуцира и потребността от синхронизация, тъй като интелигентните устройства реализират децентрализирано управление.

Мрежи

В същото време, комуникационните мрежи са широко разпространени и са типизирани към ограничен брой стандарти, които обхващат 80% от приложенията. Разработчиците могат да избират много протоколи (например CANopen, AS-Interface, Profibus, Devicenet и др.), обаче постепенно се наблюдава процес на унифициране на различните стандарти за комуникация и една ясно изразена тенденция за използване на единна стандартна мрежа. В тези граници, Ethernet, който масово се използва в сектора промишлена компютъризация може също да се

използва в мрежите на ниско ниво.

Голям брой устройства имат възможност за непосредствено включване към мрежата. Фактически това е комбиниран резултат от разпространение на web-технологиите, рационализиране на комуникационните стандарти, рязко намаляване на цената за внедряване на комуникационни технологии и вграждане на електроника в електромеханични устройства.

Процесът на развитие в тази област доведе до създаване на обща шинна система, свързваща отделните устройства помежду им. Например в системите за автоматизация това са шините Modbus, CANopen, AS-Interface, Devicenet, Interbus-S, Fipio и др.

Увеличаването на потребностите от обмен на данни принуждава потребителя да обръща повече внимание на възможностите на комуникационните мрежи, а след това – на възможностите на самите устройства за автоматизация.

Програмно осигуряване и средства за програмиране

Възможностите на средствата за програмиране значително се разшириха: от програмно осигуряване, зависещо от апаратни платформи до програмно осигуряване, реализиращо широк набор от типови функции и натоварено в различни апаратни конфигурации. Връзката между компонентите на системата се формира автоматично.
За получаване на информация програмите използват унифицирани инструменти, в това число общи разпределени база от данни, които съществено намаляват времето, изразходвано за получаване на информация (параметри, променливи др.).
Към момента концепцията на езиците за програмиране на средствата за автоматизация не е променена и практически предложенията на всички разработчици на езици за програмиране използват стандарта за програмируеми логически контролери IEC 61131-3, допълвани понякога с инструменти, поддържащи съвместната разработка на проекта.
Следващите усъвършенствания са свързани главно с информацията, предоставена от програмните продукти, които са разработени:

- за автоматично конфигуриране на устройства за автоматизация и задаване имена на входове/изходи (I/O);
- за вграждане на електрически схеми в средства за диагностика;
- за генериране на общи бази данни от променливи дори и за прости конфигурации;
- за осигуряване на пълна информационна прозрачност;
- за предложения на единни схеми за реализация на човеко-машинен интерфейс, удобни за работа и ориентирани към различни предложения.

Програмното осигуряване се доставя с устройство, при което то се използва не само за програмираме, но и за конфигуриране, задаване на параметри на системата и диагностиране. Тези допълнителни функции могат да бъдат включени в една програма.

1.4 Основни структури

Структурата се разработва за обединяване, взаимна връзка и координация на функциите, необходими за високопроизводителна и безопасна работа на механизма и агрегата или за обезопасяване на технологичния процес. Само малък брой структури могат да удовлетворят голяма част от изискванията, предявявани към средствата за автоматизация. С цел опростяване Schneider Electric предлага класифициране на архитектурата по две структурни нива *(⇨ Фиг. 1.4)*:

- функционална интеграция, основана на броя табла за автоматизация или шкафове за управление;
- брой на блоковете за управление, например по броя на

Структура на средства за автоматизация	Табла, бр.	Блокове за управление, бр.
Всичко в едно устройство Всички функции в едно устройство	0	1
Всичко в едно табло Всички функции в едно табло	1	1
Разпределена периферия Функции, разпределени между няколко табла	Няколко	1
Съвместно управление Няколко съвместни функции за управление	Няколко	Няколко

↑ Фиг. 1.4 *Видове структури*

устройствата за автоматизация.

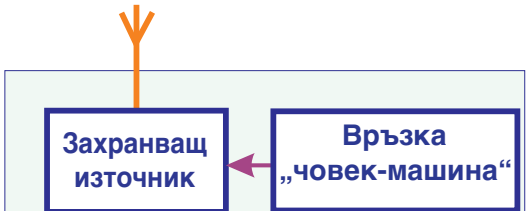
Тези структури са обяснени и илюстрирани в следващите параграфи.

■ Всичко в едно устройство

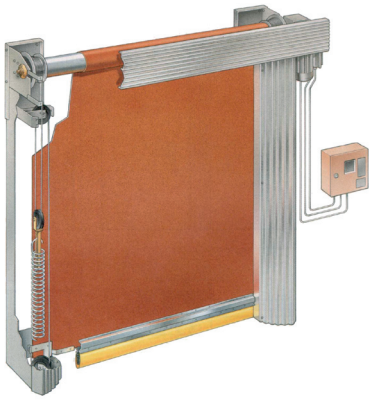
Това е най-компактната структура, в която всички функции са реализирани в едно устройство. Структурата може да бъде както много проста, така и много сложна, което е илюстрирано по-долу на следващите два примера:

□ Дистанционно управление на плъзгаща врата *(⇨ Фиг. 1.6)*

Тук са реализирани няколко функции *(⇨ Фиг. 1.5)*. Управлението се ограничава от директни команди на блока за силово захранване на задвижването от преобразувател и два бутона за управление. Захранващият блок на задвижването включва още захранващ източник и защита на силовата част.



↑ Фиг. 1.5 *Проста архитектура „Всичко в едно устройство“*

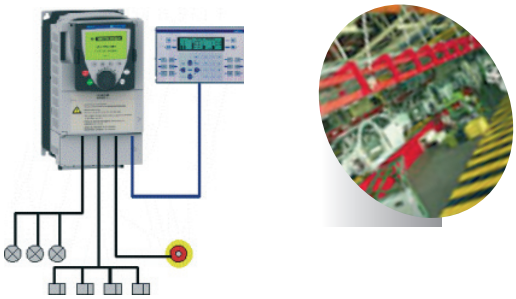


↑ Фиг. 1.6 *Дистанционно управление на плъзгаща врата*

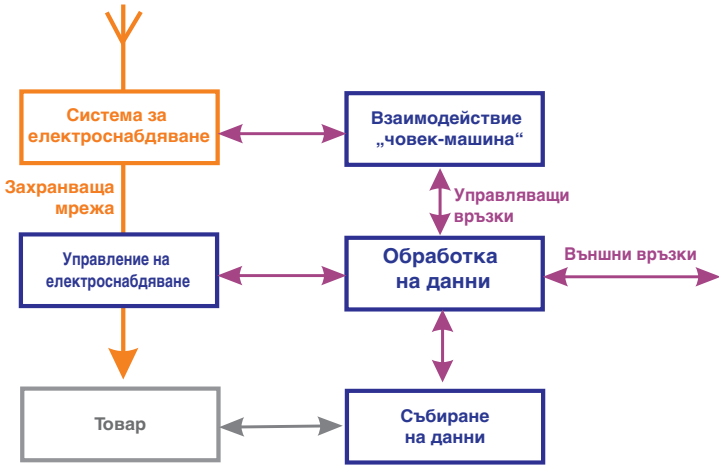
□ Управление на секция от конвейерна система *(⇨ Фиг. 1.8)*

Управлението на захранването на товара, регулирането на процеса и контролните функции са вградени в честотен преобразувател *(⇨ Фиг. 1.7)*. Другите елементи от системата за автоматизация са съединени помежду си по комуникационна шина. Силовото захранване изисква наличие на местно електрическо табло, осигуряващо електроснабдяване на цялото обзавеждане към автоматизираната система.

■ Всичко в едно табло



↑ Фиг. 1.8 *Секция от конвейерна система, управлявана с честотен преобразувател тип ATV71 с вградена IMC платка*



↑ Фиг. 1.7 *Сложна архитектура „Всичко в едно устройство“*

Фиг. 1.10 *Помпа за ниско налягане*

Това е най-разпространената структура *(⇨ Фиг. 1.9)*, с функции за автоматично управление, разположена на едно място, която в зависимост от изпълняваната задача, е реализирана в отделно табло или е вградена в обзавеждането и има един блок за управление *(примери за приложение са показани на Фиг. 1.10, 1.11 и 1.12)*.

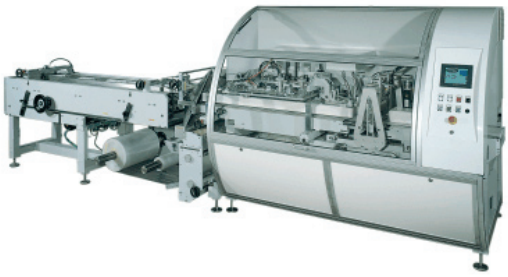
Разпределена периферия *(⇨ Фиг. 1.13)*

Тази структура има един централен блок за автоматизация, осъществяващ управлението на няколко други електрически табла за автоматизация. Тя може да се използва за обзавеждане и за технологични процеси, заемащи голяма площ и имащи еднотипни машини *(⇨ Фиг. 1.14)*. Връзката се осъществява по комуникационна шина. Захранващият източник е един за системата и обикновено включва устройства, осъществяващи контрол и управление на подсистемата за безопасност.

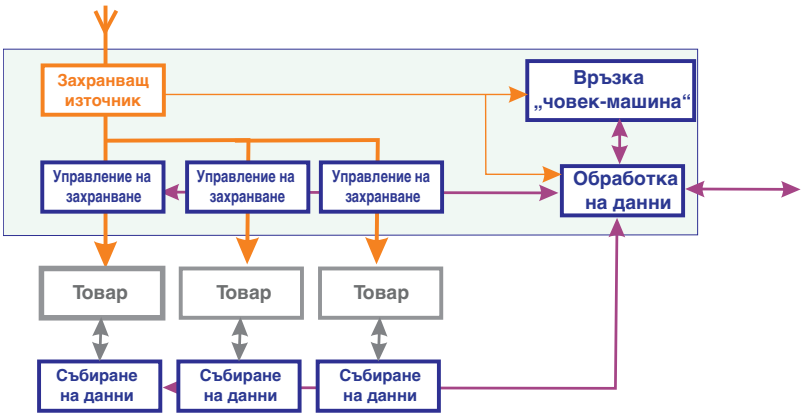
Фиг. 1.11 *Текстилна машина*

Съвместно управление

Блоковете за автоматично управление и контролерите са предназначени за отделни механизми и агрегати, с които се реализира завършен технологичен процес. Те са свързани помежду си и взаимодействат в процеса на функциониране на системата *(⇨ Фиг. 1.15)*. Тази структура е предназначена, за сложни технологични процеси. Например нефтохимически и металургични производства или за инфраструктурни обекти като летища или водопречиствателни станции *(⇨ Фиг. 1.16)*.

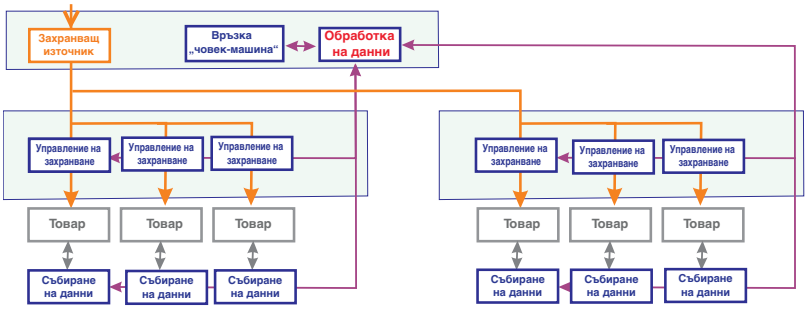


Фиг. 1.12 *Опаковъчна машина*



Фиг. 1.9 *Структура „Всичко в едно табло“*

Фиг. 1.14 *Автоматизирано обзавеждане за хлебопроизводство*



Фиг. 1.13 *Структура „Разпределена периферия“*

1.5 Избор на автоматизирано обзавеждане

↑ Фиг. 1.16 *Водопречиствателна станция*

Реализация на структура

Предлаганото Ръководство е предназначено да помогне на потребителя да решава оптимално задачи, свързани с разработка на структурата на система, избор на обзавеждане и практическа реализация на избрания проект. Работата по проекта започва с изясняване на техническите изисквания от потребителя и структуриране на задачата. Тази процедура се описва по-долу.

Компанията Schneider Electric предлага редица типови решения, основани на най-често срещаните структури, което силно опростява избора.

Първият вариант представлява компактни приложения, където устройствата за автоматизация са разположени в едно табло.

Вторият вариант се отнася за разпределени приложения. Устройствата за автоматично управление са разположени в няколко електрически табла, което съответства на разпределена периферия.

Двата други типа структури („Всичко в едно устройство“ и „Съвместно управление“) се използват ограничено. За разясняване на тази позиция може да се каже, че структурата „Всичко в едно устройство“ практически се състои от едно устройство. Структурата „Съвместно управление“ включва главно обмен на данни между различни части на системата и е разгледана подробно в раздели, отнасящи се до мрежи, програмно осигуряване и обмен на данни.

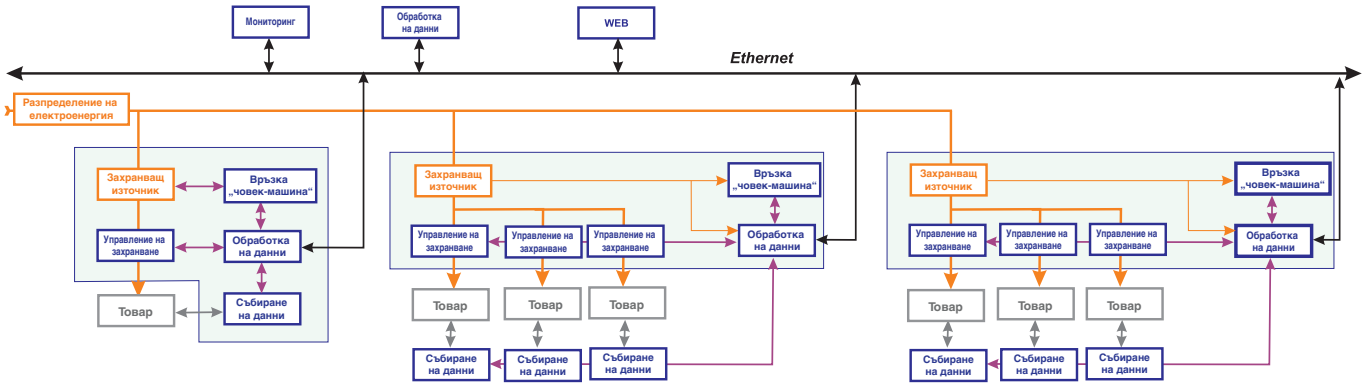
Решения, предлагани от Schneider Electric

Двете концепции на структура, за които по-горе се отбеляза могат да бъдат реализирани по различни начини.

За да улесни потребителя при неговия избор, компанията Schneider Electric предлага 10 възможни варианти, които дават възможност за оптимална комбинация.

За опростяване на избора, практическите решения на Schneider Electric, ще се обозначават като ***препоръчвани реализации***.

Таблицата на *(⇨ Фиг. 1.17)* илюстрира дадения подход.



↑ Фиг. 1.15 *Структура „Съвместно управление“*

Препоръчвани реализации

Тези решения са оптимален отговор на заявените потребности с отчитане на технологични ограничения. Представената по-долу таблица ги показва в обобщен вид *(⇨ Фиг. 1.18)*. Подробни описания на решенията могат да се намерят в други документи на Schneider Electric.

Структура на средствата за автоматизация	Предложения на Schneider Electric	Препоръчана реализация
Всичко в едно устройство Всички функции в едно устройство	Едно устройство	Пример: TeSys U или ATV71 с ATV71 с вградена IMC платка
Всичко в едно табло Всички функции в едно електрическо табло	**Компактна архитектура**	**6 реализации**
Разпределена периферия Функции, разпределени между няколко електрически табла	**Разпределена архитектура**	**4 реализации**
Съвместно управление Няколко съвместни функции за управление	Аналогично на обмена на данни между устройства за автоматизация	Комбинация от по-горе разгледаните реализации

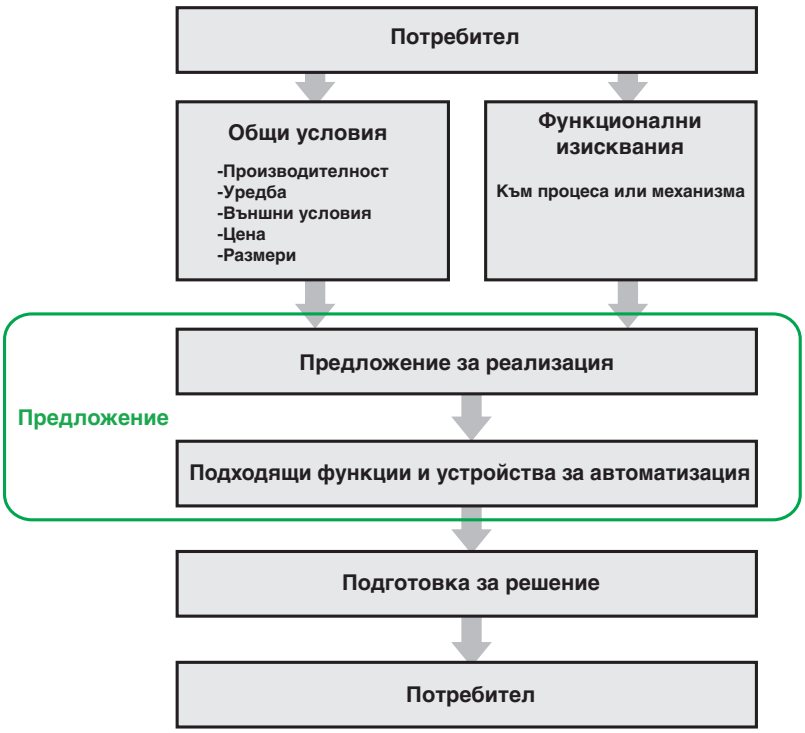
↑ *Фиг. 1.17* *Решения*, предлагани от *Schneider Electric*

Избор на препоръчвани реализации

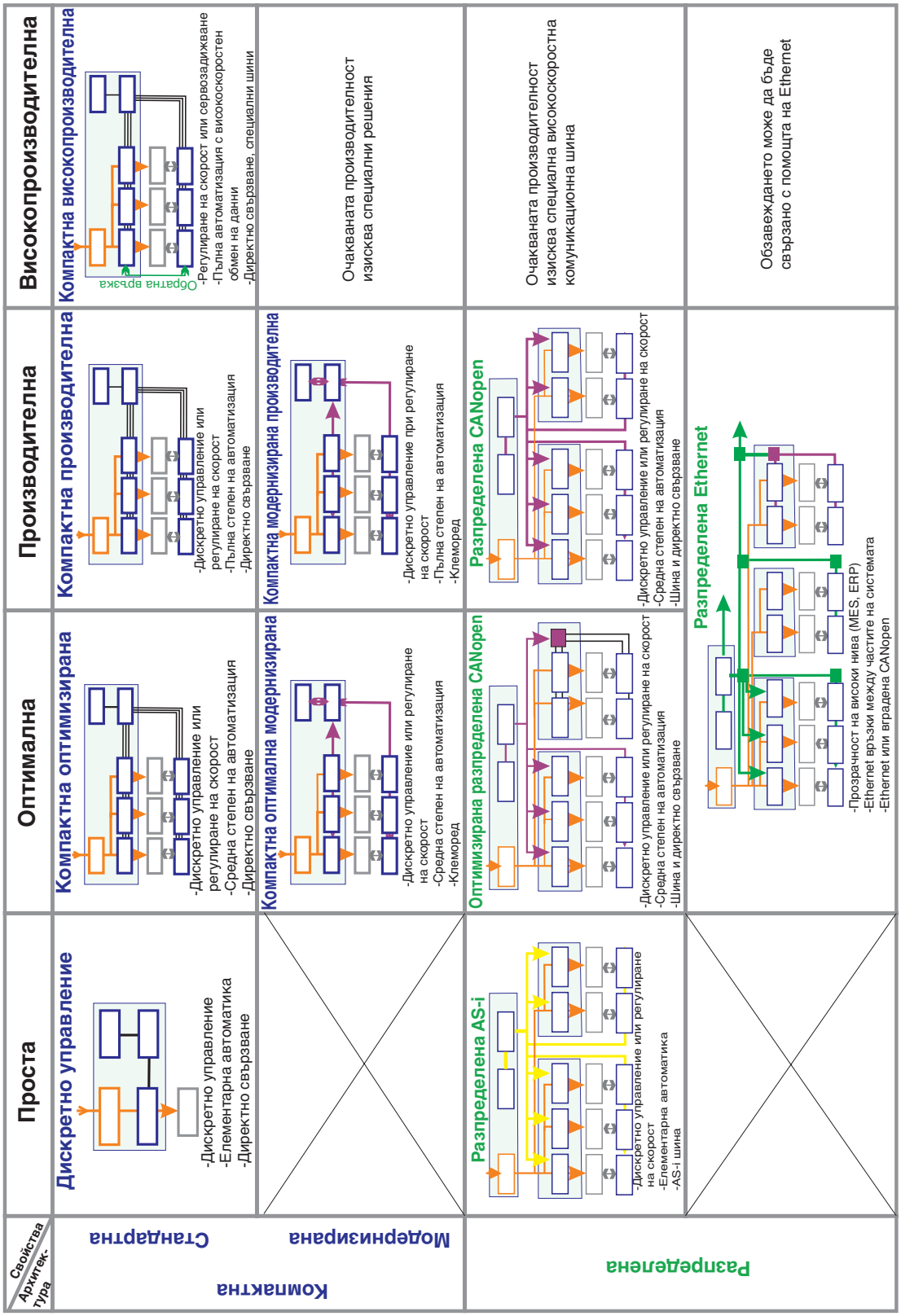
Подходът, основан на избор на решения с използване на вече съществуващи реализации, отчитащ всички изисквания на потребителя, има много предимства:

- опростен избор на системата за автоматизация;
- потребителят може да бъде сигурен в това, че устройствата, които получава могат да работят заедно, а това гарантира определено ниво на производителност;
- потребителят получава определена структурна схема, която отговаря на всички заявени технически изисквания, след като реализацията е избрана; към тази схема се добавят каталози и ръководства за избор на необходими устройства;
- опростена процедура за въвеждане на обзавеждането в експлоатация.

Таблицата на *(⇨ Фиг. 1.19)* представя в резюме алгоритъма за избор на решение.



↑ *Фиг. 1.19* *Блокова схема на алгоритъм за избор на средства за автоматизация*



↑ Фиг. 1.18 *Характеристики на препоръчвани реализации (виж фиг. 5.11)*

1.5 Избор на автоматизирано обзавеждане

За да помогне на потребителите при избор на решения компанията Schneider Electric е съставила методично ръководство с въпроси разделени на пет теми, които са означени с акронима PICCS (изпълнение, уредба, външни условия, цена, размери). На *(⇨ Фиг. 1.20 и 1.21)* се дават примери. За по-подробна информация е необходимо да се използват каталози и инструкции за автоматизирано обзавеждане. В това ръководство се илюстрира общия подход към проблема за избор на обзавеждане, придружено с примери.

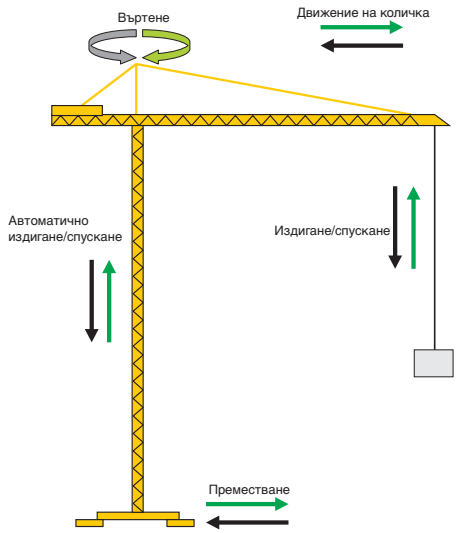
Тип реализация / Наименование на реализацията		Компактна					
		Проста	**Оптимална**	**Оптимална с възможност за модернизация**	**Производителна**	**Високопроизводителна**	**Производителна с възможност за модернизация**
Общи условия							
Характеристики	Капацитет на инсталираната система	Нисък	От нисък към висок	От нисък към среден	От нисък към среден	От нисък към среден	От нисък към среден
	Степен на точност	Няма	Средна	Средна	Средна	Висока	Средна
	Брой на двигатели	от 1 до 4	от 1 до 10	от 1 до 50	от 1 до 10	от 1 до 10	от 1 до 50
	Тип на двигателя	Асинхронен Директно пускане	Асинхронен Честотен преобразувател	Асинхронен Честотен преобразувател	Преобразувател на честота и напрежение(FVC)/ сервозадвижване	Синхронно сервозадвижване	Асинхронен FVC Синхронно сервозадвижване
	Обмен на данни	Няма	Няма	Да	Няма	Възможен	Да
	Брой I/O	<20	<100	<100	<100	>100	>100
	Типове взаимодействия и функции	Светлинни бутони	Светлинни бутони, дисплеи	Бутони, клавиатура, дисплеи	Бутони, клавиатура, дисплеи	Бутони, клавиатура, дисплеи	Бутони, клавиатура, дисплеи
	Система за управление	Проводникова или предварително програмирана	Предварително програмирана	Основни програмирани функции	Разширен пакет от функции	Разширен пакет от функции + приложения	Разширен пакет от функции
	Дистанционно обслужване (диагностика, актуализация и др.)	Няма	Няма	Възможно	Няма	Няма	Възможно
Уредба	Брой на електрически табла	1	1	1	1	1	1
	Постоянна или модернизирана	Постоянна	Постоянна	Модернизирана	Постоянна	Постоянна	Модернизирана
Външни условия	Атмосфера (температура, прах и др.)	Зададени	Да	Да	Да	Да	Да
	Безопасност (хора, обзавеждане)	Бутон за аварийно спиране	Бутон за аварийно спиране	Автоматизирани функции	Прости функции	Автоматизирани функции	Автоматизирани функции
Цена	Цена на разработката	Ниска	Ниска	Умерена	Висока	Висока	Висока
	Експлоатационни разходи	Умерени	Умерени	Умерени	Умерени	Умерени	Умерени
Площ или размери	Размери на уредбата	Малки	Средни	Средни	Средни	Средни	Средни
	Вътрешна мрежа	Няма	Няма	Да	Няма	Няма или специална мрежа	Да
Дължина на външната мрежа							

↑ *Фиг.. 1.20 Компактни структури на системи за автоматизация*

Тип реализация / Наименование на реализацията		Разпределена			
		AS-Interface	*Оптимизирана CANopen*	*CANopen*	*Ethernet*
Общи условия					В съответствие с концепцията TransperantReady*
Характеристики	Капацитет на инсталираната система	От нисък към среден	От нисък към висок	От нисък към висок	От нисък към висок
	Степен на точност	От ниска до средна	Средна	Средна	Зависи от комуникационната шина
	Брой на двигатели	от 1 до 10	от 1 до 10	<20	>20
	Тип на двигателя	Асинхронен, директно пускане	Асинхронен, регулиране на скорост	Асинхронен, регулиране на скорост	Всички типове са свързани към комуникационната шина
	Обмен на данни	Не	Възможен	Възможен	Да
	Брой I/O	<100	<100	>100	>100
	Типове взаимодействия и функции	Клавиатури, дисплеи	Клавиатури, дисплеи	Клавиатури, дисплеи	Компютърни клавиатури, дисплеи
	Система за управление	Базови програмируеми функции	Разширен пакет от функции	Разширен пакет от функции	Пакет от функции + обединение с други системи
	Дистанционно обслужване (диагностика и др.)	Не	Възможно	Възможно	Да
Уредба	Брой електрически табла	<5	<10	<10	n
	Постоянна или модернизирана	Модернизирана	Модернизирана	Модернизирана	Модернизирана
Външни условия	Атмосфера (температура, прах и др.)	Да	Да	Да	Да
	Безопасност на персонала	Автоматизирани функции	Автоматизирани функции	Автоматизирани функции	Автоматизирани функции
Цена	Цена на машината или уредбата	Обновяване, обслужване	Обновяване, обслужване	Обновяване, обслужване	Обща
	Цена на разработката	Да	Да	Да	Да
	Експлоатационни разходи	Да	Да	Да	Да
Площ или размери	Размери на уредбата	Средни	Средни	Средни	Големи
	Вътрешна мрежа	AS-i	CANopen	CANopen	Комуникационна мрежа
	Дължина на външната мрежа	100m	250m	250m	>250m

* Забележка: Transperant Ready - връзка между всички нива на автоматизация на предприятие с една промишлена шина

↑ *Фиг. 1.21* *Разпределена архитектура на система за автоматизация*



↑ Фиг.1.22 *Кулокран*

Нека се разгледат три различни приложения и да се избере за всяко от тях най-подходяща структура на системата за автоматизация.

□ Кулокран

На пръв поглед тази конструкция не е сложна *(⇨ Фиг. 1.22)*, но тя трябва да удовлетворява строги технически изисквания за безопасност и по въздействие на околна среда. Конкуренцията на пазара заставя производителите да отчитат стойността на всеки елемент.

Този тип кран има следните характеристики:

- мощност на уредбата от 10 до 115 kW в зависимост от товароподемността (от 2 до 350 t);
- издигане/спускане, въртене, движение на количката и преместване, реализирани от трифазни асинхронни двигатели с два или три редуктора или регулируеми задвижвания за променлив ток, механическо и електрическо спиране;
- система, изискваща много преобразуватели. Управление на крана от кабина или с помощта на дистанционен пулт.

Изборът на реализация по естествен начин се фокусира върху оптимизирана компактна система с едно електрическо табло в основата на крана.

Цветният код в таблицата за избор позволява да се определят необходимите характеристики *(⇨ Фиг. 1.23)*.

Простата компактна реализация е изключена поради това, че

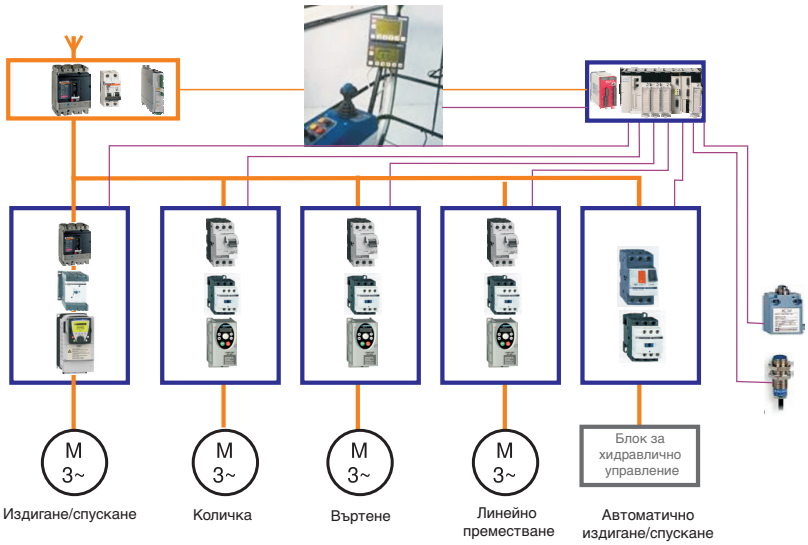
Тип на реализация			**Компактна**		
Наименование на реализацията			***Проста***	***Оптимизирана***	***Оптимизирана модернизирана***
Общи условия		**Изисквания**			
Характеристики	Инсталирана мощност	70 kW	Ниска	От ниска до висока	От ниска до висока
	Степен на точност	<150mS	Няма	Средна	Средна
	Брой на двигатели	5	От 1 до 4	От 1 до 10	От 1 до 50
	Тип на двигателя	Асинхронен, регулиране на скорост	Асинхронен, директно пускане	Асинхронен, регулиране на скорост	Асинхронен, регулиране на скорост
	Обмен на данни	Съгласно версията	Не	Не	Да
	Брой I/O	35 входа 10 изхода	<20	<100	<100
	Типове взаимодействия и функции	Бутони, светлинни индикатори, (джойстик)	Бутони, светлинни индикатори	Бутони, светлинни индикатори, (джойстик)	Бутони, светлинни индикатори, (джойстик)
	Система за управление	Без значение	Жична или предварително програмирана	Предварително програмирана	Програмируеми функциис
	Дистанционно обслужване (диагностика, актуализация и др.)	Съгласно версията	Сложно	Възможно	Възможно
Уредба	Брой електрически табла	1	1	1	1
	Модернизирана	Съгласно версията	Не	Не	Да
Външни условия	Атмосфера (температура, прах и др.)	Тежки условия	Ограничени	Да	Да
Цена	Цена на разработката	Съгласно версията	Ниска	Ниска	Умерена
	Експлоатационни разходи	Съгласно версията	Високи	Умерени	Умерени
Площ или размери		Съгласно версията	Малки	Средни	Средни
Вътрешна мрежа		Съгласно версията	Не	Не	Не
Дължина на външната мрежа					

Цвят на кодове	Подходяща	Неподходяща

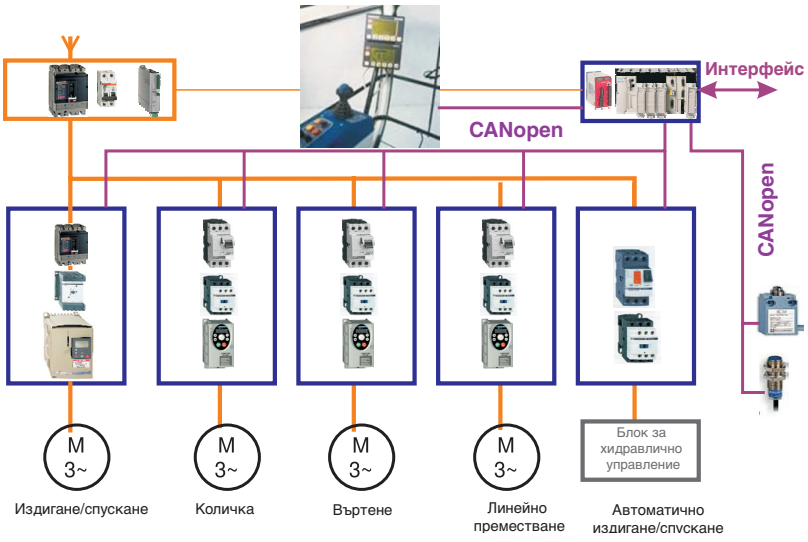
↑ Фиг. 1.23 *Избор на реализация за кулокран*

нейните характеристики са твърде ограничени. **Оптимизираната компактна** и **Модернизираната оптимизирана компактна** реализации са подходящи *(⇨ Фиг. 1.24 и 1.25)*. Последната изглежда дори по-подходяща, ако автоматизираното обзавеждане има модулна структура или изисква дистанционно управление и обслужване.

Изборът на автоматизирано обзавеждане фактически зависи от изискванията и ограниченията, предявявани от потребителя, а те от своя страна се определят от избраната реализация. Представените по-долу фигури илюстрират две възможни решения:



↑ *Фиг. 1.24* *Компактно оптимизирано решение*



↑ *Фиг. 1.25* *Модернизирано оптимизирано компактно решение*

Фиг. 1.26 Планшайба

Фиг. 1.27 Конвейер

Елементите и възлите на избраната система за автоматизация са подробно описани в следващите раздели на това ръководство.

Конвейери и планшайби

Конвейерите и планшайбите се срещат често в производството *(⇨ Фиг. 1.26 и 1.27)*. Типът на автоматизираното обзавеждане зависи от вида на решаваните задачи. Изходните характеристики трябва да бъдат адаптирани към продукта. Управлението на автоматизираното обзавеждане се извършва от системи за входно-изходни процеси. Едно автоматично устройство трябва да управлява няколко секции на конвейера, а всяка секция трябва да има едно или повече електрически табла.

Основните характеристики са:

- малка мощност на уредбата;
- изисквания за средна производителност;
- към всяка секция са инсталирани от 2 до 20 трифазни асинхронни трифазни двигателя с честотни преобразуватели;
- от 10 до 50 входно-изходни блока;
- взаимодействие с оператора с помощта на клавиатура и дисплей;
- информация в реално време за типа и броя на изделията върху конвейера.

Тъй като отделните единици автоматизирано обзавеждане са свързани помежду си трябва да се фокусира върху избора на разпределена структура.

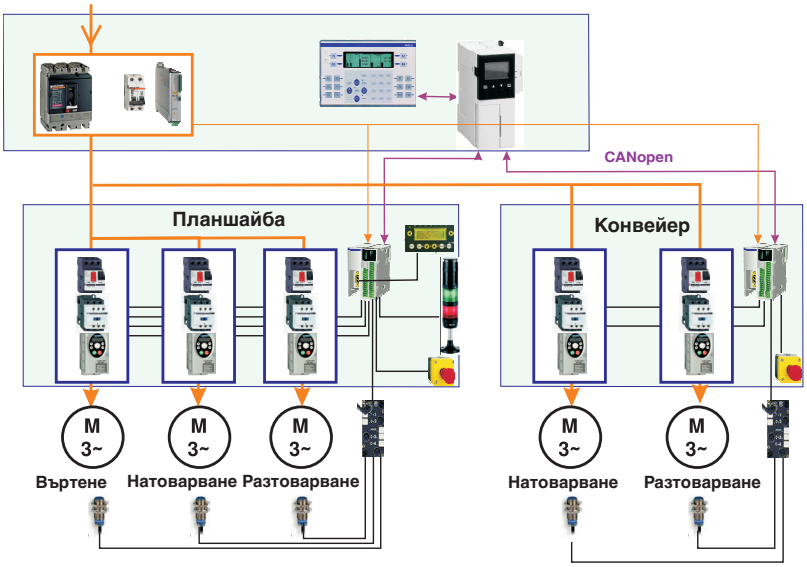
В таблицата на *(⇨ Фиг. 1.28)* с отделни цветове са посочени най-добрите решения. Използването на реализацията AS-Interface е ограничено поради трудности при управление на скоростта, а Ethernet е много скъпа и затова се използва в някои специални случаи.

Тип на реализация			Разпределена			
Наименование на реализацията			*As-Interface*	*Оптимизирана CANopen*	*CANopen*	*Ethernet*
Общи условия		**Изисквания**				В съответствие с концепцията за връзка между всички нива на автоматизация на предприятие с една промишлена шина
Характеристики	Инсталирана мощност	10kW	От ниска до средна	От ниска до висока	От ниска до висока	От ниска до висока
	Степен на точност	Средна	От ниска до средна	Средна	Средна	Зависи от комуникационната шина
	Брой на двигатели	10	1 to 10	1 to 10	<20	>20
	Тип на двигателя	Асинхронен + регулиране на скорост	Асинхронен, директно пускане	Асинхронен, регулиране на скорост	Асинхронен, регулиране на скорост	Всички типове са свързани към комуникационната шина
	Обмен на данни	Да	Не	Възможен	Възможен	Не
	Брой I/O	50	<100	<100	>100	>100
	Типове взаимодействия	Клавиатури, дисплеи	Клавиатури, дисплеи	Клавиатури, дисплеи	Клавиатури, дисплеи	Компютърни клавиатури, дисплеи
	Система за управление	На основата на програмно осигуряване	Базови програмируеми функции	Разширен пакет от функции	Разширен пакет от функции	Пакет от функции + обединение с други системи
	Дистанционно обслужване (диагностика, актуализация и др.)	Съгласно версията	Няма	Възможно	Възможно	Да
Уредба	Брой на електрическом табла	Няма значение	<5	<10	<10	n
	Модернизирана	Да	Да	Да	Да	Да
Външни условия	Атмосфера (температура, прах и др.)	Да	Да	Да	Да	Да
	Безопасност на персонала	Да	Автоматизирани функции	Автоматизирани функциis	Автоматизирани функции	Автоматизирани функции
Цена	Цена на разработката	Съгласно версията	Средна	Средна	Средна	Висока
	Експлоатационни разходи	Съгласно версията	Умерени	Умерени	Умерени	Умерени
Площ или размери		Умерени	Малки	Умерени	Умерени	Големи
Вътрешна мрежа		Да	AS-I	Canopen	Canopen	Комуникационна мрежа
Дължина на външната мрежак			100m	250m	250m	>250m

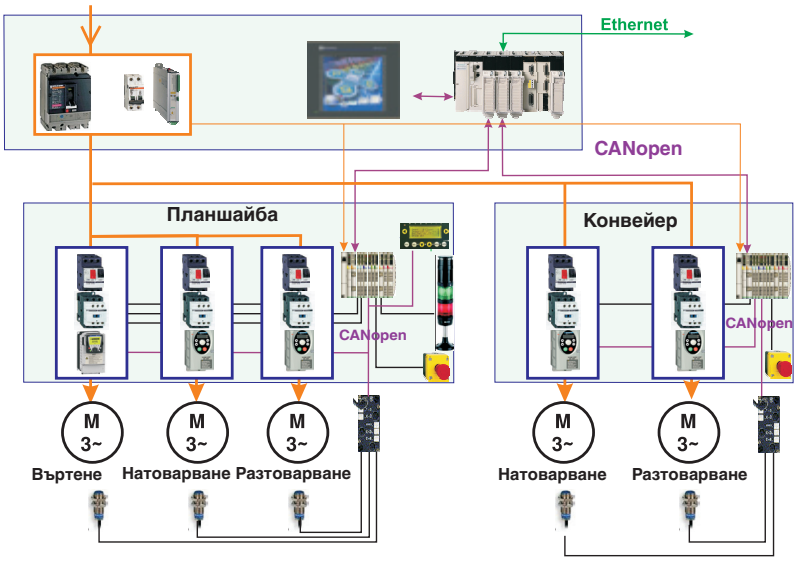
Цвят на кодове	Подходящ	Неподходящ

Фиг. 1.28 Избор на решения за конвейерна система

В случая може да се избере от двете решения с CANopen. Първото е по-икономично *(⇨ Фиг. 1.29)* и осигурява изпълнението на основните изискуеми функции, а второто *(⇨ Фиг. 1.30)* – допълнително осигурява връзка между всички нива на автоматизация, разположени извън секцията. Двете възможни схеми могат лесно да се модернизират: чрез въвеждане на нова конфигурация всеки път, когато производствената гама се променени.



↑ Фиг. 1.29 *Оптимизирано решение с CANopen*



↑ Фиг. 1.30 *Решение с CANopen*

↑ Фиг. 1.31 *Помпена станция за обработка и водоснабдяване*

☐ Еднолинейна блоков електрическа схема

☐ Водоснабдителна система

Този при пример *(⇨ Фиг. 1.31)* се отнася до подсистема за обработка и снабдяване с вода. Системата е разположена върху голяма площ и се състои от комплект от блокове, изпълняващи различни функции.

Предлаганото решение трябва да осигури работа на помпената станция за обработка и водоснабдяване в автономен режим и непрекъсната работа на автоматизирано обзавеждане. Потребителите обръщат особено внимание върху възможността за контрол за състоянието на обзавеждането и неговото техническо обслужване.

1.5 Избор на автоматизирано обзавеждане

Техническите характеристики на помпената станция са:
- 4 помпи, задвижвани от асинхронни двигатели с номинална мощност 7,5 kW;
- 12 първични преобразувателя (за налягане, за поток и др.);
- автоматични устройства за управление последователността на работа на помпите и комуникация;
- дистанционно управление.

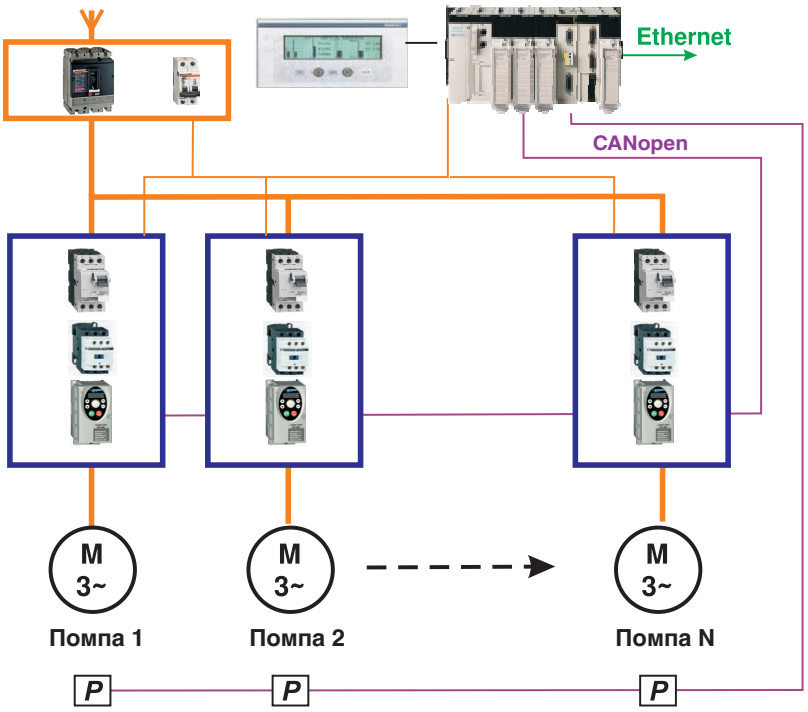
Разпределената реализация е най-подходяща за даденото приложение. В таблицата на *(⇨ Фиг. 1.32)* е представен сравнителен анализ на възможните варианти за решение на задачата.

Тип на реализация			**Разпределена**			
Наименование на реализацията			***AS-Interface***	***Оптимизирана CANopen***	***CANopen***	***Ethernet***
Общи условия		**Изисквания**				В съответствие с концепцията за връзка между всички нива на автоматизация на предприятие с една промишлена шина
Характеристики	Инсталирана мощност	40kW	От ниска до средна	От ниска до висока	От ниска до висока	От ниска до висока
	Степен на точност	Няма значение	От ниска до средна	Средна	Средна	Зависи от комуникационната шина
	Брой на двигатели	4	от 1 до 10	от 1 до 10	<20	>20
	Тип на двигателя	Асинхронен с регулиране на скорост	Асинхронен, директно пускане	Асинхронен, регулиране на скорост	Асинхронен, регулиране на скорост	Всички типове са свързани към комуникационната шинаbus
	Обмен на данни	Да	Не	Възможен	Възможен	Да
	Брой I/O	10 потребители	<100	<100	>100	>100
	Типове взаимодействия и функции	Локална клавиатура + система SCADA	Клавиатури, дисплеи	Клавиатури, дисплеи	Клавиатури, дисплеи	Компютърни клавиатури, дисплеи
	Система за управление	На основата на PLC	Базови програмируеми функции	Разширен пакет от функции	Разширен пакет от функции	Пакет от функции + обединение с други системи
	Дистанционно обслужване (диагностика, актуализация и др.)	Дистанционно управление	Няма	Възможно	Възможно	Да
Уредба	Брой електрически табла		<5	<10	<10	n
	Модернизирана	Да	Да	Да	Да	Да
Външни условия	Атмосфера (температура, прах и др.)	Съгласно условията извън помещението	Да	Да	Да	Да
	Безопасност на персонала	Да	Автоматизирани функции	Автоматизирани функции	Автоматизирани функции	Автоматизирани функции
Цена	Цена на разработката	Съгласно версията	От умерена до висока	От умерена до висока	От умерена до висока	Висока
	Експлоатационни разходи	Съгласно версията	От умерени до високи	От умерени до високи	От умерени до високи	Умерени
Площ или размери		Съгласно версията	Средни	Средни	Средни	Големи
Вътрешна мрежа			AS-i	CANopen	CANopen	Комуникационна мрежа
Дължина на външната мрежа			100 m	250 m	250 m	>250m

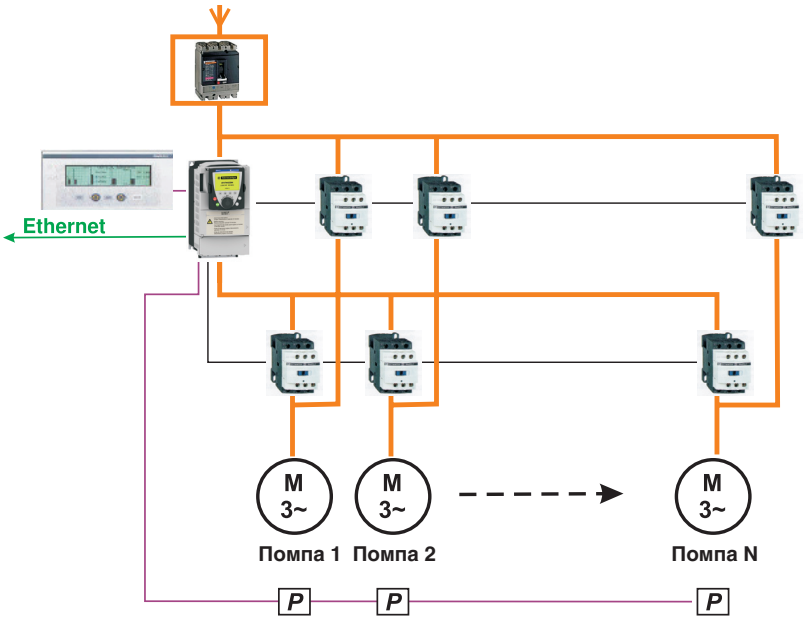
Цвят на кодове	Подходящ	Неподходящ

↑ Фиг. 1.32 *Избор на решения за помпена станция за обработка и водоснабдяване*

Най-подходящата реализация е вариантът Ethernet *(⇨ Фиг. 1.33 и 1.34)*, осигуряващ пълна информационна връзка между всички нива на автоматизация в уредбата. Вариантът AS-Interface не е подходящ, тъй като има ниска скорост за обмен на данни. Вариантът CANopen може да бъде използван с модем, но неговите възможности са ограничени.



↑ *Фиг. 1.33* *Решение 1 с използване на PLC*



↑ *Фиг. 1.34* *Решение 2 с използване на честотен преобразувател*

2

Електроснабдяване

• Преглед на норми, правила, нормативна документация и практически решения, необходими за правилния избор на източник за електроснабдяване.
• Преглед на функциите, присъщи за електроснабдяване и управление

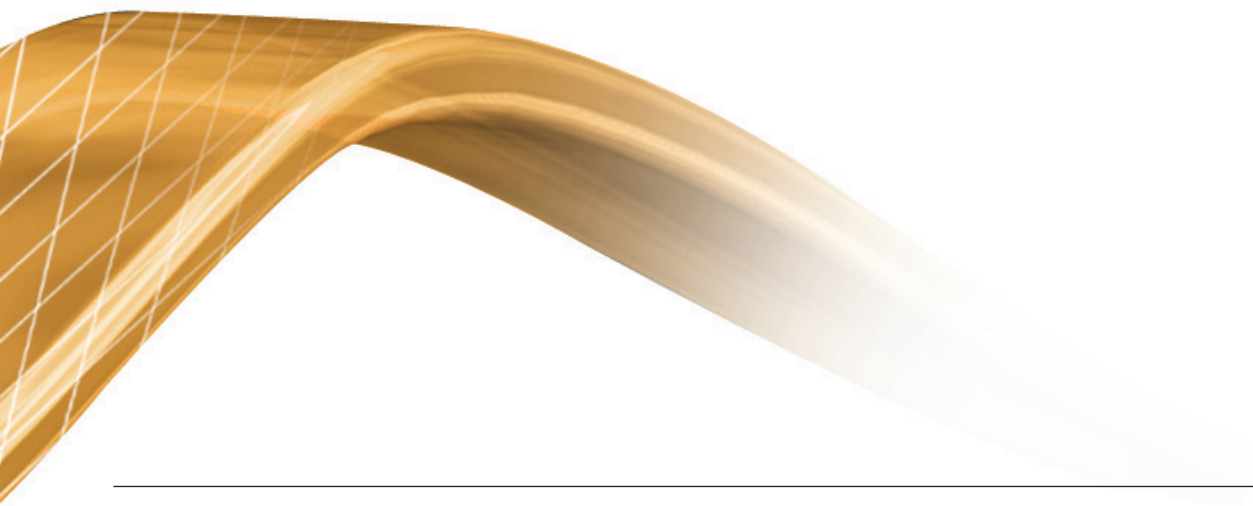
2.1 Увод 38

2.2 Електроснабдяване на машини 38

2.3 Стандарти и правила 38

2.4 Захранващи източници 40

2.5 Захранващи източници на схемите за управление 41



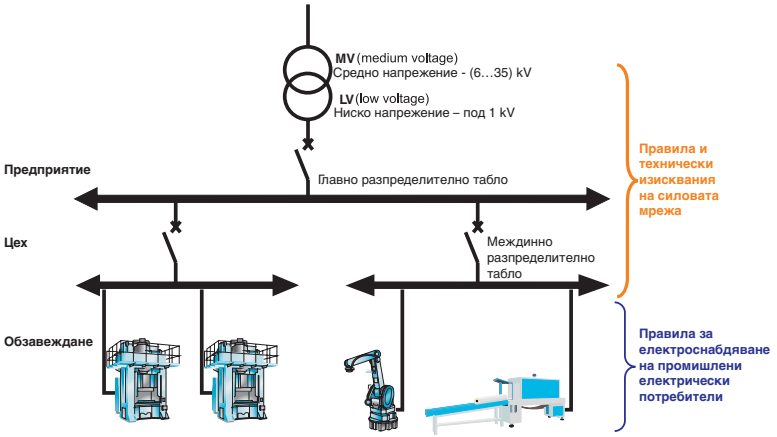
2. Електроснабдяване

2.1 Увод
2.2 Електроснабдяване на машини
2.3 Стандарти и правила

2.1 Увод

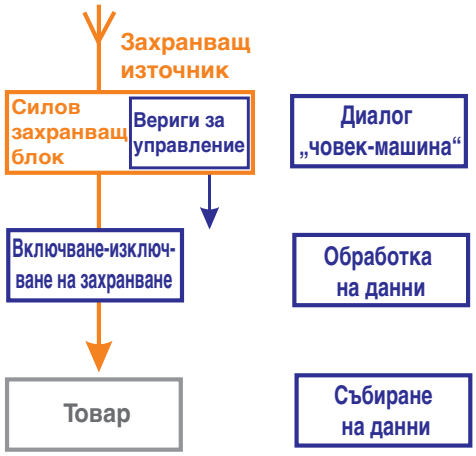
В този раздел се обсъжда начина, по който се извършва електроснабдяването на промишлено предприятие, например за машиностроително производство. Системата за електроснабдяване е междинно звено между основните разпределителни устройства на предприятието и технологичното обзавеждане – потребители на енергия. Затова тя трябва да отговаря както на стандартите, използвани в електроенергийната система, така и на техническите изисквания на обзавеждането (⇨ *Фиг.2.1)*.

Препоръчва се на всеки, който желае задълбочено да изучи конкретен въпрос, да използва *Ръководство за електрически уредби* на компанията Schneider Electric.



↑ *Фиг. 2.1* *Структурна схема на система за електроснабдяване*

2.2 Електроснабдяване на машини



↑ *Фиг. 2.2* *Функции на захранващия източник*

Както е показано на (⇨ *Фиг. 2.2)*, захранващият източник се състои от два блока: силово захранване и захранване на веригите за управление.
Силовият захранващ блок осигурява електроснабдяване на потребители (например, електродвигатели и нагревателни уредби) чрез управляващи устройства (релета и контактори). Напрежението на мрежата е обикновено в диапазона от 200 до 660 V, за трифазна мрежа, и от 120 до 230 V, за еднофазна мрежа.

Захранващият блок към веригите за управление осигурява електроснабдяване на компонентите на системата за управление (бобини на контактори, бобини на вентили, програмируеми контролери, първични преобразуватели и др.). Напрежението, подавано към веригите за управление е еднофазно. То е обикновено (120 … 230) V и свръхниско - (12 … 48) V.

Този блок често се нарича „главен“. Негова задача е изпълнението на редица функции, които са описани в т.2.4.

2.3 Стандарти и правила

Както вече се отбеляза, електроснабдяването трябва да удовлетворява техническите изисквания, посочени в нормативната документация, отнасяща се до енергийната система, така и до промишлените потребители:

■ Система за електроснабдяване

Всяка държава има свои собствени правила и стандарти. Това означава, че съществуват огромен брой различни стандарти. Например, във Франция се използва стандарта C15-100. Независимо от това могат да се посочат общи изисквания и норми, отнасящи се до устройствата за електроснабдяване на обзавеждането:

- основно напрежение: в *Ръководство за електрически уредби* е дадена таблица за напреженията, използвани в различни страни. Характеристиките на напрежението, при което се доставя електрическата енергия от обществените разпределителни електрически мрежи, са посочени в БДС EN 50160:2010;
- система за заземяване и зануляване;
- практически методи за полагане на проводници и кабели;
- стандарти за разполагане на обзавеждане;
- вложки за предпазители, прекъсвачи и изключватели.

Промишлени потребители

Нормите, въведени с БДС EN 60204-1:2006/A1:2009 Безопасност на машини. Електрообзавеждане на машини, позволяват да се извършва износ на промишлено обзавеждане за други страни. Въпреки това трябва да се отчитат изискванията на стандартите в отделните страни. Основните различия са посочени в таблицата *(⇨ Фиг. 2.3)* .

TN-C схеми не се допускат за използване в мрежи НН в сгради (Норвегия).
TT схеми не се допускат на територията на САЩ.
Разединител на неутралния проводник е задължителен в TN-S схеми (Франция, Норвегия).
Разделяне на неутралния проводник в IT схеми не се допуска (САЩ, Норвегия)
Максималното работно напрежение за променливотокови вериги за управление е 120 V (САЩ)
Размерът на медните проводници, в измерителни единици AWG, е посочен в стандарта ANSI/NPFA79, приет в САЩ. В приложение G на стандарта са посочени стойностите на сеченията в mm^2, еквивалентни на AWG.
Бял или **Сив** цвят се използва за означаване на неутралния проводник вместо син (САЩ и Канада)
Изисквания към табелки с номинални данни (САЩ).

↑ Фиг. 2.3 *Особености на стандартите в различни страни*

Три зони на влияние

Едновременно с различията в стандартите и правилата, използвани в отделни страни, съществуват и сходни изисквания в трите основни зони на влияние: САЩ, Европа и Япония *(⇨ Фиг. 2.4)*.

	Зона на влияние	САЩ	Европа	Япония
Разпределение на електроенергия	Трифазни мрежи НН	480V	400V	200V
	Стандарти/правила за уредби НН	NEC	IEC 60364	JIS C 0364
Стандарти за електро-снабдяване на обзавеждане	Вж. по-горе разгледаните различия	IEC60204-1	IEC60204-1	JIS-B 9960
Електрически апарати	Автоматични прекъсвачи	UL 489	IEC60947	JIS-C 8201-2-1
	Прекъсвачи / предпазители	UL98	IEC 60269 Стопяеми предпазители за НН за всяка страна	JIS-C 8269
	Комутационни апарати за ниско напрежение	UL508	IEC 60947	JIS-C 8201-4-1
Типове съединения	<100A	>100A Съединители	Съединители, клеми, скоби, муфи, гъвкави съединители	Монтажни накрайници
	>100A	Паралелни проводници	Проводници с накрайници или шини	Проводници с монтажни накрайници

↑ Фиг. 2.4 *Особености на стандартите в трите основни зони на влияние: САЩ, Европа и Япония*

2.4 Захранващи източници

Съществуват три отделни функции:

■ Подаване и изключване на електроснабдяване към обзавеждането и веригите за управление при спазване на следните условия:

□ **Изключвателна възможност**

В зависимост от инсталираната мощност очаквания ток на късо съединение може да се намира в диапазона от няколко kA до стотици kA. Устройството трябва да осигурява изключване на потребителите при тези условия.

□ **Допустим ток на късо съединение**

Токът на късо съединение не трябва да предизвиква разрушаване на апарата.

□ **Присъединяване**

Вътрешният монтаж в обзавеждането винаги се изпълнява с медни проводници, но е необходимо да се отбележи, че в електрическите схеми за разпределение на електроенергия може да се използва и алуминий. Затова трябва да се предвиди възможност за включване и на двата типа проводници към входното устройство.

□ **Ръчно управление и дистанционно управление**

Правилата за безопасна работа изискват да се предвиди възможност за директен контрол от електрическо табло чрез изключване или разединяване на веригата.

■ Защита на персонала

Електрическите табла обикновено са затворени по време на работа и работният персонал, експлоатиращ обзавеждането, няма достъп до тях. Утвърдени са правила за безопасна работа на персонала при работа в електрически уредби в частност при пускане и обслужване:

- защита срещу директен допир IP20;
- работа с частично или пълно изключване на напрежението.

Тези правила гарантират, че уредбата е напълно или частично отсъединена от захранващия източник по съображения за безопасност.

• **Изолация**

При работа в открито табло трябва да бъде осигурено необходимо ниво на изолация, т.е. токът на утечка трябва да бъде по-малък от допустимата стойност за човек.

• **Блокировка на врати**

Тази функция е предназначена за предотвратяване на несанкционирано превключване в разпределителни устройства.

• **Изолация на вериги за управление**

Тя трябва да бъде достатъчна за защита на хора и електрическо обзавеждане от пренапрежения и други видове електрическо въздействие.

• **Еквипотенциално съединение**

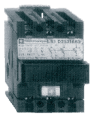
Правилата за монтаж на обзавеждане могат да регламентират различни схеми за заземяване и изолация в зависимост от използваната схема на заземяване.

■ Защита на разпределителни мрежи

При възникване на аварийна ситуация в инсталираното обзавеждане защитната схема трябва да осигури автоматично изключване на захранването на аварирала секция, например с помощта на координация на защитата. Изключването на повредения участък не трябва да оказва влияние върху работата на останалите секции на разпределителната мрежа.

Комутационна апаратура

В таблицата *(⇨ Фиг. 2.5)* са представени типове комутационна апаратура и изпълняваните от тях функции.

Функция	Блок предпазители	Димер	Разединител	Прекъсвач със стопяема вложка	Автоматичен прекъсвач с магнитен изключвател	Мрежов автоматичен прекъсвач	Диферен-циално реле
							
Разединяване	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
Изключване		X	XX	XX	XX	XX	
Защита от късо съединение	XX			XX	X	XX	
Изолиране	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
Нечувствителност към късо съединение	X	X	XX	XX	X	XX	
Блокировка	XX	XX	XX	XX	X	XX	
Защита от земно съединение						Опция	XX

↑ *Фиг. 2.5* *Сравнителна таблица за типове комутационна апаратура*

2.5 Захранващи източници на схемите за управление

Захранването на схеми за управление се определя от нормативни документи и технологични ограничения. Необходимостта от осигуряване на безопасност за обслужвания персонал е довела до използване на свръхниско напрежение (ELV), т.е. по-малко от 50 V. Известно е, че електронните схеми за управление изискват постояннотоково захранване.

Следователно, с изключение на отделни и специални приложения, за захранване на схемите за управление се използва основно постоянен ток при свръхниско напрежение – DC ELV.

Захранващи източници за променлив ток 24V

По-долу се разглеждат различни типове захранващи източници за 24V. В практиката това напрежение е стандарт за промишлеността. На пазара се предлагат огромен брой такива източници, но съществуващите стандарти помагат да се ограничи риска от несъвместимост между изделията.

- **Това решение има следните предимства:**
  - намаляване на масогабаритните показатели;
  - повишаване на надеждността и възможността за откриване прекъсване на вериги, което може да се изпълни с помощта на съвременни PLC;
  - безопасност за персонала;
  - непрекъснатост на работа, която се осигурява от инсталиране на източници за непрекъснато електроснабдяване (UPS);
  - отсъствие на капацитивен ефект между проводниците;
  - защита на околната среда поради ниска електрическа консумация.
- **Това решение притежава редица недостатъци:**
  - ниското напрежение ограничава дължината кабела;
  - броят на последователно свързаните контакти или първични преобразуватели е ограничен;
  - необходимо е да се взема под внимание тока на утечка;
  - контактите могат бързо да се разрушат при работа в неблагоприятна среда (прах, химически агресивна среда и др.);

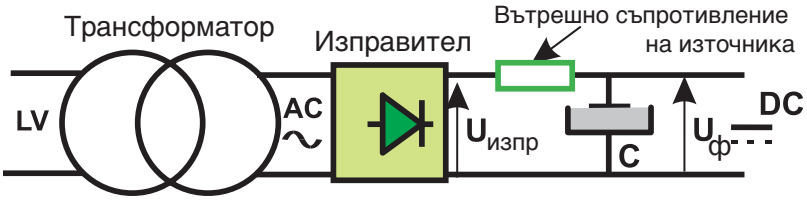
- възможни са проблеми, породени от електромагнитна съвместимост, преди всичко между комуникационната шина на контролерите и контактори, първични преобразуватели и бобини. В този случай се препоръчва използването на контактори с бобини, имащи ниска електрическа консумация.

Захранващи източници за постоянен ток 24V

В тази област настъпи значително подобряване на технологиите. Обикновените захранващи източници използват трансформатори с отделни намотки, които намаляват напрежението и изолират веригите ниско напрежение от веригите свърхниско напрежение. Прогресът в техниката и технологиите, заедно с намаляване на стойността на електронните устройства, позволи да се използват алтернативни решения. Разглеждат се следните варианти.

Захранващ източник с изправител

Захранващият източник се състои от трансформатор (преобразува ниското напрежение в свръхниско напрежение), изправител и филтър *(⇨ Фиг. 2.6)*.

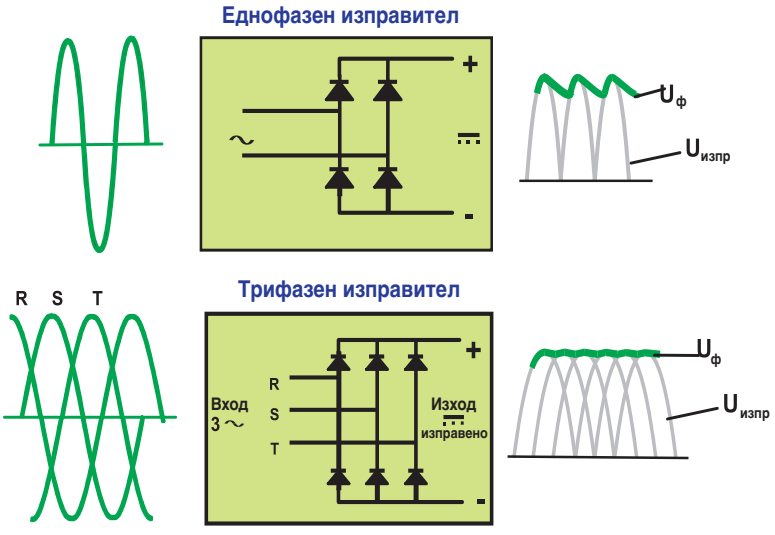


↑ *Фиг. 2.6* *Структурна схема на захранващ източник за 24V*

Изходното напрежение на трансформатора може да бъде както еднофазно така и трифазно. В последния случай може да няма изглаждащ филтров кондензатор *(⇨ Фиг. 2.7)*. Това решение е най-надеждно и осигурява защита при краткотрайни прекъсвания на напрежението.

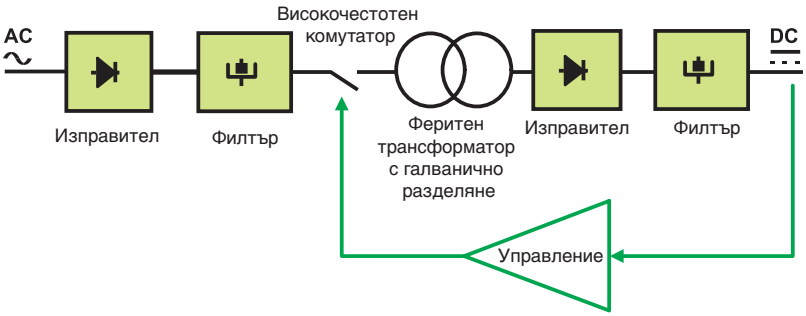
Импулсен захранващ източник *(⇨ Фиг. 2.8)*

Принципът на действие е основан на преобразуване на напрежението от източника за постоянен ток във високочестотен сигнал (до няколко стотици kHz). Това позволява да се използва високочестотен феритен трансформатор с най-добро съотношение „мощност/маса“, в сравнение със случая на използване на обикновен трансформатор за честота 50 Hz. След това вторичното изходно напрежение се изправя и филтрира.

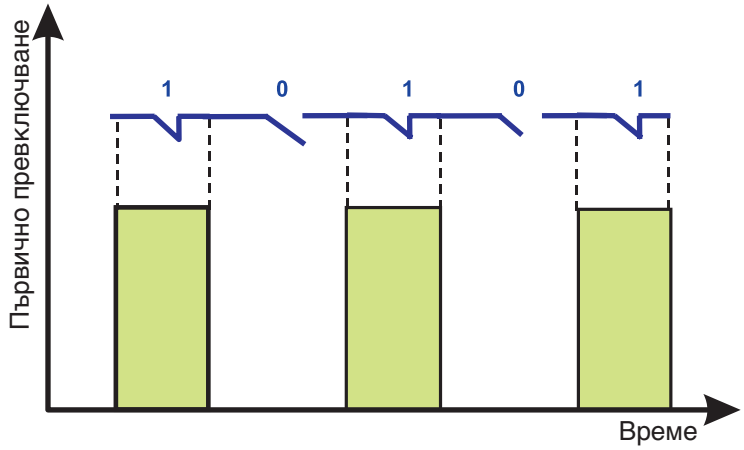


↑ *Фиг. 2.7* *Еднофазен и трифазен изправител*

Веригата за обратна връзка управлява времето на цикъла на висо-кочестотния ключ за сигуряване на необходимите параметри на захранващия източник *(⇨ Фиг. 2.9)*.



↑ Фиг. 2.8 Импулсен захранващ източник



↑ Фиг. 2.9 Принцип на действие на импулсен захранващ източник

Заключение

Посочената таблица сравнява две технологии *(⇨ Фиг. 2.10)*. Допълнителни подробности могат да се намерят в специализираната литература.

Сравняване с постоянно токов източник 10 A/24 V	Регулируем импулсен източник	Източник с изправител и филтър
Диапазон на входното напрежение	Широк диапазон от 85 до 264 V	Фиксирано напрежение в диапазона от 110 до 230 V
Габаритни размери	3dm^3	7dm^3
Маса	1.5kg	6kg
КПД	до 85%	до 75%
Регулиране на изходно напрежение	Да	Не
Защита срещу кратковре-менни прекъсвания на напрежението	Висока > 20 ms	Ниска < 5 ms
Регулиране на товара	от 1 до 3%	5%
Линейно регулиране	<1%	(5 - 10) % в зависимост от електрическата мрежа
Електромагнитни смущения	Необходимо е да се вземат под внимание	Ниски, по принцип на действие
Хармонични смущения	С филтър, съответстват на стандарт EN61000-3-2	В съответствие със стандарт EN61000-3-2
Надеждност, срок на експлоатация	Добри	Много добри

↑ Фиг. 2.10 Сравняване на различни източници за постоянен ток

3

Електрически двигатели и товари

- Теоретични основи на електрически машини и електрозадвижвания.
- Режими на работа на електрически двигатели и типови товари.

3.1 Трифазни асинхронни двигатели 46

3.2 Еднофазни двигатели 50

3.3 Синхронни двигатели 51

3.4 Постояннотокови двигатели 54

3.5 Работа на асинхронни двигатели 56

3.6 Сравняване на електрически двигатели 60

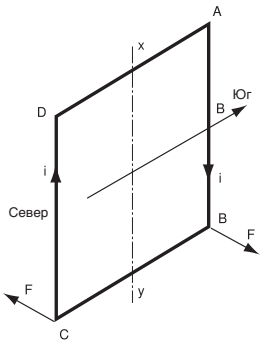
3.7 Видове товари 60

3.8 Вентили и винтови електрически механизми 66

В този раздел се разглеждат физическите и електротехническите свойства на двигателите. Детайлно се обсъжда принципа на действие на основните типове двигатели.

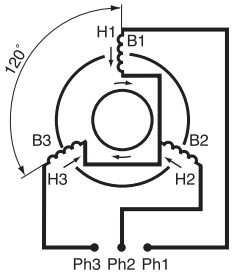
Накратко се обяснява принципа на захранването, пускането и регулирането на скоростта на двигателите. За по-задълбочено запознаване със свойствата на машините е необходимо използване на специализирана литература.

3.1 Трифазни асинхронни двигатели

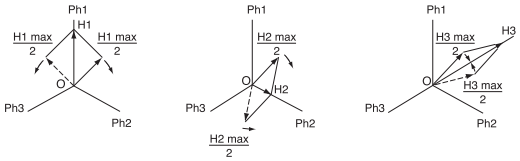


↑ Фиг. 3.1 *Индуциран ток в накъсосъединена рамка*

↑ Фиг. 3.2 *Правило на дясната ръка, за намиране посоката на действие на силата*



↑ Фиг. 3.3 *Към принципа за устройство на трифазен асинхронен двигател*



↑ Фиг. 3.4 *Магнитни полета, генерирани от трите фазови тока*

В първия раздел се разглеждат трифазни асинхронни двигатели, които най-често се използват за задвижване на машини. Тези двигатели имат редица предимства, което прави техния избор предпочитан в много области за приложение: голяма гама от стандартизирани параметри, надеждни, прости за управление и обслужване, и ниска цена.

Принцип на действие

Принципът на действие на трифазния асинхронен двигател е основан на индуктиране на ток в проводник, когато той пресича силовите линии на магнитно поле. Оттук и наименованието „индукционен двигател“. Взаимодействието между индуцирания ток и магнитното поле създава движеща сила върху ротора на двигателя

Разглежда се накъсо съединена рамка ABCD, намираща се в магнитно поле с магнитна индукция B, която се върти около оста x-y *(⇨ Фиг. 3.1)*.

Ако накъсо съединената рамка се върти, например по посока на часовата стрелка, в рамката се образува променлив електромагнитен поток и възниква електродвижеща сила, която генерира индуциран ток (закон на Фарадей).

Съгласно закона на Ленц, посоката на тока е такава, че неговото електромагнитно действие е противоположно на полето, индуциращо тока в намотката. При това на всеки проводник в променливо магнитно поле действа сила на Лоренц (F), насочена в посока, противоположна на посоката на неговото собствено преместване спрямо силовите линии на индуциращото поле.

На *(⇨ Фиг. 3.2)* е показан прост начин за определяне посоката на силата F, действаща на проводник, с използване правилото на дясната ръка (взаимодействие между магнитно поле и ток).

Палецът показва посоката на силовите линии на магнитното (индуциращото) поле. Показалецът определя посоката на силата, която действа върху проводника.

Средният пръст посочва посоката на индуцирания ток. При това на затворената рамка действа въртящ момент, в същото направление в което действа и полето, индуциращо тока, т.е. така нареченото въртящо поле. Рамката се завърта, а резултантния електромагнитен момент се уравновесява от съпротивителния момент на товар.

Генериране на въртящо магнитно поле

Върху статора на двигателя са разположени три намотки, които са разместени в пространството една спрямо друга на 120 електрически градуса *(⇨ Фиг. 3.3)*.

Всяка статорна намотка получава напрежение от една фаза на трифазната захранваща мрежа. През намотките протичат променливи електрически токове с едно и също фазово изместване, всеки от които създава магнитно поле, изменящо се по синусоидален закон. Това поле винаги действа в една посока и достига максимална стойност при максимална стойност на протичащия ток в намотката.

Полето, образувано от всяка намотка, може да се представи като сума от две полета, въртящи се в противоположни посоки, амплиту-

дата на всяко от които е постоянна и равна на половината от амплитудата на изходното поле. В момента t1 разпределението на векторите на полетата, създавани от намотките, е представено на *(⇨ Фиг. 3.4)*. Резултантното поле, образувано от всяка намотка, може да се представи по следния начин:

- амплитудата на магнитното поле H1 се намалява. Двата вектора на интензитета на магнитното поле се отдалечават от оста OH1;
- амплитудата на магнитното поле H2 се увеличава. Двата вектора се движат към оста OH2;
- амплитудата на магнитното поле H3 се увеличава. Двата вектора се движат към оста OH3.

Магнитният поток, съответстващ на трета фаза е отрицателен. Следователно магнитното поле се движи в посока обратна на посоката на движение на намотката.

Ако се наложат трите диаграми една върху друга се установява, че:

- трите магнитни полета, въртящи се в посока, обратна на движението на часовата стрелка са изместени на 120 електрически градуса и се неутрализират едно с друго;
- трите магнитни полета, които се въртят по посока на часовата стрелка се събират и оформят въртящо магнитно поле с постоянна амплитуда 3Hmax/2 и посока, определена от два полюса (чифт полюси);
- резултатният вектор на магнитното поле извършва едно завъртане за един период на изменение на захранващото напрежение. Неговата скорост зависи от честотата f на напрежението на захранващата мрежа и броя на чифтовете полюси p. Това е така наречената „синхронна скорост“.

Хлъзгане

Въртящият момент в двигателя може да възникне само в случай, че в роторната намотка протича ток. Това е възможно само тогава, когато проводниците на ротора пресичат силовите линии на въртящото магнитно поле, създадено от статорната намотка. Следователно скоростта на въртене на магнитното поле на статора и на ротора не могат да бъдат еднакви.

Ето защо двигател, работещ на описания принцип се нарича асинхронен. Разликата между синхронната скорост (Ns) и скоростта на ротора (N) се нарича хлъзгане (s) и се изразява в проценти от синхронната скорост.

$$s = [(N_S - N) / N_S] \times 100.$$

При работа на двигателя честотата на роторния ток е равна на произведението от честотата на захранващата мрежа и хлъзгането. При включване на двигателя честотата на роторния ток е максимална и е равна на честотата на тока на статора. При развъртане честотата на роторния ток се намалява в съответствие с уравнението

$$f_2 = f_1 \times s$$

В установен режим хлъзгането се определя от товара на двигателя. С увеличаване на товара или намаляване големината на захранващото мрежа хлъзгането се увеличава.

Синхронна скорост

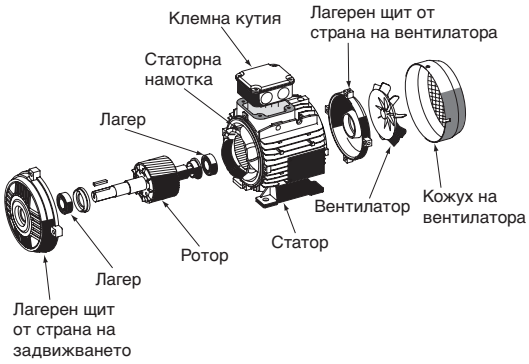
Синхронната скорост на трифазен асинхронен двигател е пропорционална на честотата на честотата на напрежение на захранващия източник и обратнопропорционална на броя чифтове полюси на статора.

Пример: $N_S = 60\ f/p$,

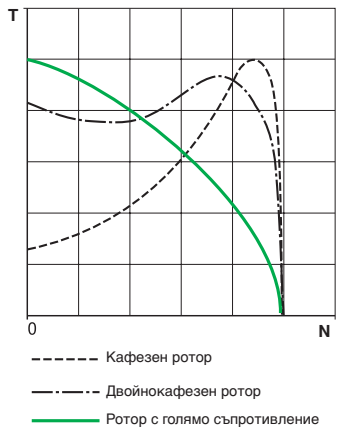
където N_S е синхронната скорост, tr/min;
f – честотата, Hz;
p – броят на чифтове полюси.

Брой на чифтове полюси	Синхронна скорост, tr/min		
	50 Hz	60 Hz	100 Hz
2	3000	3600	6000
4	1500	1800	3000
6	1000	1200	2000
8	750	900	1500
10	600	720	1200
12	500	600	1000
16	375	540	750

↑ Фиг. 3.5 *Синхронни скорости в зависимост от броя на чифтовете полюси и честотата на напрежение на захранващата мрежа*



↑ Фиг. 3.6 *Конструкцията на асинхронен двигател с кафезен ротор*



↑ Фиг. 3.7 *Механични характеристики на асинхронен двигател с накъсосъединен ротор*

На (⇨ Фиг. 3.5) е показана стойността на синхронната скорост в зависимост от броя на чифтовете полюси за промишлена честота 50, 60 и 100 Hz.

На практика не винаги има възможност да се увеличи синхронната честота на въртене на двигателя чрез увеличаване честотата на захранващата мрежа над нейната номинална стойност, дори и при номинално напрежение на двигателя. Преди всичко двигателят се оразмерява по достатъчен запас от механически и електрически параметри.

Както се отбеляза, поради хлъзгането, скоростта на въртене на ротора на асинхронен двигателя е малко под синхронните скорости, показани в таблицата.

Конструкция

Трифазният асинхронен двигател с накъсосъединен ротор се състои от две части: статор и ротор.

Статор

Статорът е неподвижната част на двигателя. В корпуса, отлят от чугун или друга сплав, е монтиран пакет от тънки (с дебелина от порядъка на 0,5mm) пластини от електротехническа стомана. Пластините са изолирани една от друга с лак или с окисен слой. Такава структура на статорния пакет намалява големината на тока през магнитопровода и загубите от хистерезис и вихрови токове.

Пластините са щанцовани по подходящ начин и при събирането им в статорен пакет оформят канали, в които се полагат статорните намотки, създаващи въртящо магнитно поле (три за трифазен двигател). Всяка намотка се състои от няколко бобини. Начина на свързване на намотките определя броя на чифтове полюси на двигателя и следователно скоростта на въртене на статорното магнитно поле.

Ротор

Това е подвижната част на двигателя. Роторът представлява цилиндър, събран от щанцовани листи електротехническа стомана, изолирани един от друг, аналогично на статорния пакет. Той е закрепен механично на вала на двигателя. На повърхността на ротора са оформени надлъжни канали за намотки. Листите на роторния пакет не се изолират с лак тъй като в повечето случаи изолацията от окисния слой е достатъчна.

В зависимост от технологията, използвана при изработване на ротора асинхронните двигатели се разделят на двигатели с накъсосъединен ротор (кафезен ротор) и двигатели с контактни пръстени (навит/фазов ротор).

Видове ротори

Кафезен ротор

Съществуват няколко вида ротори от този тип. Конструкцията на асинхронен двигател с кафезен ротор е показана на (⇨ Фиг. 3.6).

Роторите се разглеждат в последователност - от най-малко разпространени до най-често използвани:

• Ротор с голямо съпротивление

Той се изпълнява като кафезен ротор (вж. определението за кафезен ротор). Клетката (намотката) в този случай е свързана накъсо от двете страни чрез пръстени с голямо съпротивление (специални сплави, намалено сечение, неръждаема стомана).

Тези двигатели имат повишено хлъзгане при номинален момент. Пусковият момент е голям, а пусковият ток – малък (⇨ Фиг. 3.7).

КПД на тези двигатели е малък поради загуби в ротора.
Те имат силно намаляваща механична характеристики, при която хлъзгането се изменя пропорционално на момента и могат да се използват за следните задвижвания:

- няколко механично свързани електродвигатели (характеристиката позволява пропорционално разпределяне на товара); използват се в прокатни линии и кранови задвижвания;
- шахтови подемници, задвижвани от двигатели Alquist (вж. забележката);
- товароподемни устройства или конвейери, за които са необходими голям пусков въртящ момент при малък пусков ток.

Честотата на въртене може да се регулира само чрез изменение на захранващото напрежение. В практиката за тази цел се използват честотни преобразуватели. Голяма част от двигателите са самоохлаждащи. Машините, чиито ротори са с голямо съпротивлени изискват специално охлаждане (отделно задвижван вентилатор).

Забележка: *Тези асинхронни двигатели с форсирано охлаждане и високо хлъзгане се използват с регулатори на скорост. Техният пусков ток е близък до номиналния. Те имат много високо отношение „момент/скорост“. При използване на управлявляем захранващ източник това отношение може да се променя така, че въртящият момент да двигателя да съответства на съпротивителния момент.*

• Накъсосъединен (кафезен) ротор

В каналите на ротора са положени голи медни или алуминиеви пръти, краищата на които са свързани накъсо с метален пръстен*. Проводниците, положени в каналите на двигатели имат наклон спрямо оста на вала, което осигурява равномерност на въртящия момент.

Роторната намотка обикновено се получава чрез заливане под налягане на алуминий в каналите на ротора (само двигателите с много голяма мощност имат проводници, поставени в канали). Едновременно се отливат и охладителни ребра в двата края на ротора.

Тези двигатели имат малък пусков момент и много по-голям пусков ток в сравнение с номиналния *(⇨ Фиг. 3.7)*.

От друга страна, при те имат малки стойности на хлъзгането при номинален въртящ момент. Те се използват предимно в индустриални задвижвания с голяма мощност за повишаване ефективността на уредбата. Например за задвижване на помпи и вентилатори. При използване в комбинация с честотни преобразуватели те осигуряват най-добро решение на проблема за намаляване на пусковия ток и увеличаване на пусковия момент.

• Двойнокафезен ротор

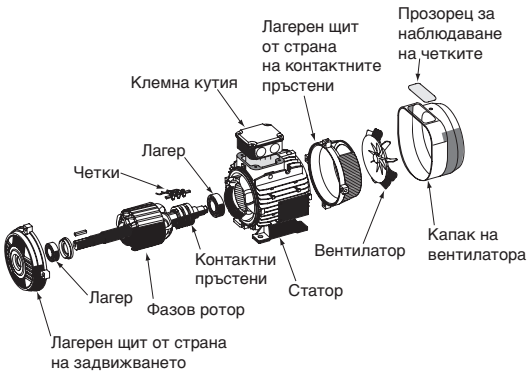
Роторът има две концентрични клетки (намотки) – външна и вътрешна. Външната е изпълнена от проводници с малко сечение, осигуряващо достатъчно високо съпротивление, а вътрешната – от проводници с голямо сечение, имащи по-малко съпротивление.

- Смисълът от използване на две намотки се заключава в следното. При пускане на двигателя, когато $f_2 = f_1$, вътрешната намотка се обхваща от потока магнитни силови линии в много по-голяма степен отколкото външната. Затова индуктивното съпротивление на вътрешната намотка е много по-голямо, отколкото на външната (наблюдава се т.нар. скин ефект) и роторният ток се измества към повърхността. При това колкото активното съпротивление на външната намотка е по-високо, толкова пусковият момент става по-голям, а пусковият ток на статорната намотка се намалява *(⇨ Фиг. 3.7)*.
- С развъртането на ротора честотата на роторния ток $\mathbf{f_2 = f_1 x s}$ се намалява, прекратява се явлението изместване на тока и заработва вътрешната намотка с много по-малкото вътрешно съпротивление. При равни други условия хлъзгането на двигателя, с двойнокафезен ротор, е малко по-голямо от това на двигателя с обикновен накъсосъединен ротор.

• Ротор с дълбоки канали

Това е стандартен ротор.

** Забележка: намотката образува клетка, което поради сходство с “беличье колесо”, се нарича «беличья клетка» в руската техническа литература, т.е. клетка за катерица. Най-често у нас се използва терминът “кафез”.*



↑ *Фиг. 3.8* *Конструкция на двигател с фазов ротор*

Неговите проводници са положени в трапецовидни канали, чиято къса страна е разположена на външната страна на ротора.

Принципът на работа на двигател с такъв ротор е аналогичен на този с двойнокафезен ротор.

Разликата е, че се използва една, а не две различни намотки:
- при пускане, в резултат на ефекта изместване на роторния ток, работи не цялото сечение на проводника, а една малка част от него. Следователно пусковият момент става по-голям, а пусковият ток – по-малък;
- при работа с номинален товар хлъзгането практически е същото, както и при двигателя с накъсосъединен ротор.

□ Навит (фазов) ротор (ротор с контактни пръстени)

Върху ротора е поставена трифазна намотка аналогично на статорната *(⇨ Фиг. 3.8)*.

Едноименните краища на всяка намотка са свързани в обща точка (свързване звезда). Свободните краища могат да бъдат съединени с центробежен съединител или с три изолирани медни пръстена, разположени върху вала на ротора.

По тези пръстени се плъзгат графитни четки, свързани с пусково устройство.

В зависимост от големината на резисторите в роторната верига двигателят може да развие пусков момент 2,5 пъти по-голям от номиналния момент.

Пусковият ток е пропорционален на въртящия момент на вала на двигателя.

Това решение отстъпва на стандартен двигател с накъсосъединен ротор и електронно устройства за управление. Последните са по-прости за техническо обслужване (няма замяна на износени четки, техническо обслужване и регулиране на резисторите). Не се разсейва мощност върху резисторите, което значително подобрява енергийната ефективност на обзавеждането.

3.2 Еднофазни двигатели

Еднофазният двигател се използва по-рядко от трифазния в индустрията. Той намира широко приложение предимно в устройства с малка мощност и в системи с еднофазно напрежение 230 V.

■ Еднофазни двигатели с накъсосъединен ротор

При еднаква мощност те имат по-големи масогабаритни показатели от трифазните. Техният КПД и факторът на мощността са много по-малки от тези на трифазния двигател и силно зависят от типоразмера на двигателя и завода-производител.
В Европа еднофазният двигател се използва малко в индустрията, за разлика от САЩ, където се срещат двигатели с мощност до 10 kW.
Въпреки, че еднофазният двигател с накъсосъединен ротор се използва сравнително рядко той може да се управлява от преобразувател на честотата, но само ограничен брой производители предоставят такава възможност.

□ Устройство

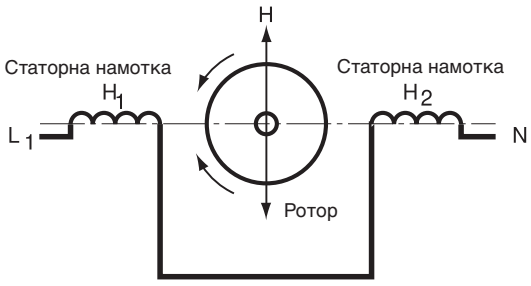
Еднофазният двигател, както и трифазният, се състои от две части – статор и ротор.

- **Статор**

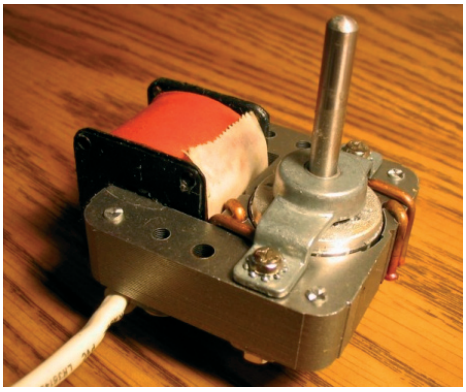
Статорът има четен брой полюси и неговата намотка е включена към силовата мрежа.

- **Ротор**

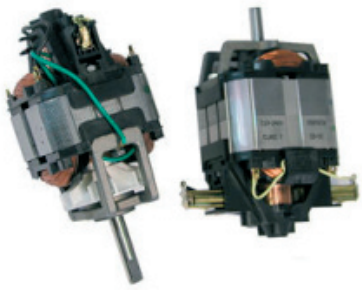
Той е обикновено накъсосъединен.



↑ Фиг. 3.9 *Принцип на действие на еднофазен асинхронен двигател*



↑ Фиг. 3.10 *Еднофазен двигател с накъсосъединени фазоизместващи пръстени*



↑ Фиг. 3.11 *Универсален еднофазен двигател*

Принцип на действие

Разглежда се статор с две намотки, свързани с изводи L_1 и N към силовата мрежа *(⇨ Фиг. 3.9)*.

Еднофазният променлив ток формира променливо магнитно поле с интензитет H в ротора, което е сума от интензититите на полетата H_1 и H_2, създавани от двете намотки. Магнитните полета H_1 и H_2 са с еднаква амплитуда и се въртят в противоположни посоки.
В състояние на покой, при включване на статора към захранващия източник, полетата H_1 и H_2 по еднакъв начин пресичат роторната намотка и следователно формират два еднакви, но противоположни по посока въртящи моменти.
Двигателят не може да се завърти.
Един механичен импулс върху ротора предизвиква неравенство между хлъзганията. Единият от въртящите моменти се намалява, а другият – се увеличава. Сумарният въртящ момент задвижва двигателя в посоката, в която е приложен механичния импулс.
За решаване на проблема с пускане на двигателя в статора се вгражда още една намотка (пускова), която е разположена на 90 електрически градуса спрямо основната.
Към пусковата намотка има вградено устройство за фазово изместване (кондензатор или индуктивност). След пускане на двигателя, спомагателната намотка може да се изключи, например с центробежен контакт.
Друго решение е използване на накъсосъединени фазоизместващи пръстени, вградени в статорния пакет. Такъв тип двигатели намират приложение в устройства с малка мощност (не повече от 100W) *(⇨ Фиг. 3.10)*.

Трифазният двигател (до 4 kW) може да бъде използван като еднофазен: Пусковият кондензатор се монтира или последователно или паралелно с една от намотките. Такава система може да се разглежда като временна мярка, защото мощността на системата значително се намаляване. В документацията на завода-производител се дава информация за схемите на свързване, капацитетът на кондензаторите и намаляването на мощността при еднофазно използване на двигателя.

Универсални (колекторни) еднофазни двигатели

Този тип двигатели се използват много рядко в промишленото обзавеждане, но в същото време те са широко разпространени в света. Те често се използват в битови уреди и преносими инструменти.

Тяхното устройство е подобна на двигател за постоянен ток с последователно възбуждане *(⇨ Фиг. 3.11)*. Тъй като двигателят се захранва с променлив ток направлението на магнитното поле в машината се изменя едновременно с изменение на напрежението. Затова въртящият момент винаги има една и съща посока.

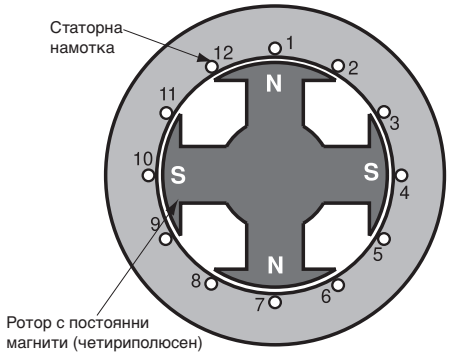
Двигателят се състои от статор и ротор с намотки, свързани с пластините на колектора. Превключването се изпълнява от четките и колектора. Мощността на двигателя може да достигне 1000 W, а неговата скорост на въртене без товар – приблизително 1000 tr/min. Конструкцията на тези двигатели позволява вграждането им в устройствата. КПД на двигателите е много нисък.

3.3 Синхронни двигатели

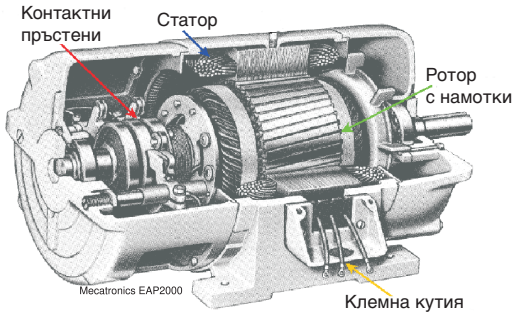
Синхронни двигатели с постоянни магнити

Устройство

Синхронният двигател, подобно на асинхронния двигател, се състои от статор и ротор, разделени от въздушна междина. Разликата се заключва в това, че магнитният поток във въздушната междина не е следствие от статорния ток, а се създава от постоянни магнити или индуктор (роторна намотка), захранен от външен постояннотоков източник.



Фиг. 3.12 *Напречно сечение на четириполюсен двигател с постоянни магнити*



Фиг. 3.13 *Синхронен двигател с фазов ротор*

• Статор

Статорът, аналогично на този при асинхронен двигател, се състои от корпус и магнитопровод. Той обикновено е изграден от листова електротехническа стомана и трифазна намотка, захранвана от трифазен променлив ток, за създаване на въртящо магнитно поле.

• Ротор

Върху ротора са разположени постоянни магнити или възбудителна намотка, захранвана с постоянен ток. Те създават постоянно магнитно поле. За разлика от асинхронния двигател, роторът се върти със скоростта на основното поле, без хлъзгане.

Има два типа синхронни двигатели: двигатели с постоянни магнити на ротора и двигатели с възбудителна намотка на ротора.

- В първия случай в ротора са монтирани постоянни магнити *(⇨ Фиг. 3.12)*, обикновено от редкоземни метали, създаващи магнитно поле във въздушната междина. На статора е разположена обикновена трифазна намотка. Тези двигатели осигуряват високи токови претоварвания в режими на бързи развъртания. Те винаги са снабдени с контролер на скоростта. Модулите на контролерите за скорост са разработени за две специални области на приложение - робототехника и електрически инструменти. Те изискват високодинамични малогабаритни двигатели с голям диапазон на регулиране.
- Синхронните двигатели от втория тип имат ротор с намотки *(⇨ Фиг. 3.13)*. Роторът е свързан с контактни пръстени. Има и други решения, например с използване на въртящи се диодни мостове. Тези двигатели са обратими и могат да работят като генератори (алтернатори) и като двигатели. Дълго време машините от този тип са използвани главно като генератори за променлив ток. Като двигатели те се използват само тогава, когато има необходимост от работа с постоянна скорост при големи изменения на съпротивителния момент.

Развитието на директни преобразуватели на честота (циклоконвертори) или индиректните преобразуватели, използващи способността на синхронните машини да генерират реактивна мощност, позволи създаването на честотно регулируемо задвижване мощно, надеждно и много конкурентноспособно в сравнение с традиционните решения, особено за мощности над 1 MW.

В индустрията се експлоатират асинхронни двигатели с номинална мощност до 5 MW. При по-големи мощности се използват синхронни машини в повечето случаи с управляеми честотни преобразуватели.

□ Работни характеристики

Въртящият момент на синхронен двигател е пропорционален на захранващото напрежение, докато при асинхронния двигател той е пропорционален на квадрата на това напрежение.

Синхронният двигател, за разлика от асинхронния двигател, може да работи с фактор на мощност 1 или много близък до 1.

Синхронният двигател има редица предимства пред асинхронния двигател при захранване от мрежа с постоянно напрежение и честота:

- честотата на въртене на двигателя е постоянна и не зависи от товара;
- той може да се използва като компенсатор на реактивна мощност и да подобри общия $\cos\varphi$ на уредбата;
- синхронният двигател може да издържа на много големи краткотрайни спадания на напрежението (до 50%) без спиране при използване на системата за форсиране на възбуждането.

Синхронният двигател, обаче, при захранване от мрежа с постоянно напрежение и честотата има два недостатъка:

- сложно пускане; при пускане без регулатор на скоростта синхронната машина трябва да се развърта на празен ход, за двигател с неголяма мощност или да се развърта със стартов двигател до достигане на подсинхронна скорост преди директното включване към мрежата;
- когато съпротивителният момент на товара е по-голям от електромагнитния момент на двигателя синхронната машина спира и пусковият процес трябва да се повтори.

Други типове синхронни двигатели

Освен направения кратък технически обзор за разгледаните промишлени двигатели трябва да се отбележат още линейни двигатели, синхронизирани асинхронни двигатели и стъпкови двигатели.

Линейни двигатели

Устройството на линейните двигатели е аналогично на синхронните машини с въртящ се ротор. Те са изградени от статор (плоча) и линеен ротор (бутало)*. Обкновено плочата се премества чрез плъзгане по протежение на ротора. Тъй като в този двигател отсъства междинно механично звено (редуктор и т.н.), няма механично износване между статора и ротора.

Синхронизирани асинхронни двигатели

Това са асинхронни машини. При пускане двигателят работи като асинхронна машина, а при достигане на подсинхронната скорост той преминава в режим на синхронизиране. При увеличаване на товара над номиналния той отново преминава в асинхронен режим, но при това запазва голяма претоварваща способност. Обикновено такива двигатели имат малка номинална мощност.

Стъпкови двигатели

Стъпковият двигател се движи в резултат на захранване на неговата намотка с електрически импулси. В зависимост от източника, захранващ намотката той може да бъде:

- с еднополярно захранване, ако захранващото напрежение на намотките е винаги с един и същ поляритет;
- с двуполярно захранване, когато полярността на напрежението, захранващо намотките се променя, т.е. променя се посоката на магнитното поле.

Стъпковите двигатели могат да бъдат с променливо магнитно съпротивление, магнитоелектрически или хибридни (⇨ Фиг. 3.14).

Минималният ъгъл на завъртане между два електрически импулса се нарича стъпка. Основна характеристика на двигателя е броя на стъпките за един оборот (т.е. за 360 електрически градуса). Стандартизираните стойности са – 48, 100 или 200 стъпки за 1 оборот.

Двигателят работи дискретно. За подобряване на работата, броят на стъпките може да бъде увеличен с помощта на електронно устройство (микростъпки). Това решение е по-подробно описано в раздела за електронно управление на скоростта.

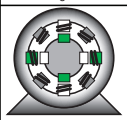
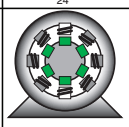
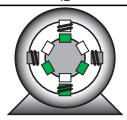
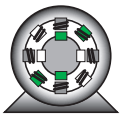
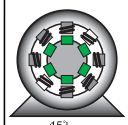
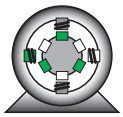
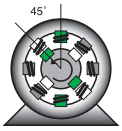
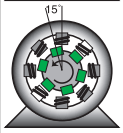
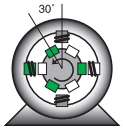
Импулсното изменение на тока в намотките на двигателя предизвиква импулсно изменящо се магнитно поле. То се променя от едно устойчиво състояние към следващо. При това се извършва намаляване дължината на стъпката (⇨ Фиг. 3.15).

В някои схеми броят на стъпките в двигателя се увеличава до 500 пъти, което осигурява изменение от 200 до 100 000 стъпки.

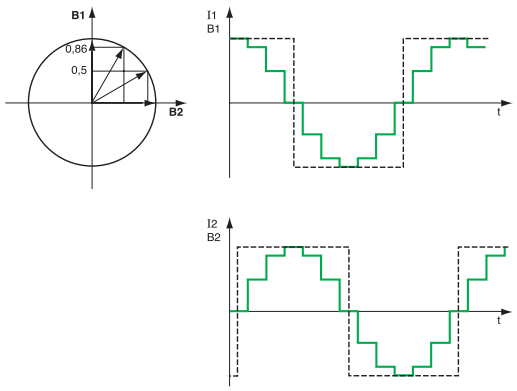
Управлението на формата и броя на импулсите, като правило, се осъществява чрез електронни устройства. Стъпковите двигатели с блок за електронно управление позволяват да се осигури с голяма точност необходимата скорост и положение на управляемата ос.

По такъв начин те се държат аналогично на синхронния двигател при постоянно въртене, т.е. с конкретни ограничения по честотата, въртящ момент и съпротивителен момент (⇨ Фиг. 3.16).

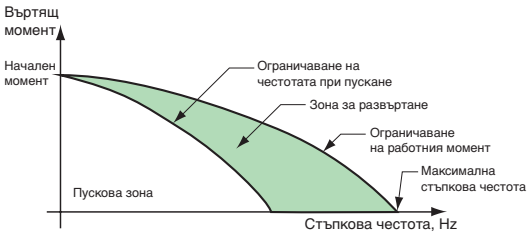
*** Забележка:** *статорът представлява пакет от листова електротехническа стомана, който има формата на гребен. В неговите канали се монтира променливотокова намотка. Линейният ротор (котва, ботало) е електропроводима шина.*

Тип	Биполярен с постоянни магнити на ротора	Уни полярен с променливо съпротивление	Хибриден с двуполярно захранване
Характеристики	2 фази, 4 бобини на фаза	4 фази, 8 бобини на фаза	2 фази, 14 бобини на фаза
Стъпки за оборот, бр.	8	24	12
Етапи при работа			
Стъпка 1			
Междинно състояние			
Стъпка 2			

↑ Фиг. 3.14 *Типове стъпкови двигатели*



↑ Фиг. 3.15 *Импулсно изменение на тока в намотките на двигателя, за намаляване на неговата стъпка*



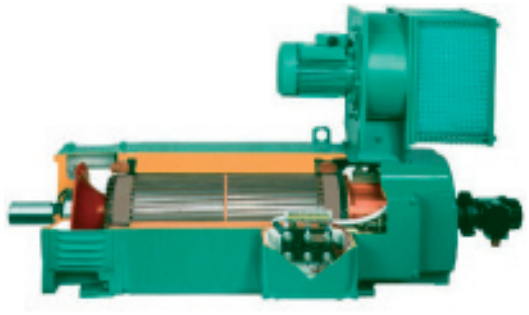
↑ Фиг. 3.16 *Зависимост на максималния въртящ момент от честотата на стъпката*

Когато тези граници са надвишени, съпротивителният момент е по-голям от критичния и двигателят спира.

Точното ъглово позициониране е възможно без обратна връзка. Мощността на тези двигатели е под 1 kW. Те се използват в нисковолтово обзавеждане с малка мощност. В индустрията, те решават различни задачи за позициониране (спиране след изминаване на необходимо разстояние, управление на вентили, в оптични или измервателни апарати, преси или в механизми за натоварване и разтоварване на машини и др.).

Простотата на това решение го прави особено рентабилно (няма обратна връзка). Стъпковите двигатели с магнити също имат важно предимство, осигурявайки неподвижност на ротора при отсъствие на захранващото напрежение, Обаче, информацията за началната позиция на подвижната част трябва да бъде известна и да се предаде в електронния блок за осигуряване на ефективно управление.

3.4 Постояннотокови двигатели



↑ Фиг. 3.17 *Двигател за постоянен ток*

Постояннотоковите двигатели с независимо възбуждане се използват широко в задвижвания с регулиране честотата на въртене на механизми, въпреки че са конкурирани сериозно от асинхронни двигатели с честотно управление *(⇨ Фиг. 3.17)*.

Те имат малки масогабаритни показатели и това ги прави подходящи за уредби с малка мощност и за ниско напрежение. Постояннотоковите двигатели много често са подходящи при управление честотата на въртене за мощност до няколко MW с евтини, прости и високоефективни електронни устройства (диапазонът на изменение на честотата на въртене е обикновено от 1 до 100).

Те също така имат възможност да поддържат точно въртящия момент на вала при използването им както в двигателен, така и в генераторен режим. Желаната честота на въртене се настройва лесно, на всички етапи от производството, независимо от номиналната честота на двигателя.

Обаче, постояннотоковите двигатели имат редица недостатъци: те не са толкова надеждни като асинхронните машини, по-сложни и по-скъпи са за изработване и изискват редовно обслужване на колекторите и четките.

Устройство

Постояннотоковият двигател се състои от следните части:

Статор (индуктор)

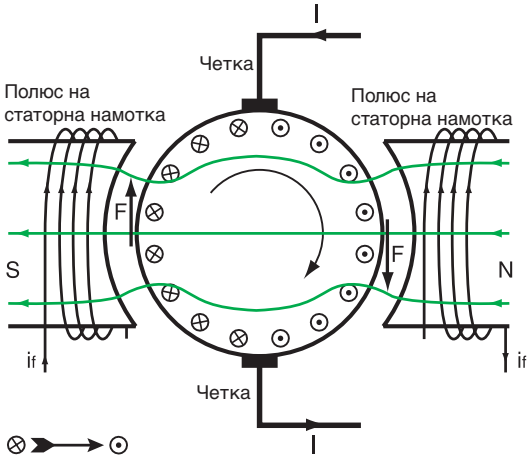
Статорът представлява неподвижна магнитна система с бобини за създаване на магнитно поле. При малки мощности вместо бобини могат да се използват постоянни магнити. Полюсният накрайник е с цилиндрична вдлъбнатина.

Котва (ротор)

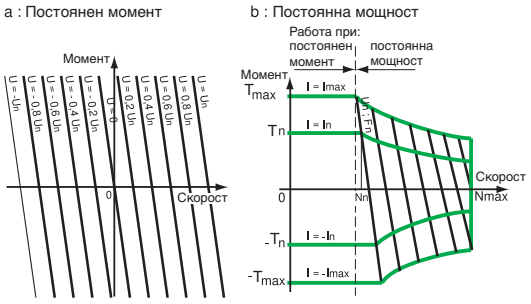
Роторът е цилиндър, оформен от изолирани пластини електротехническа стомана. В тях са щанцовани прорези, които оформят канали за полагане на роторната намотка. Роторът е механично закрепен на вала на машината. Той е подвижна част, която се върти около своята ос. Между статора и ротора има въздушна междина. Роторната намотка се състои от отделни бобини, краищата на която са изведени на колектор.

Колектор и четки

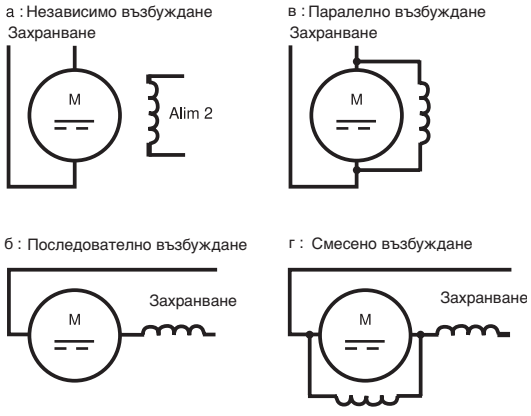
Колекторът е изпълнен като цилиндър, събран от медни пластини, изолирани една от друга с миканит или пластмаса. Той е закрепен на един и същ вал с ротора.



↑ Фиг. 3.18 *Създаване на въртящ момент в двигател за постоянен ток*



↑ Фиг. 3.19 *Механична характеристика на двигател с независимо възбуждане*



↑ Фиг. 3.20 *Варианти на електрически схеми на постояннотокови двигатели с различно възбуждане*

Принцип на действие

Когато на статора се подаде захранване той създава магнитно поле (магнитен поток) във въздушната междина, насочено радиално на котвата. Магнитният поток преминава от северния полюс N през котвата към южния полюс S. При подаване на захранване на котвата на двигателя в проводниците на намотката, разположени под единия полюс, протича ток (през четките и колектора) в дадено направление и възниква сила в съответствие със закона на Лоренц.

Върху проводниците, разположение под другия полюс, също възниква такава сила със същата големина, но с противоположна посока. Двете сили създават момент, който завърта котвата *(⇨ Фиг. 3.18)*.

Когато на котвата се подаде постоянно или изправено напрежение **U** и тя се завърта и възниква т.нар. противоелектродвижещо напрежение **E**, което при работа на машината в двигателен режим се определя с израза
E = U – RxI.

Големината на произведението **RxI** е падът на напрежение в котвата. Електродвижещото напрежение (е.д.н.) се определя с израза
E = kxωxΦ,

където **k** е коефициентът, зависещ от конструкцията на машината;
ω - ъгловата скорост;
Φ - магнитният поток, създаван от възбудителната намотка.

Тази зависимост показва, че при постоянно задвижване е.д.н. е пропорционално на ω, т.е. то е функция на скоростта.

Въртящият момент зависи от магнитния поток тока в съответствие с
T = kxΦxI.

При намаляване на магнитния поток се намалява и момента **T**.

Има два начина за увеличаване на скоростта:
- увеличаване на е.д.н. чрез съответно повишаване на захранващото напрежение; това е т.нар. регулиране при постоянен момент;
- намаляване на магнитния възбудителен поток чрез тока на възбуждане при постоянно напрежение на котвата; това е т.нар. „намален поток“ или регулиране при постоянна мощност; при това се наблюдава намаляване на момента при нарастване на скоростта *(⇨ Фиг. 3.19)*.

Освен това, за високи стойности на предавателното число, се използват специални двигатели, адаптирани (механически и електрически), за преодоляване на проблема с комутациите.

Постояннотоковите машини са обратими, което означава, че те могат да работят както в двигателен, така и в генераторен режим:
- ако товарът създава момент против въртенето на двигателя (съпротивителен товар) машината работи в двигателен режим;
- ако моментът на товара е насочен в посока на въртене на вала на двигателя (двигателен товар) или в спирачен режим (постоянен инерционен товар), двигателят произвежда електрическа енергия и работи в генераторен режим.

Класификация на двигателите по тип на възбуждането *(⇨ Фиг. 3.20)*

- **а и в – независимо и паралелно възбуждане**

Намотките на котвата и индуктора са свързани паралелно или възбудителната намотка има отделно захранващо напрежение, което често се отличава от напрежението, захранващо котвата (например, напрежението за захранване на котвата е 400 V, а на възбудителната намотка се подава 180 V). Двигателят се реверсира чрез изменение поляритета на една от намотките. Обикновено се изменя поляритета на котвата, която има много по-малка времеконстанта. Голяма част от регулаторите за постояннотокови задвижвания осъ-

ществяват реверс чрез смяна на поляритета на напрежението, подавано към котвата на двигателя.

- **б – последователно възбуждане**

Възбудителната намотка е съединена последователно с котвената и от тук произтича наименованието на схемата „последователно възбуждане“. Промяната на посоката на въртене на двигателя се извършва чрез превключване на поляритета на захранващото напрежение, подавано към котвата или индуктора. Този тип машина се използва главно в качеството на тягов двигател, например в тролейбусен и трамваен транспорт, тягови уредби на локомотиви и др. Такива двигатели се използват за задвижване на скоростни влакове, по-старо поколение. Съвременните скоростни влакове се задвижват от асинхронни двигатели.

- **г –смесено възбуждане**

Постояннотоковият двигателя със смесено възбуждане притежава предимствата и на двата типа машини – с последователно и паралелно възбуждане. Той притежава две намотки. Едната е паралелно свързана към котвата (паралелна намотка) или е с отделно възбуждане (независимо възбуждане). Токът през тази намотка е по-малък в сравнение с тока, протичащ през котвата. Другата намотка е последователно свързана с котвата. Магнитното поле на двигателя се създава чрез сумиране на полетата, които се възбуждат от тези две намотки. Обикновено се използва управление на мишината при сумиране магнитните потоци от двете намотки, защото при възбуждане, получено като разлика от двата магнитни потока, се наблюдава нестабилна работа при големи товари.

3.5 Работа на асинхронни двигатели

Асинхронен двигател с накъсосъединен ротор

Последици от изменение на захранващото напрежение

- **Ефекти върху тока**

Увеличаването на напрежението над номиналното се характеризира с две особености. При пускане на двигателя пусковият ток ще бъде по-голям от номиналния . Ако се повиши напрежението при работещ двигател, консумираният ток скокообразно нараства и е възможно прегряване на намотките дори и при малък товар. Това увеличаване на тока е поради насищане на магнитната система на двигателя.

- **Ефект върху скоростта на въртене**

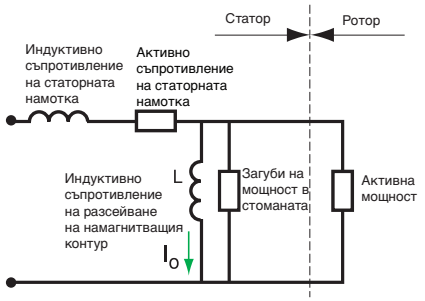
При изменение на захранващото напрежение синхронната скорост остава постоянна, но при натоварен двигател нарастването на напрежението предизвиква незначително намаляване на хлъзгането. На практика това свойство не може да бъде използвано поради насищане на двигателя, тъй като се наблюдава скокообразно нарастване на тока и е възможно прегряване на машината. Следователно при намаляване на захранващото напрежение се получава намаляване на скоростта на въртене (увеличаване на хлъзгането) и работният ток нараства, за да се осигури необходимия въртящ момент. Това също може да доведе до прегряване на двигателя.

Тъй като максималният въртящ момент намалява пропорционално с квадрата на напрежението, е възможно двигателя да спре при силно намаляване на напрежението.

Последици от изменение на честотата на захранващото напрежение

- **Ефект върху въртящия момент**

Както във всяка електрическа машина, моментът на асинхронния двигател се определя с израза:



↑ Фиг. 3.21 *Заместваща схема на асинхронен двигател*

T = KxIxϕ,

където **K** е константата, зависеща от конструктивните особености на двигателя.

При подаване на напрежение към заместващата схема *(⇨ Фиг. 3.21)* през бобината **L** протича намагнитващ ток I_O и се създава магнитен поток. Необходимо е да се отбележи, че заместващата схема на асинхронния двигател е аналогична на тази на трансформатора, т.е. и двете устройства се описват с еднакви уравнения.

С първо приближение (за честоти от порядъка на няколко Hz), може да не се взема под внимание активното съпротивление на бобината, отчита се само индуктивността и тока I_O се определя от израза:
$I_O = U / 2x\pi xLxf$,
а магнитният поток:
$\Phi = kxI_O$.

Тогава уравнението за момента на двигателя приема вида:
$T = KxkxI_OxI$,

където I_O и **I** са номиналните стойности за съответния тип двигател.

За да не се излиза извън допустимите граници, I_O трябва да има номинална стойност, което се осигурява само при изпълнение на условието **U/f=const.**

В случай, че това отношение не може да се осигури постоянно, но е възможно да се увеличи само честотата, тогава се наблюдава намаляване на тока I_O. Това предизвиква намаляване на въртящия момент, тъй като е невъзможно непрекъснато да се надвишава номиналния ток без риск от прегряване на двигателя.

За работа с постоянен момент, при всяка скорост на въртене, е необходимо да се поддържа постоянно отношението **U/f**. Тази задача се изпълнява от честотен преобразувател.

- **Ефект върху скоростта на въртене**

Скоростта на въртене на асинхронен двигател е пропорционална на честотата на захранващото напрежение. Това свойство често се използва в механизми, работещи с високи скорости, например при захранващ източник на напрежение с честотата 400 Hz (дробилки, лабораторни и хирургически инструменти и др.). Възможно е също регулиране на скоростта чрез изменение на честотата, например от 6 до 50 Hz (ролкови конвейери, подемно-транспортно обзавеждане и др.).

Управление на скоростта на трифазни асинхронни двигатели

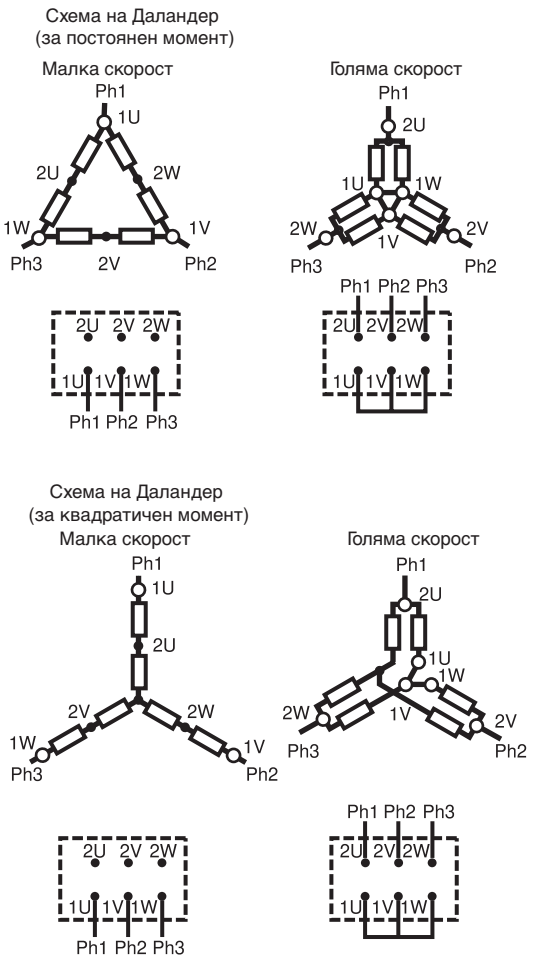
В продължение на голям интервал от време са използвани малък на брой методи за регулиране скоростта на асинхронни електродвигатели. Двигатели с накъсосъединен ротор се използват за работа с номинална честотата на въртене.

Практически промяна на скоростта е била възможна само чрез превключване броя на полюсите или чрез използване на многонамотъчни машини. Те и досега са широко разпространени и се използват в асансьорни уредби.

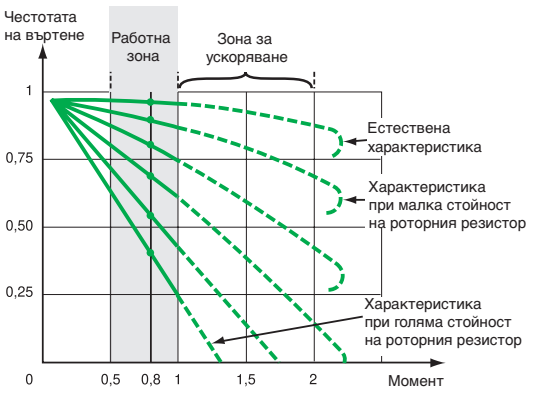
През последните години, във връзка с развитието на честотни преобразуватели, се появи възможност за използване на общопромишлени двигатели с накъсосъединен ротор в области, където традиционно са били използвани постояннотокови двигатели.

Асинхронни двигатели със секционирана статорна намотка

Както вече се отбеляза, скоростта на въртене на асинхронния двигател с накъсосъединен ротор зависи от честотата на захранващото напрежение и броя на чифтовете полюси. Затова двигател с две и повече скорости може да бъде конструиран чрез комбиниране на статорни намотки, за получаване на различен брой полюси.



↑ Фиг. 3.22 *Типови схеми за свързване на намотки на двигател тип Даландер*



↑ Фиг. 3.23 *Механична характеристика на двигател с фазов ротор при различни стойности на съпротивлението*

При този тип двигатели скоростта на въртене може да се промяна само двукратно (4 и 8 полюса, 6 и 12 полюса и т.н.). В клемната кутия се намират 6 клеми *(⇨ Фиг. 3.22)*. За едната от двете скорости захранващото напрежение се подава на клеми 1U, 1V, 1W. За другата скорост тези клеми се свързват накъсо, а захранващото напрежение се подава на клеми 2U, 2V и 2W. В повечето случаи, както за голямата, така и за малката скорост на въртене, двигателят се включва директно към мрежата.

Често, ако технологичният процес изисква това и двигателят допуска такъв режим на работа, е възможно пусковото устройство автоматично да осигури преминаване от ниска към висока скорост при пускане или от висока към ниска скорост при спиране.

В зависимост от стойността на токовете, протичащи в двигателя при малка и голяма скорост, могат да се използва или едно топлинно реле за защита или две (по едно за всяка скорост). Тези двигатели обикновено имат малък КПД и нисък cosφ.

□ Двигател с отделни статорни намотки

Тези двигатели, с две галванично разделени статорни намотки, могат да осигурят работа на две скорости в произволно отношение. Обаче, върху електрическите характеристики често влияе факта, че намотката за малка скорост осигурява компенсация при електрически и ударни въздействия при работа с голяма скорост. Затова токът през двигателя при малка скорост на въртене е по-голям отколкото в режим на работа при висока скорост.

Три или четири скоростни двигатели могат да бъдат конструирани чрез изменение броя на полюсите в едната или двете намотки. Това решение изисква допълнителни връзки на намотките.

■ Двигатели с контактни пръстени

□ Съпротивление в роторната верига

Включването на външен резистор в роторната верига на такъв двигател влияе на:

- пусковия момент;
- скоростта.

При постоянно включен резистор към клемите на двигателя с контактни пръстени, скоростта на двигателя се намалява и колкото е по-голямо е съпротивлението толкова е по-голямо намалението на скоростта. Това решение е най-простият начин за регулиране на скоростта.

□ Регулиране на скоростта чрез изменение на хлъзгането

Съпротивлението на резистора в роторната верига може да се изменя на степени чрез шунтиране на отделни секции при дискретно регулиране на скоростта или постепенно за плавно пускане на двигателя.

В случай на регулиране на скоростта съпротивлението е постоянно включено, при което за осигуряване на надеждна работа е необходимо да се увеличат неговите размери и съответно стойността. Този метод на управление е много прост, но в практиката се използва порядко, тъй като има два недостатъка:

- при ниска честотата на въртене на ротора върху резисторите се разсейва голяма мощност и се получават големи загуби;
- скоростта на въртене при постоянно съпротивление силно зависи от товара – двигателят има стръмно падаща характеристика *(⇨ Фиг. 3.23)*.

При включване на резистор в намотката на ротора хлъзгането е пропорционално на съпротивителния момент. Например, падът на скоростта, по отношение на скоростта на празен ход, предизвикан от резистора, може да достигне 50% при пълен товар и само 25% при половината от стойността на номиналния товар. Скоростта силно се променя и нейната големина е равна на разликата между синхронната скорост и нейната стойност, умножена с хлъзгането.

При управление на задвижването операторът може да зададе определена стойност на честотата на въртене чрез изменение съпротивлението на резистора при достатъчно голям товар, но при работа в режим близък до празен ход регулирането е практически невъзможно. За получаване на възможност за регулиране при малък товар и ниска честотата на въртене е необходимо рязко да се увеличи стойността на резистора, включен в роторната верига. Тогава най-незначителни колебания на съпротивителния момент на двигателя променят скоростта на двигателя от 0 до 100%, т.е. режимът е силно нестабилен.

Този начин за регулиране на честотата на въртене е неприложим за някои специално машини, имащи нестандартни механични характеристики.

На *(⇨ Фиг. 3.23)* е илюстриран пример за регулиране честотата на въртене на двигателя. При определяне стойности на резистора и момент на товара $0{,}8T_n$ могат да бъдат получени различни скорости. Те съответстват на точките, отбелязани на фигурата. При еднакъв съпротивителен момент скоростта на въртене на двигателя намалява с увеличаване на роторното съпротивление.

Други начини за управление честотата на въртене

Регулатор на напрежение

Това устройство се използва само в асинхронни двигатели с малка мощност и накъсосъединен ротор.

Скоростта се регулира чрез увеличаване на хлъзгането при намаляване на захранващото напрежение.

Този метод се използва широко в устройства с параболична форма на съпротивителния момент (вентилатори, помпи, компресори и др.). В момента този метод се заменя чрез използване на честотни преобразуватели.

Други електромеханични системи

Електромеханичните системи за управление на скоростта, разгледани по-долу, се използват по-рядко отколкото електронните регулатори на скорост.

- **Асинхронни двигатели с навит ротор тип Шраге**

Това са специални двигатели, при които управлението на скоростта се изпълнява чрез изменение разположението на четките върху колектора спрямо неутралата.

- **Задвижване с електромагнитен съединител**

Това задвижване се състои от барабан, механически съединен с асинхронен двигател, който се върти с постоянна скорост и ротор с бобина, захранвана с постоянен ток *(⇨ Фиг. 3.24)*.

Въртящият момент от задвижващият вал на механизма към задвижвания вал се предава чрез поле, управлявано от електромагнитна система. Хлъзгането може да се регулира чрез големината на постоянния ток през бобината.

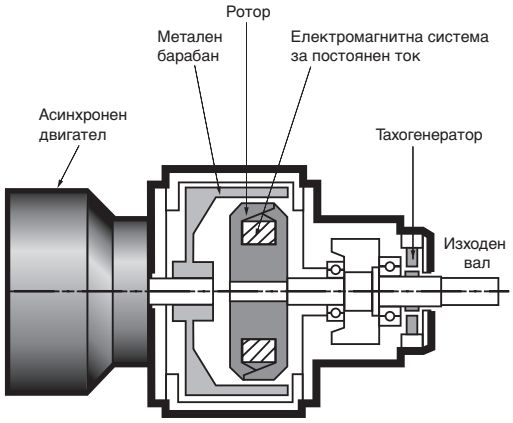
Вграденият тахогенератор е предназначен за точно поддържане честотата на въртене.

Система на вентилация осигурява отвеждане на топлината, предизвикана от хлъзгането.

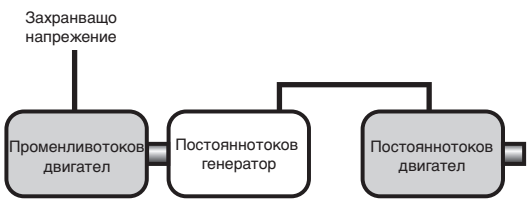
Доскоро такива устройства са използвани главно в товароподемно обзавеждане, в частност при кранове. Те имат малко износване и се използват за мощност на електрозадвижването до 100 kW.

- **Електромашинна система Вард-Леонард**

Това устройство беше широко разпространено в практиката. Системата е изградена от променливотоков двигател и постояннотоков генератор, захранващ постояннотоков двигател *(⇨ Фиг. 3.25)*.



↑ *Фиг. 3.24* *Напречно сечение на индукционен електромагнитен съединител*



↑ *Фиг. 3.25* *Схема на електромашинна система Вард-Леонард*

Скоростта на въртене на двигателя се регулира чрез изменение възбуждането на генератора. Изисква се малка мощност за управление при регулиране на изходна мощност от порядъка на няколко стотици киловати с характеристики, разположени във всички квадранти на координатната система „скорост-въртящ момент“. Схемата е разпространена предимно в прокатни станове и шахтови подемници.

Това е най-ефективната система за управление честотата на въртене до появата на полупроводниковите устройства.

Механични и хидравлични регулатори на скорост

Механичните и хидравличните регулатори на скорост и досега намират приложение. Разработени са голям брой механични системи за управление на скоростта на въртене (шайби, ремъци, конуси и др.). Недостатъците на тези регулатори се състоят в това, че те изискват грижливо обслужване и са достатъчно сложни за управление. Постепенно те се изместват от преобразувателите на честота.

Хидравличните регулатори на скорост и сега се използват за специализирани приложения. Те притежават добро съотношение мощност-маса и могат да поддържат непрекъснато висок въртящ момент при много малки скорости. В индустрията те се използват главно в електроснабдителни системи.

Тъй като този тип регулатори нямат отношение към предмета на Ръководството те не се разглеждат подробно.

3.6 Сравняване на електрически двигатели

На *(⇨ Фиг. 3.26)* се дава кратко описание на всички достъпни типове електрически двигатели, техните основни особености и области на приложение.

Тип на двигателя	Асинхронен с накъсосъединен ротор		Асинхронен с фазов ротор	Синхронен с възбудителна намотка	Синхронен с постоянни магнити	Стъпков	Постояннотоков
	Трифазен	Еднофазен					
Цена на двигателя	Ниска	Ниска	Висока	Висока	Висока	Ниска	Висока
Херметичност	Стандарт	Възможна	Скъпа опция	Скъпа опция	Стандарт	Стандарт	Възможна, но много скъпа
Директно пускане	Просто	Просто	Специално пусково устройство	Невъзможно при мощности над няколко kW	Не е предназначено	Не е предназначено	Не е предназначено
Регулиране на скоростта	Просто	Рядко	Възможно	Често	Винаги	Винаги	Винаги
Цена на решението за регулиране на скоростта	Най-изгодна	Много изгодна	Изгодна	Изгодна	Много изгодна	Много изгодна	Много изгодна
Качество на регулиране на скоростта	От високо до много високо	Много ниско	Средно	Високо	Много високо	От средно до високо	От високо до много високо
Режим	Постоянна или променлива скорост	Предимно постоянна скорост	Постоянна или променлива скорост	Постоянна или променлива скорост	Променлива	Променлива	Променлива
Използване в промишлеността	Универсално	За малка мощност	Намалява	Висока мощност при средно напрежение	Високи динамични настройки	Открита система за позициониране при малка мощност	Намалява

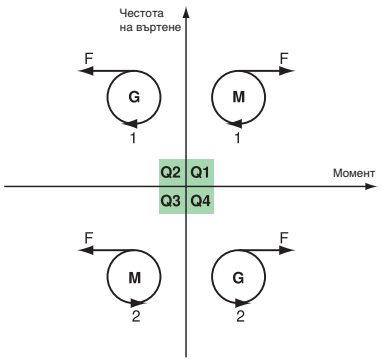
↑ *Фиг. 3.26* *Сравняване на електродвигатели*

Необходимо е да се обърне по-голямо внимание на частта от фигурата, която се отнася за трифазни асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор (тя се приема за „стандарт”). Работата е в това, че чрез честотни преобразуватели за тези двигатели, може много точно да се отговори на изискванията за съответните области на приложение.

3.7 Видове товари

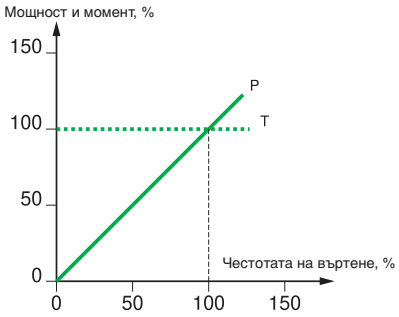
Товарите условно могат да се разделят на две големи групи:

- активен товар – това е товар, който задвижва някакъв обект, или предизвиква изменение на състоянието на веществото (например при преминаване на веществото от течно в газообразно състояние);
- пасивен товар – не създава движеща сила. Към пасивния товар

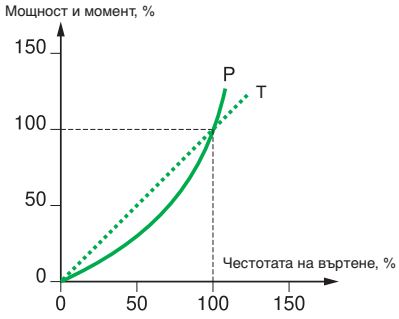


Посока на въртене	Режим	Момент T	Честота на въртене N	Натоварване TxN	Квадрант
1 (по часовата стрелка)	Двигателен	Да	Да	Да	1
	Генераторен		Да		2
2 (обратно на часовата стрелка)	Двигателен			Да	3
	Генераторен	Да			4

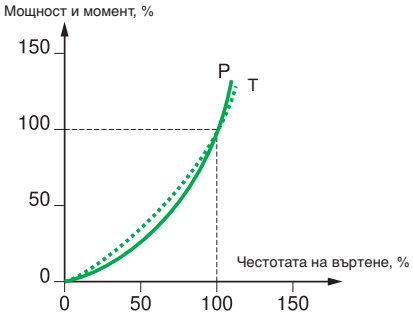
↑ Фиг. 3.27 *Четири възможни ситуации при работа на машината върху диаграмата „скорост-момент“*



↑ Фиг. 3.28 *Характеристика на работа при постоянен момент*



а



б

↑ Фиг. 3.29 *Характеристика на работа при променлив момент*

може да се отнесе електронагряването и осветлението.

Активни товари

Този термин се отнася към всички системи, разработени за преместване на подвижни обекти.

Движението на подвижните обекти се съпровожда от изменение на тяхната скорост и положение, което предполага използване на момент за преодоляване съпротивлението на движение, а също за ускоряване инерционната маса на товара. Скоростта на движение е директно свързана с приложения момент.

Работни квадранти

Фиг. 3.27 илюстрира четири възможни ситуации при работа на машината върху диаграмата „скорост-момент“.

Необходимо е да се отбележи, че когато машината работи като генератор към нея трябва да бъде приложена външна задвижваща сила. Този режим се използва в частност при спиране. Кинетичната енергия на вала на двигателя се връща в захранващата мрежа, или се разсейва върху резистор, а при малка мощност - отделя се в двигателя.

Режими на работа

• Режим на работа с постоянен момент

При работа с постоянен момент се предполага, че характеристиките на товара в установен режим са такива, че необходимият момент на вала на двигателя е еднакъв при различни скорости *(⇨ Фиг. 3.28)*.

Такъв режим на работа е характерен за конвейери, повдигателни механизми, дробилни уредби. Този тип товар изисква осигуряване на висок пусков момент (над 150% от номиналния), за преодоляване на механичното триене и ускоряване на механизма при развъртане, за преодоляване на инерцията.

• Режим на работа с въртящ момент, нарастващ с увеличаване честотата на въртене

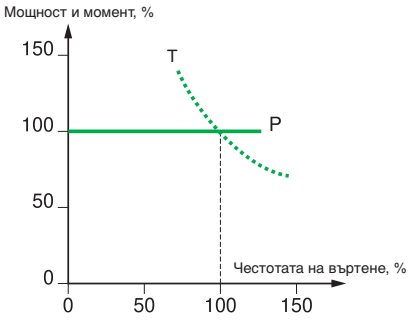
Характеристиките на товара предполагат увеличаване на необходимия момент на вала на двигателя при нарастване на скоростта. В този случай може да се наблюдава както линейна зависимост на съпротивителния момент от честотата на въртене (за хеликоидални винтови помпи) *(⇨ Фиг. 3.29а)*, така и квадратична зависимост (за центробежни помпи и вентилатори) *(⇨ Фиг. 3.29б)*.

Мощността на винтовата машина е пропорционална на квадрата на честотата на въртене, а мощността на въртене на центробежни механизми е пропорционална на третата степен на честотата на въртене. За тези цели се изисква пусково устройство, осигуряващо малък пусков момент (до 20% над номиналния момент на двигателя).

• Режим на работа с въртящ момент, намаляващ при увеличаване на скоростта (работа с постоянна мощност) *(⇨ Фиг. 3.30)*

За някои механизми, необходимият момент на вала на двигателя се намалява с увеличаване на скоростта. В частност това се среща при работа с постоянна мощност, когато моментът на вала на двигателя е обратнопропорционален на неговата скорост. Например такъв режим се среща при намотъчна машина, където се изисква намаляване на ъгловата скорост с увеличаване на диаметъра на бобината поради намотаване на материал. Този режим намира приложение при задвижване на шпиндела на металообработващи стругове.

Работният диапазон при работа с постоянна мощност е ограничен естествено от същността на тази начин на регулиране: при малка скорост от максималнодопустимия ток на регулатора на скорост, а при голяма скорост – от въртящия момент, който е способен да развие двигателя. Затова е необходимо грижливо да се провери големината на въртящия момент при използване на асинхронен двигател и кому-



↑ *Фиг. 3.30* *Характеристика при работа с постоянна мощност*

тиращата способност на постояннотоковия двигател.

На *(⇨ Фиг. 3.31)* са систематизирани механичните характеристики на най-разпространените машини и механизми.

Много често се налага да се осъществява пускане на машина, имаща

Тип на механизма	Механична характеристика
Конвейер	Постоянен момент
Ротационна преса	Постоянен момент
Винтова помпа	Момент, линейно зависещ от честотата на въртене
Дозировъчна помпа	Постоянен момент
Центробежна помпа	Момент, пропорционален на честотата на въртене
Вентилатор (центробежен, осев)	Момент, пропорционален на честотата на въртене
Винтов компресор	Постоянен момент
Спирален компресор	Постоянен момент
Спирален компресор	Постоянен момент
Циментова пещ	Постоянен момент
Екструдер	Постоянен момент или се намалява линейно с честотата на въртене
Механична преса	Постоянен момент
Намотъчен стан	Постоянен момент или се намалява линейно с честотата на въртене
Дробилна машина за целулоза (пулп машина)	Постоянен момент
Центрофуга	Постоянен момент
Дробилка	Постоянен момент
Смесител	Постоянен момент или се намалява линейно с честотата на въртене
Тестомелачна машина, изтегляща машина	Постоянен момент или се намалява линейно с честотата на въртене
Центрофуга	Моментът нараства с квадрата на честотата на въртене
Шпиндел на струг	Постоянен момент или се намалява линейно с честотата на въртене
Подемник	Постоянен момент

↑ *Фиг. 3.31* *Механични характеристики на промишлено обзавеждане*

много голям пусков съпротивителен момент (например дробилна машина със запълнен бункер). Възможно е, също така, наличие на сухо триене при пускане, което изчезва когато двигателят работи или се пуска от студено състояние и е необходим по-голям пусков момент, отколкото при нормална работа в нагрято състояние.

Пасивни товари

Има два типа пасивни товари, които се използват в индустрията:
- топлотехнически (отопление и др.);
- осветителни.

Отопление

В топлотехническите уредби се изразходва голяма част от енергията за промишлени предприятия. Единственият начин за намаляване на разходите е намаляване на загубите от топлина. В частност, този проблем в много голяма степен зависи от проекта на сградата и излиза извън рамките на това Ръководство.

Всеки проект има своя специфика и би било неподходящо да се дават общи, неконкретизирани съвети.

Следователно добрият мениджмънт при строителство позволява да се осигури необходимия комфорт при минимални разходи на енергия.

Подходяща информация по този въпрос може да се намери в

Ръководство за електрически уредби, а също и в *Cahier Technique 206*. Посочените документи са публикувани на сайта на компанията Schneider Electric.

Във всеки случай, най-добро решение може да се намери, като се ползват съвети на експерти от организациите, доставчици на обзавеждане при разработване и изпълнение на проекта.

Осветление

• Лампи с нажежаема спирала

Осветлението с лампа с нажежаема спирала (патентовано от Томас Едисон в 1879 г.) е революционно събитие. Оттогава досега всички осветителни системи са основани на това устройство, излъчващо светлина при нагряване на труднотопим материал до висока температура. Този тип осветление все още намира масово приложение, но се отличава с два съществени недостатъка:

- много ниска ефективност, тъй като голяма част от консумираната енергия се преобразува в топлина;
- срокът на служба на лампата с нажежаема спирала не надвишава няколко хиляди часа. След този срок лампите трябва да се подменят. Експлоатационният срок е бил няколко пъти увеличаван чрез внедряване на редица усъвършенствания (например след запълване на стъкления балон с инертни газове от типа на криптон или халоген).

В много страни предстои постепенното замяна на лампи с нажежаема спирала с други светлинни източници.

• Луминесцентно осветление

То се изпълнява от луминесцентни тръби и компактни луминесцентни лампи. При тяхното изработване се използва технологията „живачни пари - ниско налягане“.

• Луминесцентни тръби

Първите тръбни лампи излизат на пазара през 1938 г. В тези тръби, при електрически разряд, електроните взаимодействат с живачни пари, в резултат на което настъпва възбуждане на живачните атоми и възниква ултравиолетово излъчване.

Луминесцентното покритие в тръбата преобразува излъчването във видима светлина.

Луминесцентните лампи отделят по-малко топлина и имат по-голям експлоатационен срок в сравнение с лампите с нажежаема спирала. Но те изискват при работа използването на две устройство: едно за пускане (стартер) и друго - за регулиране на тока дъгата във включено състояние (стабилизатор).

Стабилизаторът обикновено се изпълнява като токоограничаващ дросел, включен последователно с лампата.

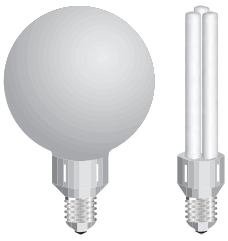
• Компактни луминесцентни лампи *(⇨ Фиг. 3.32)*

Компактните луминесцентни лампи работят на аналогичен принцип както луминесцентните тръби. Функциите на стартер и стабилизатор в лампата се изпълняват от електронна схема, което позволява да се намалят габаритите на лампата и стандартен цокъл.

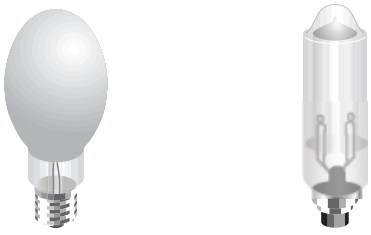
Компактните луминесцентни лампи се развиват като алтернатива на лампите с нажежаема спирала. Те съществено пестят електроенергия (при еднаква яркост компактна лампа 15W е еквивалентна на 75W лампа с нажежаема спирала) и имат много по-голям срок на служба (средно 8000 h и до 20000 h за някои типове).

• Газоразрядни лампи *(⇨ Фиг. 3.33)*

Светлинното излъчване се дължи на електрически разряд, възникващ между два електрода, разположени в кварцов балон, напълнен с газ. За лампа от този тип е необходимо да се използва стабилизатор и обикновено това е токоограничаващ реактор за контролиране тока на електрическата дъга.



↑ *Фиг. 3.32* *Компактни луминесцентни лампи*



↑ *Фиг. 3.33* *Газоразрядни лампи*

Силата на светлината силно зависи от състава на газа в балона и нараства с увеличаване на налягането. В зависимост от предназначението на лампите се използват няколко технологии.

- **Натриеви лампи с ниско налягане**

Те имат най-висок светлинен добив, в lm/W, но имат най-малък коефициент на цветопредаване, тъй като излъчват само монохроматична оранжева светлина. Те се използват за осветление на пътища, тунели и др.

- **Натриеви лампи за високо налягане**

Те излъчват бяла светлина с оранжев оттенък. Използват се за градско осветление, осветление на паметници и др.

- **Живачни лампи с високо налягане**

Електрическият разряд възниква в кварцов или керамичен балон при налягане, надхвърлящо 100 kPa. Тези лампи са известни под наименованието флуоресцентни и се характеризират с бяла светлина със синкав оттенък. Използват се за осветление на паркове за автомобили, супермаркети, складове и др.

- **Халогенни лампи**

Те използват най-съвременна технология. Лампите излъчват светлина в широк спектър. Тръбата се изпълнява от керамика за повишаване на излъчващата способност и стабилност на цветността. Използват се за осветление на стадиони, магазини, прожекторно осветление и др.

- **Светоизлъчващи диоди (LED)**

Те са построени на основата на една от най-модерните технологии. Светодиодите излъчват светлина при протичане на електрически ток през полупроводников елемент.

Светодиодите се използват за много цели, а неотдавна откритото изобретение на диоди със син и бял цвят и висока излъчваща способното дава нови възможности за приложение, в частност за сигнализация (светофарни уредби, дисплеи на система за безопасност, аварийно осветление) и светлинно обзавеждане автомобили.

Средната стойност на тока през светодиода е 20 mA при пад на напрежение от 1,7 до 4,6V в зависимост от излъчвания цвят. Тези характеристики позволяват да се използват захранващи източници с много ниско напрежение, например акумулатори.

За захранване от мрежа е необходимо да се използва трансформатор и в този случай решението е икономически оправдано.

Преимущество на светодиодите е и тяхното ниско електропотребление, в резултат на което те се отличават с ниска работна температура и практически неограничен експлоатационен срок. В бъдеще ще се появи възможност за изграждане на такова осветление в сгради на етап строителство.

Стандартният диод, обаче, има много ниска интензивност на излъчване и затова при необходимост от ярко осветление трябва да се използват голям брой последователно свързани елементи.

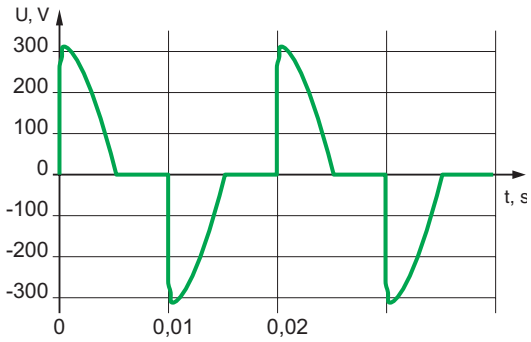
Тъй като светодиодите нямат топлинна инерция, те могат да се използват и за иновационни цели, например за едновременно предаване на светлина и данни. За тази цел захранващият източник се модулира с висока честотата. Човешкото око не е в състояние да забележи тази модулация, но приемник със съответен интерфейс може да разпознае сигналите за последващо използване.

□ Особености при захранване на светлинни източници

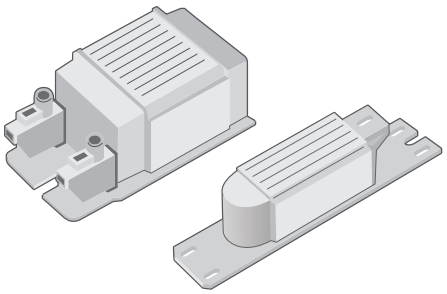
- **Ограничения при директно подаване на напрежение**

Съпротивлението на нажежаемата спирала силно се изменя при нагряване поради високата температура (до 2500°C)), която може да бъде достигната по време на работа.

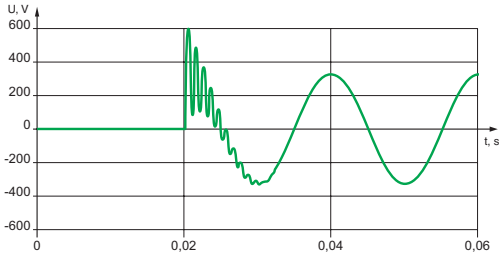
В студено състояние съпротивлението е малко. При подаване на

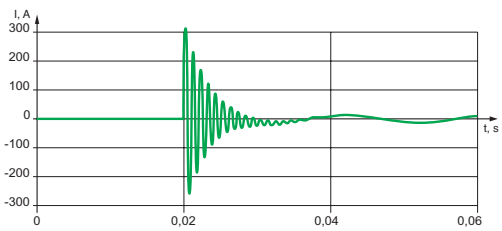


↑ Фиг. 3.34 *Крива на напрежение при използване на симистор*



↑ Фиг. 3.35 *Общ вид на дросели*





↑ Фиг. 3.36 *Криви на напрежението и тока*

напрежение на лампата се наблюдава рязко увеличаване на тока, който в продължение на няколко десетки ms надвишава (10 – 15) пъти номиналния ток.

Това се отнася както за обикновените, така и за халогенните лампи и налага ограничение за максималния брой лампи, които могат да бъдат включени от едно и също устройство (дистанционно управление, контактор, реле и др.).

• Регулиране яркостта на светлината

Този начин на регулиране може да бъде получен чрез изменение на ефективната стойност на напрежението, подавано към източника на светлина. Обикновено напрежението се регулира с помощта на симистор, чрез изменение ъгъла на отпушването му. Общият вид на формата на захранващото напрежение е показана на *(⇨ Фиг. 3.34)*.

Плавното увеличаване на напрежението към лампата намалява и дори изключва скокообразното изменение на тока при включване. Необходимо е да се отбележи, че управлението чрез изменение на захранващото напрежение:

- изкривява цветопредаването;
- намалява продължителността на работа на халогенните лампи, особено ако ниското напрежение се подава за продължителен период от време. При ниски температури регенерацията на волфрамовата нажежаема спирала става с по-малка интензивност.

Някои халогенни лампи се захранват с ниско напрежение през трансформатор. Намагнитването на трансформатора може да доведе до скок на тока (50-70) пъти по-голям от номиналния в продължение на няколко ms. За отстраняване на тези недостатъци се предлагат статистически преобразуватели на енергия.

• Електрическо захранване на луминесцентни и газоразрядни лампи

При работа на луминесцентни тръби и газоразрядни лампи е необходимо да се регулира тока на електрическата дъга. Тази функция се изпълнява от стабилизиращи устройства, вградени в лампата.

Магнитният стабилизатор, (т.е. токоограничаващ дросел), се използва главно в бита *(⇨ Фиг. 3.35)*.

Магнитният стабилизатор работи заедно с пусково устройство (стартер). Стартерът изпълнява две функции: подгряване на електродите на лампата и формиране на импулс с високо напрежение за запалване на лампата.

Импулсите с високо напрежение се образуват при комутация на контакт (управляван от биметален прекъсвач), който прекъсва тока в магнитния дросел. При работа на стартера (например в продължение на 1 s) консумираният ток е равен на двукратния номинален ток.

Тъй като токът, консумиран от лампата заедно със стабилизатора, е предимно индуктивен, коефициентът на мощност е много малък (средно 0,4-0,5). В осветителната уредба с голям брой лампи трябва де се използва компенсиращ кондензатор за подобряване фактора на мощността. Този кондензатор обикновено се поставя на всяко осветително тяло.

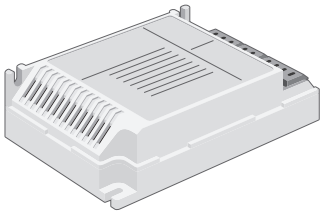
Капацитетът на кондензатора се подбира така, че факторът на мощността да бъде не по-малък от 0,85.

В общия случай, при паралелно включване на кондензатор необходимия капацитет е 1μF за 10W мощност, за който и да е тип лампа.

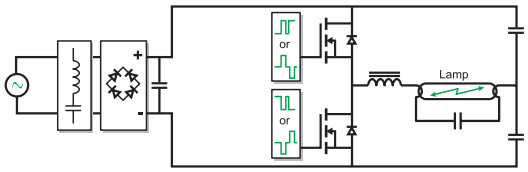
Паралелното включване на кондензатора предизвиква скок на тока и затихващ колебателен процес при захранване на лампата.

Тъй като кондензатора отначало е разреден, при подаване на захранване, се наблюдава скок на тока *(⇨ Фиг. 3.36)*.

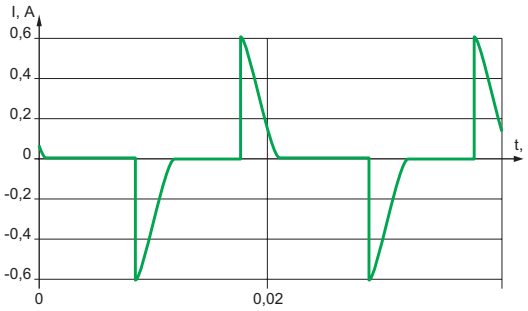
Наблюдава се още и импулсно изменение на мощността поради прекъсване на захранването във веригата „дросел-кондензатор“ при рабо-



Фиг. 3.37 *Електронно пусково устройство*



Фиг. 3.38 *Електронно пусково-регулиращо устройство*



Фиг. 3.39 *Крива на тока при използване на електронно пусково-регулиращо устройство*

та на стартера

Електронното пусково устройство *(⇨ Фиг. 3.37)*, създадено през 80-те години на миналия век отстрани недостатъците, характерни за стандартната пусково-регулираща апаратура. Формата на изходното напрежение на това устройство е поредица от знакопроменливи правоъгълни импулси.

Електронните захранващи източници могат да се класифицират на нискочестотни с изходна честота от 50 до 500 Hz, и високочестотни с честотата от 20 до 60 kHz. Високочестотните импулсни захранващи източници напълно изключват при работа на лампата фликера и стробоскопичния ефект.

Електронният стабилизатор работи безшумно. В процеса на запалване на лампата напрежението ѝ се регулира по такъв начин, че стойността на тока да остава практически постоянна. При работа на лампата приложеното към електродите напрежение се регулира независимо от колебанията на напрежението на захранващата мрежа. При захранване на лампа от електронно устройство икономията на електроенергия, за сметка на оптимизация на приложеното напрежение, е от порядъка на (5 ... 10) %. Освен това се увеличава и срока на служба на лампите. При използване на електронен стабилизатор КПД може да достигне стойност 93% (необходимо е да се отбележи, че при използване на обикновен дросел той не надвишава 85%).

Коефициентът на мощност се увеличава също (над 0,9).

В този случай се наблюдават и редица недостатъци. Електронната апаратура съдържа диоден мост с капацитивен филтър, което предизвиква скок на тока при включване на устройството *(⇨ Фиг. 3.38)*. По време на работа, в кривата на консумирания ток, се появява трета хармонична с голяма амплитуда поради нелинейния характер на схемата *(⇨ Фиг. 3.39)*. В този случай, без използване на компенсиращи устройства, коефициентът на мощност на електронното устройство е по-нисък отколкото на обикновено пусково устройство и е от порядъка на 55%.

Третият хармоник предизвиква протичане ток в неутралния проводник. Този въпрос е разгледан подробно в *Cahier Technique 202: The singularities of the third harmonic* и в Ръководството за електрически уредби.

В електронната пуско-регулираща апаратура обикновено се монтират кондензатори за компенсация на високочестотните смущения, включени между захранващия проводник и „земята“. През тези компенсиращи кондензатори протича постоянен ток на утечка (около 0,5 до 1mA за едно устройство). Монтирането на защитен прекъсвач (дефектнотокова защита) ограничава броя на инсталираните единици пускова апаратура. Виж *Cahier Technique 114 Residual current device in LV*).

3.8 Вентили и винтови електрически механизми

Увод

За да се завърши обзора на устройствата, които могат да бъдат включени в състава на автоматизирани системи за управление на технологични процеси, е необходимо да се отбележи и широкото приложение на механизми като електрически устройства за позициониране с винтови механизми и електромагнитни вентили.
Технологичният процес изисква инструментът или изделието да се преместват или позиционират с определена степен на точност. Много често се използват пневматични и хидравлични системи за позициониране, но могат да се използват и електромеханични системи. Те са и предмет на следващото разглеждане. Тези устройства за позициониране и преместване конструктивно могат да се вградят в електродвигатели или да

бъдат свързани с устройства за управление, например за регулиране по положение.
Съществува огромна потребност от устройства за управление на газови или течни потоци. Тези устройства могат да се използват за:
- прекратяване протичането на поток (затварящи вентили);
- изменение посоката на потока (триходови вентили);
- смесване на потоци (смесители);
- управление на поток (управляващи вентили).

Флуидите могат да бъдат течности или газове (вентилация или химическа промишленост).

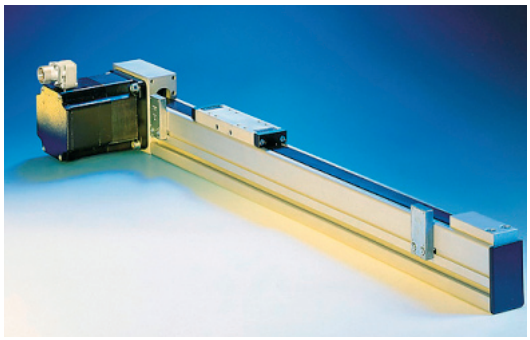
Електрически винтови механизми

Винтовите устройства се използват в производствените процеси за осигуряване на линейни премествания на задвижващи механизми. В този случай се формулират много строги изисквания по отношение на точност, надеждност, бързодействие и срок на експлоатация.

Производителите на обзавеждане могат да предложат електрически винтови устройства, удовлетворяващи практически всички изисквания.

Устройство на електрически винтови механизми

Електрическият винтов механизъм се състои от електродвигател, предавателно звено, стоманен винт с правоъгълно или трапецовидно сечение на резбата и направляваща на работното звено. На *(⇨ Фиг.3.40)* е показан винтов механизъм за линейно преместване. Преместването на работното звено може да бъде както въртеливо, така и линейно. За преобразуване на въртеливото движение на винта в линейно преместване, се използва направляваща от типа „винт-гайка“.



↑ *Фиг. 3.40* *Външен вид на електрически винтов механизъм*

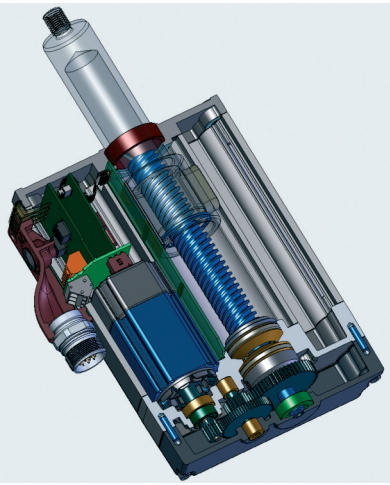
Най-разпространени са системите „сачмен винт“ и „винт-плъзгаща гайка“.

Предавката „винт-плъзгаща гайка” се състои от метален винт и пластмасова гайка.

Освен висока икономическа ефективност тази конструкция притежава и още една полезна характеристика – отсъствие на заклинване при съвместна работа на пластмасата и метала.

Предавката „винт-плъзгаща гайка“ работи безшумно, което означава, че може да се използва в болници, офиси и други подобни места.

Системата „винт-плъзгаща гайка“ притежава още едно предимство – висок коефициент на триене. Този тип предавки са особено подходящи за механизми, където е необходим ефект от автоматична блокировка, т.е. отсъствие на движение в обратна посока след спиране на въртящия момент. Като пример може да се посочи използването на винтовата двойка за регулиране височината на маса. Използването на предавката „винт-плъзгаща гайка“ осигурява постоянна височина на масата под действие на товара. При това не е необходимо да се използва външна спирачка или блокиращ механизъм за запазване положението на масата по отношение на вертикалата.

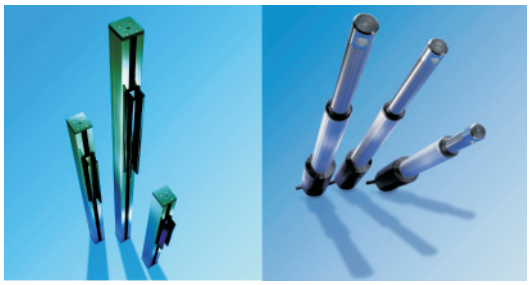


↑ *Фиг. 3.41* *Електрически механизъм от типа „сачмен винт“*

Задвижването със „сачмент винт“ се използва при необходимост от получаване на високи експлоатационни характеристики *(⇨ Фиг.3.41)*.

В него, в затворена система между гайката и винтовата повърхност, се намират определен брой стоманени сачми. Механизмът от този тип притежава много малък коефициент на триене между гайката и винта поради контакта при търкаляне между сачмите, гайката и направляващите.

Износването при този механизъм е по-малко в сравнение с механизма „винт-плъзгаща гайка“. Срокът на предавката „сачмен винт“ е десет пъти по-голям от съответния тип „винт-плъзгаща гайка“ при еднакви експлоатационни условия. При експлоатация на предавката „сачмен винт“ могат да се използват по-големи натоварвания и



↑ Фиг. 3.42 *Електрически винтови механизми на фирмата SKF*

по-дълги работни цикли. Малкият коефициент на триене прави тази предавка особено ефективна, тъй като тя не се прегрява.

Предавките „сачмен винт“ се използват при необходимост от продължителна работа с високи скорости. В този случай луфтът на системата е много малък, което позволява да се използва и при устройства за самопозициониране, където изискванията за точност са строги.

Продуктова гама

Електрическите винтови механизми се изработват в най-разнообразни форми и размери, за да се вграждат лесно в различно промишлено обзавеждане. Освен това редица производители предлагат допълнителни устройства за управление на винтовите механизми, което осигурява работата. Компанията SKF предлага редица подобни изделия *(⇨ Фиг. 3.42)*.

Ръководство за избор

Правилният избор на електрически винтов механизъм често изисква подробна предварителна информация за областта на приложение и извършване на някои пресмятания. Каталозите на производителите могат да помогнат за първоначален избор дори да са известни само някои данни (скорост на преместване, големина на товара и др.).

Двигатели, използвани за задвижване на винтови механизми

Изборът на задвижване се осъществява от производителя на технологично обзавеждане. За управление на винтовия механизъм се използват:

- постояннотокови двигатели;
- асинхронни двигатели;
- безколекторни синхронни двигатели;
- стъпкови двигатели.

Постояннотоковите двигатели обикновено са за ниско напрежение (от 12 до 24 V). Те се използват при необходимост от преместване на работния орган със средна скорост от порядъка на 50 mm/s и товар до 4 000 N. Тези винтови механизми се използват в мобилни автономни устройства с акумулаторно захранване.

Асинхронните двигатели позволяват съществено да се увеличи товара - до 50 000 N и скоростта – до 80 mm/s. Тези винтови механизми се използват главно в стационарни устройства.

При необходимост от преместване с още по-голяма скорост (до 750 mm/s) се използват безколекторни синхронни двигатели. Преодоляваното усилие може да достигне до 30 000 N.

Стъпковите двигатели се използват при необходимост от точно позициониране по скорост без допълнителни колебания.

Допълнително обзавеждане

• Вграден контролер

Някои видове винтове механизми вече имат вградени управляващи устройства. Това се среща най-вече в задвижванията с безколекторни синхронни двигатели.

Устройството за управление се състои от регулатор на скорост, който може да бъде свързан комуникационна шина на система за управление.

• Потенциометър

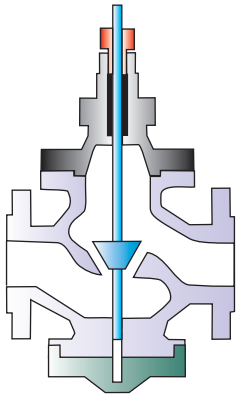
Това устройство се използва за определяне положението на задвижвания работен орган и неговото точно спиране.

• Устройство за топлинна защита

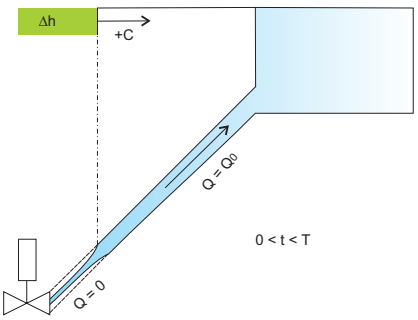
То защитава двигателите и модулите за управление от прегряване.

• Енкодер

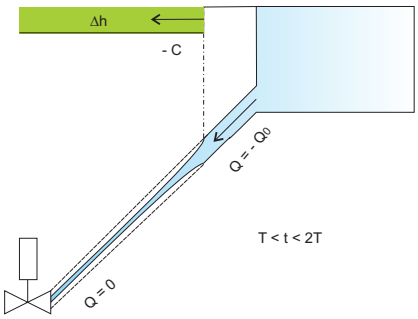
Това е първичен преобразувател, който при включване към устройство за управление подава сигнал за положението на въртящия се механизъм.



↑ Фиг. 3.43 *Напречно сечение на вентил*



↑ Фиг. 3.44а *Хидравличен удар (начало)*



↑ Фиг. 3.44б *Хидравличен удар*

• Ограничители на максимален товар
Редица типове винтови механизми са снабдени с устройства за осигуряване на безопасна работа, аналогични на фрикционни триещи съединители, за защита на двигателя и редуктора от разрушаване.

• Крайни изключватели
Тези изключватели задействат, когато работният орган на механизма достигне гранично положение. Те имат отварящи и затварящи електрически контакти. Крайните изключватели могат да бъдат с произволна форма и размери и да се разполагат както във винтовия механизъм, така и извън него.

Тези устройства за безопасност са част от системата за управление и е много важно да се контролират техните сигнали при използване на електрически винтови механизми в система за автоматизация или друга уредба.

• Механичен контрол за заклинване
Това устройство за безопасна работа позволява да се прекрати експлоатацията на винтовия механизъм при наличие на много голям съпротивителен момент върху вала на двигателя. Основното му предназначение е да защити персонала от злополука.

• Електрически контрол за заклинване
Той осигурява безопасна работа на някои видове електрически механизми. Чрез него се прекъсва електрозахранването на двигателя, в случай на прилагане на външно ударно натоварване в посока, противоположна на хода на винта.

Вентили

Описанието на работата на вентилите и съответните системи за тяхното управление излиза извън рамките на даденото Ръководство. Тъй като вентилите могат да бъдат част от системите за автоматизация каквито са звената за обратна връзка или регулаторите на скорост, е полезно да бъдат представени някои техни конструкции и принцип на действие.

Устройство на вентил

Вентилът се състои от корпус и стъбло с конус, който плътно приляга към т.нар. седло *(⇨ Фиг. 3.43)*. Потокът от течност се управлява от стъблото, а то от свой ред се привежда в движение от електрическо или пневматично устройство.

Голяма част от вентилите имат или пневматическо, или електрическо управление (електромагнитни вентили).

Съществуват огромен брой конструкции на вентили (бътерфлай, сферичен, диафрагмен и др.) за различни области на приложение, флуиди и номинални стойности (изходящ поток/дебит в зависимост от хода на буталото или големината на управляващия сигнал за регулируеми вентили).

Конструкцията на конуса има специална форма за предотвратяване или намаляване на нежелани явления. Към тях се отнасят хидравличният удар и кавитацията.

• Хидравличен удар

Това явление се наблюдава в хидравлични системи при затваряне на вентила. В този случай, потокът от течност в тръбата внезапно се спира и предизвиква явление, известно като хидравличен удар.

Като пример се разглежда помпена станция, захранваща резервоар, който е разположен над помпата *(⇨ Фиг. 3.44а и 3.44б)*.

Когато източващият вентил се затворя, водата се излива от резервоара през помпата, а водният стълб под помпата се стреми да продължи своето движение дотогава, докато не изчезне напора от помпата. Това движение предизвиква еластична деформация на водния стълб, който се свива в точка, близка до вентила. Масата на

течността временно е в движение. Наблюдава се разреждане, което се разпространява по тръбата със скорост на еластичните вълни C до входния отвор за време **T = L/C**, където **L** е дължината на тръбата между вентила и изходния отвор.

Поради това, че налягането в мястото, където тръбата влиза в резервоара, е по-малко отколкото налягането в резервоара, възниква противопоток. Вълната се разпространява от резервоара до помпената станция и достига до конуса на вентила след време **2T** от началото на явлението. Течностният стълб продължава да се спуска и отново нанася хидравличен удар по затворения вентил, предизвиквайки издуване на тръба и промяна посоката на движение на течността.

Хидравличният удар би продължил безкрайно, ако няма хидравлични загуби и повишеното налягане постепенно не намалява.

За да се избегне това потенциално разрушително явление работата на вентила трябва да се управлява от система, осигуряваща неговото постепенно затваряне, така че да се поддържа повишеното и намаленото налягания в приемливи граници.

Алтернативно решение е постепенното намаляване скоростта на въртене на помпата, позволяващо на вентила да затвори тръбата.

В случай на помпа, работеща с постоянна скорост, най-добро решение е използването на устройство за плавно пускане от типа Altistart или Altivar за помпи с регулируема скорост.

• Кавитация

Затварянето на вентила предизвиква намаляване на сечението, през което протича течността *(⇨ Фиг. 3.45)*. Съгласно теоремата на Бернули намаляването на сечението, през което протича течността, в резултат на затварянето на вентила, предизвиква ускоряване на потока и намаляване на статичното налягане в тази точка.

Големината на пада на статичното налягане зависи от:

- вътрешната геометрия на вентила;
- големината на статичното налягане след вентила;

Изменението на налягането при отворен вентил е показано чрез крива 1 *(⇨ Фиг. 3.45)*.

Ограничаването на потока в точката на затваряне (седлото на вентила) предизвиква намаляване на налягането и ускоряване на потока (ефект на Вентури).

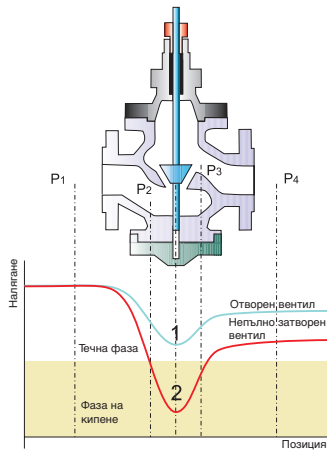
При затваряне на конуса влиянието на ефекта на Вентури нараства и крива 1 постепенно се трансформира в крива 2 *(⇨ Фиг. 3.45)*.

Когато статичното налягане на течността в тръбата достигне точката на кипене, съответстващо на температурата на течността в хидросистемата, се появяват мехурчета в потока (мехурчесто кипене). Когато статичното налягане на изхода на вентила (налягане P_2) отново нараства, кипящите мехурчета кондензират и изчезват. Кавитацията предизвиква следните нежелани ефекти:

- недопустимо силен звук, приличащ на звук от движение на камъни (чакъл) в тръби;
- високочестотни вибрации, предизвикващи развиване на крепежни елементи на вентила;
- бързо разрушаване на конуса, седлото и корпуса на вентила поради движението на метални частици (повърхностите, подложени на кавитация стават грапави);
- вентилът вече се държи като постоянно отворен, т.е. през него протича флуид.

Като правило, вентилите често работят продължително време в условия на кавитация, и това силно намалява техния експлоатационен срок.

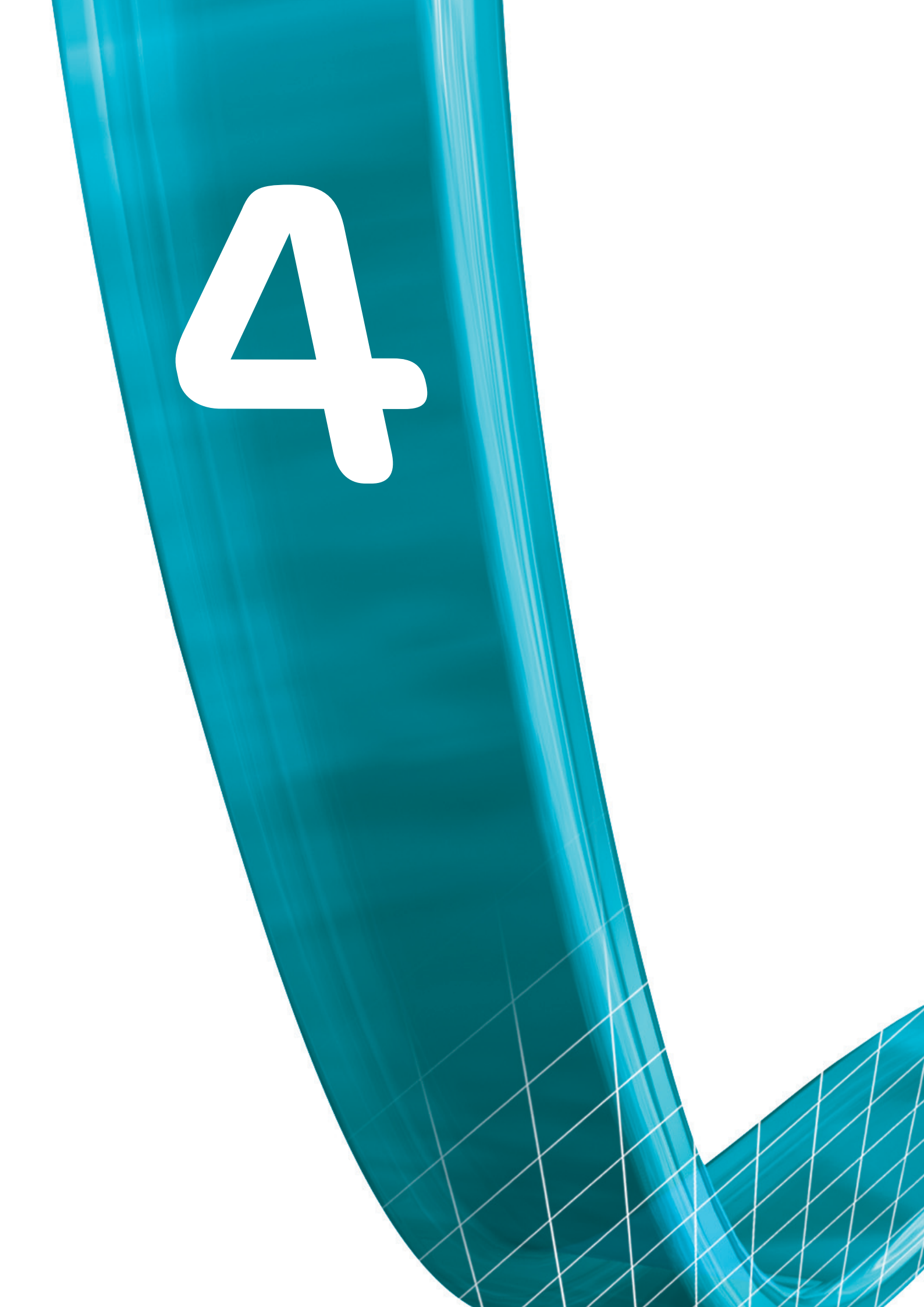
Разглеждането на методи за ограничаване или предотвратяване на кавитация е извън рамките на това Ръководство.



↑ *Фиг. 3.45* *Към ефект на кавитация*

3. Електрически двигатели и товари

4



Пускане и защита на двигатели за променлив ток

- Системи за пускане и спиране на двигатели за променлив ток
- Устройства за защита и анализ на повреди в двигателите за променлив ток
- Ръководство за избор на устройства за защита

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател ____ 74

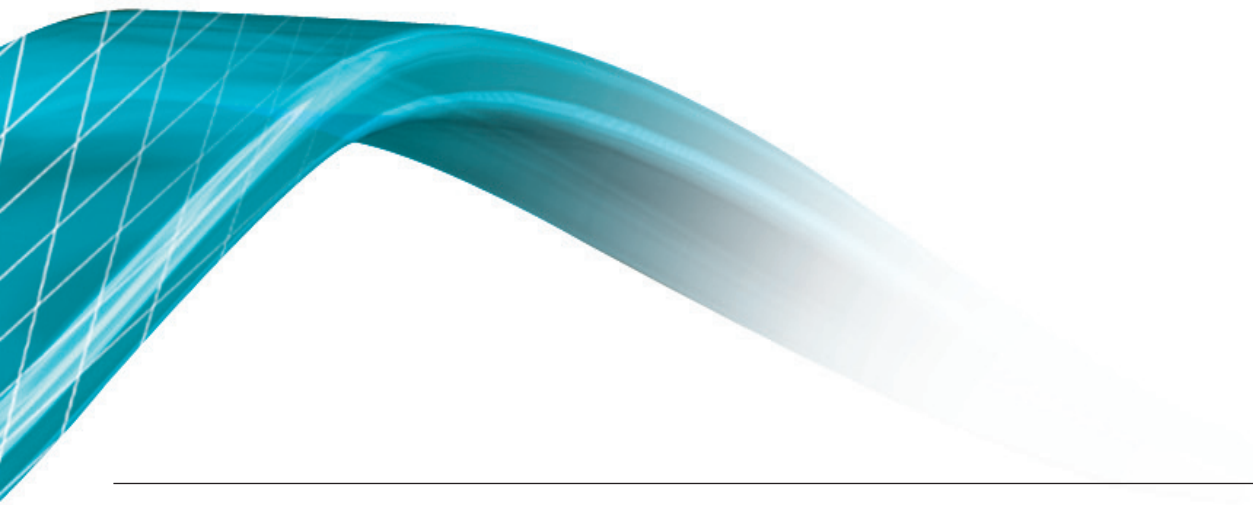
4.2 Електрическо спиране на трифазни асинхронни двигатели ____ 80

4.3 Многофункционални пускатели на двигатели ____ 86

4.4 Защита на двигател ____ 88

4.5 Загуби на мощност в двигателя и нагряване ____ 88

4.6 Причини за неизправности в двигателя и последици от тях ____ 89



4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

В настоящия раздел се разглеждат системи за пускане и спиране на асинхронни двигатели от различни типове.

Защита на двигателя е необходима, за да се осигури изправното функциониране на машини и обзавеждане.

Технологията за регулиране на скоростта и пускане на машините са разгледани накратко, като по-подробни описания се намират в съответните раздели на това ръководство.

В раздела не се обсъжда въпроса за защита на обслужващия персонал.

Необходимата информация може да се намери в съответни издания на компанията. Например тази тема се разглежда в Ръководство за електрически уредби на Schneider Electric.

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател

Увод

При директно пускане на двигатели, в мрежата възникват големи пускови токове, които могат да причинят пад на напрежение (особено, ако участъкът от захранващата линия не отговаря на изискванията), което може да повлияе върху функционирането на потребителите. Смущения при работа на осветителната уредба се появяват ако падът на напрежение е много голям. За да не се допуска това правилата за експлоатация забраняват използването на директно пускане на двигатели, чиято мощност е над определени стойности: вж. каталога Distribution BT Schneider Electric и таблиците за пада на напрежение, съгласно стандарта NF C 15-100.

Съществуват няколко начина за пускане, които се различават един от друг в зависимост от типа на двигателя и неговия товар.

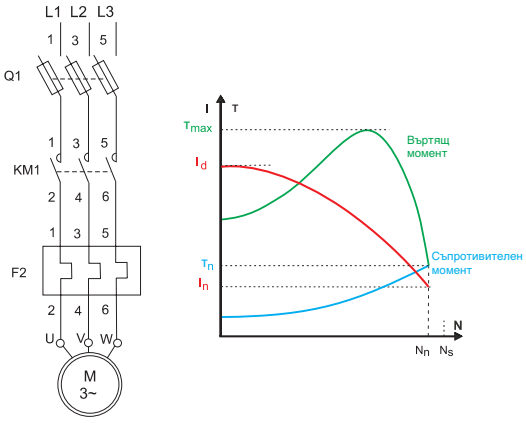
Изборът се определя от механически, електрически и икономически фактори.

При избора на начина за пускане е важен и характера на товара.

Основни режими на пускане

Директно пускане

Това е най-простият режим, при който статорната намотка е непосредствено свързана със захранващата мрежа *(⇨ Фиг. 4.1)*. Двигателят се развърта по своята естествена характеристика.



↑ *Фиг. 4.1* *Директно пускане на двигател*

В момента на включване машината работа като трансформатор с накъсосъединена вторична намотка, представляваща кафезния ротор, който има много малко електрическо съпротивление. В ротора се индуктира голям ток, който предизвиква кратковременен пусков ток в захранващата мрежа: пусковият ток е от 5 до 8 пъти по-голям от номиналния ток на двигателя.

Средният пусков въртящ момент е

$\mathbf{T = (0,5 - 1,0) \times T_n}$,

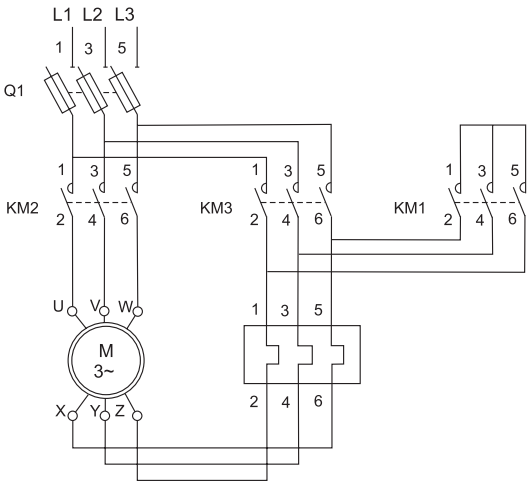
където $\mathbf{T_n}$ е номиналният момент на двигателя.

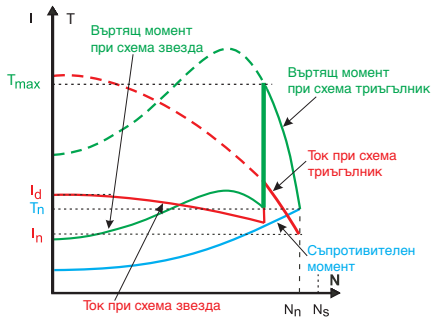
Независимо от предимствата на директното пускане (проста комутационна апаратура, висок пусков въртящ момент, бързо пускане, ниска цена) то е подходящо само в случаите, когато:

- мощността на двигателя е малка в сравнение с мощността на мрежата, което ограничава отрицателното действие на пусковия ток;
- задвижваната машина не изисква постепенно развъртане или има демпфериращо устройство за ограничаване на механичния удар при пускане;
- пусковият въртящ момент може да бъде голям без последици за работата на машината или товара, които се привеждат в движение.

4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател





↑ Фиг. 4.2 *Пускане на двигател по схема звезда-триъгълник*

Пускане звезда-триъгълник

Тази пускова система *(⇨ Фиг. 4.2)* е подходяща само за трифазен двигател, в който двата края на всяка статорна намотка са изведени на клемна дъска. Освен това, намотката трябва да бъде изпълнена така, че при свързване в триъгълник нейното напрежение да съответства на напрежение на мрежата. Например, за трифазна захранваща мрежа 380 V е необходим двигател с намотка за 380 V, за схема триъгълник и 660 V – за схема звезда.

Принципът на това пускане се заключава в подаване на напрежение към статорните намотки, свързани в звезда, което е с √3 по-малко от напрежението на двигателя. В посочения по-горе пример напрежението на мрежата е

380 = 660/√3, V.

При това пускане максималната стойност на пусковия ток (SC) е 3 пъти по-малка:

SC = (1.5 ÷ 2.6) RC,

където **RC** е номиналният ток на двигателя.

Двигателят с напрежение 380/660V за свързване в звезда, при номинално напрежение 660V консумира ток, който е √3 пъти по-малък отколкото при свързване в триъгълник при 380 V. При свързване в звезда и напрежение 380 V, токът отново се дели на √3, т.е. в резултат на 3.

Тъй като пусковият въртящ момент (ST) е пропорционален на квадрата на напрежението той също се намалява 3 пъти:

ST = (0.2 ÷ 0.5) RT,

където **RT** е номиналния въртящ момент.

Скоростта на двигателя се установява, когато въртящия и съпротивителния момент се изравнят. Това обикновено се получава при (75 – 80)% от номиналната скорост. След това намотката се включва по схема триъгълник и двигателят работи по естествената си характеристика. Превключването от звезда в триъгълник се регулира с реле за време. Контакторът за схема триъгълник се включва след (30 … 50) ms след изключването на контактора за схема звезда, което предотвратява междуфазов късо съединение, тъй като двата контактора не трябва да се включват едновременно.

Ток през намотките за това време не тече. При превключване на схема триъгълник възниква кратък, но голям пусков ток поради възникване на противо- е.д.н. на двигателя.

Пускането звезда-триъгълник е подходящо за механизми с малък съпротивителен момент или за машини, които се пускат без товар (например дробилна машина за дървен материал). За ограничаване тока по време на преходния процес при големи мощности на двигатели могат да се използват и други начини за управление. Един от тях е задържане за (1 ÷ 2) s на превключване на намотката от звезда в триъгълник.

Това задържане намалява е.д.н. и следователно намалява максималната стойност на пусковия ток.

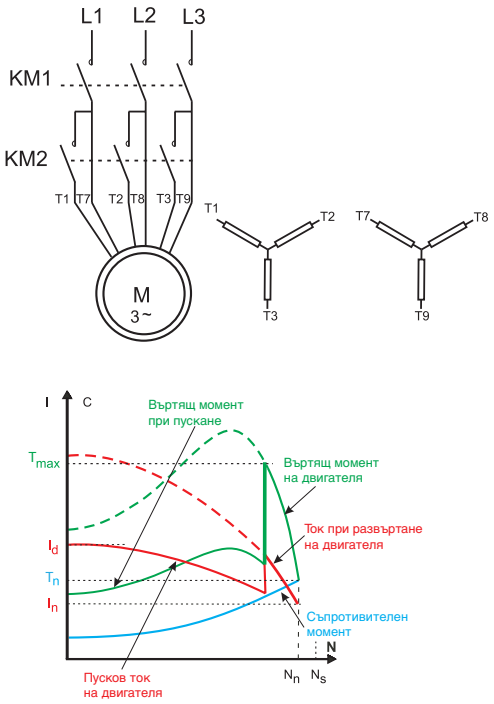
Този метод може да се използва, само ако машината притежава достатъчно голяма инерционност, за да се предотврати твърде бързото намаляване на скоростта при задържане.

Друг начин за пускане е т.нар. тристепенно пускане: звезда – (триъгълник + съпротивление) – триъгълник. При този начин отново има прекъсване, но резисторът, свързан последователно с намотките, включени по схема триъгълник за около 3 s, намалява преходния ток. Това предотвратява прекъсването на тока и следователно възникването на преходни процеси.

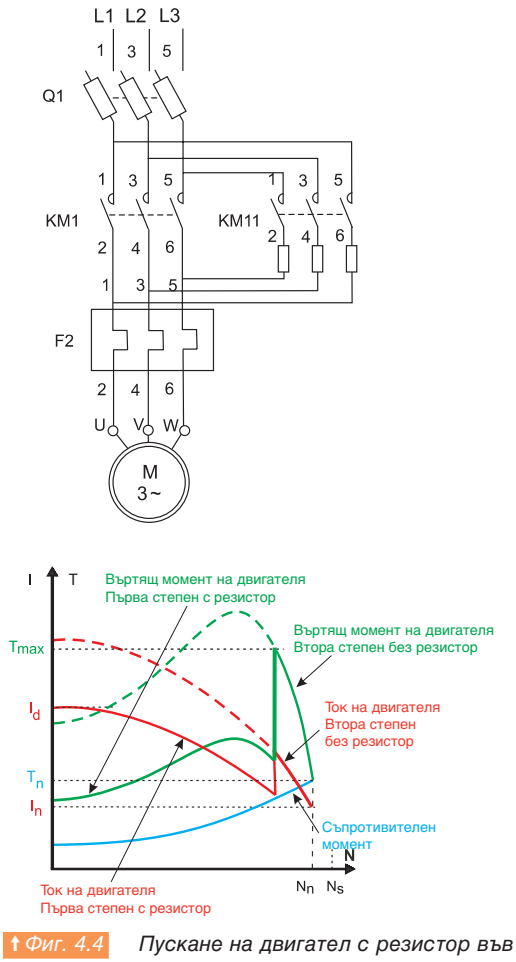
Използването на дадените варианти за управление предполага наличието на допълнително обзавеждане, което може да увеличи значително неговата цена.

4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател



↑ *Фиг. 4.3* *Пускане на двигател с използване на част от намотката*



↑ *Фиг. 4.4* *Пускане на двигател с резистор във веригата на статорната намотка*

□ Пускане на двигател с използване на част от намотката

Тази система не се използва често в Европа, но е много разпространена на пазара в Северна Америка, където захранващата мрежа е с напрежение 230/460 V, т.е. отношението e1/2 *(⇨ Фиг. 4.3)*. Този тип двигатели имат статорна намотка, разделена на две паралелни части с 6 или 12 изводни клеми. Двигателят е еквивалентен на два двигателя („half motor“), всеки от които има двойно по-малка мощност от разглеждания.

При включването един от двата двигателя към пълното напрежение на мрежата пусковият ток и въртящият момент са два пъти по-малки от номиналните. Но в този случай въртящият момент е по-голям в сравнение с двигателя с накъсосъединен ротор при включване звезда-триъгълник.

В края на пусковия процес втората намотка се включва към мрежата. В този момент пикът на тока е незначителен и краткотраен, тъй като двигателят не е бил изключван от захранващата мрежа и работи с по-малко хлъзгане.

□ Пускане с резистор във веригата на статора

При използване на тези схема *(⇨ Фиг. 4.4)* двигателят се пуска с понижено напрежение, тъй като последователно със статорните намотки са свързани т.нар. пускови резистори. Когато скоростта се установи резисторите се шунтират и на двигателя се подава пълното напрежение на мрежата. При този метод на пускане не се променя схемата на свързване на статорните намотки, така че за краищата на всяка намотка не е необходим извод на клемната дъска.

Стойността на съпротивлението се определя от максималната стойност на тока при пускане или минималният пусков въртящ момент, необходим за преодоляване на съпротивителния момент на машината. Пусковият ток и въртящият момент са обикновено:

- **SC = 4.5 RC;**
- **ST = 0.75 RT.**

При пускане на двигателя с резистори във веригата на статорната намотка напрежението, подавано на клемите на двигателя не остава постоянно. То е равно на разликата между напрежението на мрежата и пада на напрежение върху пусковия резистор.

Падът на напрежение е пропорционален на протичащия ток през двигателя. С развъртане на двигателя се намалява токът, следователно и падът на напрежение върху резисторите.

Напрежението, подадено към клемите на двигателя при пускане, е минимално, след това се увеличава постепенно.

Тъй като въртящият момент е пропорционален на квадрата на захранващото напрежение на клемите на двигателя, той се увеличава по-бързо отколкото при пускане по метода звезда-триъгълник, когато напрежението остава постоянно по времето на включване в звезда.

Затова този начин на пускане е подходящ за механизми, чиито съпротивителен момент се увеличава с увеличаване на скоростта на въртене. Например, за вентилатори и центробежни помпи.

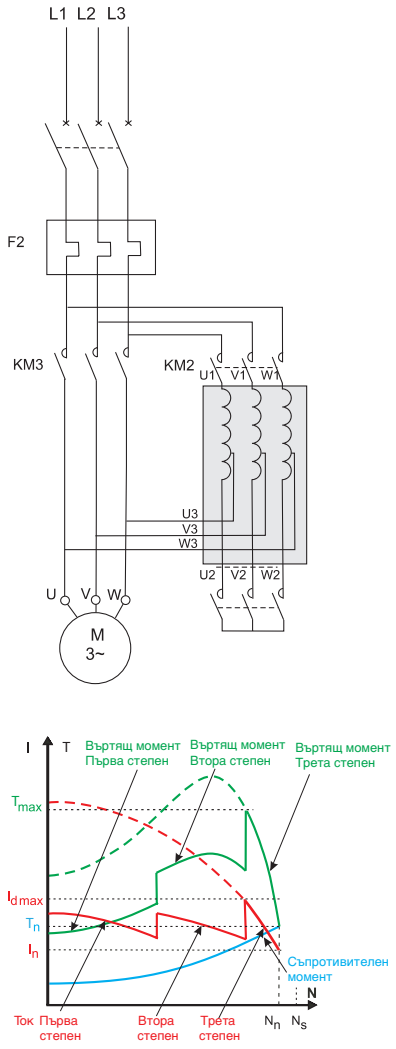
Недостатък на този метод е сравнително голямата стойност на пусковия ток.

Той може да се намали чрез увеличаване стойността на съпротивлението, но това предизвиква последващо намаляване съответно на напрежението на клемите на двигателя и на пусковия въртящ момент.

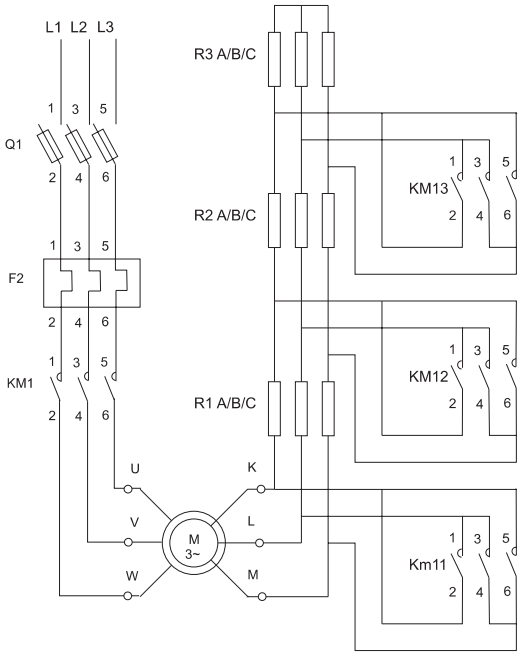
От друга страна, резисторите в края на пусковия процес се изключват без прекъсване захранването на двигателя, т.е. отсъства преходен процес.

4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател



↑ Фиг. 4.5 *Пускане с автотрансформатор*



↑ Фиг. 4.6 *Пускане на двигател с навит ротор*

Пускане с автотрансформатор

Двигателят се пуска с намалено напрежение от автотрансформатор, който се шунтира при завършване на пусковия процес *(⇨ Фиг. 4.5)*.

Пусковият процес се състои от следните три етапа:

- отначало автотрансформаторът се свърза в звезда и двигателят се включва към мрежата през част от намотките му. Развъртането на двигателя става при намалено напрежение, което се определя от коефициента на трансформация. Обикновено автотрансформаторът е с изводи, което позволява да се подбере най-подходящия коефициент на трансформация за подаване на необходимото напрежение;
- преди подаване на пълно напрежение се прекъсва свързването на автотрансформатора в звезда. Част от намотките на автотрансформатора, включени към мрежата, действат като индуктивни бобини, свързани последователно със статорните намотки на двигателя. Тази комутация се извършва, когато скоростта на въртене в края на първия етап се стабилизира. Този етап е с продължителност части от секундата;
- подаване на пълно напрежение към статорната намотка се изпълнява след втория етап. Частите от намотките на автотрансформатора, свързани последователно със статорните намотки на двигателя се свързват накъсо и автотрансформаторът се изключва.

Пусковият ток и пусковият въртящ момент се изменят в същото съотношение. Те се определят от отношението „захранващо напрежение/квадрат на намаленото напрежение“.

Получените стойности са:

SC = (1.7 ÷ 4) RC;

ST = (0.5 ÷ 0.85) RT.

Пусковият процес става без прекъсване на тока в статорната намотка на двигателя и затова протича плавно.

Обаче, ако не се вземат редица мерки, подобни преходни процеси могат да възникнат при подаване на пълното напрежение на мрежата. Причината е, че стойността на индуктивността, включена последователно със статорната намотка, е по-голяма от стойността на индуктивността на двигателя след изключване на автотрансформатора по схема звезда. Това предизвиква пад на напрежение, а от там и голям пик на преходния ток при подаване на пълното захранващо напрежение.

За отстраняване на този недостатък магнитната верига в автотрансформатора е с въздушна междина, която намалява индуктивността. Тя се оразмерява, за да се предотврати изменението на напрежението на клемите на двигателя, когато схемата звезда се изключва на втория етап. Въздушната междина предизвиква увеличаване на намагнитващия ток в автотрансформатора. Този ток увеличава и пусковия ток в захранващата мрежа при подаване на захранване към автотрансформатора.

Този метод на пускане обикновено се използва за нисковолтови двигатели и мощност над 150 kW. Той обаче увеличава цената на технологичното обзавеждане поради високата цена на автотрансформатора.

Пускане на двигател с навит ротор

Двигателят с навит ротор (с контактни пръстени) не може да бъде включен директно при роторни намотки, свързани накъсо, защото това би предизвикало недопустимо високи стойности на пусковия ток *(⇨ Фиг. 4.6)*. Резисторите постепенно се шунтират докато статорната намотка остава включена на пълното напрежение на мрежата. Контакторите в роторната верига работят съгласувано с контактора на статорната намотка и при това те се изключват след него щом напрежението на роторната намотка напълно или практически изчезне. Тези контактори ограничават пусковият ток в ротора до (1,5 ÷ 2,5) пъти номиналния ток на ротора) и отварят роторната верига, когато през нея не протича ток. На *(⇨ Фиг. 4.6)* е показано включване на контактори (нарича се W-включване), позволяващо да се използват апарати с ток 1,6 пъти по-малък от номиналния ток.

4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател

За осигуряване на точно съответствие между кривата на зависимостта на въртящия момент от скоростта, се изчисляват стойностите на резисторите, включени във всяка фаза. При пускане те трябва да бъдат напълно включени, а когато са шунтирани – да се достигне номиналната скорост на въртене.

Протичащият ток на двигателя е малко по-голям от изчисления или приблизително пропорционален на въртящия момент.

Например, за пусков момент, равен на **2RT**, импулса на тока е около **2RC**.

Този токов импулс е много по-малък, а максималният пусков момент - много по-голям в сравнение с двигател с накъсо съединен ротор при директно пускане, където характерните стойности са около **6RC** за **1,5RT**.

Двигателят с навит ротор е най-добрия избор за случаи, когато пиковите стойности на пусковия ток трябва да бъдат ниски и за машини, които се пускат при пълно натоварване.

Този начин на пускане е плавен, тъй като лесно се подбира броя и формата на кривите, характеризиращи последователните етапи на развъртане от гледна точка на изискванията към електрическите и механическите параметри (съпротивителен момент, ускорение, максимален ток и др.).

Пускане/спиране с устройство за плавно пускане

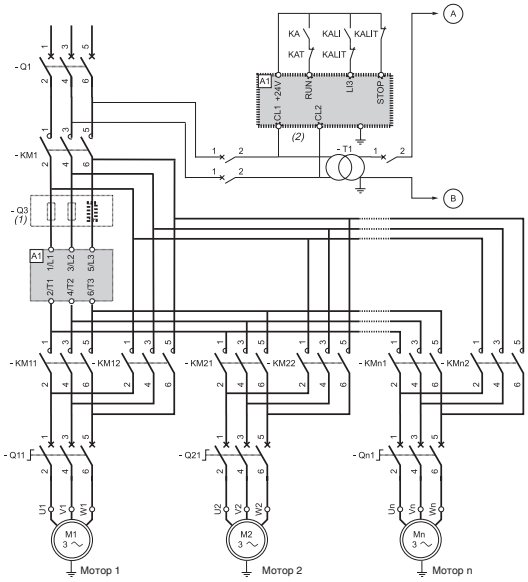
Това е ефективна система за пускане, осигуряваща плавно пускане и спиране на двигателя *(⇨ Фиг. 4.7) (за повече подробности вж. раздела „Честотни преобразуватели“)*.

Тя може да се използва за постигане:
- ограничаване тока на двигателя;
- регулиране на въртящия момент.

При регулиране чрез ограничаване на тока се задава максимален пусков ток от 3 до **4RC** и се намаляват изискванията към въртящия момент. Това регулиране е особено подходящо за турбомашини (центробежни помпи и вентилатори).

Регулирането чрез изменение на въртящия момент оптимизира пусковия момент, като по този начин намалява пусковия ток. То е подходящо за механизми с постоянен съпротивителен момент.

Този тип пускател има разнообразни приложения:
- пускане на двигател;
- пускане и спиране на двигател;
- шунтиране на устройство в края на пусковия процес;
- пускане и спиране на няколко двигателя в каскадни схеми *(⇨ Фиг. 4.7)*,
- други.



↑ *Фиг. 4.7* *Паралелно управление двигатели с устройство за плавно пускане*

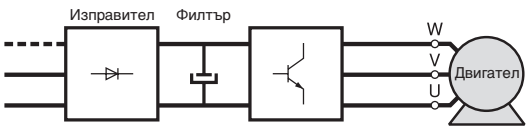
Пускане с използване на честотен преобразувател

Това е ефективна система за пускане и се използва за контрол и регулиране на скоростта *(⇨ Фиг. 4.8) (за подробности виж раздела „Честотни преобразуватели“)*.

Методът има следните области на приложение:
- пускане на двигател с голям инерционен товар;
- пускане на двигател с голямо натоварване при захранване от източници с ограничена мощност;
- оптимизацията на електропотреблението в зависимост от скоростта на турбомашините.

Разглежданата система за пускане може да се използва за всички типови механизми.

Това решение се използва главно за регулиране скоростта на двигател, когато изискванията към пускането са второстепенни.



↑ *Фиг. 4.8* *Работна схема на честотен преобразувател*

4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател

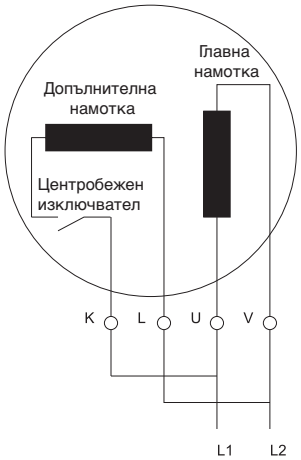
Справочна таблица за пускане на трифазен двигател

(⇨ Фиг. 4.9)

	Директно включване	Звезда/ триъгълник	С използване на част от намотката	С резистори	Автотранс-форматори	Двигатели с навит ротор	Устройство за плавно пускане	Преобразувател на честота
Двигател	Стандартен	Стандартен	С 6 намотки	Стандартен	Стандартен	Специален	Стандартен	Стандартен
Цена	+	++	++	+++	+++	+++	+++	++++
Пусков ток	5 до 10 RC	2 до 3 RC	2 RC	Около 4.5 RC	1.7 до 4 RC	Около 2 RC	4 до 5 RC	RC
Кратковременно намаляване на напрежението	Високо	Високо при смяна на схемата на включване	Ниско	Ниско	Ниско при спазване на ограниченията за директно включване (DOL)	Ниско	Ниско	Ниско
Хармонични съ-ставящи на тока и напрежението	Високи	Средни	Средни	Средни	Средни	Ниски	Високи	Високи
Коефициент на мощност	Нисък	Нисък	Среден	Среден	Нисък	Среден	Нисък	Висок
Брой възможни пускания	Ограничен	2-3 пъти по-голям от DOL	3-4 пъти по-голям от DOL	3-4 пъти по-голям от DOL	3-4 пъти по-голям от DOL	2-3 пъти по-голям от DOL	Ограничен	Голям
Разполагаем въртящ момент	Около 2.5 RT	0.2 до 0.5 RT	2 RT	RT	Около 0.5 RT	Около 2 RC	Около 0.5 RT	1.5 до 2 RT
Топлинно натоварване	Много високо	Високо	Умерено	Високо	Умерено	Умерено	Умерено	Ниско
Механически удар	Много висок	Умерен	Умерен	Умерен	Умерен	Нисък	Умерен	Нисък
Товар	Произволен	Без товар	Нарастващ момент	Помпи и вентилатори	Помпи и вентилатори	Произволен	Помпи и вентилатори	Произволен
Високоинерционни товари	Да*	Не	Не	Не				

* *При тази система на пускане трябва специално да се оразмери мощността на двигателя.*

↑ *Фиг. 4.9* *Справочна таблица за пускане на трифазен двигател*



↑ *Фиг. 4.10* *Еднофазен двигател със спомагателна намотка*

Пускане на еднофазен двигател

Еднофазният не може да се развърти самостоятелно. Затова са разработени няколко системи за пускане.

Пускане с помощта на допълнителна намотка

Двигателите от този тип имат статор с две намотки, разместени на 90° (⇨ Фиг. 4.10). Те са оформени по различен начин. Затова при подаване на прежените векторите на тока C1, протичащ по главната намотка, и на по-малкия ток C2, протичащ в спомагателната намотка, са изместени на π/2. Магнитните полета, създадени от двата тока, създават резултантен въртящ момент, който е достатъчно силен за завъртане на двигателя без товар. При достигане на 80% от скоростта на въртене допълнителната намотка може да бъде изключена (чрез центробежен изключвател) или може да остане под напрежение. По такъв начин двигателят работи като двуфазен при пускане или в постоянен режим.

За да се промени посоката на въртене на двигателя изводите на една от двете намотки си разменят местата.

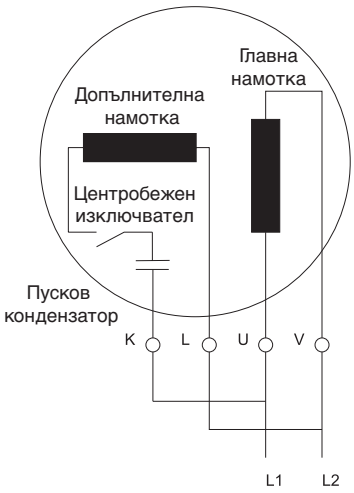
Тъй като пусковият момент е малък той може да се увеличи чрез увеличаване на изместването между двете полета, създавано от статорните намотки.

Пускане с помощта на съпротивление, включено във веригата на допълнителната намотка

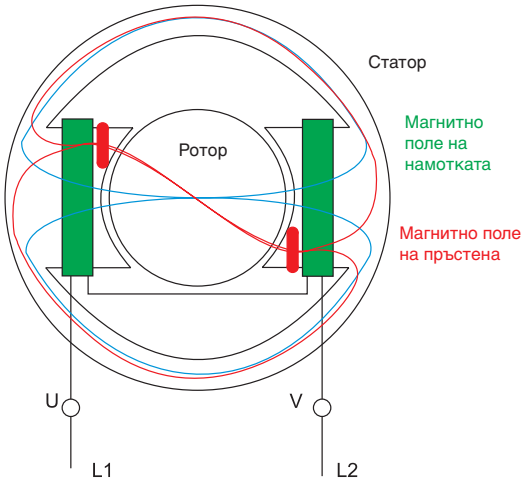
Последователно свързаният резистор към допълнителната намотка увеличава нейния импеданс и създава изместване между векторите на токовете C1 и C2.

4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

4.1 Системи за пускане на асинхронен двигател
4.2 Електрическо спиране на трифазни асинхронни двигатели



↑ *Фиг. 4.11* *Еднофазен двигател с пусков кондензатор*



↑ *Фиг. 4.12* *Двигател с екранирани полюси*

В края на пусковия процес допълнителната намотка се изключва с центробежен изключвател аналогично на случая, разгледан в предишния пример.

□ Пускане с помощта на бобина, включена последователно във веригата на допълнителната намотка

Действието на схемата е аналогично на разгледаната по-горе. Разликата е в замяната на резистора с индуктивна бобина, която предизвиква изместването между векторите на двата тока C1 и C2.

□ Пускане с помощта на кондензатор, включен последователно във веригата на допълнителната намотка

Тази схема е сред най-разпространените *(⇨ Фиг. 4.11)*. Стойността на кондензатора при постоянно включване е около 8µF за двигател с мощност 200W. За пускането на двигател може да се налага употребата на допълнителен кондензатор 16 µF, който се изключва при завършване на пусковия процес.

Тъй като кондензаторът създава фазово изместване, което е противоположно на фазовото изместване при използване на бобина, при пускане и при работа двигателят функционира като двуфазна машина с въртящо поле. Въртящият момент и коефициентът на мощност са големи. Пусковият момент **ST** е приблизително три пъти по-голям от номиналния момент **RT**. Максималният момент достига **2RT**.

След завършване на пусковия процес е необходимо да се запази фазовото изместване между токовете. Капацитетът на кондензатора може да бъде намален, тъй като пълното съпротивление на статорната намотка се увеличава. На *(⇨ Фиг. 4.11)* е показана схема на еднофазен двигател с включен кондензатор.

Съществуват и други схеми, при които фазоизместващата верига се прекъсва при достигане на определена скорост.

Трифазният двигател (230/400V) може да се използва за еднофазно захранване 230V, ако е снабден пусков кондензатор и постоянно включен работен кондензатор. В този случай се намалява полезната мощност (около 0,7), пусковият момент и топлоустойчивостта.

Тази схема за управление е подходяща за маломощни четириполюсни двигатели с мощност до 4 kW.

Производителите на машини предлагат таблици за подходящ избор на параметрите на кондензатора.

□ Пускане на двигател с екранирани полюси

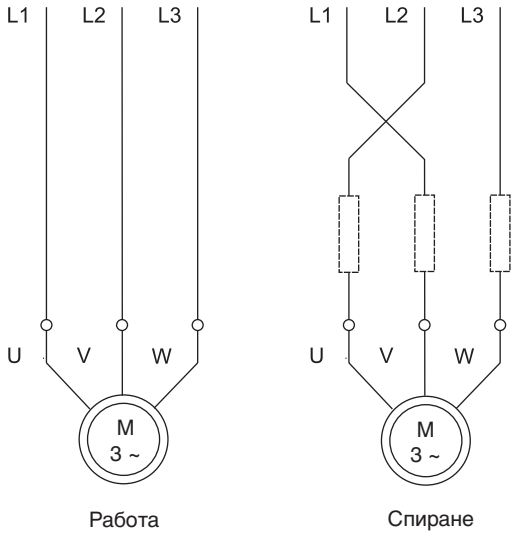
Тази схема *(⇨ Фиг. 4.12)* се използва за управление на микродвигатели (около 100 W). Двете намотки са разположени върху явни полюси, като едната е главна и се захранва от еднофазна мрежа, а другата - спомагателна (екраниращa) и е съединена накъсо. За да се поместят полюсите са разцепени. Затова двигателят се нарича още двигател с разцепени полюси или двигател с накъсо съединени навивки на полюсите. Протичащият ток в накъсосъединените намотки променя въртящото магнитно поле и инициира пусков процес.

КПД е малък, но за дадения диапазон от мощности на машините е напълно подходящ.

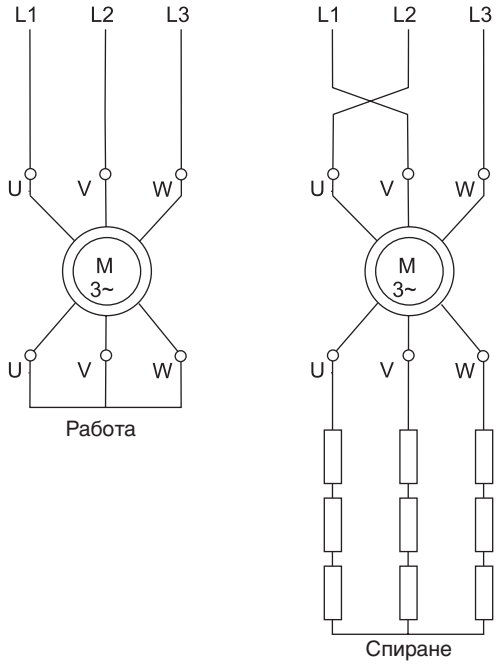
4.2 Електрическо спиране на трифазни асинхронни двигатели

■ Увод

В много електрозадвижвания двигателите спират след изключване на захранващото напрежение по инерция. Времето за спиране зависи само от инерционния и съпротивителния момент на задвижването. Много често се налага времето за спиране да се намали. За целта се използва електрическо спиране, което е най-просто и ефективно решение. В сравнение с механичните хидравлични спирачни системи, то има предимства, заключващи се в стабилност и отсъствие на износване на детайли.



↑ Фиг. 4.13 *Принцип на спиране на двигател с противовключване*



↑ Фиг. 4.14 *Принцип на спиране с противовключване на двигател с контактни пръстени*

■ Спиране с противовключване

Двигателят се изключва от захранващата мрежа и докато все още роторът е в движение, статорната намотка се включва в мрежата в режим на реверсиране. Това е много ефективен начин на спиране с въртящ момент много по-голям от пусковия момент, който трябва да бъде завършен много бързо, за да се избегне завъртането на двигателя в противоположна посока.

За управление на спирането при намаляване на скоростта до нула се използват няколко автоматични устройства:
- първични преобразуватели за прекратяване на триене, центробежни преобразуватели за спиране;
- реле за време;
- измервател на честота или роторно реле за напрежение (за двигатели с контактни пръстени).

□ Двигател с накъсосъединен ротор

Преди избора на тази схема е необходимо да се провери дали двигателят може да издържи спиране с противовключване при съответното токово натоварване при спиране *(⇨ Фиг. 4.13)*. Освен механическият удар в процеса на спиране роторът се подлага на високо топлинно въздействие, тъй като енергията, освобождавана при всяко спиране (енергията при хлъзгане от мрежата и кинетичната енергия) се разсейва в ротора. Топлинното натоварване при спиране е три пъти по-голямо отколкото при ускоряване. При спирането импулсите на тока и въртящия момент са много по-големи, отколкото при пускане.

За плавно спиране чрез противовключване във всяка фаза се монтират последователно резистори. Това намалява въртящия момент и тока до стойности, както при пускане на двигателя.

Спирането с противовключване има много недостатъци и затова тази схема се използва за маломощни двигатели.

□ Двигател с навит ротор

За ограничаване на пиковите стойности на тока и въртящи момент преди преминаване на двигателя в режим на противовключване е необходимо във веригата на ротора да се включат резисторите, използвани при пускане, а понякога е нужно да се включат и допълнителни резистори в роторната верига *(⇨ Фиг. 4.14)*.

Стойността на спирачния момент лесно се регулира чрез правилния избор на резистори в роторната верига.

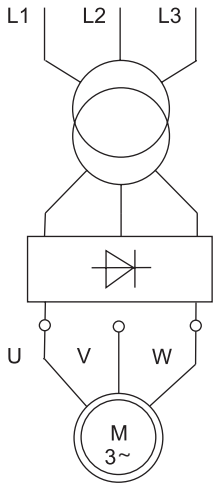
В момента на превключване на тока в статорната намотка напрежението на ротора е практическо два пъти по-голямо от това при неподвижен ротор, което налага вземането на специални мерки за повишаване на изолационното ниво.

Както и в случай с накъсосъединените двигатели, в роторната верига се отдела голямо количество енергия. Тя се разсейва напълно (с отчитане на загубите) в резисторите.

Двигателят може да бъде спрян автоматично с помощта на някое от посочените по-горе устройства или с роторно реле за напрежение или чрез контролиране честотата на роторния ток.

При тази система, скоростта на задвижвания товар може да се поддържа на приемливо ниво.

Механичните характеристики са много меки (голямо изменение на скоростта при малко изменение на момента).



↑ *Фиг. 4.15* *Принцип на спиране с постоянен ток на асинхронна машина*

Спиране с постоянен ток

Тази система за спиране се използва както за двигатели с контактни пръстени, така и за двигатели с накъсосъединен ротор *(⇨ Фиг. 4.15)*. При сравняване със системата за спиране с противовключване цената на изправителя компенсира цената на използваните резистори. При използване на честотни преобразуватели и устройства за плавно пускане този вариант на спиране не увеличава цената.

Процесът започва с изключване на статорната намотка от захранващата напрежение и подаване на постоянно напрежение. То предизвиква протичането на ток, който създава постоянен магнитен поток във въздушната междина на двигателя. За да се осигури необходимо спиране токът трябва да бъде приблизително 1,3 пъти по-голям от номиналния. Допълнителните топлинни загуби, предизвикани от това неголямо претоварване по ток обикновено се разсейват по време на покой на машината, след спиране.

Тъй като стойността на тока се определя от съпротивлението на статорната намотка напрежението на токоизправителя трябва да бъде ниско. Източниците за постоянен ток се изпълняват чрез изправители или преобразуватели на честота. Те трябва да издържат на импулсите на напрежение по време на преходния процес, породени от изключване на намотката от мрежата за променливо напрежение (например 380 V).

Роторът се върти в едно фиксирано магнитно поле на статорната намотка в пространството (докато при системата с противовключване полето се върти в противоположна посока). Двигателят работи като синхронен генератор, произвеждайки в ротора енергия. Съществуват важни разлики в получаваните характеристики при постоянен ток в сравнение със системата за спиране с противовключване:

- в роторните резистори или кафеза се разсейва по-малко енергия. Тя е еквивалентна на кинетичната енергия, освобождавана от движещите се маси. От мрежата се консумира само мощност за захранване на статора;
- ако товарът не е активен двигателят няма да се върти в противоположна посока;
- ако товарът е активен система постоянно спира и задържа товара на ниска скорост. Това забавя процеса на спиране в сравнение със спиране до покой. Характеристиките са по-стабилни, отколкото при противовключване.

За двигатели с контактни пръстени механичната характеристика на машината зависи от избора на резисторите.

За асинхронни електродвигатели с накъсосъединен ротор системата осигурява по-лека настройка на спирачния момент чрез промяна големината на постоянния ток, но спирачния момент ще бъде малък, когато двигателят работи с висока скорост.

За да се избегне прегряване на статорната намотка след спиране на машината трябва да се използва устройство за изключване на захранването.

Спиране с електронни устройства

Спирането с електронни устройства се осигурява най-просто с честотен преобразувател, снабден със спирачен резистор. Асинхронният двигател в този случай работи като генератор, а механичната енергия се разсейва в спирачния резистор без да се увеличават загубите в двигателя. По-подробна информация, за този начин на регулиране на скоростта е представена в глава *Устройства за управление на електродвигатели*.

4.2 Електрическо спиране на трифазни асинхронни двигатели

Свръхсинхронно спиране

Свръхсинхронното спиране се получава, когато товарът на двигателя го развърти до скорост по-висока от синхронната, заставяйки го да работи като асинхронен генератор и развивайки спирачен момент. Енергията се връща в захранващата мрежа, с отчитане на някои загуби.
При подемен механизъм този режим на работа се получава при спускане на товара с номинална скорост.
Спирачният момент се уравновесява точно от въртящия момент и вместо забавяне на скоростта двигателят работи с постоянна скорост.
В двигателите с контактни пръстени всички резистори в роторната верига трябва да бъдат свързани накъсо, за да не се получи скорост, много по-висока от номиналната, което е опасно от механична гледна точка.
Тази система притежава идеални характеристики за стабилизация на скоростта на задвижвания товар:

- скоростта е постоянна и практически не зависи от въртящия момент;
- енергията се генерира и връща в мрежата.

Но, даденият режим предполага работа само с една скорост, например равна на номиналната.

Системите за свръхсинхронно спиране се използват също за много скоростни двигатели при изменение на скоростта от висока на ниска.

Свръхсинхронното спиране се осъществява лесно с електронен регулатор на скоростта, който автоматично задава режим при намаляване на зададена честота.

Други системи за спиране

Понякога може да се използва и еднофазно спиране. То включва подаване на захранване към двете фазови намотки и свързване свободния край на третата към една от другите две. Спирачният момент е ограничен до 1/3 от максималния въртящ момент на двигателя. Тази система не може да спре при номинално натоварване и трябва да бъде предвидено спиране с противовключване. Подобна система причинява голяма несиметрия на параметрите и загуби.

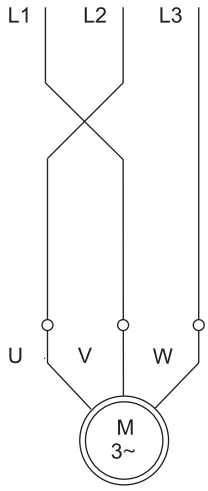
Съществува и система за спиране чрез забавяне с вихрови токове. Тя действа на принципа, използван в промишлени транспортни машини, като допълнение на механичното спиране (електрически ограничители на скоростта). Механическата енергия се разсейва в ограничителя. Спирането се регулира чрез възбудителна намотка. Тези устройства притежават значителна инертност, което е техен недостатък.

Реверсиране

Трифазният асинхронен двигател се включва за обратна посока на въртене чрез промяна на захранването (реверсиране) на две от намотките *(⇨ Фиг. 4.16)*. В резултат на това магнитното поле на двигателя се завърта в обратна посока.

Двигателят обикновено се включва за обратна посока на въртене от състояние на покой. В противен случай реверсирането на фазите може да стане причина за спиране чрез противовключване (вж. частта, отнасяща се за двигатели с навит ротор). .

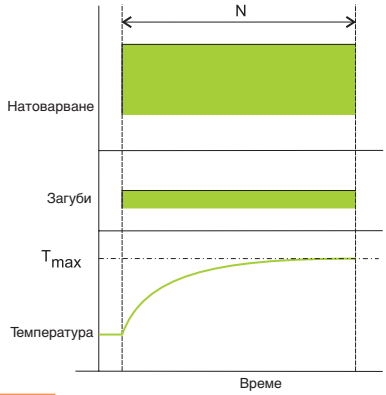
Еднофазен двигател може да бъде реверсиран само ако има достъп до всички намотки.



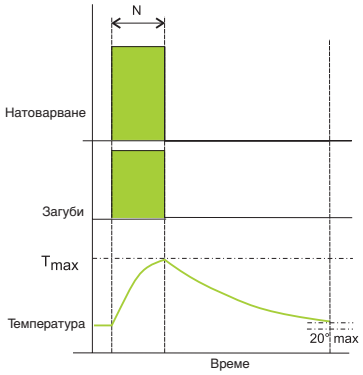
↑ *Фиг. 4.16* *Принцип на реверсиране на асинхронен двигател*

Видове режими

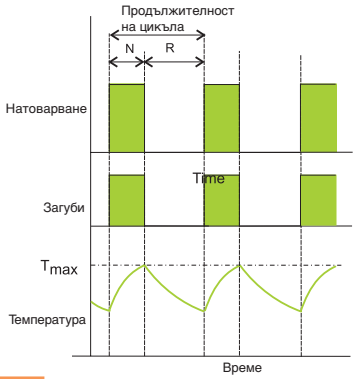
Броят на спиранията и пусканията за единица време влияе в много голяма степен върху топлинното състояние на двигателите. Стандартът



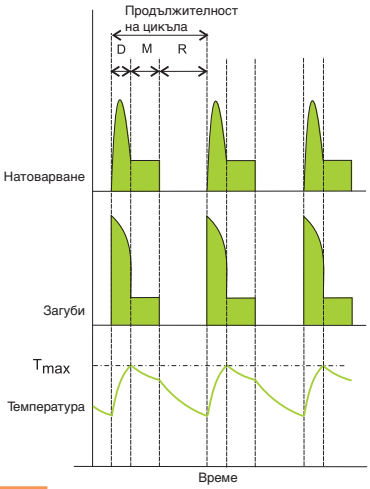
↑ Фиг. 4.17 *Продължителен режим на работа – тип D1*



↑ Фиг. 4.18 *Кратковременен режим на работа – тип D2*



↑ Фиг. 4.19 *Повторно-кратковременен режим на работа – тип D3*



↑ Фиг. 4.20 *Повторно-кратковременен режим с пускане – тип D4*

МЕК Въртящи се електрически машини. Част 1: Обявени данни и работни характеристики (IEC 60034-1:2004) посочват експлоатационни коефициенти, които позволяват да се изчисли нагряването и правилно да се определи типоразмера на двигателя, съгласно областта на приложение.

По-долу е даден кратък обзор върху експлоатационните коефициенти. Допълнителна информация може да се намери в БДС EN 60034-1:2006) и каталозите на заводите, производители на машини.

☐ Продължителен режим на работа – тип D1 *(⇨ Фиг. 4.17)*

При този режим натоварването на асинхронните двигатели е постоянно. Продължителността на работа е толкова голяма, че температурата на всички части, за времето на работа, достига определен стойност.

☐ Кратковременен режим на работа – тип D2 *(⇨ Фиг. 4.18)*

Натоварването на асинхронния двигател, в продължение на зададен интервал от време, не се променя. То е недостатъчно, за да се получи топлинно равновесие. След изключване на асинхронния двигател времето на пауза е толкова голямо, че машината се охлажда до температура на околната среда (например 20 °C).

☐ Прекъснат периодичен режим (повторно-кратковременен режим) на работа – тип D3 *(⇨ Фиг. 4.19)*

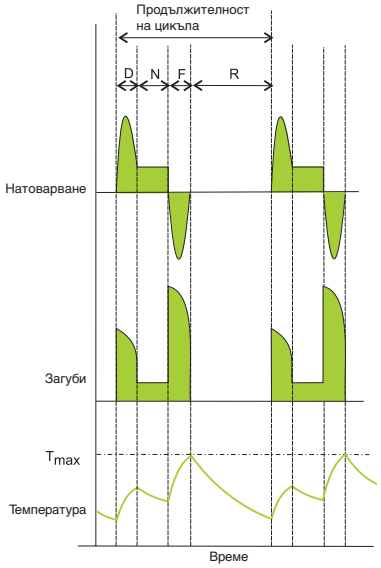
При този режим периодите на работа с постоянно натоварване се редуват с периоди на пауза. Пусковият ток не влияе съществено върху нагряването. През нито един от периодите двигателят не може да достигне установена температура.

☐ Повторно-кратковременен режим с пускане – тип D4 *(⇨ Фиг. 4.20)*

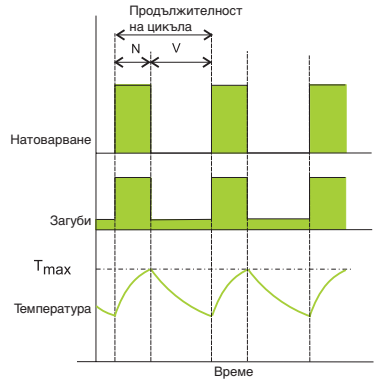
Той се характеризира с идентични цикли на пускане, работа при постоянен товар и пауза. Времето на цикъла е твърде кратко, за да се получи температурно равновесие в машината, но пусковият ток оказва влияние върху нарастването на температурата.

☐ Повторно-кратковременен режим с електрическо спиране – тип D5 *(⇨ Фиг. 4.21)*

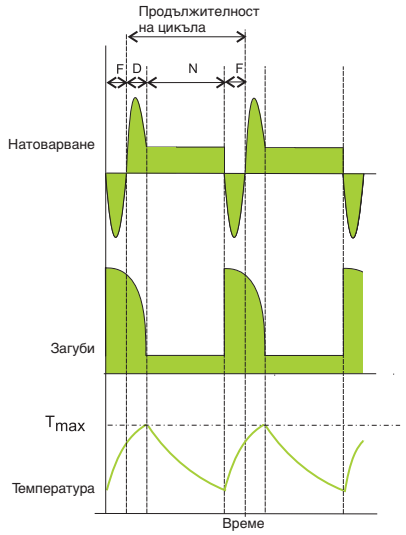
В случая се редуват идентични цикли на пускане, състоящи се от период на работа при постоянен товар, период на електрическо спиране и пауза.



↑ Фиг. 4.21 *Повторно-кратковременен режим с електрическо спиране – тип D5*



↑ Фиг. 4.22 *Продължителен режим с периодично кратковременно натоварване – тип D6*



↑ Фиг. 4.23 *Периодичен непрекъснат режим с електрическо спиране – тип D7*

□ Продължителен режим с периодично кратковременно натоварване – тип D6
(⇨ Фиг. 4.22)

При този режим се наблюдава последователност от идентични цикли на работа, състоящи се от периоди на работа при постоянно натоварване и периоди на работа без товар. Няма периоди на пауза. Времето на цикъла е твърде кратко, за да се постигне температурно равновесие.

□ Периодичен непрекъснат режим с електрическо спиране – тип D7 *(⇨ Фиг. 4.23)*

Характерни за този режим са идентични цикли на работа, състоящи се от период на пускане, период на работа при постоянен товар и период на електрическо спиране. Няма период на пауза. Времето на цикъла е кратко и не се получава температурно равновесие.

□ Периодичен непрекъснат режим, с взаимосвързани изменения на скоростта и натоварването – тип D8 *(⇨ Фиг. 4.24)*

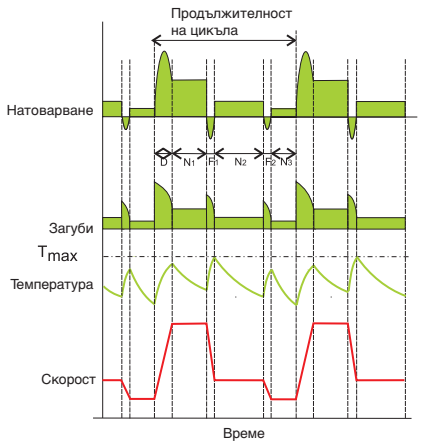
Този режим се състои от последователност от идентични цикли на работа, всеки от които съдържа период на работа с постоянно натоварване при зададена скорост на въртене, след който следват един или няколко периоди с постоянно натоварване, но при други скорости. Режимът се наблюдава при използване на двигатели, които в процеса на работа, променят броя на чифтовете полюси. Няма период на пауза и не се постига температурно равновесие.

□ Режим с непериодично изменение на натоварването и скоростта – тип D9 *(⇨ Фиг. 4.25)*

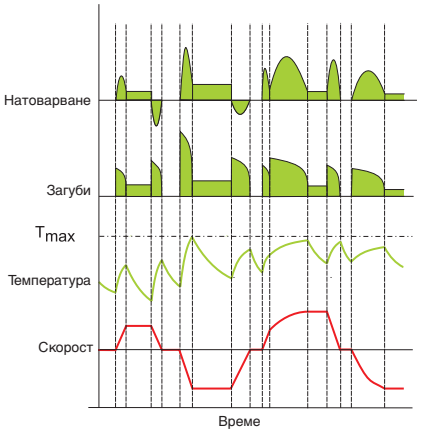
При него натоварването и скоростта се изменят непериодично в допустим работен диапазон. Този режим включва често претоварвания, които могат значително да надвишават пълното натоварване. Не се наблюдава установяване на температурата.

□ Отделни установени режими – тип D10 *(⇨ Фиг. 4.26)*

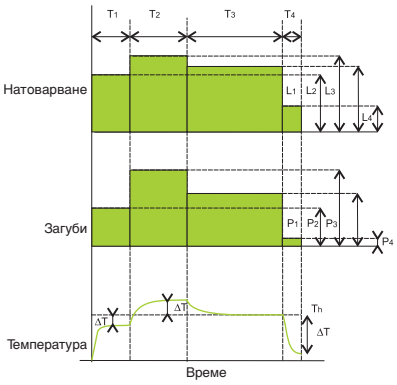
Той се характеризира с не повече от четири различни стойности на натоварването или еквивалентни големини на натоварването, всяка от които е с достатъчна продължителност, за да се постигне установена температура. Минималното натоварване в цикъла може да бъде нула (работа без натоварване или пауза).



↑ Фиг. 4.24 *Периодичен непрекъснат режим, с взаимосвързани изменения на скоростта и натоварването – тип D8*

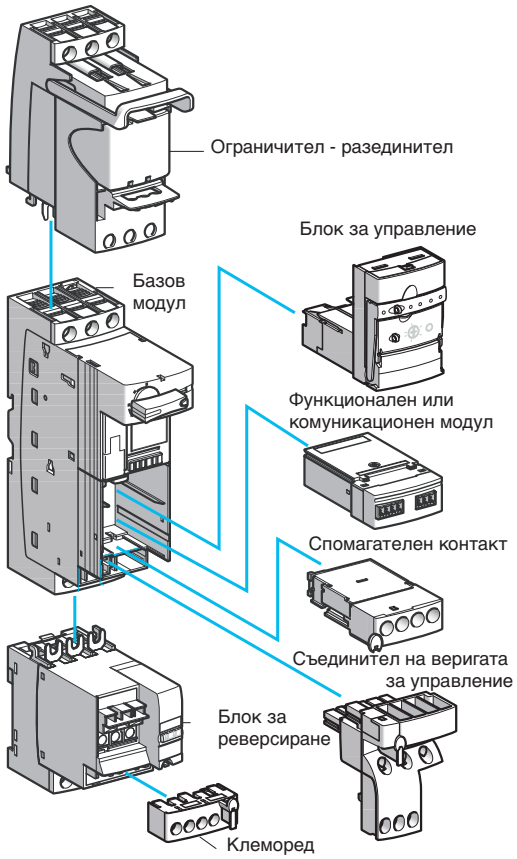


↑ Фиг. 4.25 *Режим с непериодично изменение на натоварването и скоростта – тип D9*

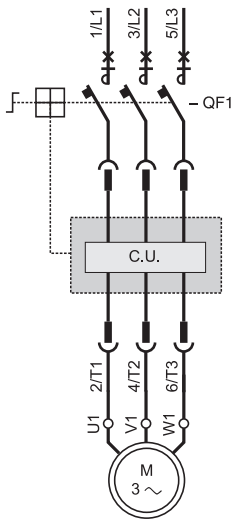


↑ Фиг. 4.26 *Отделни установени режими – тип D10*

4.3 Многофункционални пускатели на двигатели



↑ Фиг. 4.27 *Блокова схема на TeSys U*



↑ Фиг. 4.28 *Силова електрическа схема на TeSys U*

В отговор на растящите изисквания на потребителите конструкцията на пускател за асинхронен двигател съществено се измени през последните години.

Някои от по-важните технически изисквания са:

- изделията трябва да имат малки размери, за да се улесни монтажа и намалят габаритите на обзавеждането;
- да предлагат прости решения за координация;
- да имат минимален брой комплектуващи елементи;
- да позволяват бърз и прост монтаж, за да се намали разхода на труд;
- да изпълняват функции за автоматизация на достъпна цена;
- да дават възможност за връзка и включване към комуникационна шина.

През 1983 г., Schneider Electirc, пусна на пазара първата гамата изделия Telemecanique Integral, отчитаща тези технически изисквания. С един апарат, от тази серия, се реализират следните функции:

- изолирания;
- превключвания;
- защити от претоварване и къси съединения, с най-добри характеристики, предлагани на пазара (за подробности вж. раздела, отнасящ се до защита на двигатели).

В следващите години технологиите се усъвършенстваха и сега компанията Schneider Electric предлага изделията TeSys U. Те са върхови постижения в областта на комутационната апаратура.

Например, пускателят осигурява пълна координация на защита на двигатели, което означава, че устройството коректно изпълнява своите функции при пускане на двигателя, в случай на краткотрайно спадане на напрежението или прекъсване на захранването.

В сравнение със стандартните решения броят на комплектуващите елементи може да се намали до десет пъти, икономията за монтаж и място е съответно 60% и 40%.

На *(⇨ Фиг. 4.27)* е показана блокова схема на TeSys U, съдържаща някои характерни допълнителни устройства.

Както и Integral, устройствата от гамата TeSys U реализират основните функции за пускане на двигатели и освен това притежават система за диалогово режим и функции за превключване, които могат да се използват за изграждане на перспективни икономични схеми.

Пускателят TeSys U се състои от силов блок с функции за изключване, превключване и защита. Той е основният елемент, с който се решават разгледаните по-долу задачи.

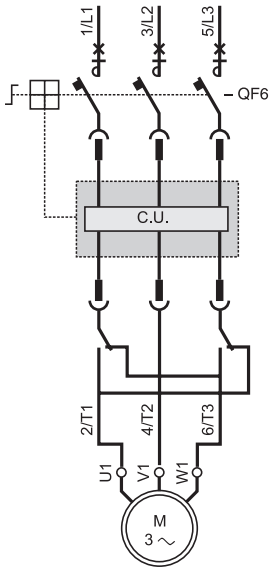
■ Движение в зададена посока

На *(⇨ Фиг. 4.28)* е показана силовата електрическа схема на TeSys U (силов блок). Тя включва всички компоненти, необходима за изключване, защита от къси съединения и претоварвания и комутация на захранването.

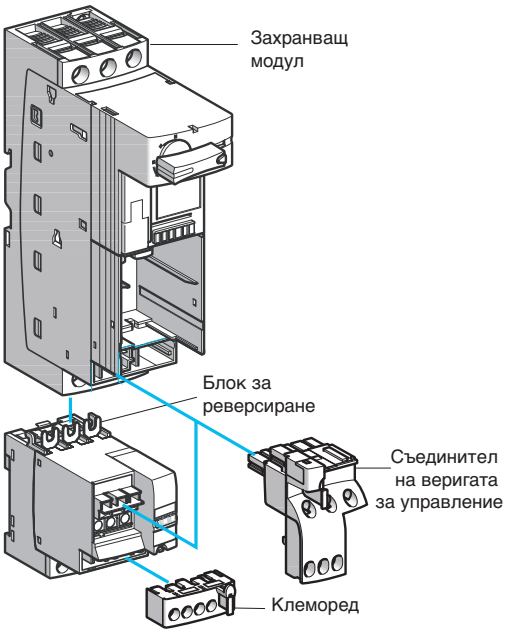
Силовият блок се използва за изпълнение на класически схеми без допълнителни компоненти:

-оперативна верига на управление на трифазен двигател с блокиране на пусковия бутон *(⇨ Фиг. 4.29)*;

-оперативна верига за управление с двупозиционен превключвател *(⇨ Фиг. 4.30)*.



Фиг. 4.31 *Силова верига на двигател, управляван с TeSys U с реверсивен модул*



Фиг. 4.32 *TeSys U с реверсивен модул*

Движение в зададена посока и реверсиране

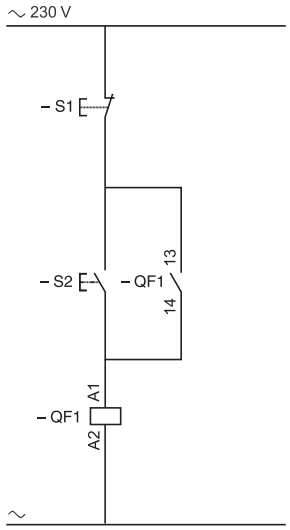
На *(⇨ Фиг. 4.31)* и *(⇨ Фиг. 4.32)* са показани съответно силовата верига и реверсивният модул, който може да бъде вграден в изделието или да се включи като допълнителен модул.

Силовият блок управлява процеса на пускане и спиране, осъществявайки защита срещу къси съединения и топлинна защита.

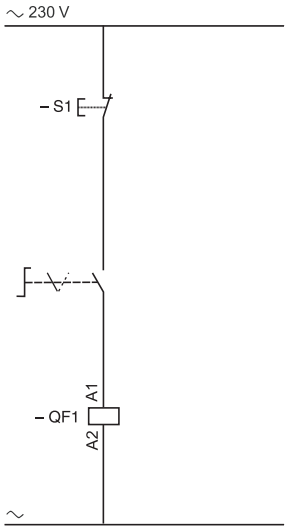
Блокът за реверсиране никога не се комутира под товар и затова не се наблюдава електрическо износване на контактите.

Освен това, няма необходимост от механична блокировка, защото електромагнитът притежава две устойчиви състояния, а към задвижването на реверсивния контакт няма достъп и затова неговото положение не може да се промени.

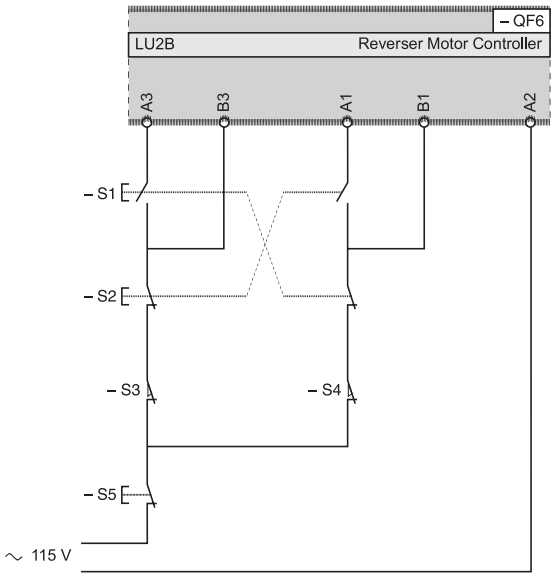
На *(⇨ Фиг. 4.33)* е дадена принципна електрическа схема на оперативна верига за управление на трифазен асинхронен двигател със самоблокиране на пусковия бутон и два крайни изключвателя.



Фиг. 4.29 *Оперативна верига за управление на трифазен двигател с блокиране на пусковия бутон*



Фиг. 4.30 *Оперативна верига за управление с двупозиционен превключвател*



Фиг. 4.33 *TeSys U с функция реверсиране*

4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

4.4 Защита на двигател
4.5 Загуби на мощност в двигателя и нагряване

4.4 Защита на двигател

Към всеки електрически двигател се предявяват работни ограничения. Неспазването на тези ограничения в крайна сметка предизвиква излизане на двигателя от строя и механично разрушаване на електрозадвижването, което води до престой на технологичното обзавеждане.

Тези потребители, които преобразуват електрическата енергия в механическа могат да бъдат причина за отказ.

- **Електрически отказ**
  - претоварването, падът на напрежение, краткотрайното спадане на напрежението и прекъсванията на фази водят до изменение на работния ток;
  - късите съединения, при които токът достига гранични стойности могат да доведат до излизане на потребителя от строя.
- **Механически отказ**
  - заклинването на ротора, еднократните или продължителни претоварвания, предизвикват увеличаване на тока на двигателя и опасно нагряване на неговите намотки.

Загубите от тези откази могат да бъдат големи. Към тях се отнасят загуби съответно от производство, суровини, ремонт на производственото обзавеждане, некачествено производство и поради забавяне на доставки. Икономическата необходимост от конкурентоспособност на бизнеса изисква намаляване на загубите от престой и брак.

Тези откази могат да имат сериозни последици за безопасността на хората, намиращи се в пряк или косвен контакт с двигателя.

За предотвратяване на такива откази или поне минимизиране на тяхното въздействане, а също и за предотвратяване на повреди в технологичното обзавеждане и нарушаване на електроснабдяването е необходима защита.

Тя изключва обзавеждането от захранващата мрежа чрез изключващо устройство, което реагира на изменение на електрически показатели (напрежение, ток и др.).

- **Технически изисквания към пусково устройство**

Всяко пусково устройство към трифазен двигател трябва да осигурява:

- защита от къси съединения, за откриване и изключване на свръхтокове – обикновено десет пъти над номиналния ток (RC). Тази операция трябва да се осъществява мигновено;
- защита от претоварване, реагираща на повишаване на тока до десет пъти RC. Тя прекъсва силовата верига, не позволява недопустимо нагряване на двигателя и разрушаване на изолационна система.

Тези защити се осигуряват от специални апарати, например предпазители със стопяема вложка, разединители и реле за претоварване или с интегрални апарати, обединяващи няколко вида защита.

Защитата от земно съединение, която се отнася за защита на хората и пожарна безопасност, не се включва към защитата на асинхронни двигатели, тъй като обикновено е част от електрическата мрежа, обзавеждането на цех или на цели сгради.

4.5 Загуби на мощност в двигателя и нагряване

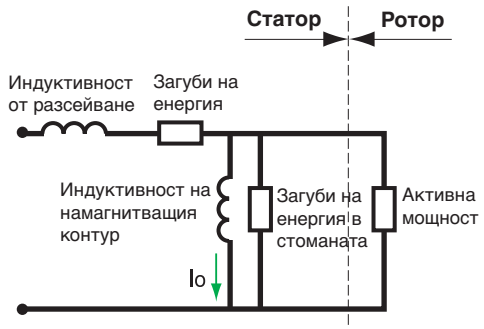
Еквивалентна схема на асинхронен двигател

Асинхронният двигател с накъсосъединен ротор може да бъде представен с еквивалентна схема *(⇨ Фиг. 4.34)*.
Част от електрическата енергия, подавана на статорната, се предава на вала като механична (активна) мощност.

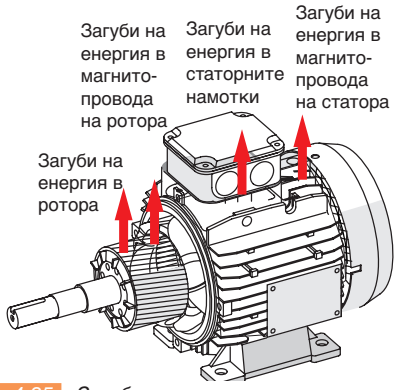
4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

4.5 Загуби на мощност в двигателя и нагряване

4.6 Причини за неизправности в двигателя и последици от тях



↑ Фиг. 4.34 *Еквивалентна схема на асинхронен двигател*



↑ Фиг. 4.35 *Загуби в асинхронен двигател*

Останалата част, се отделя в двигателя под формата на топлина *(⇨ Фиг. 4.35)*:
- загуби на енергия в статорните намотки (Джаулова топлина);
- загуби на енергия в ротора от индуктирания ток в ротора (Джаулова топлина) (вж. раздела за двигатели);,
- загуби в магнитопровода на статора и ротора.

Тези загуби зависят от условията на експлоатация *(вж. раздела за пускане на двигатели)* и предизвикват нагряване на машината. Неизправностите, породени от натоварването или от захранващото напрежение, могат да бъдат причина за опасно прегряване.

■ Класове на изолация

По-голяма част от електроизолационната система на промишлените машини притежават клас на изолация F *(⇨ Фиг. 4.36)*.

Класът на изолация F допуска прегряване (разликата между температурите на двигателя и на околната среда), измерено по метода на съпротивление до 105°C и максимални температури в най-загретите точки в двигател до 155°C (виж IEC 85 и IEC 34-1). За специални случаи, особено при високи температури и влажност, е най-подходящ клас на изолация H.

Висококачествените двигатели са конструирани така, че максималното прегряване да бъде 80°C при номинални работни условия (температура на околната среда 40°C, надморска височина под 1000 m, номинални напрежение, честотата и натоварване).

При превишаване на тези стойности се наблюдава намаляване на номиналните изчислени параметри на двигателя.

За клас на изолация F разполагаемият топлинен запас е 25°C за експлоатация при отклонение от номиналните условия на работа.

4.6 Причини за неизправности в двигателя и последици от тях

	Δt, °C (прегряване)	T_{max}, °C
Клас B	80	125
Клас F	105	155
Клас H	125	180

↑ Фиг. 4.38 *Класове на изолация*

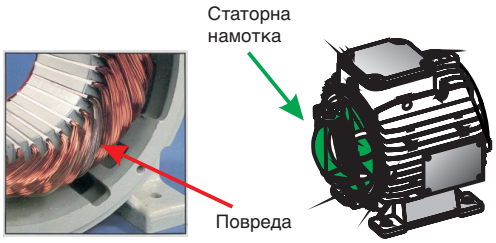
В двигателите се разглеждат два типа неизправности: неизправности, предизвикани от аварийни режими в двигателя и неизправнсти, предизвикани от външни причини.

- **Аварийни режими в двигателя**
  - еднофазно късо съединение към земя;
  - междуфазно късо съединение;
  - междувитково късо съединение;
  - прегряване на намотка;
  - счупени пръти в накъсосъединения ротор;
  - проблеми в намотките;
  - други.
- **Аварийни режими, предизвикани от външни причини**

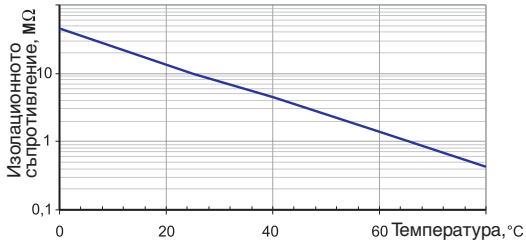
Източникът за тези аварийни режими е извън двигателя, но предизвиканите от него режими могат да повредят машината.

□ **Отказ в машината може да бъде предизвикан от:**

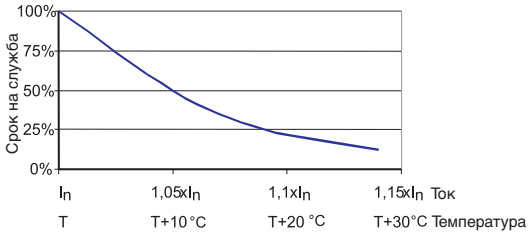
- **захранващия източник**
  - изключване на захранването;
  - неправилно редуване или несиметрия на фазите;
  - пад на напрежението;
  - пренапрежение;
  - други причини.
- **работните условия**
  - претоварване;
  - недопустим брой пускания или спирания;
  - нарушаване на пусковия процес;
  - твърде голям съпротивителен момент;
  - други причини.



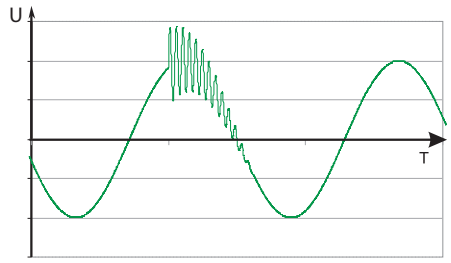
↑ Фиг. 4.37 *Намотки на трифазен асинхронен двигател – най-чувствителни към повреди и откази в работата*



↑ Фиг. 4.38 *Зависимост на изолационното съпротивление от температурата*



↑ Фиг. 4.39 *Зависимост на срока на служба от претоварването и прегряването*



↑ Фиг. 4.40 *Примери за пренапрежение*

- **неправилния механически монтаж**
  - несъосност;
  - дисбаланс;
  - механично напрежение на вала;
  - други причини.

Повреди в двигателя

Повреди в статорната или роторната намотка

След изпълнение на статорната намотка на асинхронния двигател с меден проводник тя се импрегнира. Нарушаването на изолацията може да предизвика постоянно късо съединение между фаза и корпус, между две или три фази или между намотките в една фаза *(⇨ Фиг. 4.37)*. Причината може да бъде електрическа (коронни разряди, пренапрежение), топлинна (прегряване) или механическа (вибрация, електродинамични въздействия върху проводниците).

Нарушаване на изолация може да настъпи и в роторната намотка, което да доведе до същия резултат – повреда на двигателя.

Най-често срещаната причина за повреди в двигателя е прегряването. Прегряването предизвиква увеличаване на отделената мощност в намотките и на тяхната температура.

Кривата *(⇨ Фиг. 4.38)*, която се предоставя от голям брой производители на електрически двигатели, показва зависимостта на изолационното съпротивление от температурата: с увеличаване на температурата съпротивлението на изолацията намалява. В този случай срокът на служба на намотката и на този на двигателя съществено се намаляват.

Кривата на *(⇨ Фиг. 4.39)* показва, че повишаването на тока в двигателя с 5% предизвиква нарастване на температурата с 10 °C и намалява два пъти срока на служба на намотките.

Защитата от претоварване е необходима, за да се предотврати прегряването и намали риска от отказ в двигателя поради нарушена изолация на намотките.

Повреди, предизвикани от външни причини

Захранващ източник

Пренапрежение

Всяко напрежение, подавано на входа на електротехническото обзавеждане, което има импулсен характер, надвишаващ ограниченията, определени от стандарт или спецификация *(вж. Cahiers Techniques Schneider-Electric 151 and 179)*.

Временните или постоянните пренапрежения могат да бъдат с различен произход *(⇨ Фиг. 4.40)*:
- атмосферни (мълнии);
- електростатични разряди;
- работа на рекуператори, свързани към един и същ захранващ източник;
- други причини.

На *(⇨ Фиг. 4.41)* са представени основни характеристики на пренапреженията:

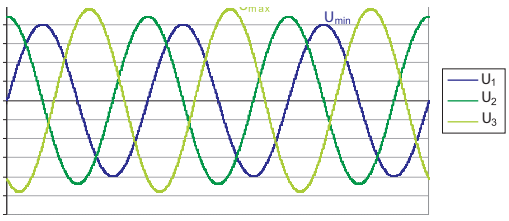
Смущенията, които постъпват по захранващата мрежа могат да бъдат два вида:
- синфазен режим - между активните проводници и земята;
- диференциален режим - между активните проводници.

В повечето случаи пренапрежението предизвиква пробив в изолацията на намотката на двигателя, който разрушава машината.

4.6 Причини за неизправности в двигателя и последици от тях

Вид пренапре-жение	Продължителност	Скорост на нарастване (честота)	Затихване
Атмосферно	Много кратка (1-1µs)	Много висока (1000 kV/µs)	Силно
Електростатичен разряд	Много кратка (ns)	Висока (10 MHz)	Много силно
Експлоатационно	Кратка (1 ms)	Средна (от 1 до 200 kHz)	Средно
Промишлена честота	Продължителна (над 1 s)	Честота на мрежата	Нулево

↑ *Фиг. 4.41* *Характеристики на видовете пренапрежения*



↑ *Фиг. 4.42* *Несиметрия на 3-фазното напрежение*

Несиметрия на напрежението

Една 3-фазна система е несиметрична, когато напреженията имат различна амплитуда и/или различно фазово отместване от 120°.

Несиметрията може да бъде предизвикана от прекъсване на фазов проводник, от еднофазни товари в непосредствена близост или от самия източник *(⇨ Фиг. 4.42)*.

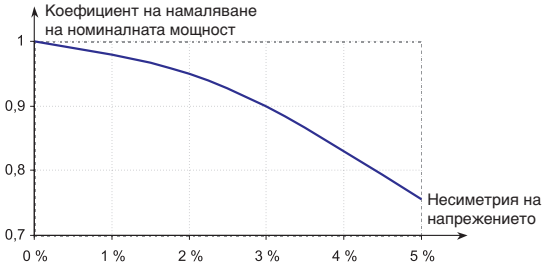
Несиметрията се изчислява по следната формула:

$$\text{Несиметрия, \%} = 100 \times \text{MAX}\left(\frac{U_{max} - U_{moy}}{U_{moy}}, \frac{U_{moy} - U_{min}}{U_{moy}}\right),$$

където $\mathbf{U_{max}}$ е най-високото напрежение;
$\mathbf{U_{min}}$ – най-ниското напрежение,

$$U_{moy} = \frac{(U_1 + U_2 + U_3)}{3}.$$

В резултат на несиметрията на захранващото напрежение се увеличава тока, необходим за създаване на съответния въртящ момент и следователно двигателят прегрява *(⇨ Фиг. 4.43)*.

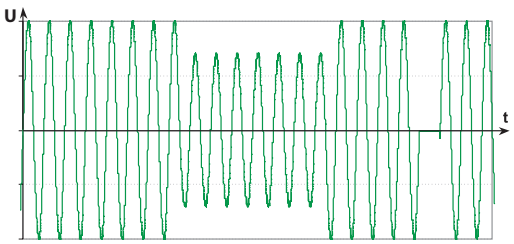


↑ *Фиг. 4.44* *Влошаване параметрите на двигателя в зависимост от несиметрията на захранващото напрежение*

Стойност на несиметрията, %	0	2	3,5	5
Статорен ток, A	I_n	1,01 x I_n	1,04 x I_n	1,075 x I_n
Увеличаване на загубите, %	0	4	12,5	25
Нагряване, %	100	105	114	128

↑ *Фиг. 4.43* *Влияние на несиметрията на напрежението върху работните характеристики на двигателя*

Стандартът IEC 60034-26 (БДС EN 60034-26:2007 Въртящи се електрически машини. Част 26: Влияния на несиметрични напрежения върху работните характеристики на трифазни индукционни двигатели с кафезен ротор) съдържа графика, показваща влошаване характеристиките на двигателя при несиметрия на напрежението, която може да се използва, когато тези процеси съществуват или могат да се появят в захранването на машината. Коефициентът на намаляване на номиналната мощност се използва, за да се отчете несиметрията или за да се намали работният ток на двигателя спрямо номиналния ток *(⇨ Фиг. 4.44)*.



↑ *Фиг. 4.45* *Пример за пад и кратковременно прекъсване на напрежение*

Пад и краткотрайно прекъсване на напрежението

Падът на напрежението е внезапно намаляване на напрежението на захранващия източник *(⇨ Фиг. 4.45)*.

Падът на напрежение (БДС EN 50160:2003 Характеристики на напрежението на електрическата енергия, доставяна от обществените разпределителни електрически системи) се разглежда в диапазона от 1 до 90% от номиналното напрежение, за половин период при честота 50Hz, т.е. с продължителност от 10 ms до 1 min.

4.6 Причини за неизправности в двигателя и последици от тях

В съответствие с определението, посочено в този стандарт краткотрайно прекъсване на напрежението е намаляване на напрежението под 90% от номиналното ниво, за време по-малко от 3 min. Ако прекъсването е над 3 min то се възприема като продължително прекъсване на напрежението.
Под микропад или микропрекъсване на напрежение се разбира отсъствия на напрежение, например в продължение на 1 ms.
Причина за изменение на напрежението могат да бъдат както случайни външни фактори (повреди в захранващата мрежа или късо съединение) и процеси, имащи непосредствено отношение към производствената дейност (включване на големи товари, например мощни двигатели или трансформатори). Последиците, предизвикани от посочените фактори могат да бъдат съществени за работата на двигателя.

- **Влияния върху асинхронните двигатели**

При пад на напрежение в асинхронен двигател се наблюдава рязко намаляване на въртящия момент (той е пропорционален на квадрата на напрежението), в резултат честотата на въртене на двигателя намалява в зависимост от големината и продължителността на пада на напрежение, инерционният момент на въртящите се маси и механичната характеристика при даден товар. Ако създавания от двигателя въртящ момент е по-малък от съпротивителния, двигателят преминава през критичния момент и спира. След възстановяване на захранването, при повторно пускане на двигателя, се наблюдава ударен ток, съпоставим с пусковия ток на машината.
Ако в производствения процес се използват голям брой двигатели, едновременното повторно пускане на тези двигатели може да доведе до пад на напрежение в захранващия източник. Този факт предизвиква удължаване на времето, през което няма напрежение и може да затрудни повторното пускане на двигателите (твърде продължително повторно пускане, съпроводено с прегряване) или невъзможност за пускане (въртящият момент на задвижващия вал е по-малък от съпротивителния).
Опитът за бързо повторно включване на асинхронен двигател (около 150 ms), намиращ се в състояние на спиране, без предприемане на съответните предпазни мерки, може да доведе до това, че напрежението на мрежата и е.д.н. на асинхронния двигател да се окажат в противофаза. В този случай ударният ток може трикратно да надвиши пусковия (15 – 20 пъти номиналия ток) (*вж. Cahier Technique Schneider Electric* n°161).

Посочените кратковременни прекъсвания на захранващото напрежение и полученият в резултат на това пад на напрежение могат да имат редица отрицателни последици за двигателя:
- прегряване и електродинамични напрежения в намотките, които могат да разрушат изолацията;
- ударна работа на двигателя с недопустими механични натоварвания на свързаните елементи или износване и счупване.

Освен това, скокът на напрежението може да повлияе на работата на други компоненти в частност на контакторите (износване или заваряване на контакти) и заработване на предпазните устройства със спиране на производствената линия или цеха.

- **Влияния върху синхронните двигатели**

Тези въздействия са подобни на въздействията върху асинхронните двигатели, въпреки че синхронните двигатели могат да издържат на по-големи стойности на пада на напрежението (над 50% и повече) без спиране поради по-големия инерционен момент и по-слабото влияние на захранващото напрежение върху въртящия момент.
Когато падът е голям, двигателят спира и е необходимо да са повтори целия пусков процес, който е достатъчно сложен и продължителен.

• **Влияние върху двигатели, захранвани от честотен преобразувател**

Падът на напрежение в честотни преобразувател може да предизвика следните основни проблеми:

- невъзможност да се захрани двигателя с необходимото напрежение (загуба на въртящ момент, бавно развъртане);
- ненормално функциониране на веригите за управление, захранвани от мрежата;
- възможно претоварване по ток при възстановяване на захранващото напрежение, поради зареждане на филтровите кондензатори, вградени в честотния преобразувател;
- претоварване и несиметрия на тока в мрежата при отпадане на фаза.

Честотните преобразуватели обикновено преминават в авариен режим, когато падът на напрежение надхвърли 15%.

Хармонични съставящи

Хармоничните съставящи оказват неблагоприятно влияние върху двигателите за променлив ток.

Нелинейните товари, включени към мрежата, предизвикат несинусоидален ток и изкривяване формата на напрежението.

Това напрежение може да бъде разложено на сума от синусоидални съставящи

$$y(t) = Y_0 + \sum_{h=1}^{\infty} Y_h . \sin(h.\omega.t + \varphi_h)$$

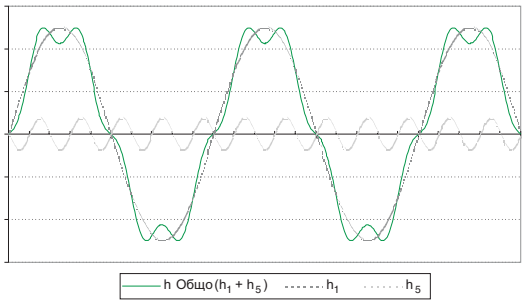
където Y_0 е постоянната съставяща;

h – хармоничният коефициент;

ω – кръговата честота $(2.\pi.f)$;

Y_h – амплитудата на h-та хармонична съставяща;

Y_1 – основната (първата хармонична съставяща).



↑ *Фиг. 4.46* *Напрежение с пет хармонични съставящи*

Изкривяването на сигнала се измерва със сумарния коефициент на изкривяване на хармонични съставящи (THD).

$$DHT(\%) = 100 \times \sum_{h=2}^{\infty} \left(\frac{Y_h}{Y_1} \right)^2$$

При стойности на този коефициент над 5% хармоничните съставящи изкривяват формата на напрежението на електрическата мрежа и могат да породят проблеми *(⇨ Фиг. 4.46)*.

Електронните силови апарати (честотни преобразуватели, източници за непрекъсваемо захранване), са основните източници, създаващи изкривявания в захранващата мрежа. Двигателят може да бъде източник на трета хармонична съставяща.

Хармоничните съставящи увеличават загубите на двигателите от вихрови токове и предизвикват допълнително нагряване. Те също могат да предизвикат повишени пулсации на въртящия момент (вибрации, умора на материала, шумове и да ограничат използването на двигателя с пълно натоварване).

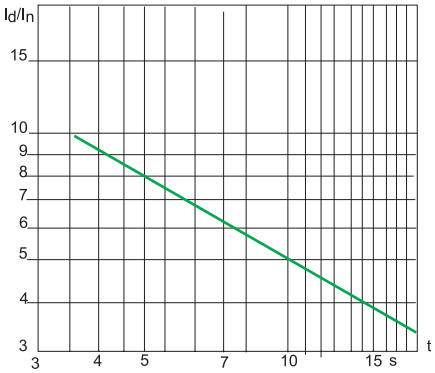
Аварийни режими в работата на двигателя, свързани с външни причини

Пускане на двигателя: продължително пускане и/или често пускане

Пусковият процес се развива за време (t_D) , за което двигателят достига номинална скорост на въртене.

Времето (t_D), в s, зависи от съпротивителния (T_r) и въртящия момент (T_m).

4.6 Причини за неизправности в двигателя и последици от тях



↑ Фиг. 4.47 *Зависимост на времето на пускане от съотношението на пусковия към номинални ток*

$$t_D = \frac{\pi}{30}.J.\frac{N}{T_m - T_r}$$

където J е приведеният инерционен момент;
N – честотата на въртене на ротора, tr/s.

При отчитане на вътрешните характеристики на двигателя той може да издържи на определен брой пускания, които обикновено се посочват от завода-производител (брой на пусканията в час).

Освен това, за двигателя се посочва време за пускане в зависимост от пусковия ток *(⇨ Фиг. 4.47)*.

□ Заклинване на ротора

Заклинването на ротора, предизвикано от механична причина води до рязко увеличаване на тока, например до стойност на пускови ток. В резултат на това се получава нагряване, което е много по-силно в сравнение с други случаи, защото загубите в ротора остават максимални в продължение на времето на заклинване на ротора. Причината е отсъствието на охлаждане на машината, което е свързано с въртенето на двигателя (самовентилация).
Температурата на ротора може да се повиши до 350°C.

□ Претоварване (малко претоварване на двигателя)

Двигателят се претоварва малко при увеличаване на съпротивителния момент или пада на напрежението в мрежата (над 10% от номиналното напрежение). В резултат се повишава тока на двигателя, което предизвиква нагряване, намаляващо срока на служба на двигателя. То е опасно за машината при кратковременна или продължителна работа.

■ Заключение

В заключение, на *(⇨ Фиг. 4.48)*, са дадени възможните причини за всеки тип неизправност, възможните ефекти и неизбежните последици, ако не се предвиди съответна защита.
В условията на експлоатация, на двигателите се монтират два типа защити:

- защита срещу късо съединение;
- защита срещу претоварване.

Неизправности	Причини	Възможни ефекти	Влияния върху двигателя
Късо съединение	-междуфазово късо съединение; -късо съединение към земя; -междувитково късо съединение	-ударен ток; -електродинамични сили върху проводниците	-повреда на намотките
Рязко повишаване на напрежението	-мълния; -електростатичен разряд; -изключване на товара.	-пробив в изолационната система на намотките	-повреда на намотките поради нарушена изолация
Несиметрия на напрежението	-отпадане на фаза; -еднофазно натоварване на двигателя;	-намаляване на въртящия момент; -повишаване на загубите.	-прегряване (*)
Кратковременно прекъсване и пад на напрежение	-нестабилност в захранващото напрежение на мрежата; -включване на големи товари.	-намаляване на допустимия въртящ момент -повишаване на загубите.	-прегряване (*)
Хармонични съставящи	-работа на захранващата мрежа с нелинейни товари	-намаляване на допустимия въртящ момент -повишаване на загубите	-прегряване (*)
Продължително пускане	-много висок съпротивителен момент; -пад на напрежение.	-увеличено време за пускане.	-прегряване (*)
Заклинване	-механични	-претоварване по ток	-прегряване (*)
Претоварване	-увеличен съпротивителен момент; -пад на напрежение.	-нарастване на работния ток	-прегряване (*)
(*) В продължителен или кратковременен режим на работа, в зависимост от продължителността и/или броя на неизправностите, се развива късо съединение на намотката и излизане на двигателя от строя.			

↑ Фиг. 4.48 *Възможни неизправности в двигателя – причини и следствия*

4. Пускане и защита на двигатели за променлив ток

Устройства за управление на електродвигатели

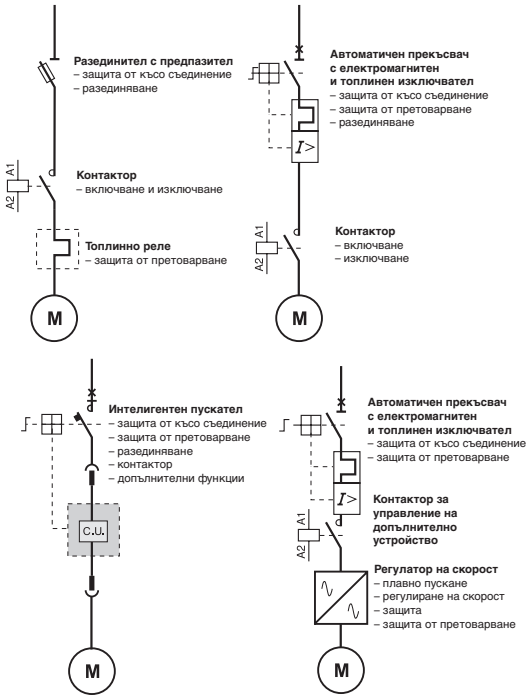
- Необходими функции, изпълнявани от устройствата за управление на електрически двигатели
- Избор на функции, изпълнявани от устройствата за пускане и регулиране скоростта на въртене на електрически двигатели

5.1 Увод — 98
5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели — 98
5.3 Конструкция и принцип на работа на контактор — 108
5.4 Избор на контактор — 110
5.5 Моторни пускатели и координация — 111
5.6 Интелигентни пускатели — 116
5.7 Честотни регулатори — 119
5.8 Структурни компоненти и електронни скоростни контролери — 123
5.9 Силови компоненти — 124
5.10 Регулатор на напрежение за постояннотокови двигатели — 128
5.11 Честотни преобразуватели за асинхронни двигатели — 130
5.12 Регулатор на напрежение за асинхронни двигатели — 136
5.13 Регулатор на скорост за синхронни двигатели — 137
5.14 Регулатор за стъпкови двигатели — 138
5.15 Допълнителни функции на скоростни регулатори — 139
5.16 Скоростни регулатори и качество на електрическата енергия — 141
5.17 Скоростни регулатори, икономия на електрическа енергия и техническо обслужване — 144
5.18 Таблица за избор на устройства за управление на двигател — 145

5 - Устройства за управление на електродвигатели

5.1 Увод
5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели

5.1 Увод



↑ *Фиг. 5.1* *Различни схеми за изграждане на устройства за управление на електрически двигатели, изпълняващи основни функции и техни комбинации*

Устройствата за управление на електродвигатели реализират четири основни функции:
- галванично разделяне на товара от захранващата верига;
- защита на електродвигателя от късо съединение;
- защита на електродвигателя от топлинно претоварване;
- управление на процесите пускане и спиране.

Всяко устройство за управление на електродвигателя може да изпълнява допълнителни функции в зависимост от изискванията на технологичния процес. Тези функции могат да се реализират както в силовата верига:
- управление честотата на въртене, плавно пускане, реверсиране и др.;

така и във веригата за управление:
- спомагателни контакти, времезакъснение, комуникация и др.

В зависимост от конструкцията на устройствата за управление, неговите функции могат да бъдат реализирани чрез използване на различни схеми *(⇨ Фиг. 5.1)*.

Честотните преобразуватели и устройствата за плавно пускане са интелигентни устройства за управление на електрически двигатели и се разглеждат в *т.5.7*.

Пускателите за специални електрически двигатели, например синхронни и стъпкови също се разглеждат в този раздел, тъй като използват сходни принципи на работа.

В *т.5.16* и *5.17* се обсъждат въпроси за баланс на мощността, икономия на електрическа енергия и други въпроси, свързани с използване на устройства за управление на електрически двигатели.

5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели

■ Устройства за разделяне

Устройствата за разделяне и превключване (разединители) се монтират в началото на всяка верига за осигуряване на безопасност (вж. стандартите NF C15-100, БДС HD 60364-5:2008 Електрически уредби за ниско напрежение. Част 5-53: Избор и въвеждане в действие на електрически съоръжения. Изолация, превключвания и контрол). Монтажът на тези устройства не е задължителен, но се препоръчва тяхното използване във всяка верига за управление на електродвигателя, за осигуряване на неговото надеждно изолиране от захранващия източник в изключено състояние. Това позволява да се осигури безопасност на персонала при извършване на ремонтни дейности, пусково-наладъчни работи или промени в захранващите вериги. Разединителите трябва да осигуряват следните функции:
- едновременно изключване на всички вериги на двигателя;
- безопасна междина на разединените контакти в зависимост от нивото на напрежение;
- блокировка за несанкционирано включване;
- видимо разединяване на контакти (терминът „видимо разединяване“ означава, че операторът може визуално да контролира веригата);
- освен видимо разединяване, информация за изключеното състояние може да бъде получена и от състоянието на индикатора за положение; в този случай стандартът допуска използването на индикатор само ако той показва изключено състояние с необходимата междина. Заводите-производители предлагат различни изделия с посочените функции. Обикновено едно устройство осигурява функциите изключване и защита от късо съединение (например предпазител/разединител).

Разединителят осигурява гарантирано изключване на веригата и отсъствие на възможност за несанкционирано включване. Разединителят трябва не само да осигури гарантирано изключване, но и да издържа големи кратковременни токове и токове в момента на прекъсване на веригата.

■ Защита

□ Защита от късо съединение

• Общи положения

Късото съединение е непосредствения контакт между две точки с различен електрически потенциал:

- *променлив ток:* контакт между фази, контакт между фаза-неутрала, контакт между фаза-земя или контакт между навивки на фазова намотка;
- *постоянен ток:* контакт между два полюса или земя и полюс, изолиран от нея.

Причините за късо съединение са няколко: повреда в лаковата изолация на проводника, повредени ли оголени проводници или кабели, странични метални предмети, токопроводими замърсявания (прах, влага и др.), просмукване на вода или други токопроводими течности, неправилно свързване при монтаж или обслужване.

Късото предизвиква внезапен ударен ток, който може да надвиши стойността на работния ток стотици пъти в продължение на няколко ms. Късото съединение може да има разрушително действие и сериозно да повреди технологичното обзавеждане. То се характеризира с две въздействия.

• Топлинно

Топлинният процес се характеризира с енергията, която се отделя в електрическата верига, през която протича тока на късо съединение I, за време t, в съответствие с формулата I^2t и се представя с параметъра A^2s. Това предизвиква:

- разтопяване на контактите;
- повреда в топлинните елементи на биметално реле, ако типът на координация е 1;
- образуване на дъга;
- изгаряне на изолационната система;
- изгаряне на обзавеждането.

• Електродинамично

Електродинамичното явление между проводниците създава интензивно механично напрежение при протичане на ток и предизвиква:

- повреда на проводниците, използвани в намотките на двигателя;
- разрушване на изолационните опори (изолаторите) на проводниците;
- деформиране на контактите (в контакторите), които могат да се разтопят и заварят.

Тези явления са опасни както за обзавеждането, така и за персонала. Затова задължително се осигурява защита срещу къси съединения с помощта на устройства, които могат да реагират на неизправността и бързо да прекъснат късото съединение преди токът да е достигнал максималната стойност.

За тази цел обикновено се използват два типа защитни устройства:

- стопяеми предпазители, които при разтопяване прекъсват веригата и трябва да бъдат заменени след това;
- електромагнитни изключватели, които автоматично прекъсват веригата и изискват само повторно включване.

Защитата срещу къси съединения може да бъде вградена в многофункционални апарати (например, контактори и пускатели на двигатели).

• Термини, определения и характеристики

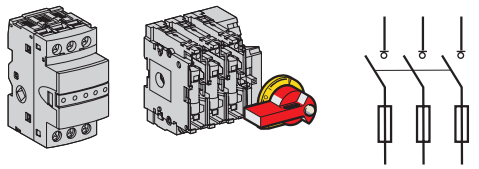
Към основните термини и определения на защитните устройства срещу късо съединение се отнасят:

5 - Устройства за управление на електродвигатели

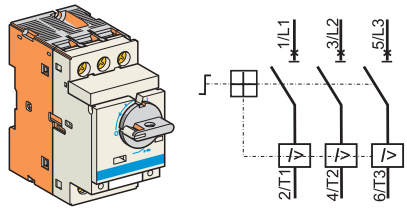
5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели

Изключвателна възможност (BC)	Cosφ	Включвателна възможност (MC)
4.5kA < PC < 6kA	0.7	1.5 PC
6kA < PC < 10kA	0.5	1.7 PC
10kA < PC < 20kA	0.3	2 PC
20kA < PC < 50kA	0.25	2.1 PC
50kA < PC	0.2	2.2 PC

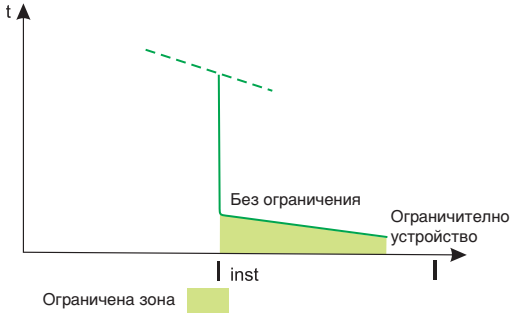
↑ *Фиг. 5.2* *Изключвателна и включвателна възможност за прекъсвачи, съгласно IEC 60947-2*



↑ *Фиг. 5.3* *Външен вид на разединител 32 и 125 A с вградени стопяеми предпазители (LS1-D32 и GS1-K4, Schneider Electric)*



↑ *Фиг. 5.4* *Външен вид на магнитен прекъсвач GV2-L и схематично означение*



↑ *Фиг. 5.5* *Крива на изключване на магнитен прекъсвач*

- изключвателна възможност: най-голямата стойност на изчисления ток на късо съединение, което устройството може да изключи при зададено напрежение;
- включвателна възможност: най-голямата стойност на тока, която устройството може да комутира при номинално напрежение и зададени условия. Стойността на изключвателната възможност е k-пъти по-голяма от включвателната *(⇨ Фиг. 5.2)*.

• **Стопяеми предпазители**

Стопяемите предпазители изпълняват междуфазна (еднофазна) защита с висока изключвателна възможност при малки масогабаритни показатели. Те се характеризират с праговата величина I^2t и стойността на електродинамичното импулсно натоварване I_{peak}.
Предпазителите се монтират на:
- специални основи, наричани държатели;
- или в комбиниран комутационен апарат *(⇨ Фиг. 5.3)*.

Трябва да се отбележи, че индикаторите за заработване на стопяеми предпазители могат да бъдат включени към многополюсно включващо устройство (обикновено контактор за управление на двигателя), за предотвратяване на еднофазната работа при тяхното разтопяване. За защита на двигатели трябва да се използват предпазители от типа aM. Особеното при тях, е че те издържат на намагнитващия ток на двигателя при подаване на захранване. Те не са предназначени за защита от претоварване (за разлика от предпазителите gG) и затова в силовата верига на двигателя трябва да се включи реле за защита от претоварване. Като правило тяхната номинална характеристика трябва да се разполага над характеристиката при пълно натоварване на защитавания двигател.

• **Магнитни прекъсвачи**

Тези прекъсвачи *(⇨ Фиг. 5.4)* защитават електрическите уредби от късо съединение в границите на изключвателната възможност чрез електромагнитни механизми (по един на всяка фаза).
Електромагнитният изключвател осигурява изключване на всички полюси едновременно. Заработването на изключвател към една фаза е достатъчно за изключване контактите на всички полюси.
При малки токове на късо съединение такива прекъсвачи работят по-бързо от стопяемите предпазители.
Тази защита съответства на стандарт IEC 60947-2 (БДС EN 60947-2: 2006 Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 2: Автоматични прекъсвачи).
Съществуват три условия за ефективно изключване на тока на късо съединение:
- ранно откриване на аварийния ток;
- бързо отваряне на контактите;
- изключване тока на късо съединение.

Голяма част от електромагнитните изключватели за защита на електродвигателите са токоограничаващи устройства и по такъв начин осигуряват координация на защитата *(⇨ Фиг. 5.5)* . При тях времето за изключване е такова, че не позволява тока на късо съединение да достигне максимална стойност.
Това ограничава топлинното и електродинамично въздействие и подобрява защитата на проводниците и обзавеждането.

■ Защита от претоварване

• **Общи сведения**

Претоварването е най-често срещания авариен режим при двигателите. То се проявява в увеличаване на тока, протичащ през двигателя и топлинно въздействие. Класът на изолация определя нормалното загряване на двигателя при температура на околната среда 40°C. Всяко отклонение от дадените експлоатационни граници предизвиква намаляване на срока на служба поради преждевременно стареене на изолационния материал.

5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели

Необходимо е да се отбележи, че претоварванията, които предизвикват прегряване на машината, не оказват незабавно вредно въздействие, ако са кратковременни и редки. Те невинаги предизвикват спиране на двигателя, но е необходимо бързо да се възстановят нормалните условия.
Необходимостта от съответна защита срещу претоварване се налага поради:
- удължаване срока на служба на двигателите чрез предотвратяване на тяхната работа в условията на прегряване;
- осигуряване на непрекъснатост на производствения процес чрез:
  - предотвратяване на внезапни спирания на двигателите;
  - след заработване на защитата, следващото пускане на двигателя става при най-благоприятни условия за безопасност на хората и технологичното обзавеждане.

Фактически работните условия (температура, височина над морското ниво и стандартния режим на работа) са необходими за определяне и избор на работните параметри на двигателя (мощност, ток) и за избор на съответна защита срещу претоварване *(⇨ Фиг. 5.6)*. Работните стойности се предоставят от завода-производител на двигатели.
В зависимост от необходимата степен на защита, защитата от претоварване може да се реализира чрез:
- реле за претоварване, топлинно (биметално) или електронно реле, което осигурява защита от:
  - претоварване чрез контролиране на тока, протичащ във всяка фаза на двигателя;
  - несиметрия или прекъсване на фаза чрез диференциално устройство;
- реле за контролиране на температурата с терморезистори с положителен температурен коефициент на съпротивление (PTC);
- реле за въртящ момент;
- многофункциално реле.

Защитното реле не прекъсва силовата верига. То е проектиране за изключване на комутационен апарат с необходимата изключвателна възможност за аварийния ток, най-често контактор. За тази цел защитното реле е конструирано с авариен контакт NC, който се свързва последователно с бобината на контактора.

Надморска височина, m	Температура на околната среда						
	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
1000	1.07	1.04	1.00	0.96	0.92	0.87	0.82
1500	1.04	1.01	0.97	0.93	0.89	0.84	0.79
2000	1.01	0.98	0.94	0.90	0.86	0.82	0.77
2500	097	0.95	0.91	0.87	0.84	0.79	0.75
3000	0.93	0.91	0.87	0.84	0.80	0.76	0.71
3500	0.89	0.86	0.83	0.80	0.76	0.72	0.68
4000	0.83	0.81	0.78	0.75	0.72	0.68	0.64

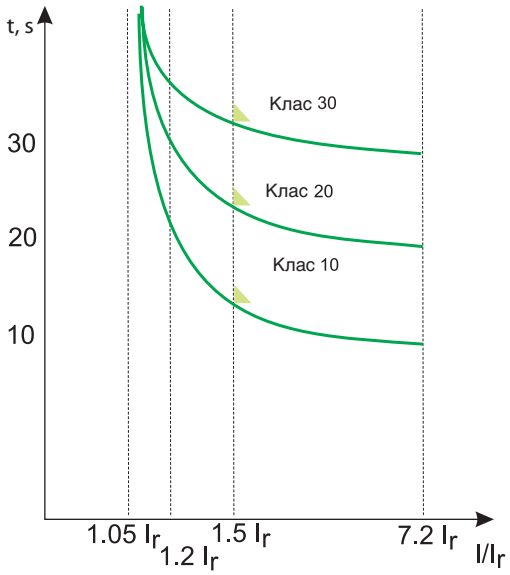
Стойностите в таблицата са ориентировъчни, тъй като коефициентът на влошаване на номиналните параметри на двигателя зависи от размера, класа на изолацията, конструкцията (естествено или принудително охлаждане), степен на защита (IP23, IP44) и др., и се изменя в зависимост от производителя.

Забележка: стойността на номиналната мощност се посочва върху табелка с данни на двигателя и се определя от производителя за режим на непрекъсната работа D1 (постоянно натоварване и скорост с достатъчна продължителност за постигане на топлинно равновесие).

Съществуват и други стандартни режим, като временния режим D2 и периодичните кратковременни режими D3, D4 и D5, за всеки от които производителят задава работна мощност, различна от номиналната.

↑ *Фиг. 5.6* *Коефициент на намаляване номиналните параметри на двигателя в зависимост от условията на работа*

5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели



↑ Фиг. 5.7 *Времетокови характеристики на реле за претоварване*

- **Реле за претоварване (топлинно или електронно)**
- **Общи сведения**

Тези релета защитават двигателите от претоварване, но не трябва да реагират при кратковременно претоварване при пускане. Те заработват само тогава, когато пускането на машината продължи прекалено дълго.

В зависимост от областта на приложение, времето за пускане на двигателя може да бъде от няколко секунди (пускане на празен ход, малък съпротивителен момент и др.) до няколко десетки секунди (голям съпротивителен момент, голям инерционен момент на задвижването и др.).

Следователно, при всички случаи трябва при избора на реле да се отчита и времето за пускане. За изпълнение на това изискване в стандарта IEC 60947-4-1 (БДС EN 60947-4-1:2010/A1:2012 Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 4-1: Контактори и пускатели за двигатели. Електромеханични контактори и пускатели за двигатели) са посочени няколко класа релета за претоварване, всеки от които се характеризира с определено време на заработване при претоварване *(⇨ Фиг. 5.7)*.

Номиналният ток на релето трябва да бъде избран в съответствие с номиналния ток на двигателя и съобразен с продължителността на пускане. Работните прагови стойности са представени в таблицата *(⇨ Фиг. 5.8)* и зависят от времето и тока на настройка (кратен на I_r).

	Време за изключване от :				
	Студено състояние при 1.05 x I_r	Топло състояние при 1.2 x I_r	Топло състояние при 1.5 x I_r	Студено състояние при 7.2 x I_r	Минимален диапазон (група E)
Клас					
10 A	> 2 h	< 2 h	< 2 h min	2 s < tp < 10 s	-
10	> 2 h	< 2 h	< 4 h min	4 s < tp < 10 s	5 s < tp < 10 s
20	> 2 h	< 2 h	< 8 h min	6 s < tp < 20 s	10 s < tp < 20 s
30*	> 2 h	< 2 h	< 12 h min	9 s < tp < 30 s	20 s < tp < 30 s

* Този клас се използва рядко в Европа, но е широко разпространен в САЩ.
Студено състояние: Температурата на машината е еднаква с температурата на околната среда (изходно състояние без предварителни натоварвания).
Топло състояние: при него двигателят достига установена температура след натоварване с ток I_r.
I_r – ток на настройка на релето за претоварване.

↑ Фиг. 5.8 *Основни класове и времетокови характеристики на реле за претоварване съгласно стандарт IEC IEC 60947-4-1*

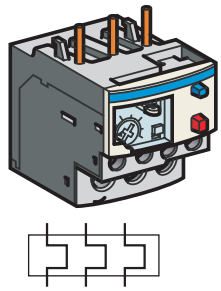
Тези релета, без електронните, притежават топлинна инерция, посочена от завода-производител и могат да бъдат включени:

- в силовата верига последователно с намотките на двигателя;
- към вторичната намотка на токови трансформатори, при големи стойности на товарния ток.

- **Топлинни биметални релета за защита срещу претоварване** *(⇨ Фиг. 5.9)*

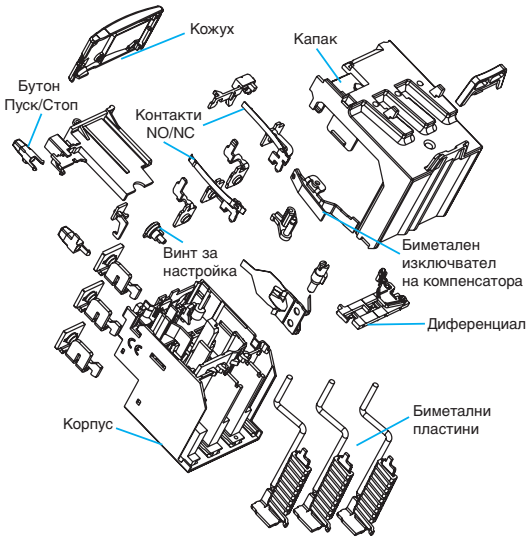
Те се включват към контактор и осигуряват защита на двигателя, захранващата мрежа и технологичното обзавеждане от малки и продължителни претоварвания. Затова те са конструирани да осигурят пускане на двигателя без изключване. Двигателите трябва да бъдат защитени срещу големи токови претоварвания от автоматични прекъсвачи или стопяеми предпазители (вж. защита срещу късо съединение).

Принципът на работа на топлинното биметално реле е базиран на деформация на биметални пластини, нагрявани от протичащия през тях електрически ток *(⇨ Фиг. 5.10)*.



↑ Фиг. 5.9 *Външен вид и графично означение на силовата част на топлинно биметално реле за претоварване LDR (Schneider Electric)*

5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели



↑ Фиг. 5.10 *Конструктивни елементи на топлинно биметално реле за защита срещу претоварване*

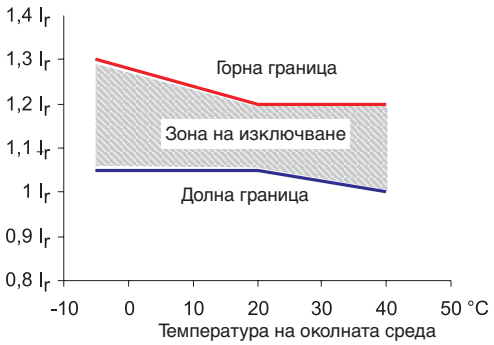
В резултат на това пластините се деформират и в зависимост от настройката предизвикват превключване на контакт в релето.

Топлинното биметално реле може да бъде приведено в работен режим само след като биметалните пластини се охладят достатъчно.

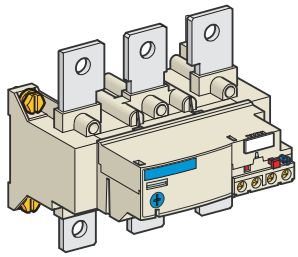
Тези релета за претоварване работят с постоянен и променлив ток и обикновено имат следните технически характеристики:
- триполюсно изпълнение;
- термокомпенсация, т.е. те не са чувствителни към изменение на температурата на околната среда (една и съща област от времетокови характеристики в диапазона от 0 до 40°C) *(⇨ Фиг. 5.11)*),
- съответствие с тока на двигателя: токът, посочен на табелката на двигателя съответства на този на релето.
- те могат да реагират на прекъсване на фаза (диференциално свойство): т.нар. псевдодиференциална защита.

Време за изключване	Кратност на тока на настройка
> 2 h	2 полюса : 1.0 I_r 1 полюс : 0.9 I_r
> 2 h	2 полюса : 1.15 I_r 1 полюс : 0

↑ Фиг. 5.11 *Времетокови характеристики на диференциално топлинно реле за претоварване (реагиращо на прекъсване на фаза)*



↑ Фиг. 5.12 *Зона на изключване на топлинно биметално реле срещу претоварване с компенсация температурата на околната среда, съгласно стандарт IEC 60947-4-1 и 60947-6-2*



↑ Фиг. 5.13 *Електронно реле срещу претоварване (LR9F-Telemecanique)*

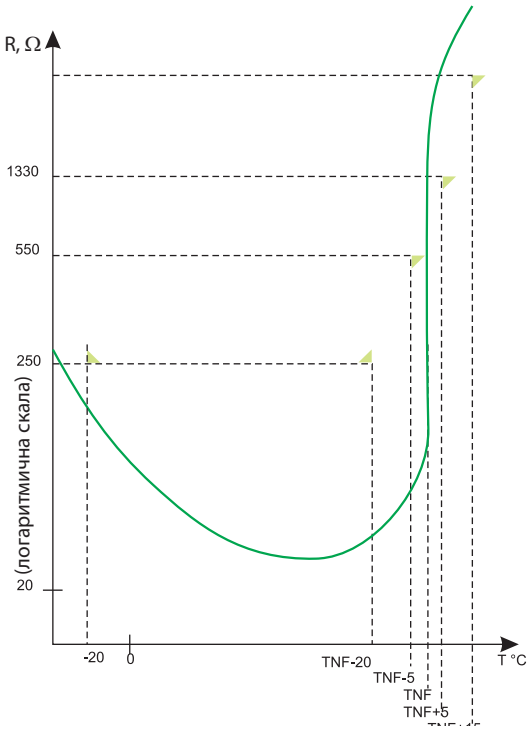
Тази способност предотвратява работата на двигателя на две фази в съответствие със стандарта IEC 60947-4-1 и 60947-6-2 (БДС EN 60947-6-2:2003/A1:2007 Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 6-2: Многофункционални апарати. Комутационни апарати за управление и защита (CPS)) *(⇨ Фиг. 5.12)*.

Тези релета са много надеждни, икономически ефективни и се използват широко. Препоръчват се за области на приложение, където съществува риск от блокиране на ротора на двигателя. Едновременно с това те притежават сериозен недостатък: не контролират точно топлинното състояние на двигателя и са чувствителни към топлинните условия, при които релето работи (например вентилацията на табло и др.).

- **Електронно реле за защита срещу претоварване** *(⇨ Фиг. 5.13)*

Тези релета притежават преимуществата на електронните технологии и системи и моделират много по-точно топлинните процеси в двигателя. Използвайки модел с топлинни времеконстанти на двигателя електронното реле за защита срещу претоварване постоянно изчислява температурата на двигателя, въз основа на тока, който протича през него и времето за работа. Следователно, защитата реагира по-точно и може да предотврати неправилно изключване. Електронното реле за претоварване е по-малко чувствително към топлинните условия, при които то работи.

Освен стандартните функции на реле за претоварване (защита от претоварване на двигателя, несиметрия и отсъствие на фаза) електронното реле за защита срещу претоварване може да изпълнява още и следните функции:
- управление по данни, получени от първичен преобразувател на температура резистор от типа PTC;
- защита от заклинване и претоварване по момент;
- защита от неправилно редуване на фази;
- защита от повреди в изолационната система;
- защита срещу работа на празен ход;
- други.



↑ Фиг. 5.14 *Граници (работни точки) на терморезистор PTC*

↑ Фиг. 5.15 *Външен вид на електронен блок (LT3 – Telemechanique), предназначен за включване на три терморезистора, за защита двигател срещу претоварване*

↑ Фиг. 5.16 *Външен вид на реле за защита срещу претоварване по въртящ момент, Telemecanique*

□ Реле с първичен преобразувател на температура тип PTC

Тези защитни релета реагират непосредствено на фактическата температура на защитавания двигател. Първичните преобразуватели се монтират лесно в двигателя, тъй като те имат малки малогабаритни показатели. Тяхната топлинна времеконстанта е малка, гарантират бързо заработване и осигуряват точно измерване на температурата на двигателя.

Те непосредствено измерват температурата на статорната намотка и следователно те могат да се използват за защита на двигатели срещу: претоварване, повишена температура на околната среда, неизправности във вентилационната система, голям брой на включвания, забавено развъртане, ударни натоварвания и др.

Релетата се комплектуват със следните елементи:

- един или повече позистори PTC - терморезистори с положителен температурен коефициент на съпротивление, който/които се вграждат в статорните намотки или в коя да друга част на машината, подложена на нагряване (лагерен щит, плъзгащ лагер, сачмен лагер и др.). Това са елементи, чието съпротивление бързо нараства, когато температурата достигне праг, означаван като номинална работна температура (NOT) *(⇨ Фиг. 5.14)*;
- електронен блок, захранван с постоянен или променлив ток. Той непрекъснато измерва съпротивлението на първичните преобразуватели, включени към него. При достигане на прага (NOT), се наблюдава рязко увеличаване на съпротивлението на PTC във веригата на праговия елемент и релето заработва *(⇨ Фиг. 5.15)*.

В зависимост от избраните първични преобразуватели режимът за защита може да се използва за:

- сигнализация за висока температура без спиране на машината (NOT на първичните преобразуватели е под зададената максимална температура на защитавания елемент);
- спиране на машината (NOT е достигнала максималното ниво) *(⇨ Фиг. 5.14)*.

За да се използва тази защита първичните преобразуватели на температура трябва да бъдат монтирани в процеса на изработване на машината или при ремонт на статорните намотки след авария.

Изборът на първичните преобразуватели на температура PTC зависи от класа на изолационната система и конструкцията на двигателя. Монтажът обикновено се извършва при производство на двигателя или от квалифицирани бобиньори на електрически машини.

Тези две условия означават, че защитата с първични преобразуватели на температура PTC се монтира само на високо качествено обзавеждане със скъпи двигатели.

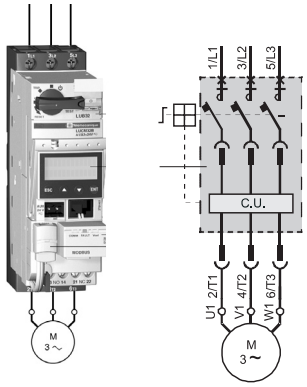
- **Реле за защита срещу претоварване по въртящ момент** *(⇨ Фиг. 5.16)*

Тези релета защитават силови вериги при загуба на скорост, блокиране на ротора, механично заяждане или бавно развъртане. Те не притежават топлинна инерция, за разлика от големия брой релета за претоварване. Те имат регулируеми времетокови характеристики на работа (регулируемо времезакъснение и праг на тока).

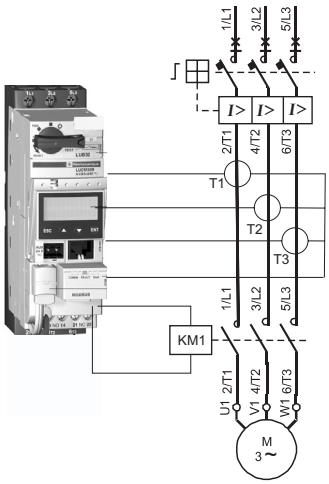
Релето за защита срещу претоварване по въртящ момент може да се използва за защита на двигатели от продължителни или голям брой пускания (например подемен механизъм), а също и срещу топлинни претоварвания.

- **Многофункционални релета**
- **Електромеханични или електронни релета**

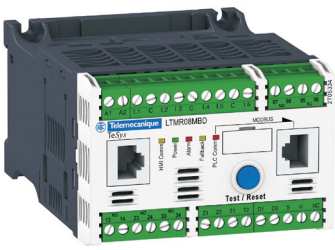
Електромеханичните или електронните релета защитават двигателя чрез измерване на неговия ток. Те имат редица области на приложение. Релетата не могат да се използват, когато съществуват рискове, свързани с качество на напрежението или някои специализирани приложения. Изискванията на потребителите (например при об-



Фиг. 5.17 *Многофункционално реле, вградено в пускателя на двигателя*



Фиг. 5.18 *Многофункционално реле, отделено от силовите вериги на двигателя*



Фиг. 5.19 *Независимо многофункционално реле*

служване или управление на производствен процес) непрекъснато нарастват и затова производителите на електротехническо обзавеждане са принудени да разработват нови продукти, които не само се адаптират за определена област на приложение, но и осигуряват пълно управление на електродвигателя и неговия товар.

- **Характеристики**

Тези релета са разработени с използване на върхови технологии:

- първични преобразуватели на напрежение и ток на основата на елементи без магнитопровод (преобразуватели на Роговски), които притежават достатъчно бързодействие и отлична линейна характеристика;
- съчетание на цифрова и аналогова технология, осигуряваща мощна обработка и съхранение на данни;
- използване на комуникационни шини за обмен на данни и събиране на информация;
- използване на точни алгоритми за моделиране на двигателя;
- използване на инсталирани програми, чиито параметри могат да се изменят от потребителя.

Това ново поколение продукти позволява да се намали стойността на всеки етап от жизнения цикъл на обзавеждането: от етапа на проектиране на обзавеждането, чрез предварително програмиране с компютър, до етапа на експлоатация, чрез съкращаване на разходите и времето за престой.

Накратко се разглеждат възможните решения и основните указания за избор. По-подробна информация може да се намери в съответната техническа документация на Schneider Electric.

- **Продуктови линии**

Целият асортимент от изделия може да се раздели на три групи.

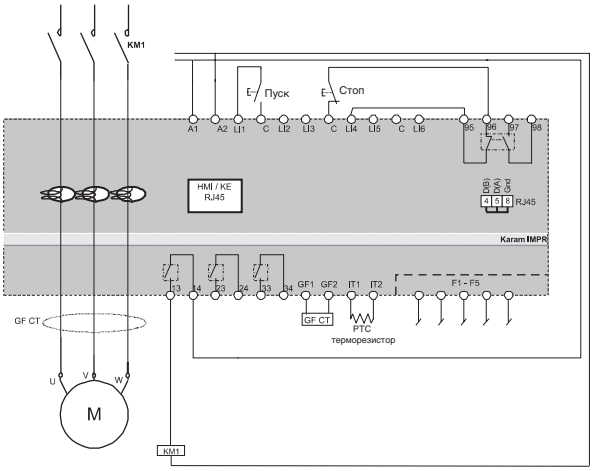
Решение 1: Многофункционалното реле е вградено в пускателя на двигателя *(⇨ Фиг. 5.17)*.

Това решение има следните предимства: компактност и ограничен брой връзки. Използва се за управление на двигатели с номинален ток до 32A. Подробна информация може да се намери в раздела *Интелигентни пускатели.*

Решение 2: Многофункционалното реле е отделено от силовите вериги на двигателя и използва същите окомплектоващи елементи, както предното решение. То може да се използва за произволни стойности на тока *(⇨ Фиг. 5.18)*.

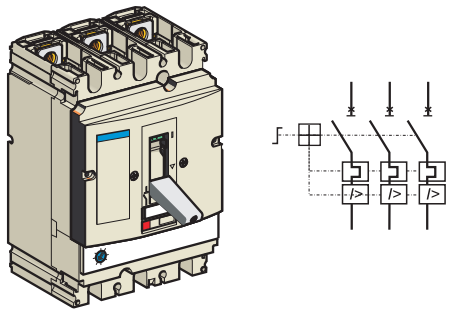
Решение 3: Многофункционалното реле е отделено от силовите вериги на двигателя и има много входове и изходи *(⇨ Фиг. 5.19)*.

Това е най-функционалното решение.

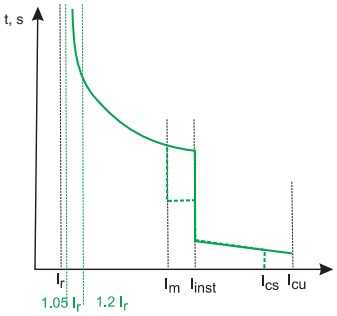


5 - Устройства за управление на електродвигатели

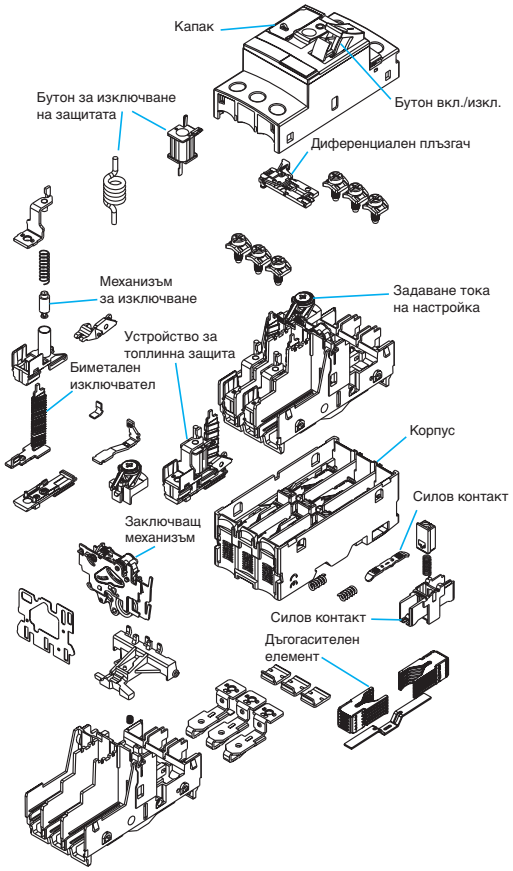
5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели



↑ Фиг. 5.20 *Външен вид и схема на автоматичен прекъсвач GV7 (Schneider Electric)*



↑ Фиг. 5.21 *Крива на изключване и работни зони на автоматичен прекъсвач*



↑ Фиг. 5.22 *Конструктивни елементи на автоматичен прекъсвач*

- **Указание за избор на защитно реле**

Основните функции са представени в таблица, разположена в края на този раздел *(⇨ Фиг. 5.83)*. По-подробна информация може да бъде намерена в каталозите на производителя.

□ Автоматични прекъсвачи

- **Общи сведения**

В корпуса на този апарат са монтирани топлинни и електромагнитни изключватели, които защитават двигателя от претоварвания и къси съединения. Той отговаря на изискванията на стандартите IEC 60947-2 и IEC 60947-4-1 *(⇨ Фиг. 5.20)*. Компонентите на автоматичния прекъсвач са представени по-долу *(⇨ Фиг. 5.22)*.

В тези прекъсвачи, електромагнитните изключватели (осигуряват защита срещу къси съединения) са с нерегулируем праг. Обикновено той е фабрично зададен и е равен на 10 кратната стойност на максимални ток на настройка на топлинния изключвател.

Топлинните елементи (осигуряват защита срещу претоварване) имат термокомпенсация, за температурата на околната среда. Прагът на топлинната защита може да се регулира на лицевата плоча на апарата. Той трябва да съответства на номиналния ток на двигателя, подлежащ на защита.

Всички автоматични прекъсвачи имат координация (тип II) между топлинните изключватели и защитата от късо съединение.

Освен това, в изключено състояние голяма част от тези устройства имат междина между контактите, достатъчна за изпълнение на функцията разединяване (изолиране). Апаратите притежават още и заключваща ръкохватка.

- **Криви на изключване**

Автоматичният прекъсвач се характеризира с крива на изключване, която представлява зависимост на времето на заработване от тока (кратен на I_r). Тази крива има четири зони *(⇨ Фиг. 5.21)*:

- нормална зона. Ако $I < I_r$ автоматичният прекъсвач не изключва;
- зона на топлинно претоварване: Изключването се осъществява поради топлинно претоварване - колкото е по-голямо претоварването, толкова е по-малко времето за изключване. В стандартите такъв режим на изключване се характеризира с обратнопропорционална зависимост от времето на изключване;
- зона на свръхток или ток на късо съединение. Тя се контролира от „мигновения“ електромагнитен изключвател, който заработва за време по-малко от 5 ms;
- някои автоматични прекъсвачи от електронен тип имат междинна зона, контролирана от електромагнитен изключвател с регулируемо времезакъснение (от 0 до 300 ms). По стандарт такъв режим на изключване се характеризира с независимо времезакъснение. Той предотвратява внезапното изключване на двигателя при пикови намагнитващи токове.

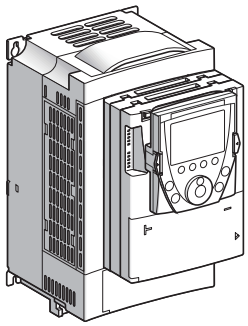
Гранични стойности:

I_r: зададен ток на защитата от претоварване, съответстващ на номиналния ток I_n на защитавания двигател;
I_m: ток на изключване от временната магнитна защита;
I_{inst}: ток на изключване от мигновената магнитна защита. Той може да варира от 3 до 17 пъти I_r, но обикновено е около 10 пъти I_r;
I_{cs}: работна номинална изключвателна възможност при късо съединение;
I_{cu}: максимална изключвателна възможност при късо съединение.

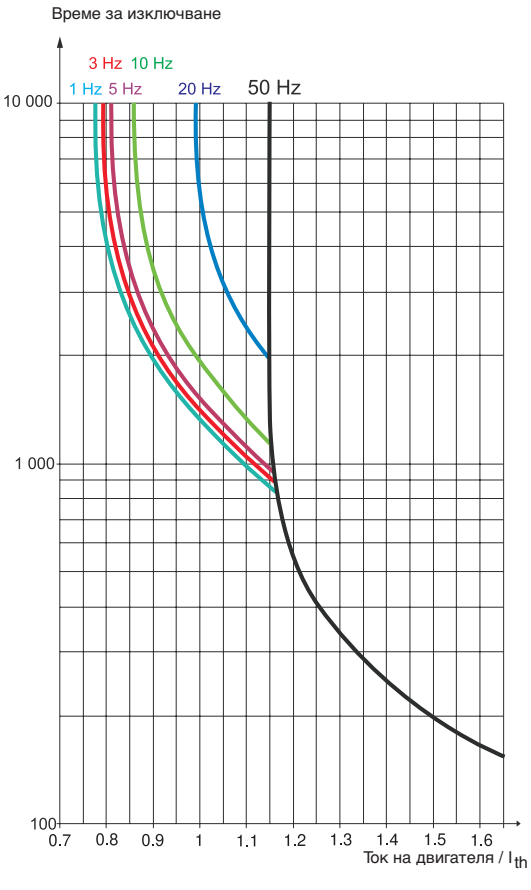
□ Защитни устройства, вградени в честотни преобразуватели и устройства за плавно пускане на електрически двигатели

Директното пускане на асинхронни двигатели от захранващата мрежа е често използвано и икономично решение и е подходящо за много области на приложение и разнообразни механизми. Обаче,

5.2 Основни функции, изпълнявани от устройства за управление на електрически двигатели



Фиг. 5.23 *Общ вид на честотен преобразувател тип ATV71 на Schneider Electric*



Фиг. 5.24 *Времетокова характеристика на честотен преобразувател тип ATV71 на Schneider Electric*

много често конкретните приложения се характеризират с редица ограничения, а и самото решение се оказва несъвместимо с необходимия режим на работа на механизма (голям пусков тока, ударно натоварване при пускане, невъзможност за управление на ускорението и забавянето, невъзможност за регулиране на скоростта и др.).

Електронните честотни преобразуватели и устройствата за плавно пускане *(⇨ Фиг. 5.23)* удовлетворяват посочените технически изисквани. Обаче, описаните преди това класически защитни устройства не могат да се използват заедно със съвременните устройства, тъй като последните променят параметрите на електрическата енергия, захранваща двигателя.

Затова в електронните пускатели и преобразуватели са вградени защитни функции *(⇨ Фиг. 5.24)* . Съвременните честотни преобразуватели осигуряват собствена защита и защита на двигателя срещу топлинни претоварвания. Чрез непрекъснато измерване на тока и получаване на информация за скоростта на въртене, микропроцесор изчислява температурата на двигателя и по такъв начин открива повишаване на температурата и подава предупредителен сигнал в случай на недопустимо прегряване на машината.

Освен това, информацията, събрана от честотния преобразувател, може да бъде прехвърлена в PLC или на управляващия сървър през комуникационна шина, с която са комплектувани съвременните устройства за плавно пускане и честотните преобразуватели.

Управлението на скоростта на въртене на асинхронен двигател се разглежда в т.5.7 на дадения раздел.

■ Комутация или управление

□ Функция управление

Терминът „управление“ означава включване и изключване на електрическа верига под товар. Функцията управление може да бъде реализирана с помощта на товарен прекъсвач или с пускателя към двигателя, устройства за плавно пускане или честотни преобразуватели.

Но, обикновено за изпълняване на дадената функция се използва контактор, защото той позволява да се реализира дистанционно управление. Такова устройство за управление на двигател трябва да бъде оразмерено за голям брой включвания/изключвания (електрическа дълготрайност) и трябва да съответства на изискванията на БДС EN 60947-4-1:2010/A1:2012 Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 4-1: Контактори и пускатели за двигатели. Електромеханични контактори и пускатели за двигатели. В този стандарт се регламентира заводът-производител задължително да посочва следната информация:

- **Вериги за управление:**
  - вид на управляващия ток и неговата честота, в случай на променлив ток;
  - номинално напрежение (U_c) или захранващо напрежение (U_s).
- **Силови вериги:**
  - номинално работно напрежение (U_e): обикновено съответства на напрежението между фазите. Тази характеристика, заедно с другите характеристики (включвателна и изключвателна възможност, режим на експлоатация, пускови характеристики) определя използването на веригите;
  - номинален работен ток (I_e) или номинална работна мощност: посочената характеристики се определя от завода-производител в зависимост от номиналните условия на работа и преди всичко от номиналното работно напрежение и работния ток. В случай на технологично обзавеждане, предназначено за директно управление на двигателя, информацията за номинално напрежение може да бъде заменена или допълнена с информация за максимална мощност.

В някои случаи, представената информация може да бъде допълнена още с:
- препоръчвани режими на работа с указание за класа на повторно-кратковременния режим, ако има такъв. Класовете се определят от видовете работни цикли;
- максимални стойности на тока, обявени от производителя, които устройствата при определени условия могат гарантирано да комутират. Обявяването на токове, за определени мощности на включвания и изключвания, не е задължително за производителя, но стандартът изисква обявяване на минималните стойности, за всяка категория на използване.

Категории на устройства за управление

Стандартите от серия IEC 60947 определят категории на използване в съответствие с предназначението на механизма за управление *(⇨ Фиг. 5.25)*.

Вид на тока	Категория по използване	Типови приложения
Променлив ток	**AC-1**	Неиндуктивен или малък индуктивен товар, съпротивителни пещи за топене. Разпределение на електрическа енергия (осветление, генератори и др.).
	AC-2	Колекторен двигател: пускане, спиране. Технологично обзавеждане за работа в тежък режим (механизми за вдигане, дробилки, прокатни станове и др.).
	AC-3	Двигател с накъсосъединен ротор: пускане, изключване в работен режим, спиране. Управление на двигател (помпи, компресори, вентилатори, конвейери, преси и др.).
	AC-4	Двигател с накъсосъединен ротор: пускане, режим на спиране, режим с ударно натоварване. Технологично обзавеждане за работа в тежък режим (механизми за вдигане, дробилки, прокатни станове и др.).
Постоянен ток	**DC-1**	Неиндуктивен или малък индуктивен товар, съпротивителни пещи за топене. Разпределение на електрическа енергия (осветление, генератори и др.).
	DC-3	Двигател с независимо възбуждане: пускане, реверсиране, режим с ударно натоварване, спиране с противовключване. Динамично спиране на двигатели за постоянен ток.
	DC-5	Двигател с последователно възбуждане: пускане, реверсиране, режим с ударно натоварване, спиране с противовключване. Динамично спиране на двигатели за постоянен ток.

** Категория AC-3 може да се използва за режими с ударно натоварване на двигателя, реверсиране, спиране с противовключване или за операции с ограничена продължителност на времето, например многооперационна машина. Броят на операциите, за ограничения интервал от време, обикновено не превишава 5 за 1 минута и 10 за 10 минути.*

↑ Фиг. 5.25 *Категории на използване на контактори в зависимост от предназначението и в съответствие с IEC 60947-1*

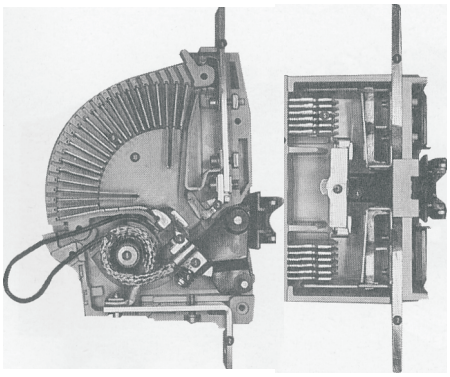
Всяка категория се определя от едно или повече условия на работа, сред които:
- ток;
- напрежение;
- коефициент на мощност или времеконстанта;
- или други условия на работа, ако е необходимо.

5.3 Конструкция и принцип на работа на контактор

Контакторът се състои от три основни елементи:
- силови контакти;
- бобина;
- допълнителни контакти.

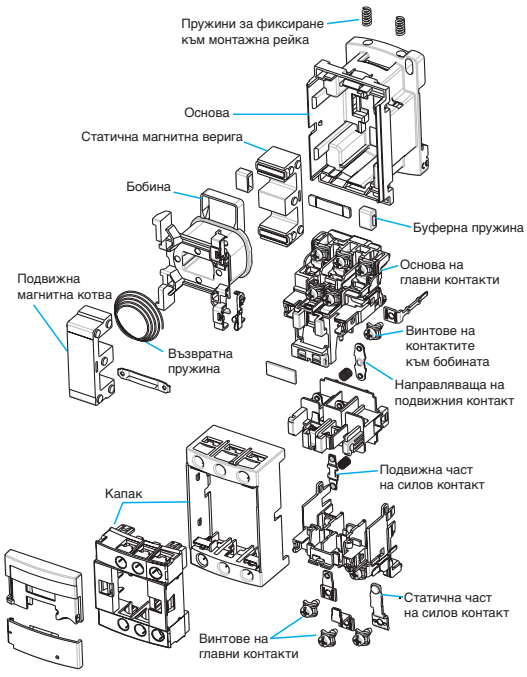
Главни контакти

Главните контакти (полюси) се използват за превключване на силовата верига. Те са оразмерени за номиналния ток на контактора и осигуряват непрекъсната работа без надвишаване на една критична температура. Те имат подвижна и фиксирана част. Подвижната част е снабдена с пружина, осигуряваща необходимото налягане върху контактите при затваряне. Контактите са със сребърно покритие и се изработват чрез използване на специална обработка, която е know-how, за всеки производител. Тя подобрява механичните характеристики и увеличава срока на служба.



↑ Фиг. 5.26 *Вътрешен вид на единичен и сдвоен контакт*

Контакторите са с т.нар. „единично“ или „двойно“ прекъсване *(⇨ Фиг. 5.26)*. Контакторите с двойно прекъсване са подходящи за



↑ Фиг. 5.27 *Конструкция на контактор тип D12*

всички области на приложения за променлив ток (тежки условия на използване, AC-3, AC-4 и др.) и позволяват да се направи компактен продукт.

Главните контакти от типа единично прекъсване са снабдени с електромагнитно устройство за ефективно гасене на дъга. Използването на такива устройства се препоръчва за постояннотокови вериги и тежки условия на експлоатация. Изключването на контактора предизвиква прекъсване на електрическия ток, който е протичал във веригата (на двигател и др.). Обикновено товарът във веригата е индуктивен. Но когато изключването е в точно определен момент от време при преминаване на променливия ток през нулата токът няма да се прекъсне мигновено.

Между контактите се образува електрическа дъга при тяхното разединяване.

Дъгата се образува в електрическо поле по време на разединяване на контактите във вакуум или газ. Това е плазма, получена от свободни електрони и йони, отделени от електродите поради топлинния ефект и разпространяващи се в газообразна среда под действие на електрическо поле, възникнало между контактите. Дъгата може да се разглежда като подвижен проводник с променлива форма, който се управлява. Електрическата дъга може да възникне по направление на магнитното поле или близо до феромагнитни части.

В централната част на дъгата температурата е максимална и често надхвърля няколко хиляди и дори десетки хиляди градуси. Тя е много по-висока от температурата, която може да издържат металите, включително и изолациите, използвани в конструкцията на контактите и дъгогасителните камери.

Затова продължителността на горене на дъгата трябва да бъде колкото се може по-кратка, за да се предотврати разрушаването на материалите, от които е изработен контакторът, но не и твърде кратка, за да не се получат пренапрежения, предизвикани от рязкото намаляване на тока във веригата на товара.

Съпротивлението на дъгата зависи от броя на свободните електрони, които се намират в плазмата.

То е минимално, когато техният брой е голям, т.е. когато йонизацията е максимална. В този случай температурата на дъгата е висока. Възстановяването на диелектричните свойства или дейонизацията, следователно, изисква голям разход на енергия за охлаждане на прегретите газове. Във всеки момент от време произведението от текущите стойности на съпротивлението на дъгата и протичащия ток определя т.нар. напрежение на дъгата.

Тъй като променливия ток преминава периодически през нулата не се получава високо напрежение на електрическата дъга. Ниското напрежение на дъгата намалява нейната енергия. Феромагнитните елементи, разположени в областта на дъгата трябва да се разположат в подходящо направление и бързо да се охладят след загасяне на дъгата.

Бобина

Предназначението на бобината е да създаде магнитно поле, което да премести магнитната част на контактора, затваряйки магнитната верига *(⇨ Фиг. 5.27)*. Подвижната част на контактора е свързана с контакти, които затварят електрическа верига.

Бобината може да се захранва с постоянен и променлив ток.

При захранване с променлив ток стойността на тока в бобината се определя от нейното пълно съпротивление.

При включване на бобината, поради по-голямата въздушна междина в отворената магнитна верига на контактора, магнитното съпротивление е голямо, индуктивността на бобината е малка и

следователно нейното пълно съпротивление е малко. Затова токът през бобината е максимален и се ограничава само от нейното пълно съпротивление. Големият ток определя достатъчна механична сила за включване на контактора.

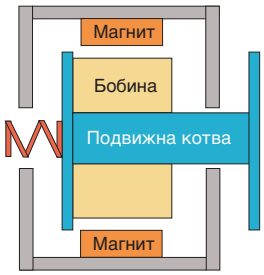
При затваряне на магнитната верига нейното магнитно съпротивление намалява, пълното съпротивление се увеличава и токът през бобината се намалява от 6 до 10 пъти.

Токът в бобината се намалява с увеличаване на пълното ѝ съпротивление, предизвикано от намаляване на въздушната междина в контактора. Той е достатъчен, за да задържи магнитната система в затворено състояние.

При захранване на бобината с постоянен ток е необходимо да се използва допълнително съпротивление (обикновено резистор).

При използване на PLC в системи за автоматизация производителите са разработили контактори с електромагнити, притежаващи ниско електропотребление и възможност за директно пускане.

Управлението на контакторите с ниско електропотребление може да се извърши непосредствено от релеен изход на PLC. За целта контакторът е проектиран за работа с постояннотоков електромагнит със специфична конструкция, позволяващ директно включване към програмируемия логически контролер (обикновено изходът е за постоянно напрежение 24V и ток 100 mA) *(⇨ Фиг. 5.28)*.



↑ Фиг. 5.28 *Структура на електромагнит с ниско електропотребление*

■ Допълнителни контакти

Допълнителните контакти осигуряват самоблокировка, взаимна блокировка и блокировка на контактите. Освен това те осигуряват и индикация за състоянието. Съществуват три основни модификации:

- NO нормално отворени контакти): те са отворени, когато няма напрежение на бобината на контактора и са затворени - при подаване на напрежение;

- NC (нормално затворени): те са затворени, когато няма напрежение на бобината на контактора и са отворени - при подаване на напрежение;

- (моментни превключващи контакти): когато на бобината на контактора не е подадено напрежение неговите контакти се намират в състояние съответно NO и NC. След подаване на напрежение към бобината на контактора контактите преминават в противоположно състояние. Двата контакта имат обща точка.

Контактите от типа NO и NC могат да бъдат с времезакъснение, което може да се използва след включване и изключване на контактора. Това време може да се регулира.

5.4 Избор на контактор

Категориите на използване, посочени в стандарта, позволяват да се извърши предварителен избор на устройство, способно да удовлетвори изискванията за приложение, за които е предназначен двигателя. При това трябва да се отчетат:
- работните токове и режимите на спиране;
- типа на товара (двигател с накъсосъединен ротор, двигател с навит ротор, нагреватели и др.);
- условия, при които се отварят и затварят контактите (включен двигател, изключен двигател, пускане на двигател, спиране с противовключване и др.).

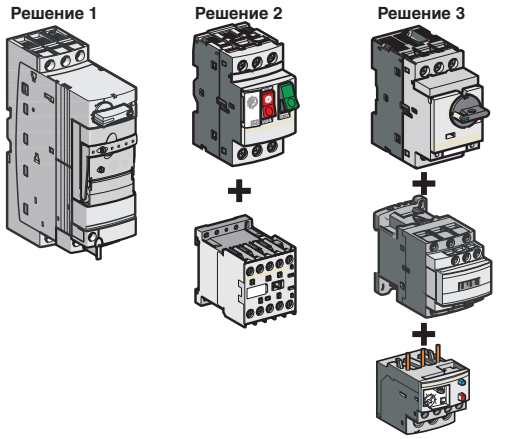
Обаче, при избора на контактор трябва да бъдат взети под внимание и други ограничения, особено тези които не могат да бъдат описани в стандарт. Това са преди всичко експлоатационните фактори на механизма: климатични условия (температура, влажност), географско разположение (надморска височина, близост до големи водни басейни и др.).

В някои случаи надеждността на обзавеждането може да бъде доминиращ фактор, особено в места, където трудно се осъществява техническо обслужване.

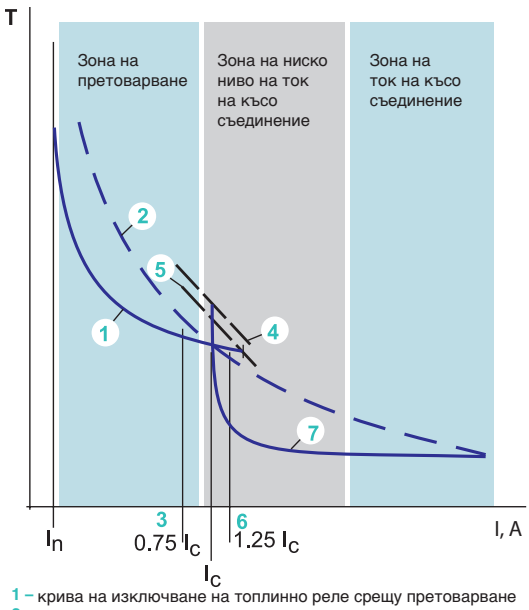
В този случай електрическата надеждност и дълготрайност на контактите на контактора е важна характеристика.

Следователно е необходимо е да се използват подробни и детайлизирани каталози, за да се гарантира, че избраното обзавеждане удовлетворява всички изисквания.

5.5 Моторни пускатели и координация



↑ Фиг. 5.29 *Три възможни решения на устройства за пускане на двигател*



1 – крива на изключване на топлинно реле срещу претоварване
2 – крива на изключване на предпазител
3 – изключване само по претоварване
4 – топлинна граница на прекъсвача (MA)
5 – топлинна граница на релето срещу претоварване
6 – ток на изключване със SCPD – устройство за защита срещу къси съединения
7 – електромагнитно изключване MA

↑ Фиг. 5.30 *Основни принципи на координация*

■ Решения за пускане на електрически двигател

Както беше посочено в началото на този раздел, основните функции по пускане на електрически двигател (разединяване, управление и контрол върху претоварване и късо съединение) могат да бъдат изпълнени с много устройства.

За изпълнение на всички технически изисквания по пускане на електрически двигател може да се предложат три варианта на решения *(⇨ Фиг. 5.29)*.

• Решение 1 от типа „Всичко в един блок“

Този комплект от устройства изпълнява три функции. Това е най-простият начин за решаване на задачата за пускане на електрически двигател както за проектанти, така и за монтажници и обслужващия персонал (прост монтаж и минимален брой компоненти).

• Решение 2 от типа „Две устройства“

То включва автоматичен прекъсвач и контактор.

Потребителят трябва да провери внимателно съвместимостта на техническите характеристики и на двете устройства преди тяхното използване.

• Решение 3 от типа „Три устройства“

Решението е изградено на основата на автоматичен прекъсвач, контактор и топлинно биметално реле.

Това решение е предназначено за използване при широк диапазон от мощности. При избора на устройства е необходимо грижливо да се изучи тяхната съвместимост, а също и правилата за монтаж, в зависимост от това дали елементите се монтират върху монтажна плоча или се разполагат вътре в табло.

Тези решения (избор на устройство, съвместимост и монтаж) не винаги могат да бъдат напълно ясни и разбираеми за потребителите. Много често, те може и да не са запознати относно съвместната работа на устройствата. Затова производителите на устройства изучават съвместната работа на отделните елементи и дават препоръки за тяхното използване в своите каталози. Производителите посочват и най-ефективните комбинации от функции и ги препоръчват за използване. В това се заключва дейността по т.нар. координация.

■ Координация между защити и управление

Това е комбинация от най-ефективни защитни функции (срещу късо съединение и претоварване) и управляващ елемент (контактор), която се използва за управление на електрически двигател.

Координацията е съобразена за определена мощност, като оптимизира пусковото устройство с особеностите на управляваното технологично обзавеждане *(⇨ Фиг. 5.30)*.

□ Основни принципи за координация

За коректна работа на устройството за управление на електрически двигател трябва да бъде съгласувана работата на всички негови компоненти:

- релето за контрол на претоварване трябва да защитава устройството за управление от претоварване: кривата за изключване на релето за претоварване (топлинно реле), означена на *(⇨ Фиг. 5.30)* с 1, трябва да бъде под кривата на максималнотоковата защита 2;
  -от друга страна, за да се защити топлинното реле от късо съединение кривата на максималнотоковата защита трябва да се доближава до тази на релето;
- и не на последно място: за да има гаранция, че контакторът е защитен неговата крива трябва да бъде над посочените две криви – топлинна 1 и магнитна 3 (или на предпазителя 2).

Необходимо е да се отбележи, че стандартът БДС EN 60947-4-1 определя два прага за кривата на тока:
- до 0,75 I_C трябва да заработи само топлинната защита;
- при 1,25I_C трябва да заработи само защитата срещу късо съединение.

Координацията дава допълнителни предимства от гледна точка на намаляване на броя на апаратите и експлоатационната поддръжка, доколкото различните защити се допълват една с друга, без да се припокрива диапазона на функционалните им възможности.

□ Типове координация

В съответствие със стандарта IEC 60947-4-1 се дефинират два типа координации (съгласувания) – тип 1 и тип 2.

• **Координация тип 1:** тя представлява общия случай на стандартно решение. В съответствие с него, в случай на късо съединение, контакторът или пускателят трябва да осигурят/предотвратят поразяване на хора или повреждане на технологично обзавеждане. При това се подразбира необходимостта от провеждане на ремонтни дейности преди повторно пускане на системата.

• **Координация тип 2:** това техническо решение се отличава с повишена работоспособност. В случай на късо съединение контакторът или пускателят трябва да предотвратят поразяване на хора или повреждане на технологично обзавеждане, но системата трябва да продължи да работи. В този случай съществува вероятност от заваряване на контактите. Потребителят на обзавеждането трябва сам да предвиди мерки за сервизно обслужване за лесното им отделяне.

• Някои производители предлагат: решение с най-висока работоспособност, което може да се означи като **„Пълна координация“.**

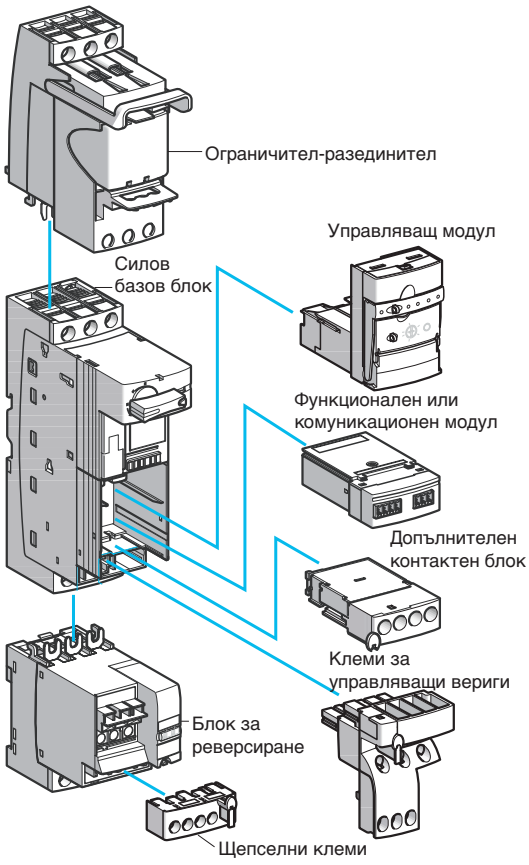
При този тип координация се подразбира, че в случай на късо съединение контакторът или пускателят трябва да предотвратят поразяване на хора или повреждане на технологично обзавеждане, но системата може да продължи да работи, изключва се вероятността за заваряване на контакти и електродвигателят може да бъде пуснат незабавно от моторния пускател.

□ Интелигентна система за управление и защита (CPS)

Системите CPS или наричани още „пускател – контролери“ са разработени за решаване на всички задачи, свързани с пускане на електрическия двигател и неговата защита срещу претоварване и късо съединение. Освен това, те позволяват решаването на задачи за управление на системата в случай на късо съединение.

Те могат да изпълняват допълнителни функции като разединяване и по такъв начин напълно да изпълняват функцията „устройство за пускане на двигател“. Те отговарят на изискванията на стандарта БДС EN 60947-6-2:2003/A1:2007 Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 6-2: Многофункционални апарати. Комутационни апарати за управление и защита (CPS), който определя категорията на използване за CPS в съответствие със стандартите БДС EN 60947-1 и БДС EN 60947-4-1.

Функциите, изпълнявани от CPS, са обединени и съгласувани по такъв начин, че позволяват работа на технологичното обзавеждане



↑ Фиг. 5.31 *Пример на модулна система за управление и защита на основата на пускател TeSys U, на компанията Schneider Electric*

в диапазона токове до стойността на тока на късо съединение I_{CS}. Системата CPS може да бъде изградена от едно или няколко устройства, но нейните характеристики са такива, че тя се разглежда като едно устройство. Освен това, гаранцията за „пълна“ координация на всички функции осигурява на потребителя прост избор на решение с оптимална защита и лесна реализация.

Независимо от това, че CPS се представя като едно устройство, то може да се разглежда като модулно решение, предлагащо такава модулност, както и в решението „три отделни продукта“ за пускане на двигател, но с повече функции. Пример за това може да служи пускателят TeSys U, произвеждан от компанията Schneider Electric *(⇨ Фиг. 5.31)*. Този „пускател – контролер“ при необходимост може лесно да се адаптира за защита и управление на двигатели с номинален ток от 0,15 до 32 A. Това се постига чрез избор на базов модул и функционални блокове, които се присъединяват към него.

Допълнително могат да бъдат реализирани следните функционални възможности:

- **регулатор на мощността, блок за реверсиране, ограничител;**
- **управление**
  - свободно управление, допускащо задаване на допълнителни функции, например индикатор на събития и разпознаване на повреда;
  - многофункционално управление, даващо възможност за най-модерни методи за защита и управление;
  - блоковете за управление могат да бъдат заменяни без изключване на захранващи кабели и не изискват специално инструменти.

Те позволяват да се осъществи избор на параметри в широк диапазон и да се намалят загубите.

□ Избор на типа координация

Изборът на типа координация зависи от параметрите на работа на системата. Изборът трябва да се реализира чрез балансиране между изискванията на потребителя и стойността на обзавеждането.

- **Тип 1: най-често използвано решение.**

Намаляване стойността на комутационната апаратура.

- не се изисква непрекъснато подаване на захранване;
- възможност за ремонт на пускателя преди рестартиране.

Резултати:

- значително време на машината в неработоспособно състояние;
- не се изисква квалифициран обслужващ персонал за ремонт, проверка и подаване на захранване.

Пример: системи за кондициониране на въздух в областта на услугите.

- **Тип 2: решение, позволяващо непрекъснато захранване.**

Резултати:

- намалено време на машината в неработоспособно състояние;
- намалено време за техническо обслужване след късо съединение.

Пример: ескалатори.

- **Пълна координация:** Това решение е подходящо за системи, които не трябва да бъдат спирани поради повреда или неправилни настройки. Гарантира се непрекъснатост на електроснабдяването.

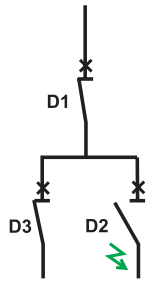
Резултати:

- незабавно възстановяване на работното състояние;
- не се изискват специални предпазни мерки.

Пример: системи за отвеждане на дим, пожарни помпи.

■ Селективност

Потребителите, в една електрическа уредба, са включени към захранващата мрежа последователно през устройства за защита, изключване и управление.



↑ Фиг. 5.32 *Пример за селективност между два последователно включени автоматични прекъсвача D1 и D2. Тя гарантира изключване само на прекъсвача D2, долустоящ спрямо D1 при повреда във веригата*

Отсъствието на правилно избрани по селективност защитни устройства води до това, че при възникване на неизправност могат да заработят няколко защитни устройства. Например един неизправен потребител може да доведе до изключване на електрозахранването на голям брой потребители, включително и отговорни такива.

За да се предотвратят такъв род проблеми в разпределителните мрежи е необходимо да се осигури селективност на устройствата по такъв начин, че да се изключи само автоматичният прекъсвач на линията, където е възникнал проблема, като се запази електроснабдяването на нормално работещите потребители *(⇨ Фиг. 5.32)*. В този случай селективността увеличава безопасността и времето за безотказна работа на системата, и опростява откриването на неизправности.

За да се гарантира максимално време на работа, е необходимо да се използват защитни устройства, чиито технически характеристики се съгласувани помежду си. Затова се използват различни методи, които осигуряват пълна селективност, гарантираща правилна последователност при изключване на всички максимални токове, достъпни в уредбата или в краен случай се използва частична селективност.

Техника на селективност

Съществуват няколко вида селективност:

• **Токова** – тя се реализира чрез използване на различните прагове на заработване на включените последователно автоматични прекъсвачи.

• **Времева** – тя се реализира чрез използване на времезакъснението от няколко десетки до стотици милисекунди преди заработването на всеки от автоматичните прекъсвачи, включени последователно в посока от потребителя към захранващия източник. Осигурява се чрез изместване по време на времетоковите характеристики на последователно разположените автоматични прекъсвачи. Селективността може да бъде организирана чрез използване на диапазона от номинални токове на релетата срещу претоварване. Тя може да бъде описана с израза

$I_{r1} > 1{,}6 . I_{r2}$,

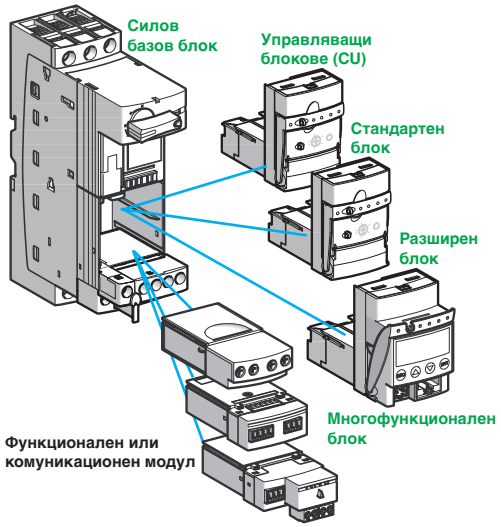
където I_r е междинният ток на късо съединение, съгласно БДС EN 60947-4-1;

1, 2 – индексите на последователно свързаните апарати. Първият апарат е разположен по-близо до захранващия източник.

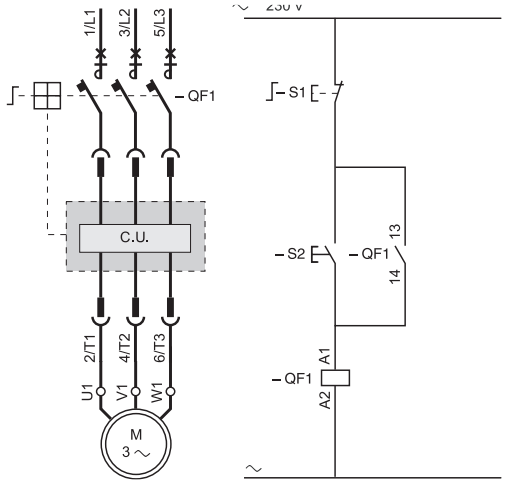
• **„Sellim“ или „енергийна”** – за нея е характерно, че при възникване на късо съединение в схемата за разпределение на електрическа енергия, горестоящият автоматичен прекъсвач отваря своите контакти за време, необходимо за заработване на долустоящия автоматичен прекъсвач. При това, енергията на дъгата на долустоящия автоматичен прекъсвач е достатъчна за неговото заработване, а енергията на дъгата на горестоящия автоматичен прекъсвач - недостатъчна за неговото заработване. Горестоящият апарат отново се връща в изходно състояние, осигурявайки нормална работа на останалите потребители в захранващата схема.

• **Логическа** – при нея разположеното по-близо до захранващия източник реле за защита срещу претоварване подава информация към следващия във веригата апарат, за достигнатия в момента праг на заработване. В този случай горестоящият апарат ще работи със зададеното времезакъснение на изключвателя, което позволява на долустоящото реле срещу претоварване да изключи при достигане на зададения праг.

За получаване на по-подробна информация, относно селективността, се препоръчва на читателя да се запознае с техническото ръководство *Schneider-Electric Cahier Technique n° 167.*



↑ Фиг. 5.33 *Външен вид на TeSys U и на допълнителни блокове*



↑ Фиг. 5.34 *Принципна електрическа схема на силова и оперативна верига, за пускане на електрически двигател, за въртене в дадена посока чрез използване на TeSys U*

□ Селективност на процеси

В системите за управление на технологични процеси (поточна линия, химическо производство и др.) се използва най-често токова и времена селективност в устройствата за управление на електрически двигатели. Обикновено селективността се постига чрез ограничители на тока или универсални моторни пускатели.
В последните години устройствата за управление на двигателите се модернизират за удовлетворяване растящите потребности на потребителите.
Сред по-важните изменения може да отбележат:

- намаляване размера на устройствата, опростяване на тяхната комплектация и размера на технологичното обзавеждане;
- лесно решение на проблема с координацията;
- намаляване броя на справочните материали в каталозите;
- просто и бързо окабеляване и монтаж, намаляване на производствените разходи;
- приемлива цена на използваните средства за автоматизация;
- вградени комутационни възможности и възможности за включване към управляващи шини.

Използвайки иновационния подход Schneider Electric предлага за използване TeSys U. Този продукт отговаря на всички съвременни изисквания към подобно обзавеждане, осигурява пълна координация и освен това позволява осъществяване рестартиране на релето за защита срещу претоварване след заработване на защитата.
В сравнение с традиционните решения, броят на компонентите от които се изгражда системата се намалява до десет пъти, икономията на монтажни кабели достига 60%, а масогабаритните показатели се намаляват повече от 40%.

На *(⇨ Фиг. 5.33)* е показан TeSys U с някои негови допълнителни блокове.

Стандартният блок за управление LUC-A е ново поколение традиционни топлинни релета за защита, използващ преимуществата на електронните технологии.

Многофункционалният блок LUC-M е продукт, който отговаря на най-високите технически изисквания.

TeSys U осигурява основните функции на устройства за управление на електродвигатели.

Допълнителните блокове позволяват да се осигури настройка на по-сложни функции за управление на електродвигателя. Освен това, TeSysU предоставя възможност на потребителя да програмира оригинална логика за работа.

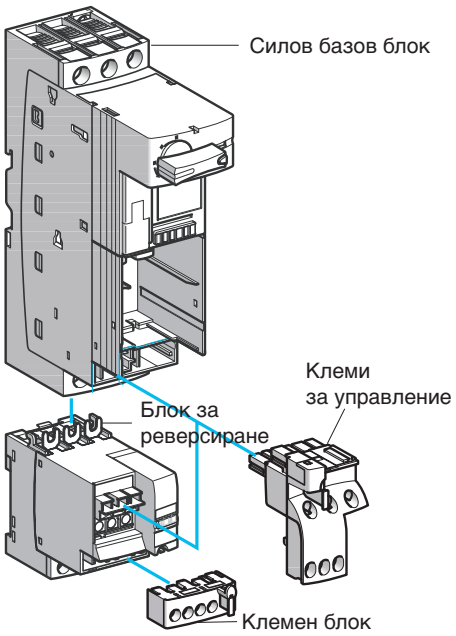
TeSys U се състои от силов базов блок, включващ разединител и изпълняващ всички защитни функции. Този основен компонент на пускателя изпълнява описаните по-долу функции за пускане на двигателя.

■ Пускане на електродвигател за въртене в дадена посока

Принципните схеми на силовата и управляваща верига на електрически двигател за пускане в дадена посока са показани на *(⇨ Фиг. 5.34)*. Силовият базов блок съдържа всички необходими компоненти за изпълнение на следните функции:

- т.нар. 3-проводна схема за управление = управление с пусков и стопов бутон и самоблокиращ контакт;
- т.нар. 2-проводна схема за управление = управление с двупозиционен превключвател, разединяване, превключване, защита срещу късо съединение и претоварване.

Този силов блок позволява да се построи схема на пускател без използване на допълнителни устройства.



↑ Фиг. 5.35 *Пускател TeSys U с блок за реверсиране*

■ Пускане на електродвигател с реверсиране

На *(⇨ Фиг. 5.35)* е показана структурата на пускател с допълнителен блок за реверсиране. Той се монтира директно към базовия модул или отделно от него при ограничено място за монтаж, образувайки по такъв начин компактно устройство за реверсиране и пускане на машината.

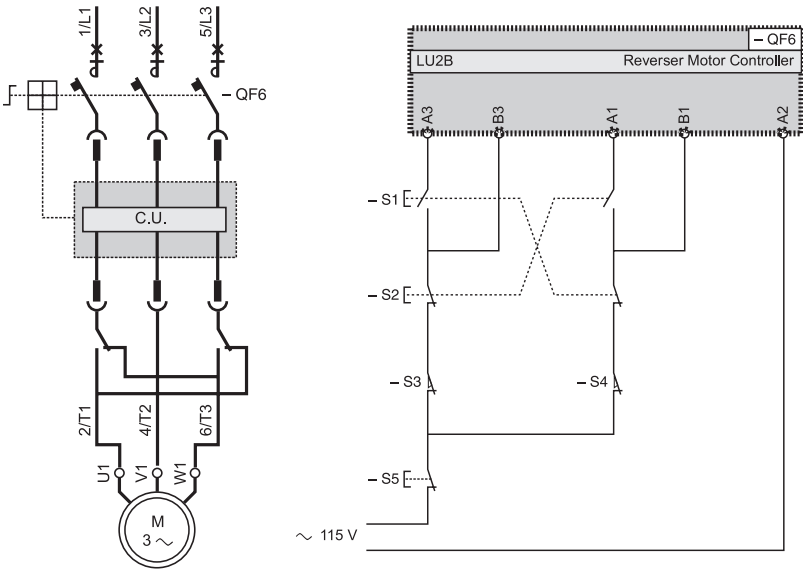
Силовият модул осъществява включване, изключване, а също и всички защитни функции (защита срещу претоварване и късо съединение).

Блокът за реверсиране винаги изключва товара и по такъв начин отстранява електрическото износване.

В тази структура не е необходимо използване на механична блокировка, защото електромагнита, който управлява изключвателя има две състояния, а достъпа до реверсивния изключвател е невъзможен.

По такъв начин се изключва възможността за промяна на неговото състояние.

На *(⇨ Фиг. 5.36)* е показан пример за 3-проводниково управление с реверсиране на двигател, задвижващ помпа към резервоар. Реализирано е импулсно управление със самоблокировка и два крайни изключвателя.



↑ Фиг. 5.36 *Принципна електрическа схема на силова и оперативна верига, за пускане на електрически двигател с реверсиране чрез използване на TeSys U*

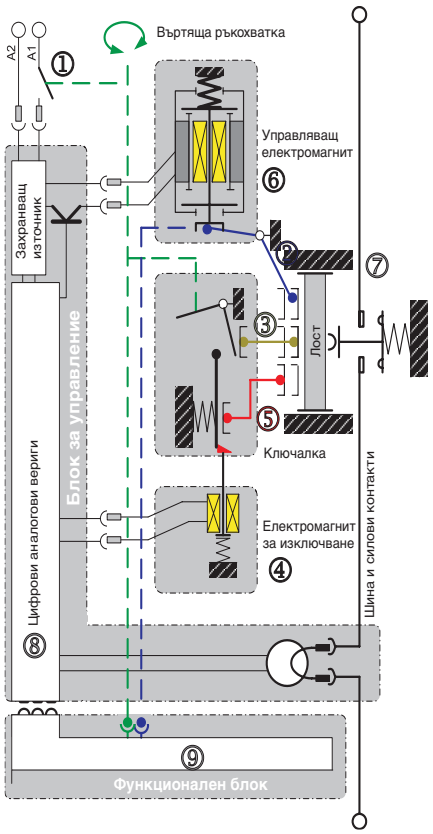
5.6 Интелигентни пускатели

• Принцип на действие

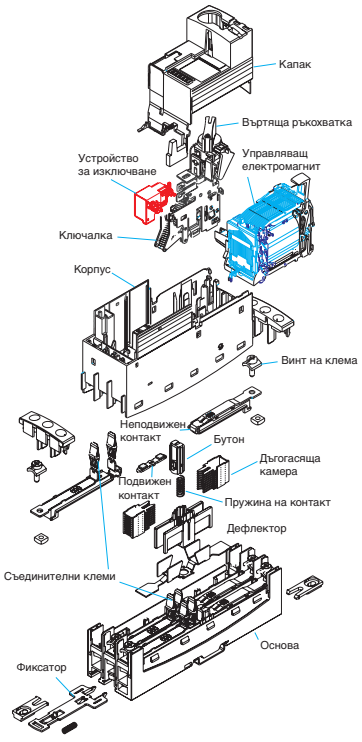
При разработваното на интелигентния пускател TeSys U са използвани голям брой иновации по отношение захранване управлението на електродвигателя.

Силовият компонент на пускателя е заимстван от доказалия своите качества в практиката комбиниран контактор-прекъсвач от типа Integral.

Той съдържа само един комплект контакти, които се използват за всички превключвания, оперативни и защитни изключвания.



↑ Фиг. 5.37 *Структурна схема на пускател TeSys U*



↑ Фиг. 5.38 *Структура на механичната част на пускател TeSys U*

В допълнение към очевидния икономически ефект тази технология има много други предимства:

- намалени топлинни загуби в силовата верига;
- значително намаляване на вероятността от заваряване на контактите по време на работа и заработване на защитата. Отсъствие на проблем с координацията. Възможност за просто рестартиране след откриване на претоварването или късо съединение.

Възможности за управление

Технологичният процес в развитието на полупроводниковата техника позволява да се обединят логически и аналогови функции в едно устройство. По такъв начин новите функции могат да се предложат на потребителите на много изгодни цени.

Изследванията на токопроводими материали позволиха да се разработят многокомпактни устройства с много кратко време за реакция и възможност за издържане на токове на късо съединение до 50 000 A.

Структура на пускателя *(⇨ Фиг. 5.37 и 5.38)*

- силова верига 7, съдържаща контактна група и изтегляем първичен преобразувател, прикрепен към блока за управление;
- електромагнит за постоянен ток с ниско електропотребление (6) *(⇨ Фиг. 5.38)*;
- входни захранващи клеми A1 и A2 и спомагателни контакти 21/22 и 13/14, които не са показани на схемата;
- блок за управление (8), изпълняващ функциите измерване, проверка, самоконтрол, защита и др. Той също включва в себе си захранващ източник, преобразуващ входното напрежение, подавано на клеми A1 и A2 в постоянно напрежение 24 V, което се използва за включване на електромагнита;
- електромагнит (4), който изключва силовите контакти на двигателя при откриване на късо съединение;
- механична блокировка (5);
- допълнителен функционален модул (9), който може да решава приложни задачи.

Принцип на действие *(⇨ Фиг. 5.37)*

- въртящата ръкохватка се поставя в положение “0”

Контактът 1 е отворен, буталата на блокировката 2 и електромагнитна 3 отварят полюсите.

- въртящата ръкохватката се поставя в положение “I”

Контактът 1 е затворен, тъй като на клемите A1 и A2 се подава напрежение. При това електромагнитът за управление се задейства и тласкачът 3 привежда полюсите в работно състояние.

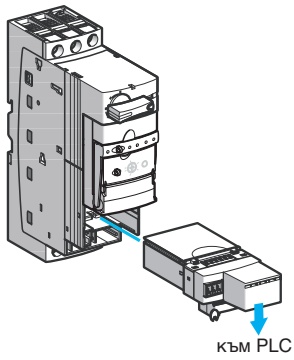
- Откриване на късо съединение

Повредата се открива от блока за управление и се подава команда за изключване на електромагнита 4, който освобождава блокировката за 2 ms. Тласкачът отваря полюсите. За да се отстрани блокировката и за да се разреши ново пускане трябва да се завърти въртящата ръкохватка.

- Откриване на претоварване

В работен режим блокът за управление определя надвишаването на продължително допустимия ток и подава управляващ сигнал към електромагнита 4. Рестартирането става ръчно чрез завъртащата ръкохватка.

Използването на допълнителни блокове позволява да се изпълни режим на автоматично или дистанционно повторно включване: управляващото устройство подава команда за отваряне на електромагнита 6.



↑ Фиг. 5.39 *Моторен пускател TeSys U с Modbus комуникационен модул (Schneider Electric)*

Комуникационни предимства

При използване на комуникационните модули, работещи с протокол AS-I, Modbus, Profibus има възможност за дистанционно управление на двигателя (включване, изключване) и дистанционно наблюдение за товара на двигателя и хронология на събития *(⇨ Фиг. 5.39)*.

Използването на комутационни технологии опростява вграждането на защитни устройства в промишлени автоматизирани системи. Освен това се наблюдават и следните предимства:

- предупредителна сигнализация, използвана за ранно откриване на повреди;
- база от данни за неизправности, предназначена за търсене и анализ на най-често срещани повреди;
- опростено въвеждане на обзавеждането в експлоатация;
- опростено техническо обслужване за сметка при промяна условията на работа.

Следователно комуникационните технологии позволяват качествено да се подобри управлението на обзавеждането и да се намалят разходите.

Предимства на функционалните блокове

Функционалните блокове се използват за разширяване режимите на работа на пускателите (топлинно наблюдение, натоварване на двигателя, анализ на повреди) *(⇨ Фиг. 5.39)*. Предлагат се три блока за управление, осигуряващи изпълнението на всички технически изисквания по отношение на защитата.

- стандартен блок, съдържащ основните технически изисквания за защита (топлинно претоварване и къси съединения);
- разширен блок, позволяващ допълнителни функции за управление;
- многофункционален блок с разширени възможности.

На *(⇨ Фиг. 5.40)* са посочени основните характеристики на тези три блока за управление.

Функционални възможности:	Блок за управление :		
	Стандартен	Разширен	Многофункционален
Състояние на пускателя (готов за работа, работещ, грешка)			
Сигнализации (превишаване на тока)			
Сигнализация за топлинно претоварване			
Дистанционно рестартиране по комуникационна шина			
Индикация за товара на двигателя			
Разграничаване на повреди			
Настройка на параметри и защитни функции			
Функция „Дневник на събития“			
Функция „Наблюдение“			
Управление на пусковия и спирачния процес			

Информация, предавана по шина Modbus и поддържани функции.

↑ Фиг. 5.40 *Комуникационни функции на TeSys U*

Предимства на приложни карти

Приложните карти се вграждат в честотните преобразуватели и се използват за удовлетворяване на специфични потребности (вж. т.5.15).

5.7 Честотни регулатори

В тази част са описани подробно всички аспекти на използване на честотни регулатори. Някои специфични решения, например цикло-конвертори, асинхронни каскади, непосредствени преобразуватели на честотата за синхронни и асинхронни двигатели са отбелязани, но не се разглеждат подробно. Използването на такива регулатори на честотата в качеството на регулатори на скорост има редица особености и е предназначено за специфични пазари.

Регулаторите на скорост за постояннотокови двигатели в последно време се заместват с честотни регулатори за управление на асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор или синхронни двигатели. Независимо от това, в тази част на книгата, се дава общо описание на принципа на тяхното действие, за да се представят по-нагледно особеностите при управление на скоростта.

■ Общи сведения

□ История

Първите устройства, използване при пускане на електрически двигатели и управление на тяхната скорост са реализирани чрез пускови съпротивления, механични вариатори на скоростта и система генератор-двигател (система на Леонардо). Сега индустрията предлага електронни устройства за пускане и регулатори на скоростта на двигатели като съвременни, икономични, надеждни и не изискващи техническо обслужване устройства.

Електронните устройства за пускане и регулаторите на скоростта по същество са преобразуватели на енергия, проектирани за определено подаване на електрическа енергия към двигателя.

Електронните устройства за пускане са предназначени изключително за асинхронни двигатели. Те са реализирани като регулатори на напрежение.

Регулаторите на скоростта осигуряват постепенно ускоряване и забавяне и точно управление на скоростта на двигателя. Регулаторите на скорост за постояннотокови двигатели, като правило, се изпълняват като тиристорни преобразуватели. Регулаторите на скорост за променливотокови двигатели се наричат инвертори. Исторически първото решение, предложено на пазара, е електронен регулатор на скоростта за постояннотоков двигател. Бързият прогрес в развитието на полупроводниковата техника и микроелектрониката доведе до появяване на надеждни и икономически ефективни преобразуватели за променливотокови двигатели. Съвременните инвертори позволяват да се постигнат технически характеристики на асинхронни двигатели на нивото, съответстващо на тези на постояннотоков двигател, управляван с електронни регулатори на скорост.

Някои производители предлагат дори асинхронни двигатели с преобразуватели на честотата, вградени в клемната кутия на двигателя. Това решение е възможно само за двигатели са малка мощност (няколко kW).

Последните постижения в областта на електронните регулатори на скорост се разглеждат в края на този раздел едновременно с тенденциите за развитие, планирани от производителите.

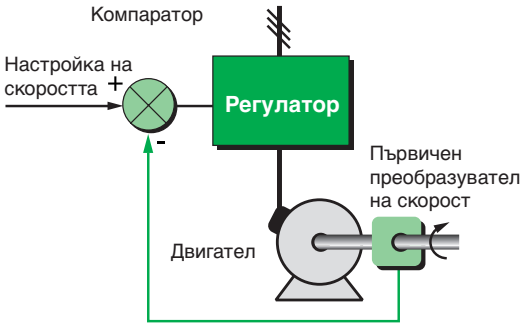
□ Основни функции на устройства за плавно пускане и електронни регулатори на скорост

- **Управление на ускоряването**

Ускоряването на електродвигателя се осъществява по необходимата (най-често линейна или S-образна) крива на ускоряване. Този параметър обикновено може да се настройва в зависимост от потребността.

- **Регулатор на скорост**

Регулаторът на скорост може да се изпълни най-просто като отворена система, когато на двигателя се подава регулируемо напрежение



↑ Фиг. 5.42 *Към принципа на работа на скоростен регулатор*

(за променливотоковите двигатели – регулируемо напрежение с регулируема честота). Скоростта се изменя в големи граници в зависимост от товара и нагряването на двигателя.
Най-добро техническо решение може да се постигне чрез измерване на текущата стойност на тока и регулиране на подаваното напрежение към двигателя в зависимост от този ток и сигнала за честотата на въртене. Този начин за управление се използва в затворени системи.
Скоростта на двигателя се определя от входна променлива (напрежение или ток). Зададената стойност на скоростта може да се различава от реалната поради изменение напрежението на захранващия източник, параметрите на товара и температурата.
Диапазонът на скоростта зависи от нейната номинална стойност.

- **Система за управление с регулатор и първичен преобразувател за обратна връзка**

Регулаторът за скорост с обратна връзка представлява затворена система за управление *(⇨ Фиг. 5.42)*. Скоростта на двигателя се определя от зададената стойност (настройката).

Стойността на настройката постоянно се сравнява със сигнала от обратната връзка, който е пропорционален на текущата стойност на въртене на двигателя. Този сигнал се получава с помощта на тахогенератор или импулсен преобразувател (енкодер), монтиран на вала на двигателя или се изчислява косвено с помощта на функции, които определят скоростта на двигателя по текущи електрически параметри на неговата работа, достъпни за обработка от регулатора.

Високопроизводителните двигатели за променлив ток много често са окомплектовани с такива електронни преобразуватели. Ако при сравнението се наблюдава разлика между зададена скорост и нейната текуща стойност, регулаторът заработва веднага и променя подаваното към двигателя напрежение и/или честота, за да се приведе скоростта към нейната зададена стойност.

При това регулиране скоростта практически не зависи от външни въздействия – изменение на товара, температурата и др.

Точността на регулиране се определя като отношение на разликата между зададена и текуща стойност на скоростта и зададената стойност. Тя се измерва в %.

- **Управление на забавянето**

При естествено спиране забавянето на скоростта на въртене на двигателя се извършва бавно под действие на съпротивителния момент на механизма и в зависимост от инерционния момент на неговите въртящи части.

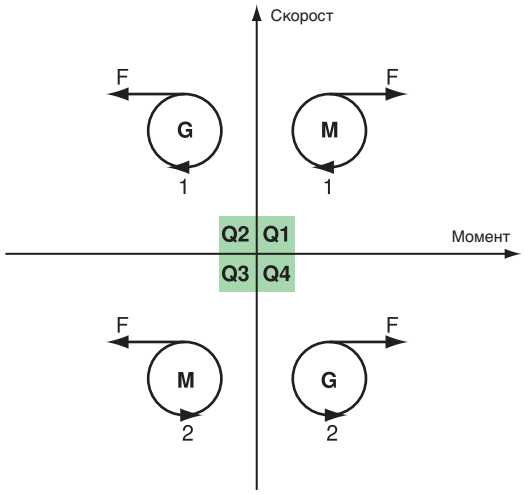
Устройствата за плавно пускане и електронните регулатори на скоростта често се използват, за да се управлява забавянето по линейна или S-образна крива на спиране, която обикновено се различава от кривата на ускоряването (т.нар. acceleration ramp).

Характерът на кривата на спиране може да бъде променян във времето така, че скоростта плавно да се изменя от нейната междинна стойност до нула:

- ако е необходимо по-интензивно спиране от естественото, двигателят трябва да развива допълнителен спирачен момент. Този процес се нарича електрическо спиране, което може да бъде реализирано чрез връщане на енергия в захранващата мрежа и разсейването ѝ върху спирачен резистор;
- ако необходимото забавяне е по-бавно от естественото, двигателят трябва да развие допълнителен въртящ момент и контролерът да управлява забавянето до пълно спиране на двигателя.

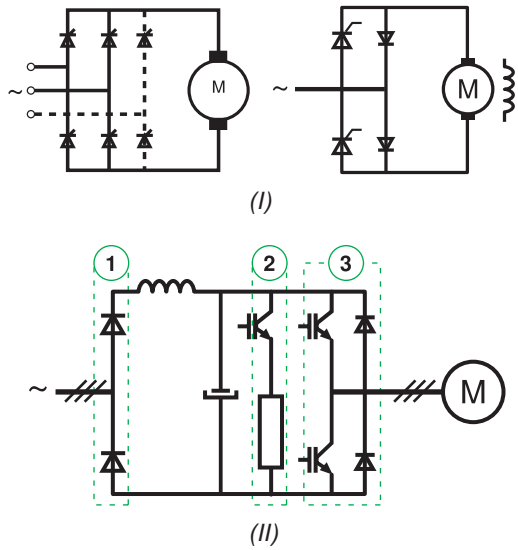
- **Реверс**

Изменението на посоката на въртене на двигателя се постига чрез изменение на полярността на напрежението (при регулатори за постояннотокови двигатели) или чрез изменение поредността на фазите за



Посока на въртене	Режим	Момент T	Скорост S	Произве-дение TS	Квадрант
1 (по часова стрелка)	Двигателен	Да	Да	Да	1
	Генераторен		Да		2
2 (срещу часо-вата стрелка)	Двигателен			Да	3
	Генераторен	Да			4

Фиг. 5.43 *Механична характеристика с възможни режими на работа на двигателя в четирите квадранта*



Фиг. 5.44 *Схеми на преобразуватели:*
(I) за постояннотоков двигател;
(II) за променливотоков двигател с входен диоден мост (1), спирачно устройство (резистор и ключ) 2 и преобразувател на честота 3.

променливотоков двигател. Това се изпълнява автоматично или:
- след изменение полярността на сигнала от настройката;
- след подаване на команда на съответни логически вход;
- в съответствие с информацията, предавана по комуникационна шина.

Тази функция е стандартна в съвременните регулатори за променливотоковите двигатели.

- **Динамично спиране**

При този процес двигателят спира без да се управлява скоростта на забавяне.

В устройствата за плавно пускане на асинхронни двигатели и честотните преобразуватели това е направено по икономичен начин, подавайки постоянен ток към двигателя чрез изменение на комутацията на силовите елементи. Механичната енергия се разсейва в ротора на машината. В регулаторите, за постояннотокови двигатели, тази функция може да се изпълни чрез включване на резистори към котвената намотка.

- **Вградена защита**

Съвременните честотни преобразуватели осигуряват топлинна защита на двигателите и самозащита. Използвайки непрекъснато измерване на температурата и информация за скоростта (ако вентилация на двигателя зависи от неговата скорост на въртене), микропроцесорът изчислява увеличаването на температурата на двигателя и подава предупредителен сигнал или сигнал за аварийно изключване в случай на недопустимо прегряване.

Преобразувателите на честотата за променливотокови двигатели обикновено изпълняват защита от:
- междуфазно късо съединение и земно съединение;
- пренапрежение и спадане на напрежение;
- несиметрия на напрежението;
- отпадане на фаза.

■ Основни режими на работа и типове регулатори на скорост

□ Основни режими на работа

В зависимост от схемното решение регулаторите на скорост могат да управляват скоростта на въртене в едната или в двете посоки.

Регулаторите на скоростта могат да изпълняват функцията рекуперация, ако осигурят връщане на енергия в мрежата.

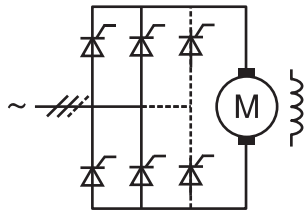
Освободената енергия при работа в генераторни режими може да бъде върната или в основната мрежа (реверсивен входен мост) или да се разсее върху резистор с помощта на спирачен ключ или при малка стойност да се преобразува като загуби в машината.

На *(⇨ Фиг. 5.43)* са илюстрирани четири възможни ситуации на механичната характеристика за различни режими на работа на двигателя.

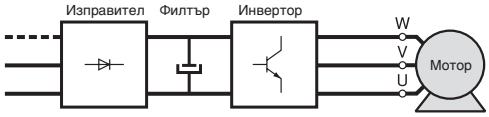
- **Нереверсивен регулатор за управление на честотата на въртене на двигател в една посока (еднопосочен регулатор)**

Този тип контролери са предназначени за:
- постояннотокови двигатели, с DC преобразувател или управляем изправител (AC=>DC) с диоден или тиристорен мост *(⇨ Фиг. 5.44 I)*;
- променливотокови двигатели с преобразуватели на честота с диоден мост на входа, които имат междинно звено за постоянен ток, включено към инвертор, осигуряващ работа на машина в първи квадрант Q1 *(⇨ Фиг. 44 II)*. В някои случаи тази конфигурация може да се използва за регулатор за две посоки на въртене (квадранти Q1 и Q3).

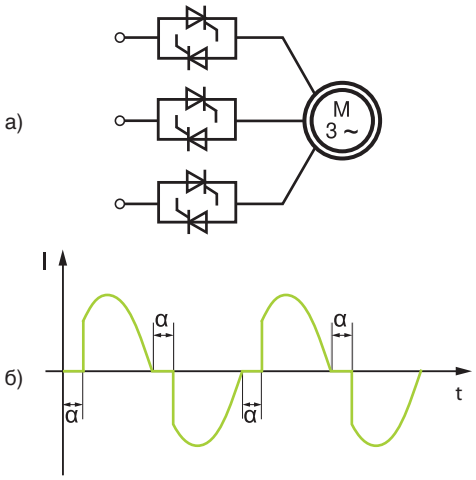
Честотният преобразувател със спирачен ключ, при правилно подбран спирачен резистор, позволява да се осигури практически мигновено спиране (в режим на контролирано забавяне, за подемно-транспортни механизми, когато двигателят трябва да развива спирачен момент при спускане, задържайки товара). В продължителни режими на работа



Фиг. 5.45 *Изправителен DC-мост за постояннотоков двигател*



Фиг. 5.46 *Схема на захранване на променливотоков двигател с честотен преобразувател*



Фиг. 5.47 *Устройство за плавно пускане на двигател за променлив ток (а) и форма на работния ток (б)*

на двигателя с активен товар, когато се появява генераторен режим, е необходим реверсивен или двупосочен преобразувател, например за управление на спиране в изпитателен стенд.

• Регулатор за управление честотата на въртене на двигател за две посоки (двупосочен регулатор)

Този тип регулатор може да бъде с рекуператор (или със спирачен ключ) или без тях. Ако той съдържа рекуператор (или спирачен ключ) уредба с такъв регулатор работи във всички четири квадранти и може да се използва за постоянно спиране *(⇨ Фиг. 5.43)*.

Ако регулаторът е без рекуператор (или спирачен ключ) уредбата с такъв регулатор може да работи в първи и трети квадрант.

Схемотехническото решение и параметрите на регулатора или устройствата за пускане зависят от характера на товара, неговата способност да създава въртящ момент, предизвикващ движение (активен въртящ момент).

□ Основни типове регулатори на скорост

Както беше отбелязано в тази част са описани най-общо технологии и начини за регулиране на скоростта.

• Управляеми преобразуватели за постояннотокови двигатели

Те преобразуват променливия еднофазен или трифазен ток в подходящо захранване за управление на постояннотоковия двигател.

Полупроводниковите елементи се монтират в еднофазен или трифазен мост *(⇨ Фиг. 5.45)*. Изправителният мост може да бъде изпълнен като комбинация от диоди и тиристори или само от тиристори.

Последното решение се използва най-често тъй като позволява да се получи по-добра форма на тока, консумиран от основната верига.

Постояннотоковите двигатели са най-често с независимо възбуждане, с изключение на двигателите с малка мощност, където се използват постоянни магнити и отделна възбудителна намотка не е необходима.

Този тип регулатор на скорост е подходящ за редица приложения. Единствените ограничения при използване на постояннотокови двигатели са постигането на високи скорости на въртене и изпълнението на техническите изисквания при обслужване (подмяна на четки).

Постояннотоковите двигатели и устройствата за регулиране на тяхната скорост са първите промишлени решения. През последните години тяхното приложение е силно ограничено, тъй като се предпочита използването на честотни преобразуватели с променливотокови двигатели. Асинхронният двигател е по-надежден и по-евтин в сравнение с постояннотоковия двигател. При стандартно изпълнение със степен на защита IP55 машината е надеждно защитена от външни въздействия (дъжд, прах, опасни газове и др.).

• Честотни преобразуватели за променливотокови двигатели

Те осигуряват трифазно променливо напрежение с необходима ефективна стойност и променлива честотата *(⇨ Фиг. 5.46)*. Захранването на преобразувателите може да бъде еднофазно, за мощности до няколко kW, или трифазно – за големи мощности.

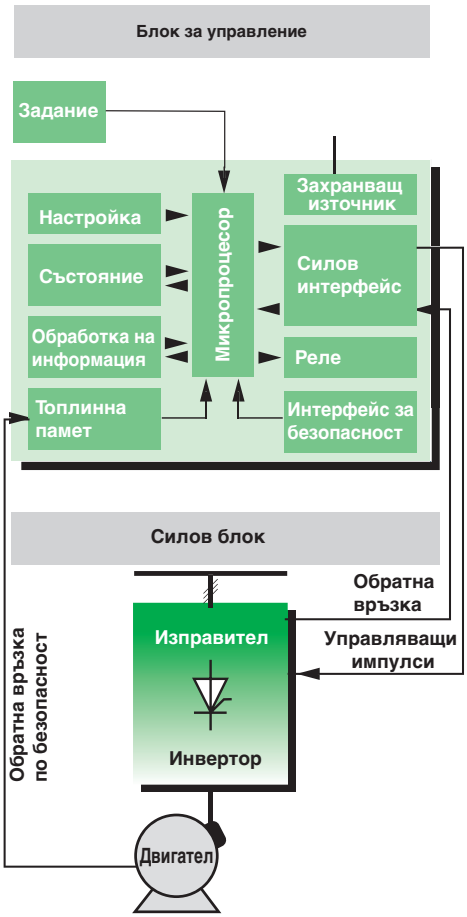
Преобразувателите за малка мощност могат да бъдат захранени от еднофазна или трифазна мрежа. Изходът на честотните преобразуватели е винаги трифазен, тъй като еднофазните асинхронни двигатели не са приспособени за работа с честотни преобразуватели. Двигателите за променлив ток, захранвани с честотни преобразуватели, притежават редица предимства: стандартни параметри, ниска цена, висока надеждност и степен на защита, отсъствие на техническо обслужване. Тези двигатели обикновено са с естествено охлаждане (самовентилация) и затова тяхното използване в технически системи в продължителен режим на работа и ниска скорост на въртене е ограничено поради влошена вентилация. Ако е необходима продължителна работа с ниска скорост на въртене се използват специални двигатели с независима вентилация.

• Устройства за плавно пускане на асинхронни двигатели

Този тип устройства, известни като софтстартери (soft-start), се използват в момента главно за пускане на двигатели. В миналото, заедно със специални асинхронни двигатели с повишено хлъзгане те са използвани и за регулиране на скоростта на тези двигатели.

Устройството за плавно пускане осигурява променлив ток със същата честота както и силовото захранване и управлява ефективната стойност на напрежението чрез полупроводникови схеми. Схемното решение се изпълнява с два тиристора чрез противоположно включване във всяка фаза на двигателя *(⇨ Фиг. 5.47)*.

5.8 Структура и компоненти на устройства за плавно пускане и честотни преобразуватели



↑ *Фиг. 5.48* *Обща структура на честотен регулатор*

■ Структура

Устройствата за плавно пускане и честотните преобразуватели са изградени от два блока, вградени в един корпус *(⇨ Фиг. 5.48)*:

- управляващ блок за съгласуване работата на АД и механизма;
- силов блок за осигуряване на захранването на двигателя.

□ Управляващ блок

В съвременните устройства за пускане и честотните преобразуватели всички операции се управляват от микропроцесор, който отчита параметрите на настройката, командите, предавани от оператора или управляващ процесор, а също обработва и сигналите, постъпили от обратната връзка по скорост, ток и т.н.

Развитието на изчислителните възможности и микропроцесорите и специализираните печатни платки (ASIC), доведе до разработване на мощни алгоритми за обработка параметрите на управляваната машина. С помощта на тази информации микропроцесорът управлява процесите на ускорение и забавяне, регулира скоростта на въртене и ограничава тока, а също изработва и команди към силовите компоненти. Функциите за защита и безопасност обикновено са реализирани в специализирани печатни платки (ASIC) или в силовите захранващи модули (IPM).

Параметрите на настройката (ограничаване на скорост, параметри на ускоряване/спиране, ограничаване на ток и др.) се въвеждат или от вградена клавиатура или се предават от PLC или персонален компютър (PC) през комуникационна шина. Освен това, командите (пускане, изключване, спиране и др. могат да се подават чрез диалогов интервал (HMI), програмируеми PLC или чрез PC. Работните параметри, предупредителните сигнали и информацията за повреди могат да се визуализират с индикатори, светодиоди, течнокристални дисплеи, или да се изпращат на операторите по полева шина.

Релетата, които са най-често програмируеми, дават възможност да се получи най-често информация за:

- повреди (в основно захранване, превишена температура, ред на операции, претоварване и др.);
- контролируеми състояния (праг на скоростта на въртене, предварийно състояние или завършване пускането на двигател).

Захранващото напрежение, необходимо за извършване за измерване на параметрите и работата на схемата за управление, се подава от вграден захранващ източник, който е галванично разделен от силовото захранване.

□ Силов блок

Силовият блок се състои от:

- полупроводникови елементи (диоди, тиристори, специализирани биполярни транзистори с изолиран гейт IGBT и др.);
- интерфейс за измерване на напрежение и/или ток;
- вентилационна система.

5.9 Силови компоненти

Силовите полупроводникови елементи по принцип на действие са аналогични на механичните прекъсвачи, които могат да бъдат във включено или изключено състояние.

С тези елементи, вградени в силовите модули, се изгражда преобразувател, който променя напрежението от захранващата мрежа с постоянна амплитуда и честотата в изходно напрежение с променлива амплитуда и/или честотата и го подава към асинхронния двигател.

Полупроводниковите елементи са в основата на честотните преобразуватели, а развитието им в последните години ги направи предпочитани в масовото производство.

Полупроводниковите материали, например силицият, имат способността да променят своето съпротивление и да притежават свойства, характерни за проводник или изолатор. Техните атоми имат четири валентни електрони. Всеки атом се свързва с четири съседни атома и се изгражда стабилна (ковалентна) електронна връзка.

Полупроводников материал с проводимост от типа P се получава ако в силиция се въведе минимално количество вещество, чиито атоми имат три валентни електрона (например Бор, Индий и др.). В този случай в силициевите атоми липсва един електрон, за да се изгради устойчива структура от осем електрона и това предизвиква отделяне на един положителен заряд.

Полупроводников материал с проводимост от типа N се получава ако в силициевия кристал се въведат минимален брой химически елементи от пета валентност (например Фосфор и др.), т.е. с пет валентни електрона. В този случай се получава излишък от електрони.

↑ Фиг. 5.49 *Диод*

Диод *(⇨ Фиг. 5.49)*

Диодът е неуправляем полупроводников елемент, който се състои от две зони съответно с P- проводимост (анод) и N-проводимост (катод). Той позволява протичане на електрически ток само в една посока от анода към катода.

Електрическият ток протича, когато на анода е подадено напрежение с по-висок потенциал в сравнение с катода, т.е. елементът действа като затворен ключ. Ако потенциалът на анода стане по-малък от този на катода диодът се „запушва“ и това наподобява на отворен ключ.

Необходимо е да се отбележи, че за разлика от механичните прекъсвачи проводимото състояние на полупроводниковия елемент се нарича отпушено състояние, а непроводимото състояние – запушено.

Диодът се характеризира със следните основни показатели:

- **в отпушено състояние (closed-state):**
  - пад на напрежение, който се определя от праговото напрежение и вътрешното съпротивление;
  - максимално допустим постоянен ток (еквивалентен на ефективна стойност на тока - до 5 000 A, за най-мощните елементи).
- **в запушено състояние (off-state):**
  - максимално допустимо обратно на напрежение, което може да надхвърли 5 000 V.

↑ Фиг. 5.50 *Тиристор*

Тиристор *(⇨ Фиг. 5.50)*

Това е управляем полупроводников елемент, който има четирислойна P-N-P-N структура и три P-N-прехода.

Той работи като диод, когато през управляващия електрод протича електрически ток. Протичането на ток през резистора е възможно само ако анода има по-висок потенциал от катода. тиристорът престава да пропуска електрически ток, (запушва се), когато токът, протичащ през него спадне до прага на запушване.

Токът, протичащ през управляващия електрод не влияе върху тока,

протичащ в основната верига и освен това не е необходимо да се поддържа постоянно при отпушено състояние на тиристора – той е необходим само за отпушване.

Тиристорът има следните основи характеристики:

- **в отпушено състояние:**
  - пад на напрежение, определен от праговото напрежение и вътрешното съпротивление;
  - максимално допустим постоянен ток (еквивалентен на ефективна стойност на тока - до 5 000 A, за най-мощните елементи).
- **в запушено състояние:**
  - изправено максимално допустимо напрежение (може да надхвърли 5 000 V);
  - в общия случай изправеното и обратното напрежение са еднакви;
  - време за запушване, т.е. минималното време, през което на тиристора не трябва да се подава положително напрежение на анода спрямо катода, защото в противен случай е възможно произволно отпушване на тиристора;
  - управляващ ток за отпушване на основната верига на тиристора.

Някои тиристори са предназначени за работа в схеми с ниска честотата, а други – в схеми за висока честотата. Такива тиристори се наричат бързодействащи и те могат да работят при честоти до няколко килохерца.

Бързодействащите тиристори понякога се характеризират с различни право и обратно напрежение.

В класическите приложения тиристорите често се свързват с противоположно включени диоди. Производителите на полупроводникови елементи използват това решение, за да увеличат постоянното напрежение, което тиристорът може да издържи във включено състояние. Бързодействащият тиристор се замества в последно време с т.нар. специализиран тиристор GTO (Gate Turn Off Thiristor), силови транзистори и в частност IGBT транзистори.

Специализиран тиристор GTO *(⇨ Фиг. 5.51)*

Това е разновидност на бързодействащ тиристор, чието запушване може да се осъществи с помощта на управляващ електрод. Електрическият ток протича от анода към катода дотогава, докато на анода се подава по-висок потенциал. За да се поддържа тиристорът GTO в отпушено състояние и за да се ограничи пада на напрежение през управляващия електрод трябва да протича ток.

↑ *Фиг. 5.51* *GTO тиристор*

Токът през управляващият електрод за поддържане на тиристорът в отпушено състояние (задържащ ток) не е голям. Той е съществено по-малък от тока през управляващия електрод за отпушване на тиристора. За да се запуши тиристорът е необходимо да се измени полярността на управляващия електрод.

Тиристорите GTO се използват в много мощни преобразуватели, тъй като през тях могат да се пропускат големи токове и да издържат на високи напрежения (до 5 000A и до 5 000V). Обаче широкото използване на IGBT транзисторите ограничи използването на GTO транзисторите на пазара.

Тиристорът GTO има следните основни характеристики:

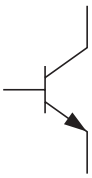
- **в отпушено състояние:**
  - пад на напрежение, определен от праговото напрежение и вътрешното съпротивление;
  - задържащ ток. Той се стреми да намали изправеният пад на напрежение;
  - максимално допустим постоянен ток;
  - ток на запушване, за прекъсване на основния ток в елемента.
- **в запушено състояние:**
  - изправено максимално допустимо напрежение. То често е асиметрично аналогично на бързодействащия тиристор и причините за

това са същите;
- време за запушване, т.е. минималното време, през което на тиристора се подава запушващ ток, в противен случай е възможно самопроизволно отпушване на тиристора;
- максимално допустим постоянен ток;
- ток на запушване, за прекъсване на основния ток в елемента.

Тиристорите GTO могат да работят при ниски честоти до 1 kHz.

Транзистор *(⇨ Фиг. 5.52)*
Това е управляем полупроводников елемент, съставен от три полупроводникови прехода P-N-P или N-P-N.Електрическият ток може да протича само в едно направление: от емитер към колектор за типа P-N-P и от колектора към емитера за - N-P-N.

Мощните транзистори, които могат да работят с промишлено напрежение, обикновено са от типа N-P-N и са реализирани по схема „Дарлингтон“. Транзисторът може да работи като усилвател.



↑ Фиг. 5.52 *Транзистор PNP*

При това стойността на тока, който протича през транзистора зависи от стойността на управляващия ток, протичащ през базата. Транзисторът може да работи като статичен ключ, т.е. да се превключва от състояние с минимална проводимост (при отсъствие на ток в базата) до състояние с максимална проводимост (в случай на насищане). Този режим се използва при работа в силови схеми на регулатори за скорост.

Биполярните транзистори могат да работят с напрежение до 1 200V и да пропускат ток до 800A.

През последните години тези елементи са заменени със специализирани биполярни транзистори с изолиран гейт IGBT.

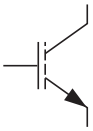
За операциите, които се разглеждат, биполярният транзистор има следните характеристики:

- **в отпушено състояние:**
  - пад на напрежение, определен от праговото напрежение и вътрешното съпротивление;
  - максимално допустим постоянен ток;
  - управляващ ток (за привеждане на транзистора в състояние на насищане той трябва да бъде по-голям от основния ток, разделен на коефициента на усилване).
- **в запушено състояние:**
  - максимално допустимо изправено напрежение.

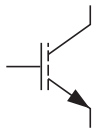
Силовите транзистори, използвани в честотните регулатори могат да работят при ниски честоти до 1 kHz.

IGBT транзистор *(⇨ Фиг. 5.53)*
Това е силов транзистор, управляван с напрежение, което се подава на управляващия електрод, наричан „затвор“ (gate), изолиран от силовата верига. Оттук произтича и името на елемента – „биполярен транзистор с изолиран гейт“.
Това устройство се характеризира с много малка мощност за управление, необходима за комутация на много по-голям ток в силовата верига.
Напоследък този елемент се използва в силови вериги на огромен брой честотни преобразуватели за променливотокови двигатели (с мощност до 1 MW). Неговите V-A характеристики са аналогични на тези на биполярните транзистори, но енергийните му показатели и бързодействие са по-добри от тези на кой да е друг полупроводников елемент.
Характеристиките на IGBT транзисторите се подобряват непрекъснато и в момента са конструирани елементи за напрежения над 3 kV и токове – до няколко стотици ампери.
IGBT транзисторът има следните основни характеристики:

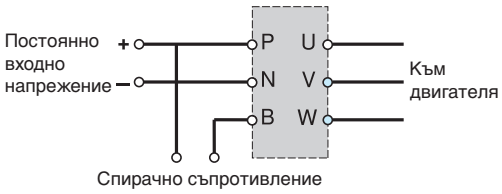
- **управляващо напрежение:**



↑ Фиг. 5.53 *Транзистор IGBT*



↑ Фиг. 5.54 *Транзистор MOS*



↑ Фиг. 5.55 *Схема на свързване на интелигентен силов модул IPM*

- управлява отпушването и запушването на устройството.

- **в отпушено/включено състояние:**
  - пад на напрежение, определен от праговото напрежение и вътрешното съпротивление;
  - максимално допустим максимален ток.

- **в запушено/изключено състояние:**
  - максимално допустимо изправено напрежение.

IGBT транзисторите, използвани в устройствата за регулиране на скорост могат да работят при честоти до няколко десетки kHz.

Полеви транзистор МОП (MOS) *(⇨ Фиг.5.54)*

Този елемент работи съвсем различно от разгледания по-горе, променяйки електрическото поле в транзистора чрез поляризиране на изолирания гейт. От тук произтича наименованието метал-оксид-полупроводник (МОП).

Използването на този транзистор в устройства за регулиране на скоростта е ограничено от захранването с ниско напрежение (регулаторите на скорост са включени към акумулаторна батерия) или малката мощност, тъй като изискването на силициевата подложка за високо запушващо напрежение при малък пад на напрежение в отпушено състояние се оказва икономически неизгодно.

МОП транзисторът има следните основни характеристики:

- **управляващо напрежение:**
  - осигурява отпушване или запушване на елемента.

- **в отпушено/включено състояние:**
  - вътрешно съпротивление;
  - максимално допустим максимален ток.

- **в запушено/изключено състояние:**
  - максимално допустимо изправено напрежение (може да бъде над 1 000 V).

МОП транзисторите, използвани в регулаторите за скорост, могат да работят при честоти до няколко стотици kHz. Те намират приложение във всички импулсни захранващи източници като дискретни елементи, а също и в интегрални модули, изградени от силови компоненти (МОП) и вериги за управление.

Интелигентен силов модул IPM

В действителност това не е полупроводников елемент, а интегрална схема с IGBT транзистори. Този модул *(⇨ Фиг. 5.55)* представлява инверторен мост с IGBT транзистори и нисковолтов блок за тяхното управление.

Модулът IPM съдържа:

- седем IGBT транзистора, от които 6 се използват за мостовата схема и един - като спирачен резистор;
- схема за управление на IGBT;
- седем силови диода, обхванати с IGBT, чрез което се осигурява протичането на електрически ток;
- защита от къси съединения, претоварване и температурно прегряване;
- електрическа изолация на модула.

Входният диоден мост на изправителя се вгражда обикновено в този модул.

Електронната схема позволява да се подобри управлението с превключване на IGBTтранзистори.

5.10 Регулатор на напрежение за постояннотокови двигатели

Основни принципи

Системата „генератор-двигател“ (система Леонардо) е предшественик на статичните регулатори на скоростта на постояннотоковите двигатели *(⇨ вж. глава 3)*.

Тази система се състои от задвижващ двигател (обикновено асинхронен) и постояннотоков генератор с регулируемо възбуждане, който се използва за захранване на един или повече двигатели за постоянен ток. Възбуждането на двигателя се регулира с електромеханично устройство (търговски наименования Amplidyne, Rototrol, Regulex) или статична система (магнитен усилвател или електронен регулатор.

Такива устройства вече не се произвеждат. Те са заменени от полупроводникови регулатори на скорост, които изпълняват същите функции, могат да работят с двигатели, имащи големи мощности и не изискват техническо обслужване.

Електронните регулатори на скорост се захранват от мрежа за постоянен ток или от променливотокова мрежа и подават към двигателя изправено напрежение с необходимата стойност.

За захранване на възбудителната верига се използван диоден или тиристорен мост, захранвани от еднофазна мрежа.

Силовата схема за захранване на котвената верига е също изправителна. Тъй като напрежението на изхода трябва да се променя изправителят трябва да бъде управляем, т.е. да се състои от силови елементи, чиято проводимост може да се управлява (тиристори). При регулиране ъгълът на отпушване на тиристорите (изместване момента на подаване на отпушващ импулс на управляващия електрод спрямо точката на естествено отпушване) ефективната стойност на изправеното напрежение на котвената намотка се намалява, като едновременно с това се намалява и скоростта на въртене на двигателя (запушването на тиристорът става автоматично, когато токът достигне нулева стойност).

За регулаторите с малка мощност или за регулаторите, захранвани с акумулаторни батерии, силовата схема понякога е изградена от силови транзистори ключове). При тях се регулира времето на отпушено състояние на ключовете при постоянно изходно напрежение. Този режим на работа се нарича ШИМ – широчинна импулсна модулация.

Регулиране

При регулиране скоростта на въртене трябва да се поддържа на зададено ниво независимо от външните въздействия (изменение на съпротивителния момент, на захранващото напрежение и на температурата).

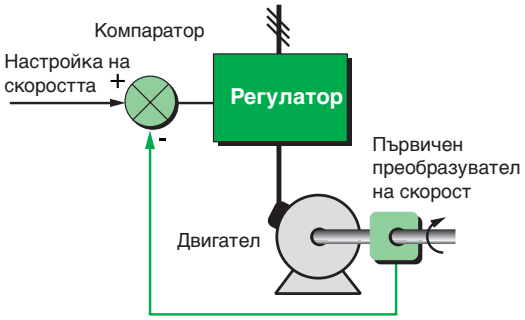
При развъртане или претоварване стойността на тока не трябва да достига опасни стойности за двигателя или за преобразователното устройство.

Регулаторът ограничава тока до безопасна стойност за двигателя. Настройването на регулатора зависи от характеристиките на двигателя. Стойността на зададената скорост се подава от задаващо устройство към регулатора през аналогов или дискретен вход или се предава по комуникационна шина или се задава от устройство, изработващо задание на скоростта.

Стойността на заданието се установява преди началото на работа или се регулира по време на работа на машината.

Графиките на кривите за ускоряване или забавяне до зададена скорост определят времето за ускоряване и забавяне.

5.10 Регулатор на напрежение за постояннотокови двигатели



↑ Фиг. 5.56 *Към принципа за регулиране скоростта на въртене*

В затворена система действителната скорост на въртене постоянно се измерва с аналогов или импулсен първичен преобразувател на скорост и сравнява със зададената стойност *(⇨ Фиг. 5.56)*. Ако се получи отклонение електронното устройство за управление коригира скоростта. Скоростта на въртене може да се изменя от няколко оборота за минута до максимална стойност. Точността при регулиране на скоростта в този диапазон, при възможни изменения на товара, колебания на захранващото напрежение на мрежата, изменение на температурата, достига стойност 0,01 при аналогово регулиране и 0,001 – при цифрово.

В затворена система скоростта на въртене може да се регулира с обратна връзка по напрежение към двигателя с отчитане на протичащия през него електрически ток.

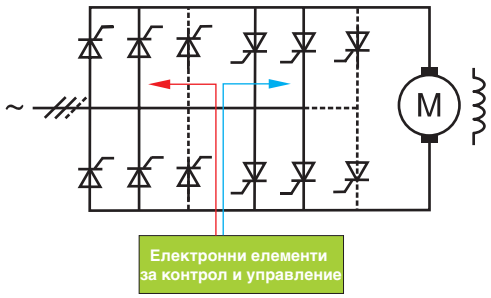
В този случай показателите за регулиране (диапазон и точност) са малко по-ниски. Например, точността е няколко % при изменение на товара от нула до номинална стойност.

■ Реверсиране и рекуперативно спиране

За да се измени посоката на въртене е необходимо да се измени полярността на напрежението, подавано на котвената намотка на двигателя. Това може да бъде изпълнено с помощта на контактори (такова решение се използва все по-рядко) или статистически, чрез изменение полярността на напрежението на изхода на преобразувателя, подавано на котвата, или с изменение посоката на възбудителния ток.

Последното решение не се използва често поради голямата времеконстанта на възбудителната намотка.

Когато е необходимо управляемо спиране или характера на товара изисква това (висок инерционен момент) освобождаваната енергия трябва да бъде върната обратно в захранващата мрежа. По време на спирането регулаторът работи като инвертор, т.е. произвежданата енергия е отрицателна. Регулаторите, които са способни да изпълнят тези две операции (реверсиране и рекуперативно спиране) съдържат два изправителни моста, свързани противопосочно *(⇨ Фиг. 5.57)*. Всеки от тези мостове може да промени посоката на тока и полярността на напрежението и съответно посоката на енергията между мрежата и товара.



↑ Фиг. 5.57 *Структурна схема на регулатор на скорост за постояннотоков двигател*

■ Възможни режими на работа

□ Режим на работа с постоянен момент

При постоянно възбуждане скоростта на двигателя зависи от напрежението, подавано към котвената намотка. Скоростта може да се изменя от нула до номинална стойност в съответствие с параметрите на двигателя.

Въртящият момент на двигателя е пропорционален на неговия ток, а номиналният въртящ момент на машината може да бъде получен в целия диапазон на изменение на скоростта.

□ Режим на работа с постоянна мощност

Когато на котвената намотка е подадено номинално напрежение може да се увеличи скоростта на двигателя чрез намаляване на неговия възбудителен ток. В този случай регулаторът на скорост трябва да съдържа управляем изправител за захранване на възбудителната верига.

В този случай напрежението на котвата остава постоянно и равно на номиналното, а възбудителният ток се регулира до получаване на необходимата скорост.

Мощността се изчислява с изразява:

P = E x I,

където **E** е е.д.н. на двигателя, равно на котвеното напрежение;
I – токът на двигателя.

Мощността при зададена стойност на тока на двигателя, в този случай, е постоянна за всички стойности на скоростта, а максималната скорост се ограничава от два параметъра:

- механични ограничения, наложени от котвата на двигателя, особено от максималната центробежна сила, която може да издържи колектора;
- ограничени комутационни възможност на машината.

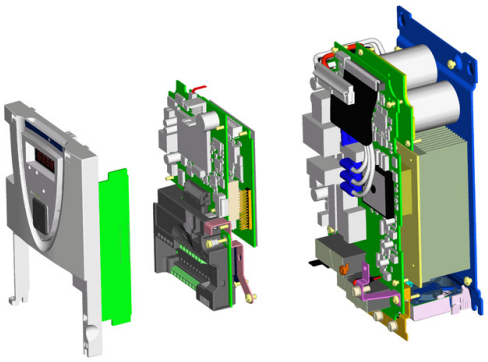
Производителите на двигатели трябва да осигурят необходимата информация за двигателя особено за диапазона от скорости, при които машината може да работи с постоянна мощност.

5.11 Честотни преобразуватели за асинхронни двигатели

Принципите за изграждане на регулаторите за скорост към асинхронни и синхронни двигатели са еднакви. Ефективни регулатори на скорост за асинхронни двигатели се появиха отскоро на пазара. Компанията Schneider Electric е една от първите фирми, която излезе на световния пазар на тези устройства. Техническите усъвършенствания на тези регулатори, въведени през последните години, доведоха до появяване на високоефективни модели и намаляване на тяхната цена.

Общи принципи

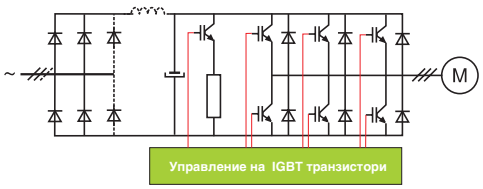
Честотният преобразувател за променливотоков двигател получава захранване от промишлената мрежа при постоянни стойности на захранващото напрежение и честота и преобразува напрежението в променливо регулируемо напрежение с променлива честота, в зависимост от заданието на скоростта *(⇨ Фиг. 5.58)*. За да се осигури постоянна претоварваща способност на асинхронния двигател при всяка скорост е необходимо да се създаде постоянен магнитен поток в двигателя. Затова напрежението и честотата трябва да се изменят едновременно в едно и също отношение.



↑ Фиг. 5.58 Конструкция на честотен регулатор за скорост на въртене

Устройство

Обикновено в силовата верига на преобразувателя се използва изправител, преобразуващ захранващото напрежение в постояннотоково, с него се захранва инвертора, изработващ променливо регулируемо напрежение с променлива честота *(⇨ Фиг. 5.59)*. За да се осигури съответствие с изискванията на стандартите на Европейския съюз и на изискванията CE, се налага монтиране на мрежов филтър във веригата до изправителния мост.



↑ Фиг. 5.59 Принципна електрическа схема на честотен преобразувател

Изправител

В общия случай изправителят представлява диоден мост и филтър, изграден от един или няколко кондензатора, в зависимост от мощността. За осигуряване защитата на веригите от претоварване в устройството е вградена схема за ограничаване на пусковия ток. Някои инвертори използват тиристорния мост за това, за да ограничат пусковия ток на филтровите кондензатори, които се зареждат до амплитудните стойности на напрежението на захранващата мрежа (около 560 V при трифазно напрежение 400V).

Забележка: Независимо от наличието на разрядни вериги, кондензаторите запазват продължително време високи (опасни) стойности на напрежението дори и при изключване от захранващата мрежа. Всяко техническо обслужване на тези устройства трябва да се извършва от обучен персонал, който спазва правилата за безопасност и може да определи дали заряда на кондензатора е достигнал безопасно ниво.

Инвертор

Изправителният мост на инвертора, включен към кондензаторите, е изпълнен от 6 мощни силови транзистора (обикновено IGBT) и паралелно свързани с тях обратни диоди.
Този тип регулатор е предназначен за захранване на асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор.

5.11 Честотни преобразуватели за асинхронни двигатели

Преобразувателят на честота Altivar на компанията Schneider Electric е предназначен да управлява двигатели с различна мощност. Той може да работи с един двигател или с няколко двигатели, работещи заедно.
Той е изграден от:
- изправител с филтров кондензатор;
- инвертор с 6 IGBT транзистора и 6 диода;
- превключвател, свързан със спирачно съпротивление (обикновено е разположен извън апарата);
- схеми за управление на IGBT транзистори;
- микропроцесорен блок за управление на инвертора;
- вградени първични преобразуватели за измерване тока на двигателя, постоянното напрежение на клемите на кондензаторите, а в някои случаи се измерва напрежението на клемите на изправителния мост и захранващите клеми на двигателя, когато тези величини са необходими на системата за управление и защита на контролера;
- захранващ източник за електронните схеми ниско напрежение.

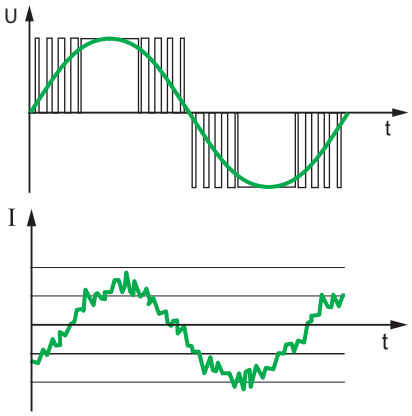
Захранването на веригите за управление се осъществява от блок за постоянен ток с филтров кондензатор, което позволява да се осигури нечувствителност на блока за управления към краткотрайно спадане и бързи изменения на напрежението. Това дава възможност за използване на честотния преобразувател в промишлени електрически мрежи с недобро качество на електрическата енергия.

Изменение на скоростта

Изходното напрежение на преобразувателя се формира от импулси с различна ширина, получавани чрез комутация на постоянното напрежение на изхода на изправителя. При модулиране на импулсите се получава променлив ток със синусоидална форма (⇨ Фиг. 5.60).

Тази технология е известна под името широчинно-импулсна модулация (ШИМ) и позволява да се получи равномерно въртене при ниски скорости и ограничава повишаването на температурата на двигателя.

Честотата на комутацията на транзисторите се избира на основата на компромис – тя трябва да бъде достатъчно висока, за да се намалят пулсациите и шумът в двигателя, но трябва да се отчитат и увеличаващите се загуби в полупроводникови елементи, включени в изправителния мост на инвертора.



Фиг. 5.60 *Към широчинно-импулсна модулация (ШИМ): U – напрежение на двигателя;* I *– ток на двигателя.*

Вградени защити

Преобразувателят на честота осигурява защита срещу прекомерно прегряване както на градивните елементи на апарата, така и на двигателя, блокирайки работата до момента, в който не бъде възстановена допустимата температура. Защитата заработва в случай на появяване на нерегламентирани въздействия или грешки, които могат да повлияят нормалното функциониране на преобразувателя. Например, твърде високо напрежение, намалено напрежение, прекъсване на входна или изходна фаза. В някои модели изправителят, инверторът, спирачният ключ, схемите за управление и защита от къси съединения са вградени в отделен IPM.

Честотни преобразуватели за променливотокови двигатели

Първите модели на честотни преобразуватели за променливотокови двигатели са използвали скаларно управление по закона **U/f=const**. Това е било единственото икономически ефективно решение. С развитието на микропроцесорната техника се създават по-точни и по-бързи методи за управление, а именно т.нар. векторно управление, което позволява решаването на посочената задача на ново ниво. В момента водещите производители предлагат комплектно решение позволяващо да се избере подходящ закон за управление: скаларен, векторен с използване на преобразувател за обратна връзка, а също векторен без обратна връзка.

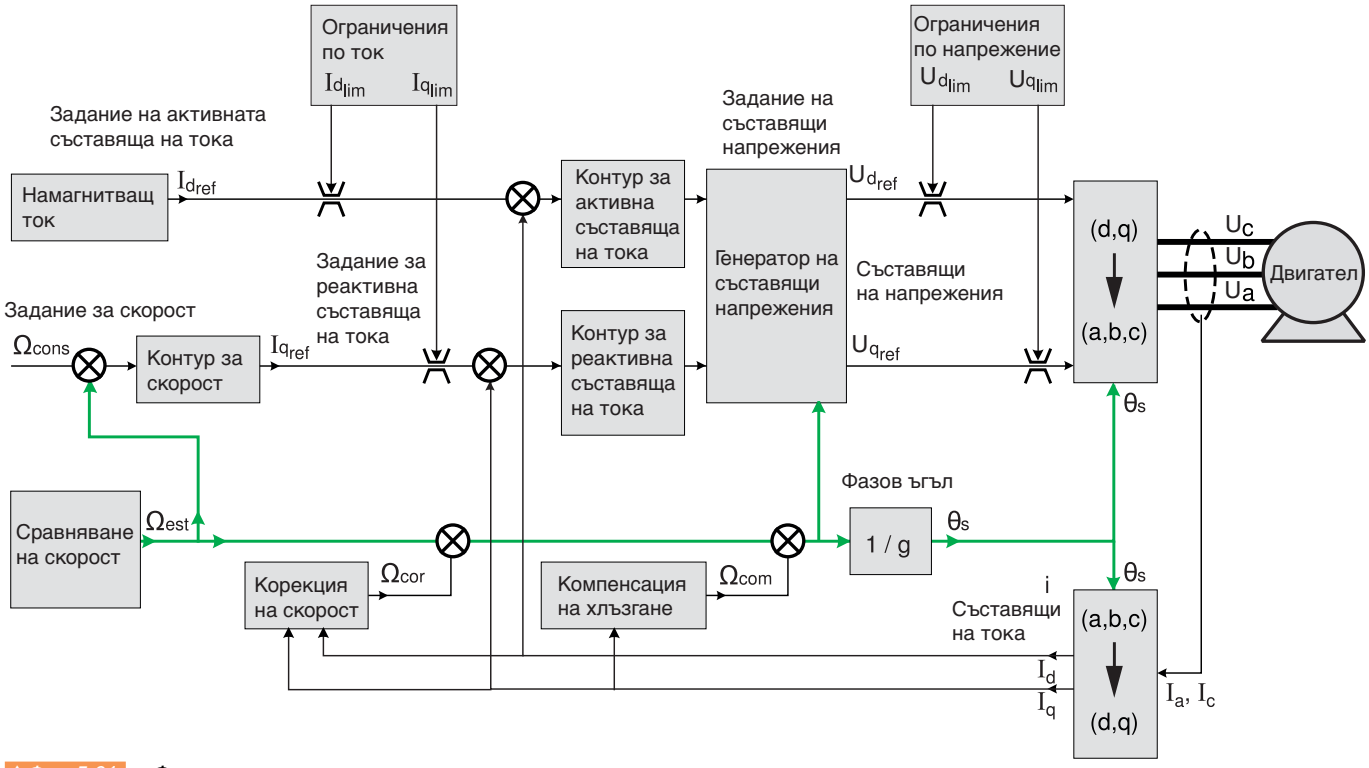
Управление по закона U/f=const.

При този тип управление сигналът за задаване на скоростта определя честотата на изхода на инвертора и следователно зададената скорост на въртене на двигателя. Напрежението зависи директно от честотата. Този тип управление се нарича управление от типа U/f или скаларно управление.

Ако не са взети допълнителни мерки реалната скорост зависи от товара, което ограничава работния диапазон за регулиране на скоростта. Груба компенсация може да се осъществи чрез отчитане пада на напрежение върху съпротивлението на статорната намотка на двигателя.

Регулатор с векторно управление без обратна връзка

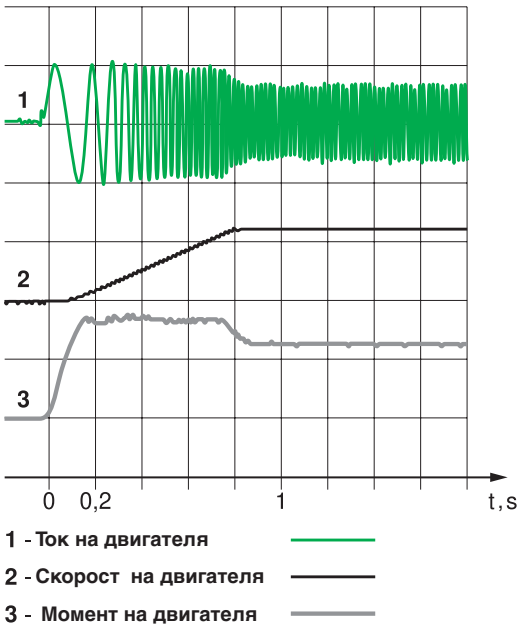
Производителността на такова устройство съществено се увеличава за сметка на използването на микропроцесорна изчислителна система и използването на векторно управление (CVF) (⇨ *Фиг. 5.61*).



↑ *Фиг. 5.61* *Функционална схема на регулатор с векторно управление без обратна връзка*

Такова устройство се вгражда в най-съвременните регулатори на скорост от завода-производител. Познаването или оценките на параметрите на механизма позволяват да се избегне използването на първичен преобразувател на скорост в редица области на приложение. В този случай, стандартният двигател може да се използва с някои ограничения за продължителност на работа при ниски скорости. Честотният преобразувател определя необходимите параметри на основата на информация, получена в резултат от измерване напрежението и тока на клемите на двигателя.
Този начин на управление гарантира коректна работа без увеличаване на стойността. Основните параметри на механизма трябва да бъдат известни предварително, за да се постигане този резултат.
При въвеждане в действие операторът на уредбата трябва да въведе точните стойности на характеристиките на двигателя като параметри на настройката на регулатора, а именно:

- номинално напрежение на двигателя;
- номинална честота на напрежението на статорната намотка;
- номинален ток на статора;
- номинална скорост на въртене;



↑ Фиг. 5.62 *Характеристики на двигател, управляван от честотен преобразувател с векторно управление без обратна връзка, например ATV71 - Schneider Electric.*

- коефициент на мощност на двигателя.

Регулаторът изчислява чрез тези параметри характеристиките на ротора: L_m – индуктивност и T_r – въртящ момент.

При включване регулаторът с векторно управление без обратна връзка (от типа честотен преобразувател ATV 71 на Schneider Electric) изпълнява автоматична настройка на двигателя и определя параметрите на статора R_s, L_f. Времето за автоматична настройка (от 1 до 10 s) зависи от мощността на двигателя.

Тези измервания и изчислявания се запомнят и позволяват на устройството да работи коректно в съответствие с избрания профил на управление.

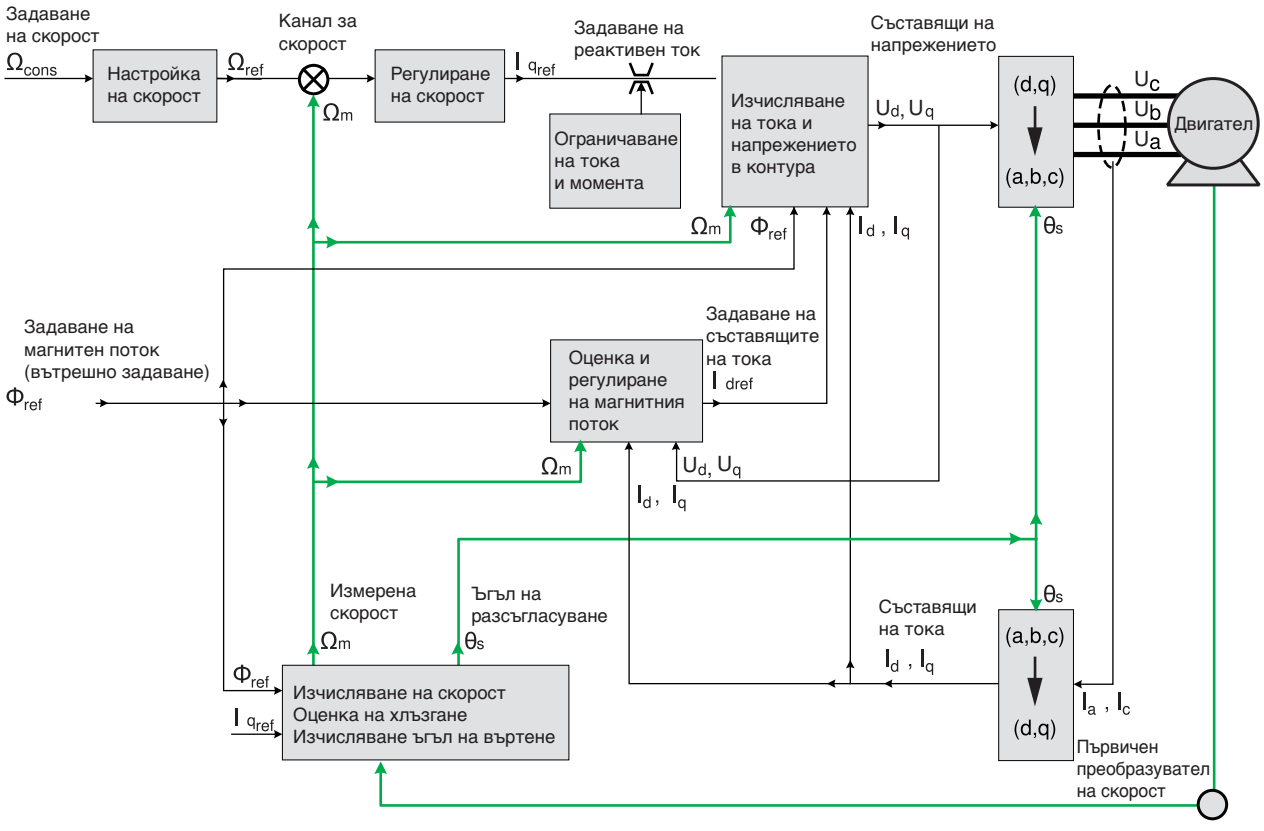
На *(⇨ Фиг. 5.62)* е представена осцилограма, която илюстрира процеса на ускоряване на двигателя при номинален съпротивителен момент при управление с честотен преобразувател без обратна връзка.

Трябва да се отбележи, че времето, за което се достига номинален въртящ момент е под 0.2s. Запазва се линейността на ускоряване. Номиналната скорост се достига след 0.8s.

Векторно управление в затворена система с обратна връзка

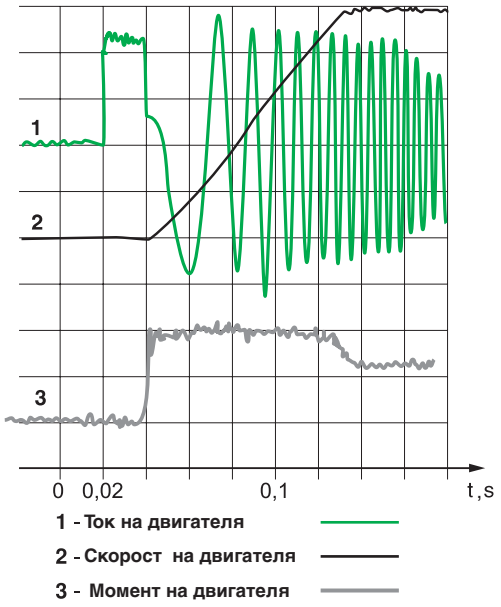
Векторното управление в затворена система с обратна връзка е друг вариант на честотен регулатор. Това решение използва преобразованието на Парк и позволява да се осъществи независимо управление на тока I_d, определящ магнитния поток в машината и тока Iq ,определящ въртящи момент на двигателя (той е пропорционален на произведението $I_d \times I_q$). Управлението на асинхронен двигател е аналогично на управлението двигател за постоянен ток.

Това решение отговаря на изискванията на потребителите: голям въртящ момент по време на преходните процеси, точност при регулиране на скоростта на въртене и номинален въртящ момент в неподвижно състояние *(⇨ Фиг. 5.63)*.



↑ Фиг. 5.63 *Функционална схема на честотен регулатор с векторно управление и първичен преобразувател за обратна връзка*

5.11 Честотни преобразуватели за асинхронни двигатели



↑ Фиг. 5.64 *Осцилограма на работата на двигател с номинален въртящ момент, включен към честотен преобразувател с векторно управление и първичен преобразувател с обратна връзка. Например ATV 71.*

	Скаларно управление	Векторно управление	
		Без първичен преобразувател	С първичен преобразувател
Диапазон на скоростта	от 1 до 10	от 1 до 100	от 1 до 1000
Честотен диапазон	от 10 до 15 Hz	от 10 до 15 Hz	от 30 до 50 Hz
Точност при поддържане на скоростта	1%	1%	0.01%

↑ Фиг. 5.65 *Сравнителна таблица за производителност на честотен регулатор при три възможни конфигурации (например ATV 71 на Schneider Electric)*

Максималният въртящ момент по време на преходни процеси е 2 или 3 пъти по-голям от номинални момент, в зависимост от типа на двигателя.
Максималната скорост може да достигне 2 пъти номиналната или да я надвиши в случай, че това е допустимо от механичното оразмеряване на двигателя.
Този тип управление може да осигури показатели за регулиране, съпоставими или по-високи от най-добрите модели на регулатори за постояннотокови двигатели. Затова посочените системи използват специални двигатели, окомплектовани от завода-производител с първични преобразуватели за обратна връзка, а понякога и с външна система за вентилация.
Осцилограмата на *(⇨ Фиг. 5.64)* показва ускоряването на двигател с номинален товарен момент при захранване от честотен регулатор с векторно управление и първичен преобразувател за обратна връзка. Мащабът по време е 0.02s за деление. В сравнение със същото устройство без първичен преобразувател увеличаването на производителността е очевидна. Номиналният въртящ момент се достига за 80ms, а номиналната скорост на въртене – за 0.5s, при едни и същи условия на експлоатация.
На *(⇨ Фиг. 5.65)* е направено сравнение между характеристиките на регулаторите при три възможни конфигурации.

■ Реверсиране и спиране

За да се измени посоката на въртене, трябва да се подаде външен сигнал (на логическия вход на регулатора, предназначен за тази функция или команда, предавана по комуникационната шина), в резултат на което се извършва промяна в комутацията на силовите ключове на инвертора и реверсиране на двигателя. Съществуват няколко варианта за реверсиране.

□ Вариант 1: противовключване – мигновено изменение на реда за комутация на транзисторни ключове

При изменение поредността на фазите се променя посоката на въртящото се магнитно поле на двигателя и възниква голямо хлъзгане, вследствие на което се наблюдава рязко увеличаване на тока на честотния преобразувател до максимално възможната стойност (вътрешно ограничаване на тока на регулатора). Поради голямото хлъзгане спирачният момент е малък и вътрешният регулатор на честотния преобразувател намалява зададената скорост. Когато двигателят достигне нулева скорост се извършва реверсиране в съответствие с кривата на развъртане. Излишната енергия се разсейва в ротора.

□ Вариант 2: изменение посоката на въртене на полето чрез регулиране темпа на забавяне или без него

Ако съпротивителният момент на механизма е противоположен и по стойност надвишава въртящият момент на двигателя (естественото забавяне е по-бързо отколкото забавянето, зададено чрез регулатора) скоростта постепенно се намалява и след това се изменя посоката на въртене. Ако въртящият момент на механизма е такъв, че естественото забавяне е под това от установеното с регулатора, двигателят работи в режим на рекуперативно спиране и връща електрическа енергия в преобразувателя. Наличието на диодни мостове не позволява предаването на енергия в мрежата и започва зареждане на филтровите кондензатори. Напрежението се увеличава и заработват устройства за безопасност. За да се избегне получаването на пренапрежение е необходимо да се включи спирачно съпротивление към блока кондензатори с помощта на спирачен ключ. Спирачният момент е ограничен само от номиналната мощност на преобразувателя, като скоростта постепенно намалява и се реверсира.
Производителите на честотни преобразуватели поставят спирачни резистори с различни номинални стойности на съпротивлението, за да се осигури съответствие между мощността на двигателя и разсейваната енергия. В повечето модели спирачният ключ се вгражда в

регулатора. Наличието на спирачен резистор е присъщо за регулатори, които могат да осигурят управляемо спиране и затова този метод на спиране е най-икономичен.
Посоченият метод за управление позволява да се намали бавно скоростта на двигателя до спиране, без да е необходимо реверсиране.

□ **Вариант 3: продължителна работа в режим на спиране**

Типичен пример за използване на този вариант е стендът за изпитване на двигатели. В този режим отделяната енергия е много голяма и не може да бъде разсеяна върху резистори, защото това би предизвикало прекомерно повишаване на температурата им. Голяма част от производителите предлагат системи, позволяващи връщане на електрическа енергия обратно в мрежата.
В общия случай диодният мост в тези устройства е заменен от управляем полупроводников мост с IGBT транзистори. Функционирането се определя чрез многостепенно управление, което позволява да се получи форма на тока, близка до синусоидалната.

□ **Динамично спиране**

Този режим е най-икономичен, защото може да се реализира лесно чрез подаване на постоянен ток от изхода на преобразувателя към намотките на двигателя. Спирачният момент в този случай не се регулира. Този режим не е много ефективен особено при високи скорости, защото не може реализира управляемо забавяне.
Даденото решение позволява да се осигури интензивно спиране, но поради отделянето на голямо количество енергия в ротора, то не винаги е приложимо.

■ **Възможни режими на работа**

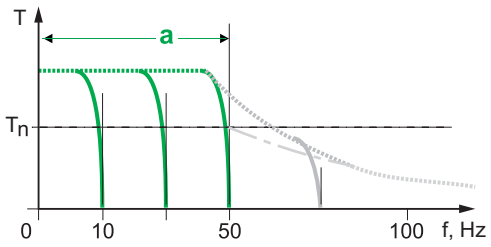
□ **Режим на работа с постоянен момент**

Ако напрежението, подавано от регулатора към намотките на двигателя, се изменя по закон **U/f=const** или в съответствие със закони за векторно управление, което позволява да се постигнат най-добри резултати, магнитният поток на двигателя ще бъде постоянен, а въртящият момент – пропорционален на тока. При това двигателят може да работи, развивайки номинален момент в целия диапазон на регулиране на скоростта *(⇨ Фиг. 5.66)*.
Обаче, продължителна работа с номинален въртящ момент при ниска скорост е възможна само при двигател с независима вентилация, т.е. при използване на специален, а не на асинхронен двигател с накъсосъединен ротор с общо промишлено предназначение. Съвременните честотни преобразуватели имат защитни системи, които осигуряват топлинна защита на двигателя, реализирана чрез топлинен модел, отчитащ тока, продължителността на работните цикли и скоростта на въртене.

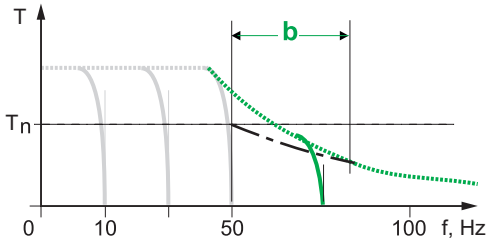
□ **Режим на работа с постоянна мощност**

При честотно регулиране може да се получи скорост на въртене на двигателя над номиналната чрез подаване на напрежение с по-висока честота от номиналната. С увеличаване на честотата стойността на захранващото напрежение остава постоянна, тъй като изходното напрежение на регулатора не може да надвиши напрежението на захранващата мрежа.
При това се наблюдава намаляване на въртящия момент, който е обратно-пропорционален на скоростта *(⇨ Фиг. 5.67)*.
При работа над номиналната скорост двигателят престава да развива постоянен момент и работи с постоянна мощност (P = Cω) дотолкова, доколкото това допускат техническите характеристики на двигателя.
Максималната скорост е ограничена от два параметъра:
- механически характеристики на ротора;
- развиван въртящ момент.

При постоянна стойност на напрежението на двигателя, тъй като максималният въртящ момент е обратно пропорционален на квадрата на скоростта, работата в режим на постоянна мощност е възможна само в ограничен диапазон, определен от механичната характеристика на механизма *(вж. раздел Електрически двигатели и товари)*.

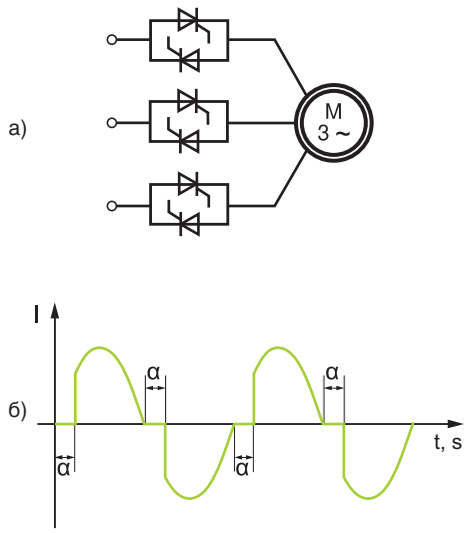


↑ *Фиг. 5.66* *Зависимост на въртящия момент на двигател от честотата: a – работна зона с постоянен момент*



↑ *Фиг. 5.67* *Зависимост на въртящия момент на двигател от честотата: b – работна зона с постоянна мощност*

5.12 Регулатор на напрежение за асинхронни двигатели



↑ *Фиг. 5.68* *Свързване на тиристори в силовата верига (а) и тяхното отпушване (б)*

■ Общи сведения

Това устройство за регулирано на напрежение, наричано софт стартер (плавно пускане), работи само с асинхронни двигатели с двойнокафезен или с навит ротор. Принципът на работа е илюстриран на *(⇨ Фиг. 5.68)*.

Режимът на работа е показан на *(⇨ Фиг. 5.69)*.

Регулаторът се използва обикновено за трифазни двигатели, но понякога се използва и за еднофазни с малка мощност (до 3 kW).

Тези устройства осигуряват плавно пускане и спиране на асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор, обикновено трифазни, когато не се изисква висок пусков въртящ момент. Регулаторът на напрежение ограничава пусковия ток, а също така и съпътстващия го пад на напрежение и появяването на механични удари, поради рязко увеличаване на въртящия момент.

Типични примери за използване на тези устройства: пускане на центробежни помпи, конвейери, ескалатори, конвейерни системи за измиване на автомобили, механизми с ремъчни предавки и др. Намират приложение и за регулиране скоростта на въртене на двигатели с много малка мощност или универсални машини, като двигатели за ръчни електрически инструменти.

В някои случаи, например при регулиране скоростта на въртене на двигатели с малка мощност, регулаторите за напрежение заменят честотните регулатори за променливотокови двигатели, тъй като са по-евтини.

При използване за електрозадвижването на помпи функцията забавяне напълно изключва появяването на хидравлични удари. При избора на това устройство, в качеството на регулатор на скорост, трябва да бъдат предприети някои предпазни мерки. При работа на двигателя загубите са пропорционални на въртящия момент и обратнопропорционални на скоростта. Принципът на работа на регулатора предполага намаляване на въртящия момент с намаляване на напрежението. Двигателят с двойнокафезен ротор трябва да е в състояние да разсее при ниска скорост на въртене получените загуби (малките двигатели до 3 kW изпълняват това условие). При високи скорости е необходимо да се използват двигател с независима вентилация. В двигателите с навит ротор резисторите трябва да бъдат подбрани в съответствие с режимите на работа на машината. Решението трябва да бъде взето от специалист, който може да избере подходящия двигател, за дадения режим на работа на механизма.

На пазара се предлагат три тип устройства за плавно пускане: с една управляема фаза, за двигател с малка мощност; с две управляеми фази (третата е включена директно в мрежата) и с три управляеми фази. Първите два типа поради високите стойности на хармонични съставящи трябва да се използват само за механизми, които работят с малък товар.

■ Общ принцип

Силовата верига е изградена от два тиристора, включени противоположно, във всяка фаза *(⇨ Фиг. 5.68)*.

Изменение на големината на напрежението се постига чрез промяна на времето, през което тиристорите са отпушени. Колкото по-късно става тяхното включване, толкова е по-малка стойността на изходното напрежение.
Управлението на тиристорите се контролира от микропроцесор, който изпълнява следните функции:

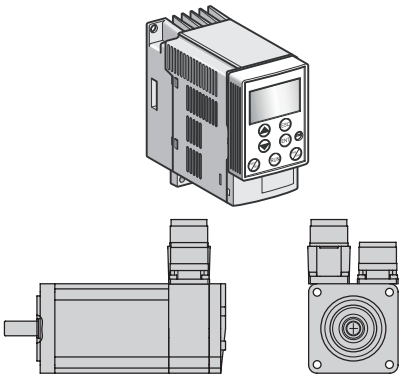
- управление на повишаването и намаляването на управляемото напрежение. Забавянето по зададена характеристика се изпълнява само в случай, че времето за забавяне е по-малко от времето за

естествено забавяне;
- ограничаване на тока;
- регулиране на пусковия момент;
- динамично спиране;
- защита на регулатора от претоварване;
- защита на двигателя от прегряване поради претоварване или чести пускания;
- откриване на несиметрия на напреженията или отсъствието им, а също и повреди в тиристорите.

На лицевия панел е разположен екран, който показва параметрите и режимите на работа, което облекчава настройката, експлоатацията и обслужването.

Някои регулатори, например Altistart на Schneider Electric, могат да управляват пускането и спирането на:
- един двигател;
- няколко двигатели, работещи едновременно, в съответствие с номиналните стойности на параметрите;
- група двигатели, включвани последователно. Този принцип на управление обикновено се използва в помпени станции, когато едно устройство за плавно пускане управлява няколко допълнителни помпи в случай на необходимост. В установен режим всеки двигател е включен към мрежата през контактор.

Само апаратите от типа Altistart притежават патентована технология на управление, позволяваща да се оцени въртящия момент на двигателя, в резултат на което се осигурява линейно ускоряване и забавяне, а също ограничаване на въртящия момент на машината при необходимост



↑ *Фиг. 5.70* *Външен вид на регулатор на скорост за синхронен двигател (регулатор Lexium + двигател, Schneider Electric))*

■ Реверсиране и спиране

Реверсиране на двигателя се постигане чрез изменение поредността на входните фази в устройството за плавно пускане.

При това се осъществява спиране с противовключване и отделената енергия се разсейва в ротора на двигателя. Затова този режим на работа трябва да се използва рядко.

■ Динамично спиране

Ефективно техническо решение при ниска цена на устройството може да бъде постигнато чрез работа на регулатора на напрежение като изправител, подаващ постоянно напрежение към двигателя.

В този случай съпротивителният момент не се регулира и спирането не е много ефикасно, особено при високи скорости. Управлението по зададено забавяне не се реализира. Обаче, това решение позволява да се намали времето за спиране на механизма в сравнение с естественото спиране.

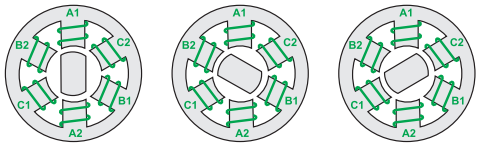
Този метод за спиране не винаги е приложим, тъй като получената енергия се разсейва в ротора.

5.13 Регулатор на скорост за синхронни двигатели

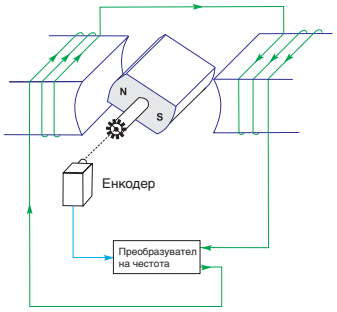
■ Общ принцип

Регулаторите на скорост за синхронни двигатели са комбинация от преобразувател на честота и синхронен двигател с постоянни магнити, с вграден първичен преобразувател *(⇨ Фиг. 5.70)*. Тези двигатели често се наричат „безчеткови“ двигатели.

Регулаторите на скорост за синхронни двигатели са разработени за специфични приложения, например роботи или металообработващи машини, в които двигателите имат малки размери и се изисква висока динамика с голям диапазон на регулиране.



↑ Фиг. 5.71 *Опростено представяне на синхронен двигател с постоянни магнити в статора – „безчеков“ двигател*



↑ Фиг. 5.72 *Опростено представяне на синхронен двигател с постоянни магнити в статора („безчеков“ двигател) с преобразувател на ъгловото положение на ротора*

■ Двигател

Върху ротора на двигателя са монтирани постоянни магнити от редкоземни метали, за да се създаде силно магнитно поле в малък обем (за по-подробна информация вж. раздела за двигатели). Върху статора на машината е разположена трифазна намотка *(⇨ Фиг.5.71)*.

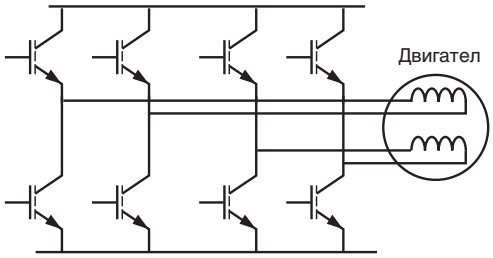
Тези двигатели издържат на големи претоварващи токове, за осигуряване на бързо ускоряване. Машините имат първичен преобразувател за измерване ъгловото положение на полюсите, необходимо за управление комутацията на напрежението, подавано към намотките *(⇨ Фиг. 5.72)*.

■ Преобразувател

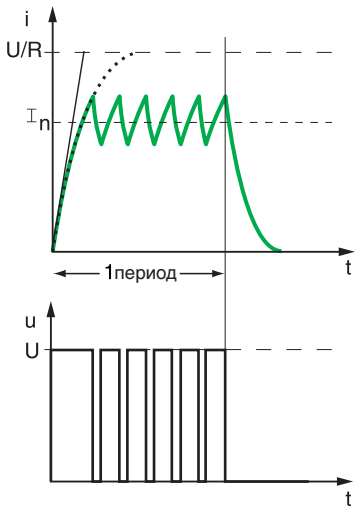
Преобразувателят е подобен на честотния преобразувател за асинхронен двигатели и работи по аналогичен принцип. Той също има изправител и ШИМ за да се осигури на изхода на регулатора синусоидална форма на тока. Няколко преобразуватели от този тип се включват често към захранващ източник на постоянен ток. На металообработваща машина всеки регулатор управлява един от двигателите, свързан с валовете на машината. Това решение позволява да се използва енергията при спиране на всеки вал.

Спирачният резистор, заедно със спирачния ключ, се използват аналогично на честотните преобразуватели, за разсейване на отделената енергия при спиране. Електронните превключващи вериги, малките електрически и механически времеконстанти, осигуряват бързи ускорения и най-важно голям диапазон на регулиране на честотата и динамика на процесите.

5.14 Регулатор за стъпкови двигатели



↑ Фиг. 5.73 *Принципна схема на регулатор за биполярен стъпков двигател*



↑ Фиг. 5.74 *Форма на тока, образувана с помощта ШИМ*

■ Общ принцип

Регулаторът, управляващ стъпков двигател, осигурява електронна комутация на мощността и е аналогичен по конструкция на честотните преобразуватели за променливотокови двигатели. Той работи в отворена система за управление (без първичен преобразувател за обратна връзка) и се използва за позициониране.

■ Двигател

Стъпковите двигатели могат да бъдат с променливо или постоянно специфично магнитно съпротивление или с двете *(вж. раздел 3 Двигатели и товари)*.

■ Регулатор

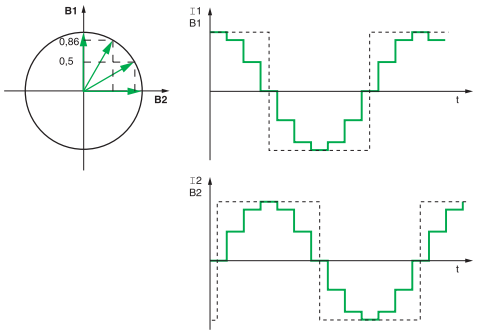
Регулаторът има подобна конструкция на честотния преобразувател за променливотокови двигатели (диоди, филтър и изправителен мост, изграден от полупроводникови елементи). Изходната верига на регулатора захранва бобините на стъпков двигател *(⇨ Фиг. 5.73)*.

Обаче, неговото функциониране е специфично, тъй като той захранва с постоянен ток бобините. Понякога за тази цел се използва ШИМ, която подобрява характеристиките, и особено времето за нарастване на тока, и позволява да се разширят възможностите за приложение и работния диапазон *(⇨ Фиг. 5.74)*.

Принципът на работа с делене на стъпката е основан на получаването на микростъпки (вж. раздел 3 Двигатели и товари). Така изкуствено се увеличава броя на възможните положения на ротора чрез генериране на последователност от импулси на тока, подаван в бобините *(⇨ Фиг. 5.75)*. Токовете в двете намотки са подобни на синусоидални токове и са изместени на 90°.

Резултантното поле представлява векторна композиция от магнитни полета, създадени от двете бобини. Съществува възможност за установяване на ротора в произволно положение. Диаграмата на

*(⇨ Фиг. 5.75)*показва формирането на захранващи токове в бобините B1 и B2. Позицията на ротора е означена с вектор.



↑ *Фиг. 5.75* *Графики на изменение на тока и принцип на управление с деление на стъпката на микростъпки*

5.15 Допълнителни функции на скоростни регулатори

■ Диалогови възможности

За да се гарантират подходящи технически характеристики при работа на двигателя, контролерите имат редица първични преобразователи, с които се контролира напрежението, тока и топлинното състояние. Тази информация е необходима на регулаторите за разширяване на техните възможности.

Предлаганите в момента честотни регулатори и устройства за плавно пускане притежават комуникационни възможности и могат да се включват към полеви шини. По този начин може да се предава информация за състоянието на механизма при използване на PLC и системи за визуализация. Информацията, която се използва в PLC за управление, може да се предава по същите комуникационни канали.

Входната информация включва:
- задание за скорост;
- сигнали за пускане и спиране;
- първоначални настройки на регулатора или промени в настройките по време на работа;
- аварийни сигнали;
- състояние на регулатора (работа, претоварване, грешка);
- състояние на двигателя (скорост, момент, ток, температура).

Диалоговите възможности се използват също за връзка с персонален компютър, за да се опростят настройките при пускане, натоварване или връщане към първоначалните параметри.

■ Вградени функции

Регулаторите дават възможност за регулиране на параметрите и настройки на режимите, за да се осигури ефективна работа в различни области на приложение. Тези възможности са:
- време на ускоряване и забавяне;
- профил на кривите на ускоряване и спиране (линеен, S- или U-образен);
- превключване по две ускоряващи и забавящи характеристики (например при инерционно спиране);
- намаляване на максималния въртящ момент на степени или по задание;
- стъпков режим;
- управление на спирането за подемно-транспортни операции;
- избор на предварително зададени скорости;
- сумиране на сигнали на аналогови входове за получаване на сигнал за задание;

- превключване на сигнала за задание на входа на регулатора;
- ПИ-регулатор (например по скорост или разход);
- автоматично забавяне при загуба на захранващото напрежение, позволяващо да се осъществи спиране на двигателя;
- автоматично повторно пускане с възстановяване на скоростта;
- топлинна защита на двигателя, използваща топлинен модел, специфициран от преобразувателя;
- включване на първични преобразуватели на температура (PTC), вградени в двигателя;
- избягване на резонансната честота на механизма (критичната скорост е забранена, за да се предотврати режим на работа при тази честота);
- ограничаване времето на работа на ниска скорост в помпени станции, в които флуидът се използва за смазване на помпата и се предотвратява заклинване.

В съвременните регулатори тези функции вече са вградени от производителя, например в Altivar (ATV 71), Schneider Electric.

Допълнителни платки

За по-сложни приложения производителите предлагат допълнителни платки, предназначени за реализация на специални функции, например векторно управление с използване на първичен преобразувател или готови решения за определени приложения. Такива платки са:

- платка за превключване на помпи, за осигуряване на икономична работа на помпена станция. Тя дава възможност за управление на няколко помпи, работещи на една магистрала, от един преобразувател;
- „многодвигателна“ платка;
- „многопараметрична“ платка – автоматично зареждане на комплект от параметри в регулатора;
- специални платки – разработени за специални приложения по задание на потребителя.

Някои производители предлагат също допълнителни PLC платки (вградени контролерни платки), за решаване на най-прост тип приложни задачи. Те са предназначени за реализация на несложни системи за автоматизация, за които отделния PLC би бил твърде скъп.

Например, платката PLC (вграждана в контролер) може да бъде поставена в честотния преобразувател ATV 71. Системата, създадена на основата на това решение, може да удовлетворява потребности на следните промишлени уредби:
- подемно-транспортно обзавеждане;
- конвейери;
- дървообработващи машини;
- опаковъчни машини;
- текстилни машини.

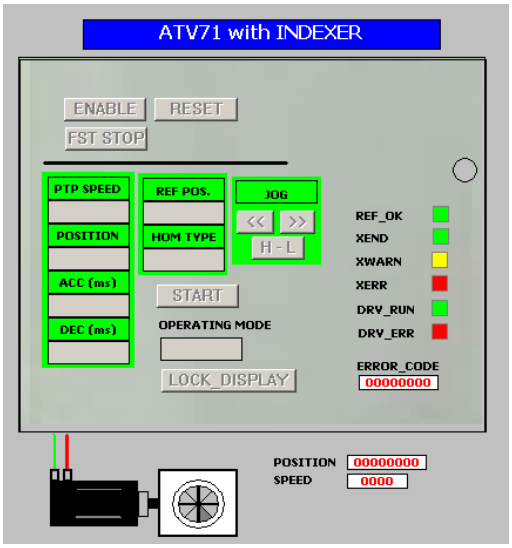
От големия брой възможни решения са представени по-долу две често срещани приложения:

Позициониране

Регулаторът ATC 71, комплектуван с първичен преобразувател за скорост, осигурява характеристики, близки до системите, изградени на основата на серводвигател.

В този случай регулаторът на скорост работи в режим на векторно управление в затворена система *(⇨ Фиг. 5.63)*.

Динамичните свойства на тази система са малко по-лоши поради по-високият инерционен момент на асинхронния двигател и по-малкият максимален въртящ момент.



↑ Фиг. 5.76 *Примерен екран за функция позициониране*

Комплектованият по този начин ATV 71 дава възможност за позициониране, съответстваща на система със серводвигател.

Това решение има следните предимства:

- ниска цена;
- универсалност, тъй като едни и същи устройства (двигател и регулатор на скорост), се използват за различни приложения;
- опростено механично изграждане на системата, защото голям брой механизми в практиката се реализират на основата на асинхронни двигатели.

Функцията позициониране, която изпълнява вградената контролерна платка, позволява лесно да се постигнат желаните характеристики за позициониране, което покрива потребностите на всички стандартни приложения.

Командите за управление се предават през комуникационна шина CANopen или Modbus. Програмирането е много просто, което се илюстрирана чрез представения прозорец от използвания специализиран софтуер *(⇨ Фиг. 5.76)*.

Това решение успешно се използва за следните механизми:

- дървообработващи машини;
- заваръчни апарати за тръби;
- опаковъчни машини.

↑ Фиг. 5.77 *Подемно-транспортна система*

Синхронизация на подемно-транспортни системи

Целта е да се синхронизира положението на два подемни механизма, като се запази възможността за независима работа *(⇨ Фиг. 5.77)*.

Синхронизацията на вертикалното движение се гарантира от вградена контролерна платка към скоростния регулатор.

Системата е организирана по следния начин *(⇨ Фиг. 5.78)*: главният скоростен регулатор получава задание за позиция от потенциометър, след което се извършва обработка от ПИД-регулатора на вградената контролерна платка. Сравняват се изчислената стойност за позицията със зададената позиция и с текущата позиция на двата повдигателни механизма, за да се изработи коригиращо задание за работа на спомагателния двигател.

↑ Фиг. 5.78 *Сервосистема*

Това коригиращо задание се предава по комуникационната шина CANopen на спомагателния двигател. Вградената контролерна платка изпълнява също допълнителни функции, свързани със спецификата на приложение:

- управление на устройства за безопасна работа;
- непрекъснат контрол за положението на главния и спомагателния двигател;
- възможност за работа над номиналната честота, за да се намали времето на работния цикъл.

5.16 Скоростни регулатори и качество на електрическата енергия

Cosφ

Определение

Cosφ е косинус от фазовия ъгъл между тока и напрежението. Той се дефинира само за синусоидални токове и напрежения с една и съща честота. Ако се наблюдават хармонични съставящи в консумирания ток, което е характерно за голяма част от скоростните регулатори, cosφ се определя от фазовия ъгъл между първите хармоници на тока напрежението.

- **Вариант 1: схема с полупроводникови елементи, управлявани от тиристори,** например контролер за постояннотоков двигател.

Cosφ зависи от фазовия ъгъл на тока. С други думи, ако изходното напрежение е малко (ниска скорост) cosφ е малък, а ако изходното е голямо (висока скорост) cosφ е близък до 1.

В реверсивния тиристорен преобразувател cosφ е отрицателен, ако тиристорният преобразувател връща енергия в захранващата мрежа.

- **Вариант 2: диоден мост,** например в честотен преобразувател за асинхронни двигатели.

Основният хармоник на тока почти съвпада по фаза със захранващото напрежение и cosφ е близък до 1.

- **Вариант 3: преобразувател с IGBT транзистори**

Тази конфигурация се използва за да се формира ток, чиято форма е най-близка до синусоидалната. При правилна ШИМ cosφ е 1 или близък до 1.

Изправителите в състава на честотните преобразуватели за асинхронни двигатели позволяват да се осигури най-добър фазов ъгъл, отколкото при захранване на машините от мрежата. Диодният мост, обикновено вграден в регулатора, има cosφ близък до 1. Вградените кондензатори в звеното за постоянен ток служат за натрупване на реактивна енергия.

Коефициент на мощност

Определение

Коефициентът на мощност се дефинира като отношение на активната **P** и пълната мощност **S**. Активната мощност се изчислява с израза

$$F_p = P/S.$$

Активната мощност **P** се получава от произведението на първия хармоник на тока с този на напрежението и на cosφ.

$$P = U \times I \times \cos\varphi.$$

Пълната мощност S е равна на произведението от средноквадратичните стойности на напрежението и тока. Ако напрежението и токът съдържат хармонични съставящи средноквадратичната стойност трябва да се изчисли за всеки хармоник.

Ако пълното съпротивление на веригата е малко (най-често срещан случай) захранващото напрежение ще бъде близко до синусоидалното, но консумираният ток от полупроводниковите елементи е замърсен с хармонични съставящи. Колкото пълното съпротивление на мрежата е по-малко, толкова тяхната стойност е по-голяма. Средноквадратичната стойност на тока може да се представи със следния израз:

$$I_{eff} = (I_{1_} + I_{2_} + I_{3_} + \ldots\ldots I_{n_})^{0.5}.$$

Пълната мощност в случая се изчислява с израза:

$$S = V_{eff} \times I_{eff},$$

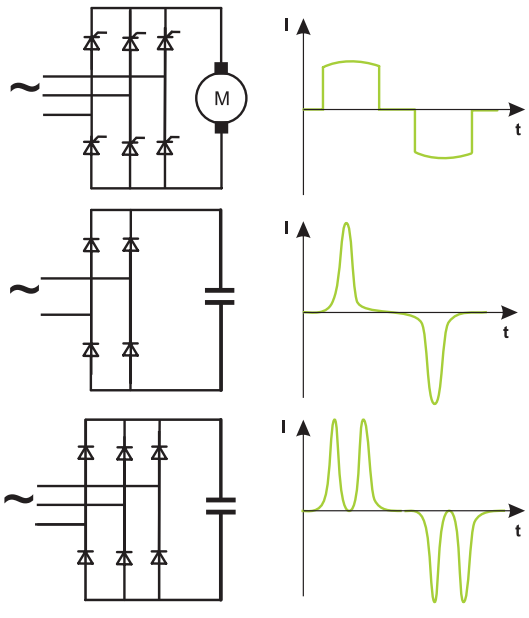
или

$$S = V \times I_{eff}.$$

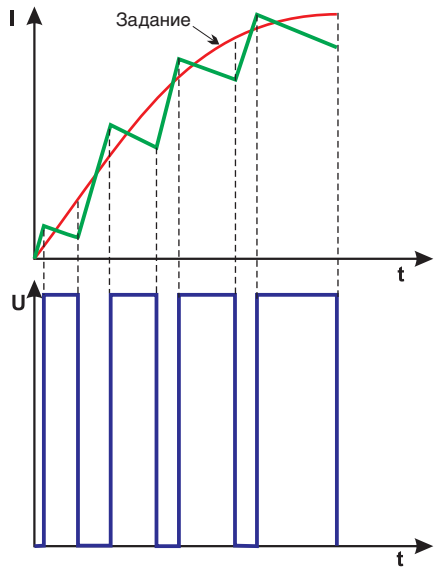
Малкото отношение **P/S** показва, че захранващата мрежа е претоварена поради хармонични съставящи. Те предизвикват прегряване на проводниците. Затова те трябва да бъдат подходящо оразмерени.

Форма на кривата на тока *(⇨ Фиг. 5.79)*

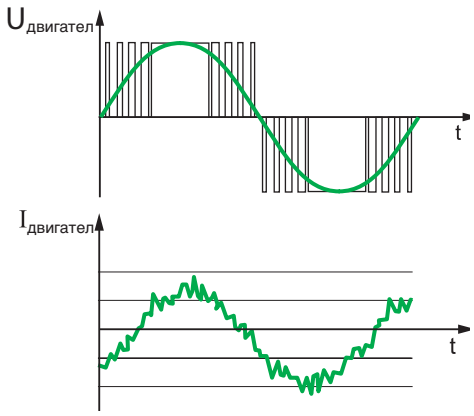
Тя зависи от схемното решение и характера на товара – индуктивен или капацитивен.



↑ *Фиг. 5.79* *Устройства за управление (а) и характер на изменение на постоянния ток (б)*



↑ Фиг. 5.80 *Към илюстрация на ШИМ*



↑ Фиг. 5.81 *Форма на ток с висока честота на комутация*

- **Вариант 1: схема с полупроводникови елементи, управлявани от тиристори**, например контролер за постояннотоков двигател.

В този случай формата на кривата на тока е приблизително квадратна. Коефициентът на мощност е малък при ниско ниво на входното напрежение и се увеличава с нарастване на нивото на входното напрежение, като достига до стойности около 0,7.

- **Вариант 2: диоден мост**, например в честотен преобразувател за асинхронни двигатели.

Формата на кривата на тока съдържа много хармоници и коефициентът на мощност е малък независимо от скоростта на въртене на двигателя. Това е допустимо при малки мощности, но е недопустимо с нарастване на мощността.

За да се намалят хармоничните съставящи във входната и изходни вериги, във веригите за постоянен ток последователно с кондензаторите се включват дросели. Те могат да намалят амплитудата на хармониците и съществено да подобрят коефициента на мощност. Честотните преобразуватели към двигателите за променлив ток с диодни мостове без входни/изходни дросели или без филтри във веригите за постоянен ток имат коефициент на мощност около 0,5.

- **Вариант 3: преобразувател с IGBT транзистори**.

Използва се ШИМ, което позволява да се получи форма на тока, близка до синусоидалната. Методът за преобразуване осъществява последователен избор и позволява да се получи ток много близък по форма до синусоидалната и оптимален коефициент на мощност, близък до 1 *(⇨ Фиг. 5.80)*.

Поради високата си цена това решение не е много разпространено сред производителите.

Загуби в регулатора

При разглеждане ефективността на електрозадвижването, трябва да се отчетат загубите в преобразувателя и двигателя. Полупроводниковите елементи са основен източник на загуби на енергия:

- загуби, определени от праговите напрежения на полупроводниковия елемент (например 1 V и неговото вътрешно съпротивление);
- загуби, свързани с честотата на превключване.

Полупроводниковите елементи с малко време на превключване имат най-малки загуби. Това се отнася и за IGBT транзисторите, които работят с висока честота на превключване.

Преобразувателите на честота имат висок КПД, надвишаващ 90%.

Загуби в двигателите

В електрическите двигатели, управлявани от регулатори, се отделят допълнителни загуби поради комутация на работното напрежение. Поради високата честота на комутация токът има почти синусоидална форма и допълнителните загуби се приемат за незначителни *(⇨ Фиг. 5.81)*.

Електромагнитни смущения

За да се намалят загубите, предизвикани от скоростни регулатори, производителите вграждат в тях филтриращи устройства, които осигуряват спазване на промишлените стандарти. За получаване на по-подробна информация се препоръчва използването на документ Cahier Technique CT N149 от техническата колекция Електромагнитна съвместимост на обзавеждане на Schneider Electric.

5.17 Скоростни регулатори, икономия на електрическа енергия и техническо обслужванее

Избор на двигател

Честотните преобразуватели за променливотокови двигатели могат да се включват към стандартни двигатели без да се вземат специални мерки освен при работа на ниски скорости, когато трябва да се използват двигатели с принудителна вентилация.

Обаче, винаги се препоръчва да се избере двигател с най-висок КПД и cosφ.

При малка мощност на двигателя е целесъобразен избора на синхронен генератор поради неговата висока ефективност. Допълнителните разходи бързо се компенсират.

Типове товари

Честотните преобразуватели за променливотокови двигатели са най-доброто решение за помпи и вентилатори поради техните товарни характеристики *(вж. раздел 3 Електродвигатели и товари)*.

Скоростните контролери осигуряват най-голяма икономия на енергия в сравнение с дискретните системи или със системи за управление, изискващи клапани, шибъри, кранове или клапи.

За да се постигне икономия на електрическа енергия трябва да се познават добре специфичните особености на приложение. Експертите от заводите-производители имат тези знания и предоставят на потребителите тази информация.

Подобряване на експлоатационните характеристики

Честотните преобразуватели за променливотокови двигатели и устройствата за плавно пускане *(раздел 4 Пускане и защита на двигатели за променлив ток)* предотвратяват механичните удари в машината и по такъв начин работата на механизма може да бъде оптимизирана на стадий проектиране.

При управление на няколко двигатели (например помпена станция) се извършва подходящ контрол върху натоварването на всеки двигател. Това позволява да се регулира времето на работа на всеки двигател, което увеличава срока на служба и надеждността на цялото обзавеждане.

Заключение

Изборът на устройство за плавно пускане или на честотен преобразувател зависи от типа на товара, необходимата производителност и необходимата защита. Изборът трябва да бъде направен на основата на анализ на функционалните изисквания към технологичната уредба и изискванията, предявени към двигателя.

В документацията на скоростните регулатори често се използват термините: постоянен въртящ момент, променлив въртящ момент, конска сила, векторно управление, реверсивен регулатор на скорост и др.

С тези термини се описва информацията, необходима за избора на най-подходящия тип регулатор. Препоръчва се да се търси съвет от експертите-производители, които могат да помогнат с избор на регулатора на скорост с най-добро съотношение цена/производителност.

Неправилният избор на регулатора може да доведе до неудовлетворителна работа на механизма.

5.18 Таблица за избор на устройства за управление на двигател

В тази част са разгледани основните функции при управление на двигатели:

- разединяване;
- защита срещу късо съединение;
- зашита срещу претоварване;
- превключвания и управление.

На *(⇨ Фиг. 5.82)*са представени възможностите на различни изделия да изпълняват тези функции.

На *(⇨ Фиг. 5.83)* подробно са представени възможностите за защита, реализирани от съответната група изделия.

Изделие	Контактор	Софт-стартер	Скоростен контролер	Държач на предпазител	Прекъсвач	Прекъсвач-предпазител	Линеен автоматичен прекъсвач	Автоматичен прекъсвач за двигател	Интелигентен пускател
Функция									
Разединяване									
Изключвателна възможност									
Защита срещу късо съединение									
Защита срещу претоварване									
Превключване звезда/триъгълник									
Плавно пускане									
Регулиране на скоростта									

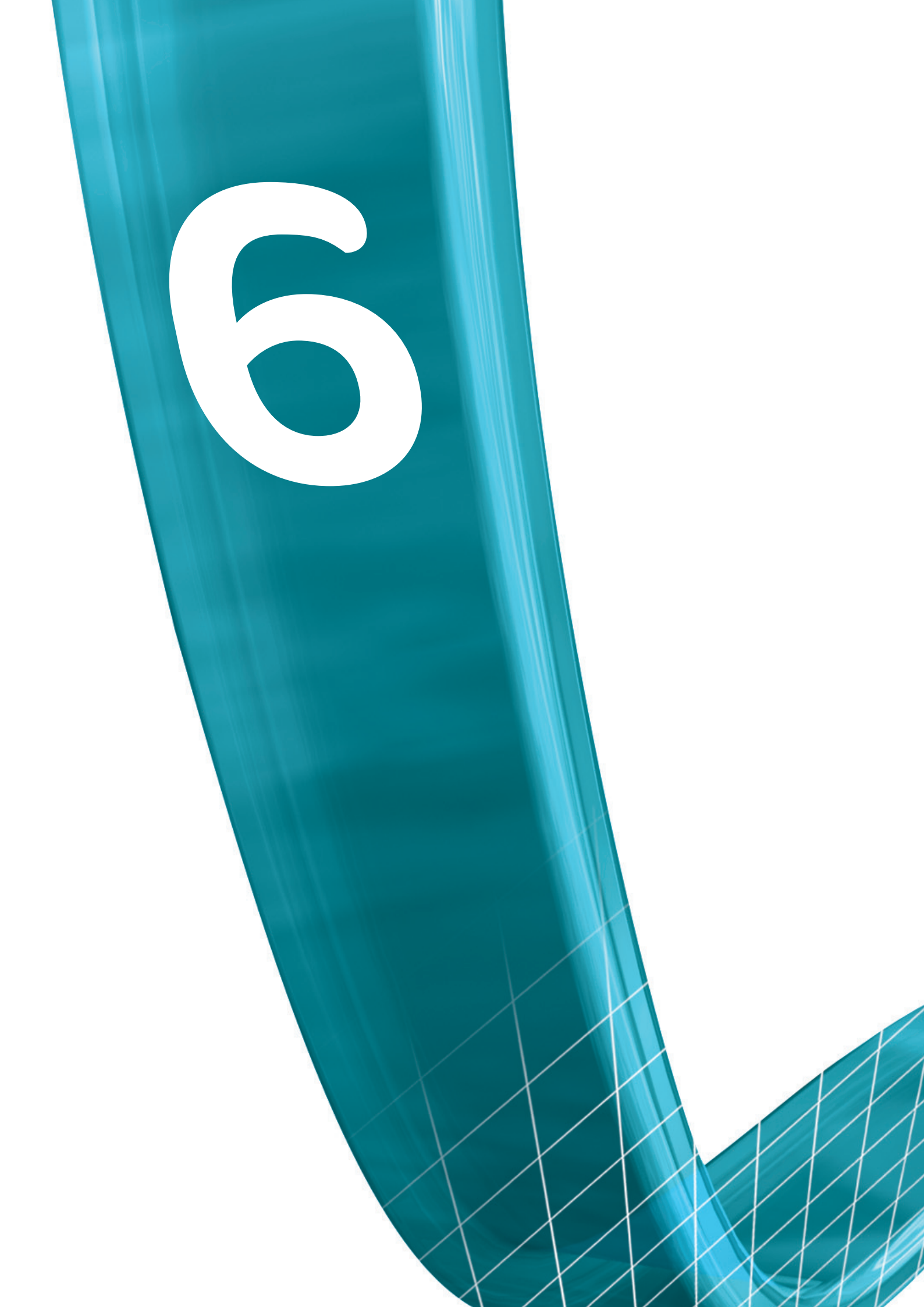
↑ *Фиг. 5.82* *Функции, реализирани от различни групи изделия*

5.18 Таблица за избор на устройства за управление на двигател

Тип на изделието	Реле за защита срещу претоварване	Реле с първичен преобразувател на температура	Реле за контрол на момента	Многофункционално реле			Устройство за плавно пускане	Скоростен контролер
	Топлинно или електронно			Вградено в пускател	Отделно	Самостоятелно	Само Altistart 48	
Функция								
Защита с няколко настройки	10 и 20			от 5 до 20	5 до 20	от 5 до 30		
Претоварване по ток								
Земно късо съединение								
Несиметрия на фази								
Спиране след пускане								
Работа без товар				Модул	Модул			
Функция								
Несиметрия на фази								
Загуба на фаза								
Редуване на фази								
Намалено напрежение								
Пренапрежение								
Коефициент на мощност								
Температура								
Термодвойка				Модул	Модул			
Термосъпротивление PT100				Модул	Модул			
Логика								
Дискретни входове/изходи				3 I/O	10 I/O	10 до 20 I/O	9 I/O	от 7 до 35 I/O
Таймер								
Управление								
Директно пускане								
Реверсиране								
Пускане звезда/триъгълник								
Превключване на намотки								
Плавно пускане								
Регулиране на скорост								
Експлоатация/обслужване								
Диагностика								
Дневник на събития				Модул	Модул			
Комуникационна връзка								
Локален дисплей				Модул	Модул			
Отдалечен дисплей чрез комуникационна шина				Модул	Модул			
Управление по комуникационна шина				Модул	Модул			
Специализиран софтуер Power Suite								

↑ Фиг. 5.83 *Възможности за защита, реализирани от различни групи изделия*

5 - Устройства за управление на електродвигатели


6

Събиране на данни: измерване

- Принцип на действие и технически характеристики на първични преобразуватели
- Препоръки при избор на първични преобразуватели

6.1 Увод 150

6.2 Електромеханични крайни изключватели 151

6.3 Индуктивни безконтактни преобразователи 152

6.4 Капацитивни безконтактни преобразуватели 154

6.5 Фотоелектрически преобразуватели 156

6.6 Ултразвукови преобразователи 158

6.7 RFID - Радио-честотна идентификация 160

6.8 Системи за техническо зрение 163

6.9 Оптични енкодери 166

6.10 Прекъсвачи за налягане и вакуум 172

6.11 Заключение 176

6.12 Препоръки за избор на първични преобразуватели 177

6.1 Увод

↑ *Фиг. 6.1* Към изпълнявани функции от първични преобразуватели

Големият диапазон от първични преобразуватели е разделен на два основни класа. Към първия клас се отнасят устройства, предназначени за определяне на прагова, гранична или моментна стойност на измервана величина. Към втория клас са включени устройства, които измерват физически величини с определена степен на точност.

В този раздел ще бъдат разгледани само първични преобразуватели, предназначени за работа с механизми и свързаните с тях устройства за автоматизация.

Първичните преобразуватели, предназначени за контрол безопасността на механизми се разглеждат в друг раздел. Необходимо е д се отбележи, че по дадената тематика съществува голям брой специализирана литература, в която е описан целият спектър от подобни устройства, представяни в момента на пазара. Тези устройства трябва да изпълняват три основни функции (⇨ Фиг. 6.1). Голямото разнообразие на технически реализации на дадените функции, необходими за удовлетворяване на конкретни изисквания на потребителите, принуждават производителите непрекъснато да разнообразяват продуктовата си гама.

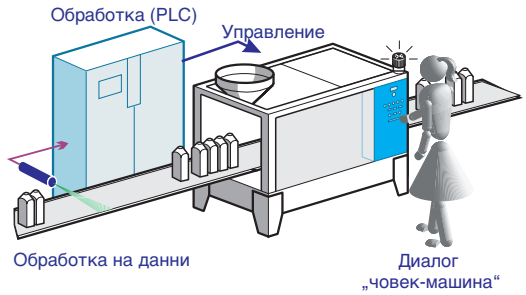
Последните иновации в продуктовата гама дават възможност на компанията Schneider Electric да предлага по-малък брой първични преобразуватели, но с по-широк спектър от приложения.

6.1 Увод

Разпознаване: основна функция

Функцията разпознаване е най-важна, защото тя е първа в информационната верига от един производствен процес *(⇨ Фиг. 6.2)*. В автоматизираната система за управление първичните преобразуватели осигуряват събирането на данни за:

- регистрация на съответни величини по събития, посочени в изпълняваната програма;
- регистрация на съответни величини за всички етапи от производствения процес, съгласно изпълняваната програма.



↑ *Фиг. 6.2* *Информационна верига в производствен процес*

Други функции

Първичните преобразуватели реализират и голям брой други функции. Основните са:

- контрол за наличие/отсъствие или положение на обекти;
- контрол за движение на обект, на поток или разпознаване на препятствие;
- изчислителни.

Така наречените „дискретни“ устройства се използват най-често в производствените процеси или за управление и разпознаване на хора и подвижни обекти.
Изпълняват се и някои специфични задачи като разпознаване на:

- наличие (или ниво) на газ или течност;
- форма;
- положение (ъглово, линейно и др.);
- четене и запис на кодирана информация.

Освен това, към първичните преобразуватели могат да се предявят много допълнителни технически изисквания, особено по отношение условията на околната среда. В зависимост от предназначението те трябва да имат допълнителна защита срещу:

- повишена влажност и проникване на вода;
- корозия (за химическа промишленост и селскостопанско производство);
- резки температурни промени (при експлоатация в тропически и арктически райони);
- всякакъв вид замърсявания, наблюдавани както в околната среда, така и в уредбата;
- вандализъм.

За удовлетворяване на всички посочени изисквания производителите на първичните преобразуватели използват различни технологии.

Устройство на първични преобразуватели

Първичните преобразуватели трябва да откриват различни физични величини, сред които основни са:
- механични (налягане, сила), за електромеханични крайни изключватели;
- електромагнитни (магнитно поле, интензитет), за магнитните и индуктивните безконтактни първични преобразуватели;
- светлинни (сила на светлина, пречупване), за светлинни елементи.
- електрически капацитет, за капацитивни безконтактни първични преобразуватели;
- акустични (скорост на разпространение на звука), за ултразвукови първични преобразуватели;
- хидравлични (налягане), за първични преобразуватели на налягане;
- оптични (разпознаване на образи), за оптични енкодери.

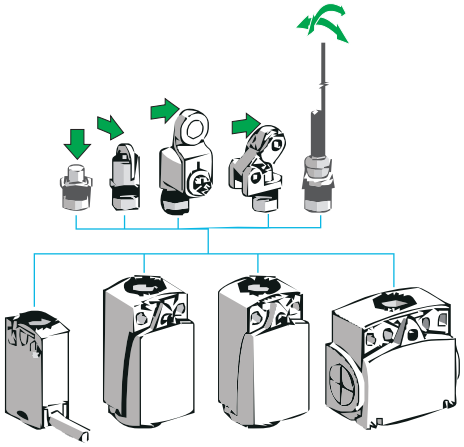
Тези преобразуватели имат своите предимства и към тях се предявяват разнообразни технически изисквания: надеждностни, но едновременно с това трябва да могат да работят в непосредствен контакт с обекта; устойчивост при работа в агресивни среди, но в метална обвивка.

Посочените по-долу описания на използваните технологии са предназначени да облекчат правилния избор и монтаж на първични преобразуватели.

Спомагателни функции на първични преобразуватели

За да се разшири областта на използване на първични преобразуватели към тях се добавят специални спомагателни функции, например настройка на основата на обучение. Тази функция може да се използва чрез специален бутон, с помощта на който може да се задава максималния и минималния диапазон на чувствителност (много точна настройка на горната и долната граница, например ± 6mm за ултразвукови първични преобразуватели) или отчитане влиянието на околната среда при фотоелектрични първични преобразуватели.

6.2 Електромеханични крайни изключватели



↑ Фиг. 6.3 *Посоки на движения в най-често използваните първични преобразуватели*

Първичният преобразувател заработва при непосредствен физически контакт на чувствителния му елемент с подвижен или неподвижен обект. Сигналът се предава в информационна система с помощта на електрически контакт.

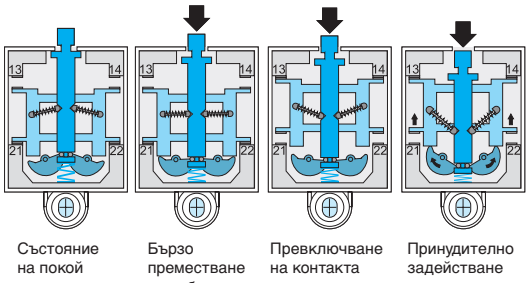
Заедно, чувствителният елемент и дискретният електрически контакт образуват устройство, което се нарича краен изключвател. Крайните изключватели се използват практически във всички системи за автоматизация благодарение на техните технически характеристики.

Конструкция на чувствителния елемент

Чувствителният елемент може да бъде изпълнен по различен начин в зависимост от особеностите на контролирания обект *(⇨ Фиг. 6.3)*. Голямото разнообразие от типове конструкции на чувствителни елементи позволява адаптиране на първичния преобразувател за изпълнение на различни задачи при разпознаване на:
- праволинейно движение;
- въртеливо движение;
- движение в различни посоки.

Режими на работа на контакта

Първичните преобразуватели се различават по начина, по който задейства контакта.



↑ Фиг. 6.4 *Положения на контакт с мигновено действие*

□ Контакт с мигновено действие или бързодействащ контакт

Функционирането на контакта се характеризира с явлението хистерезис, т.е. различно действие при включване и изключване *(⇨ Фиг. 6.4)*.

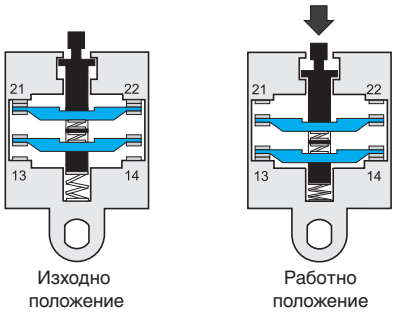
Скоростта, с която се премества подвижната част на контакта не зависи от скоростта на преместване на чувствителния елемент на първичния преобразувател. Тази особеност осигурява приемлива скорост на комутация, дори и при случаи на преместване на чувствителния елемент с малки скорости.

Все по-често крайните изключватели, притежаващи контакти с мигновено действие, реализират функцията „принудително задействане“, която се определя по следния начин:

Първичният преобразувател изпълнява това изискване в случай, че отсъства каквато да е еластична връзка между подвижния контакт и чувствителния елемент, подложен на механично действие, а е необходимо всички негови нормално затворени контакти да преминат в отворено състояние.

Това в еднаква степен се отнася както за електрическия контакт, така и за чувствителния елемент, който трябва да предаде механичното въздействие без изкривяване.

Във веригите за безопасност се изисква използването на посочените устройства с функцията принудително задействане.



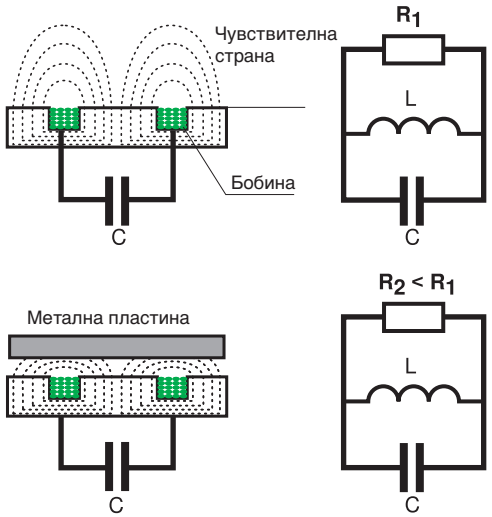
↑ Фиг. 6.5 *Положения на контакт със забавяне при отваряне*

□ Контакт със забавено действие *(⇨ Фиг. 6.5)*

Режимът на работа се характеризира със следните особености:
- едновременно действие на превключващите контакти;
- скоростта на подвижния контакт е равна или пропорционална на скоростта на чувствителния елемент, която не трябва да бъде по-малка от 0,1 m/s (6 m/min). Под тази прагова стойност контактите се отварят твърде бавно, което увеличава износването им (опасност от продължително действие на електрическа дъга);
- скоростта на отваряне зависи също от дължината на хода на чувствителния елемент.

Тези контакти са проектирани така, че да работят в режим на принудително отваряне: натискащият лост (бутон) въздейства непосредствено върху подвижните контакти.

6.3 Индуктивни безконтактни първични преобразователи



↑ Фиг. 6.6 *Принцип на действие на индуктивен първичен преобразувател*

Физическите принципи, на които се основава работата на даден тип първичен преобразувател предполага тяхното използване само с метални обекти.

■ Принцип на работа

В качество на чувствителен елемент се използват индуктивни бобини (L), които са свързани с кондензатор (C). Те образуват един колебателен контур с резонансна честотата f_0, която е разположена в честотния диапазон от 100 kHz до 1 MHz.

Електронната схема на първичния преобразувател има резонансна честота, определена с израза:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Колебанията създават променливо магнитно поле пред бобината. Появяването на метален обект в зоната на променливото магнитно поле предизвиква появяването на вихрови токове в него, които създават допълнителен товар, изменящ условията за резонанс в контура *(⇨ Фиг. 6.6)*.
Наличието на метален предмет пред първичния преобразувател намалява качествения фактор на резонансния контур.

Вариант 1. При отсъствие на метален обект:

$$Q_1 = \frac{R_1}{L\omega}$$

Необходимо е да се отбележи, че

$$Q = \frac{R}{L\omega} = \frac{L\omega}{r} f_1 \; R = Q^2 r$$

Вариант 2. При наличие на метален обект:

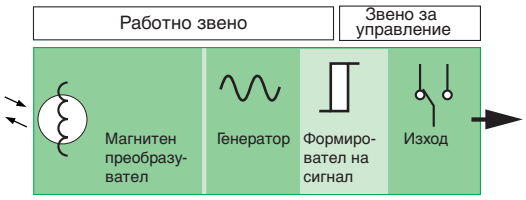
$$Q_2 = \frac{R_2}{L\omega}.$$

$$R_2 < R_1 \Rightarrow Q_2 < Q_1.$$

Откриването на обекта става чрез измерване изменението на стойността на качествения фактор на колебателния контур (например между 3 и 20% от праговата стойност).

При приближаване на метален обект към първичния преобразувател, се наблюдава рязко намаляване на качествения фактор на колебателния контур, което от своя страна предизвиква намаляване на амплитудата на колебанието.

Металът, използван при изработване на обекта, определя максималното разстояние за неговото откриване.



↑ Фиг. 6.7 *Блокова схема на индуктивен първичен преобразувател*

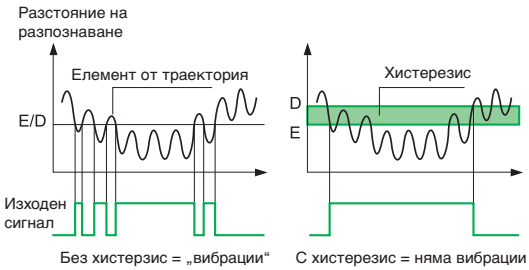
Конструкция на индуктивен първичен преобразувател *(⇨ Фиг. 6.7)*

Преобразувател. Той се състои от бобина, навита от многожилен меден проводник, поставена във феритна сърцевина, която насочва магнитните силови линии към лицевата част на преобразувателя.

Генератор на сигнал. Съществуват различни типове генератори в това число с фиксирано отрицателно съпротивление – R, равно по абсолютна стойност на паралелно включеното съпротивление към колебателния контур R_p в зададения диапазон:

- ако обектът се намира извън границите на този диапазон, то $|R_p| > |-R|$, колебанията продължават да се генерират;
- ако обектът се намира в границата на диапазона $|R_p| < |-R|$, колебанията престават да се формират и генераторът се блокира.

Формировател на сигнал: състои се от детектор на пикови стойности на измерваната величина, контролирана от двупрагов компаратор (тригер), за да се избегне нежеланото превключване на първичния преобразувател (вибриране) в момента на приближаване на обекта. Формирователят на сигнала създава т.нар. хистерезис *(⇨ Фиг. 6.7bis)*.



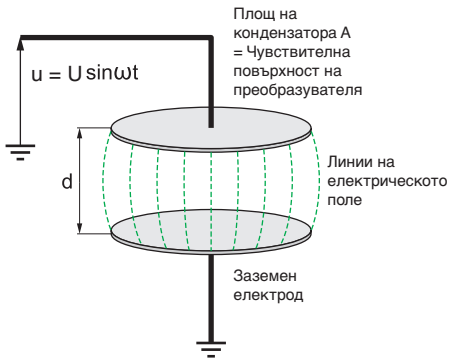
↑ Фиг.6.7bis *Към хистерезис на първичен преобразувател*

Захранване и контрол на изходния сигнал на първичния преобразувател. Захранването на първичния преобразувател може да се осъществи в широк диапазон на напрежения (от 10 V постоянно напрежение до 264 V променливо напрежение). Обикновено изходният сигнал има стойност 0.2 A при постоянно напрежение или 0.5 A при променливо напрежение с или без защита от къси съединения.

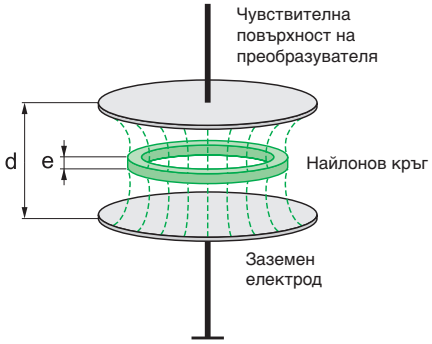
Фактори, влияещи върху работата на индуктивните първични преобразуватели

Върху работата на индуктивните първични преобразователи оказват влияние следните фактори:

- разстояние на разпознаване;
- площ на повърхността на контролирания обект;
- номинален диапазон на чувствителност: при работа с обект от нисковъглеродна стомана варира от 0.8 mm (за цилиндричен първичен преобразувател с диаметър ∅ 4 mm) до 60 mm, за първичен преобразувател с правоъгълна форма с размери 80x80 mm;



↑ Фиг. 6.8 *Между електродите на кондензатора няма обект*



↑ Фиг. 6.9 *Между електродите на кондензатора има обект с нищожна електропроводимост*

- хистерезис, който се изменя от 2 до 10% от номиналния диапазон на чувствителност за предотвратяване на вибриране;
- честота, с която обектите пресичат работната зона на първичния преобразувате. Дефинира се като честотата на превключване (до 5 kHz).

Преобразуватели със специфични функции

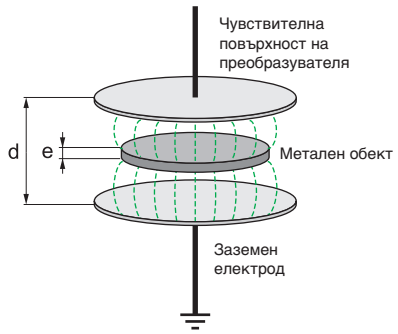
- Първични преобразуватели, защитени от магнитни полета, създавани от заваръчни апарати;
- Първични преобразуватели с аналогов вход;
- Първични преобразуватели с корекционен коефициент, равен на 1*. В този случай разстоянието на заработване не зависи от вида на материала, от който е направен обекта (черен или цветен метал);
- Първични преобразуватели, които различават вида на материала на обекта – черен или цветен метал;
- Първични преобразуватели за контрол на въртене, реагиращи на честотата на въртене на металния обект;
- Първични преобразуватели за взривоопасна среда (стандарт NAMUR).

** В случай, че обектът не е изпълнен от стомана, максималното разстояние на откриване трябва да бъде пропорционално на коригиращия коефициент за материала, от който е направен обекта.*

$D_{Mat\ X} = D_{Стомана} \times K_{Mat\ X}$

Типови стойности на коригиращия коефициент $K_{Mat\ X}$ са:
- стомана = 1;
- неръждаема стоманаl = 0.7;
- месинг = 0.4;
- алуминий = 0.3;
- мед = 0.2;
Пример: $D_{Неръждаема} = D_{Стомана} \times 0.7$.

6.4 Капацитивни безконтактни първични преобразуватели



↑ Фиг. 6.10 *Между електродите на кондензатора има електропроводим обект*

Даденият тип първични преобразуватели се използва за откриване на произволни обекти, както от електропроводим материал, така и от изолационен материал, например стъкло, дърво, пластмаса, масло и др.

Принцип на работа

Чувствителният елемент на първичния преобразувател е електрод на кондензатор. Към него се подава синусоидално напрежение, което създава променливо електрическо поле. Това напрежение трябва да бъде калибрирано спрямо нулев потенциал (например потенциала на земя); вторият електрод на кондензатора се свързва към елемент, имащ нулев потенциал (например корпуса на първичния преобразувател).

Двата електрода образуват плосък кондензатор, чиито капацитет се определя с израза:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d},$$

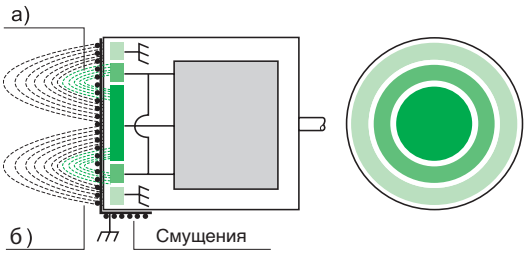
където ε_0 = 8,854187.10^{-12} F/m е диелектричната проницаемост на вакуум;

ε_r - относителната диелектрична проницаемост на средата между пластините на кондензатора.

Случай 1: Между електродите на кондензатора няма обект *(⇨ Фиг. 6.8)*

$$\varepsilon_r \approx 1 \text{ (въздух)} \Rightarrow C \approx \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

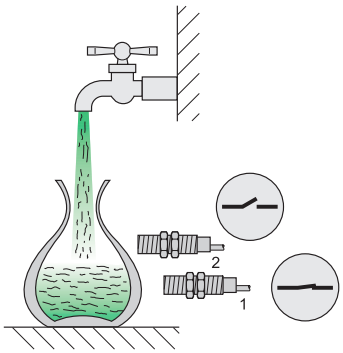
6.4 Капацитивни безконтактни първични преобразуватели



а - Компенсиращо поле (отстранява външно влияние)
б - Основно електрическо поле

Основен електрод
Компенсиращ електрод
Заземен електрод

↑ Фиг. 6.12 *Принцип на работа на капацитивен първичен преобразувател със заземен електрод*



↑ Фиг. 6.11 *Контролиране нивото на вода в стъклен съд*

Материал	ε_r
Ацетон	19.5
Въздух	1.000264
Амоняк	15-25
Етанол	24
Брашно	2.5-3
Стъкло	3.7-10
Глицерин	47
Слюда	5.7-6.7
Хартия	1.6-2.6
Найлон	4-5
Петрол	2.0-2.2
Силиконов лак	2.8-3.3
Полипропилен	2.0-2.2
Порцелан	5-7
Сухо мляко	3.5-4
Сол	6
Захар	3.0
Вода	80
Сухо дърво	2-6
Прясна дървесина	10-30

↑ Фиг. 6.13 *Относителна диелектрична проницаемост на някои материали*

Случай 2: Между електродите се намира обект, който е с нищожна електропроводимост *(⇨ Фиг. 6.9)*. За пръстен от найлон ($\varepsilon_r = 4$).

В този случай, в качеството на елемент с нулев потенциал, може да се използва метална лента на конвейер.

Когато обектът се намира в работната зона на първичния преобразувател $\varepsilon_r > 1$ и капацитетът на кондензатора се увеличава. По този начин увеличаването на капацитета на кондензатора позволява да се разбере, че в работната зона на преобразувателя се намира обект с нищожна електропроводимост.

Случай 3: Между електродите на кондензатора е разположен обект с висока електропроводимост *(⇨ Фиг. 6.10)*

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d - e},$$

където $\varepsilon_r = 1$ (въздух) => $C \approx \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d - e}$

Очевидно е, че попадането на обект от електропроводим материал води до увеличаване капацитета на кондензатора.

Типове капацитивни първични преобразуватели

Капацитивни първични преобразуватели без заземен електрод

Принципът на работа на тези преобразуватели е напълно аналогичен на описания по-горе. В случая е необходимо да се извърши свързване към нулев потенциал.

Областта на приложение на тези първични преобразуватели обхваща откриване на електропроводими вещества (метал, вода) на относително големи разстояния.

Например, откриване на електропроводима течност през изолационна обвивка *(⇨ Фиг. 6.11)*.

Капацитивни първични преобразуватели със заземен електрод

В някои случаи е възможно да липсва достъп до заземена част. Например, ако в описания по-горе пример е необходимо да се използва неелектропроводима лента. В този случай решението ще бъде вграждане на заземения електрод към чувствителната повърхност.

Това дава възможност да се създаде електрическо поле, независимо от веригата към точката на заземяване *(⇨ Фиг. 6.12)*.

Приложение: за определяне на материали от различен вид.

Например, възможност да се открият изолационни или електропроводими материали, разположени зад електроизолационен екран – зърно в картонена кутия.

Фактори, влияещи върху работата на капацитивни първични преобразуватели

В съответствие с посочените по-горе формули, се установява че чувствителността на капацитивните първични преобразуватели зависи от разстоянието между тях и обекта и от вида на материала.

Разстояние на разпознаване

Тази величина зависи от диелектричната константа и от относителната диелектрична проницаемост на материала, от който е изработен обекта.

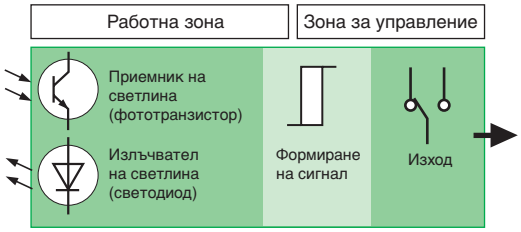
Чрез вграден потенциометър, вграден в капацитивния първичен преобразувател, може да се регулира неговата чувствителност и да се откриват различни видове материали.

Най-често контролирани материали

В таблицата на *(⇨ Фиг.6.13)* са посочени най-често използваните материали за разпознаване и стойностите на съответната относителна диелектрична проницаемост.

6.5 Фотоелектрически първични преобразуватели

Принципът на работа на фотоелектрическите първични преобразуватели позволява да се открият всякакъв тип обекти: прозрачни, непрозрачни, отразяващи. Те се използват също за разпознаване на хора (автоматични врати и бариери за осигуряване на безопасност).



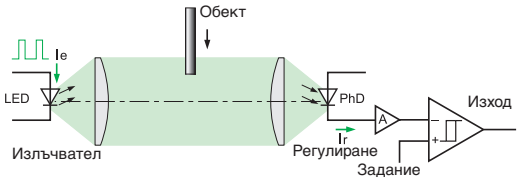
↑ Фиг. 6.14 *Принцип на работа на фотоелектрически първичен преобразувател*

Принцип на работа *(⇨ Фиг. 6.14)*

Светодиодът (LED) излъчва светлинни импулси, обикновено в инфрачервения диапазон (850 – 950) nm. В зависимост от наличието или отсъствието на обект светлинният импулс се приема или не се приема от фотодиода или фототранзистора. Генерираният фотоелектрически ток се усилва и постъпва на компаратор, който го сравнява със зададена прагова стойност. В резултат на това сравнение на изхода на първичния преобразувател се появява един или друг дискретен сигнал.

Видове системи за разпознаване

Системи, използващи напречен лъч (бариерен тип) *(⇨ Фиг. 6.14bis)*



↑ Фиг. 6.14bis *Фотоелектрически първичен преобразувател на основата на напречен лъч*

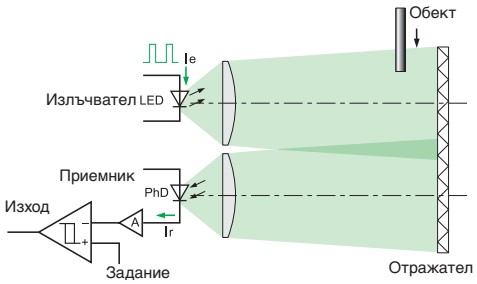
Светлинният излъчвател и светлинният приемник се изпълняват в отделни корпуси. Светлинният излъчвател, изграден от светодиод и събирателна оптична леща формира паралелен сноп лъчи, а светлоприемникът, съставен от фотодиод (фототранзистор) и събирателна оптична леща формира ток, пропорционален на светлинната енергия, получена от излъчвателя.

Тази система дава възможност да се получи дискретен сигнал в зависимост от това дали обектът пресича светлинния лъч в даден момент.

Предимства: голямо разстояние на разпознаване на обекта (до 50 m, а в отделни случаи и на по-големи разстояния). Този параметър зависи от размера на първичния преобразувател и типа на използваните оптични лещи.

Недостатъци: необходимост от два отделни корпуса и следователно два отделни източника на напрежение, съответно за светлоизлъчвателя и за светлоприемника.

Освен това, при разстояние над 10m ориентирането на светлинния лъч в дадено направление и регулирането на светлинния излъчвател и приемник могат да предизвикат трудности.



↑ Фиг. 6.15 *Принцип на фотоелектрическо отразяване*

Системи, използващи отразяване на светлинния лъч

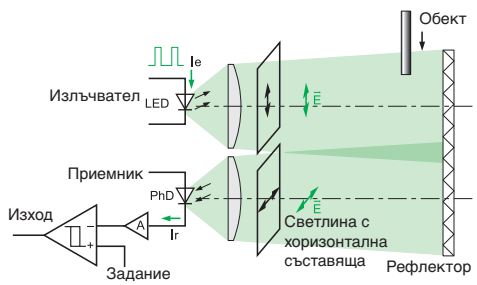
Тези системи са два типа: стандартни и поляризирани.

• Стандартно отразяване (IRreflex) *(⇨ Фиг. 6.15)*

Светлинният лъч е в инфрачервения диапазон (850 ... 950) nm.

Предимства: светлинният излъчвател и светлинният приемник се разполагат в един корпус, което предполага само един захранващ блок. Разстоянието на разпознаване на тази система е голямо (приблизително до 20m) , но все пак е по-малко от това при системата на основата на напречен лъч.

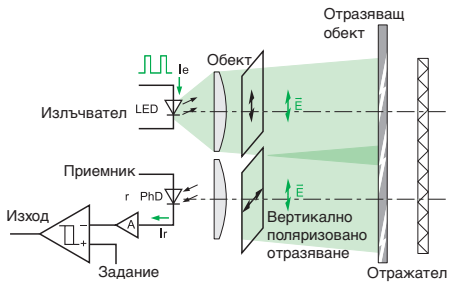
Недостатъци: отразяващ обект (от типа прозорец, купе на кола и др.) може да бъде възприет от устройството като отражател и съответно да не бъде разпознат.



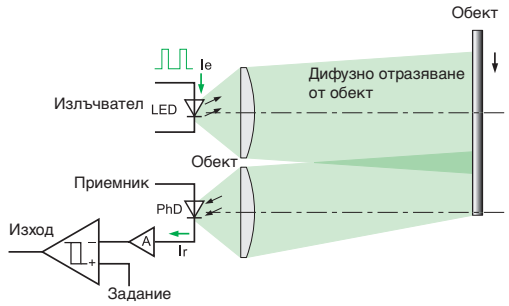
↑ Фиг. 6.16 *Принцип на фотоелектрическо отразяване с ориентиране на посоката на светлината*

• Поляризационно отразяване *(⇨ Фиг. 6.16)*

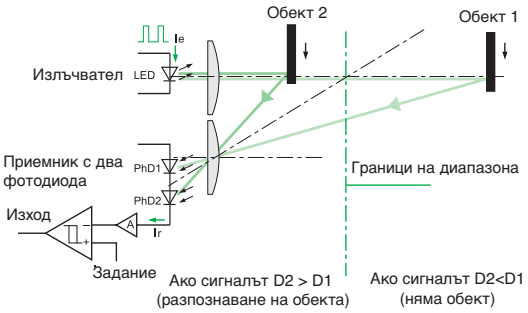
Светлинният лъч се намира в червеният диапазон (660 nm). Излъчваната светлина се ориентира (поляризира) вертикално от



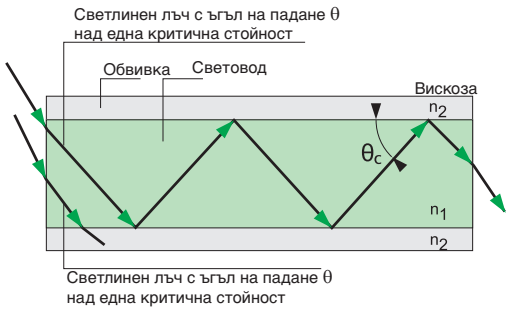
↑ Фиг. 6.17 *Система с ориентиране посоката на светлината: към принципа на не разпознаване на отразяващ обект*



↑ Фиг. 6.18 *Принцип на директно фотоелектрическо разпознаване на обект от стандартен тип*



↑ Фиг. 6.19 *Принцип на директно фотоелектрическо разпознаване с потискане влиянието на фона на обекта*



↑ Фиг. 6.20 *Принцип на разпространение на светлинен лъч в оптично влакно*

линеен поляризационен филтър. Отражателят изменя ориентацията на светлината по такъв начин, че в отразената светлина се появява хоризонтална съставяща. Приемащият линеен поляризационен филтър приема хоризонтално ориентираната светлина и я пропуска към фотоприемника.
За разлика от отражателя отразяващият обект (огледало, метален лист и др.) не изменя ориентацията на светлината, и затова отразената светлина от обекта не може да премине през приемащия поляризационен филтър *(⇨ Фиг. 6.17)*.
Предимства: отсъствие на проблеми, характерни за системи, използващи стандартно отразяване.
Недостатъци: висока цена на първичния преобразувател и малко разстояние на разпознаване: приблизително до 8 m:
IR reflex -->15m
Polarised reflex ---> 8m.

□ Системи, използващи директно отразяване от обект

• Директно отразяване от обект стандартен тип *(⇨ Фиг. 6.18)*
При тази система, върху фотоприемника попада светлина, отразена от разпознавания обект.
Предимства: отпада необходимостта от отражател.
Недостатъци: много малко разстояние на разпознаване (до 2m). То зависи още от цвета на обекта и фона, върху който обекта е разположен. Например, при равни други условия максималното разпознаване на обект с бял цвят е по-голямо от това на обект със сив или черен цвят. Фон, който има по-ярък оттенък от обекта, може да направи разпознаването на обекта невъзможно.

• Директно отразяване с потискане на фона*(⇨ Фиг. 6.19)*
В тези системи се използва метода на триангулация*.
Разстоянието за разпознаване (до 2m) не зависи от отразяващите свойства на обекта, а от неговото разположение спрямо първичния преобразувател. Ярките и тъмни обекти могат да бъдат фиксирани на еднакво разстояние, а фона, разположен зад границите на работната зона на чувствителност да се игнорира.

* Метод на триангулацията: разстоянието до дадена точка се изчислява, като се измери разстоянието между две референтни точки и ъглите между обекта и правата, образувана от тези точки.

□ Системи с оптично влакно

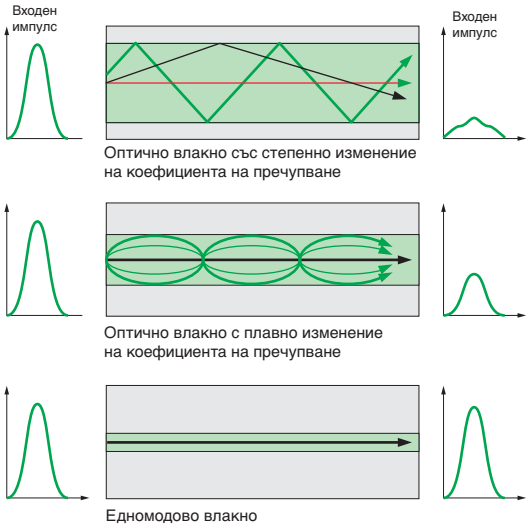
• Принцип на работа
Разпространяването на светлинната вълна в оптично влакно е основано на пълното вътрешно отражение. Вътрешното отразяване може да бъде пълно в този случай, когато светлинният лъч преминава от една среда в друга, имаща по-малък коефициент на пречупване по отношение на първата. Освен това, отразяването без загуби е възможно само в случай, че ъгълът на падане на лъча е по-голям от една критична стойност θ_c *(⇨ Фиг. 6.20)*.
Два фактора влияят на вътрешното отразяване: коефициент на пречупване и вътрешния ъгъл. Тези величини са свързани със следното уравнение

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

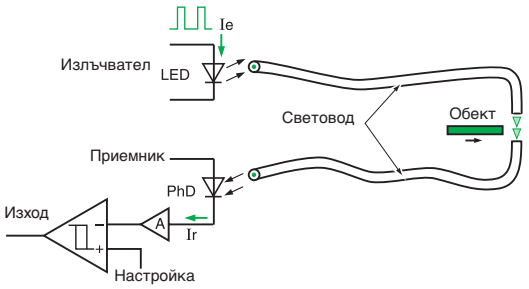
При известни коефициенти на пречупване на светлината за двете среди изчисляването на критичният ъгъл е лесно.
Във физиката, коефициентът на пречупване на светлината, се дефинира като

$$n = \frac{c}{V},$$

където **C** е скоростта на разпространение на светлината във вакуум;
V - скоростта на разпространение на светлината в дадена среда.



↑ Фиг. 6.21 *Видове оптични влакна*



↑ Фиг. 6.22 *Към принципа на работа с оптично влакно*

Коефициентът на пречупване на светлината за въздух се приема за равен на този, за вакуум и има стойност 1, защото двете скорости са приблизително еднакви..

• **Едномодово и многомодово оптично влакно** *(⇨ Фиг. 6.21)*

- Многомодово влакно

Това е такова влакно, за което диаметърът на сърцевината, по която преминава светлина, е по-голям от дължината на светлинната вълна (∅ ≈ от 9 до 125 µm, L_o = от 0.5 до 1 mm). В това влакно се използват два типа разпространяване: със степенно и с плавно изменящ се показател на пречупване.

- Едномодово влакно

Това влакно има по-малък диаметър от дължината на светлинната вълна (∅ <= 1 µm, L_o = обикновено 1.5 µm). При него се използва степенно изменящ се показател на пречупване. Това влакно се използва главно в телекомуникациите.

Даденото обяснение нагледно илюстрира колко внимателно трябва да се работи при работа с влакно, например, когато то се опъва или огъва (силата на опъване и радиусът на огъване трябва да бъдат в съответствие с препоръките, дадени от производителя).

Многомодовото оптично влакно се използва най-често в промишлеността, тъй като то притежава най-голямо устойчивост на електромагнитно въздействие (EMC – електромагнитна съвместимост) и е просто за експлоатация.

• **Принцип на разпознаване**

Оптичните влакна се разполагат с единия край срещу светодиода, а с другият – срещу фототранзистора или фотодиода *(⇨ Фиг. 6.22)*.

Този начин на функциониране има следните предимства:

- разполагане на електронните елементи далече от наблюдаваната точка;
- работа в затворени пространства или при високи температури;
- разпознаване на малогабаритни обекти (около 1 mm);
- работа в режим на напречен лъч или с приближаване в зависимост от конфигурацията на краищата на оптичното влакно.

Необходимо е д се отбележи, че свързването на оптичното влакно със светлоизлъчвателя и приемника трябва да бъде извършено с висока точност, за да се намали загубата на сигнал.

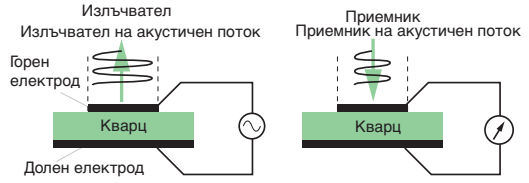
Фактори, влияещи върху работата на фотоелектрическите първични преобразуватели

Много фактори оказват влияние върху техническите характеристики и параметри на тези системи.

Някои от тях вече са отбелязани:

- максимално разстояние на разпознаване;
- тип на разпознавания обект (разсейваща, отразяваща или прозрачна повърхност, цвят и размер);
- среда (осветеност, тип на фона и др.).

6.6 Ултразвукови първични преобразователи

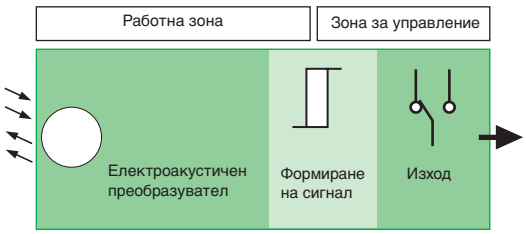


↑ Фиг. 6.23 *Към принципа на работа на акустичен първичен преобразувател*

Принцип на работа

Ултразвуковите вълни се формират с помощта на електроакустичен преобразувател, който преобразува подадената електрическа енергия в механични колебания чрез пиезоефект или магнитострикция *(⇨ Фиг. 6.23)*.

Принципът на работа се състои в измерване на времето, което е необходимо на звуковата вълна, за да измине разстоянието между първичния преобразувател и обекта. Скоростта на разпространение във въздуха е 340 m/s при температура 20°C, т.е. за разпознаване от разстояние 1 m е необходимо време 3 ms. Това време се измерва с помощта на брояч, вграден в микроконтролер.



↑ Фиг. 6.24 *Към принципа на работа на ултразвуков преобразувател*

Предимството на ултразвуковите преобразуватели е, че те могат да работят на разстояние повече от 10 m и да откриват всякакви обекти, независимо от тяхната форма и цвят, които отразяват звуковите вълни.

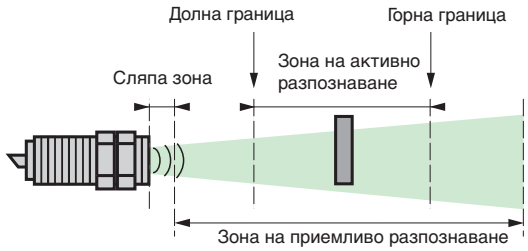
Конструкция *(⇨ Фиг. 6.24)*

Преобразувателят (излъчвател- приемник), захранван от високоволтов генератор, генерира импулсни ултразвукови вълни (от 100 до 500 kHz, независимо от модела), които преминават през атмосферния въздух със скоростта на звука. Когато на пътя на вълната се появи обект, вълната се отразява и се връща към преобразувателя във вид на отразена вълна (ехо сигнал). Микропроцесорът анализира входния сигнал и измерва временния сигнал и ехо сигнала. Чрез сравняването му с еталонно време или такова , получено в резултат на автонастройка, микропроцесорът осъществява контрол и управление върху състоянието на изходните сигнали.
Разстоянието до обекта може да се определи ако е известна скоростта на разпространение на звука от израза:

$$D = (T \times V_s)/2$$

където **D** е разстоянието между първичния преобразувател и обекта;
T – временният интервал между излъчването на вълна и приемането на ехо сигнала;
V_s – скоростта на звука (300 m/s).

Изходният сигнал от първични преобразувател може да бъде както дискретен, когато се използва статичен ключ (PNP или NPN транзистор), който е аналогичен на нормално отворен контакт, или аналогов (ток или напрежение) право- или обратнопропорционален на измерваното разстояние до обекта.



↑ Фиг. 6.25 *Гранични разстояния при работа на ултразвуков първичен преобразувател*

Специфични характеристики на ултразвуковите първични преобразуватели

Термини *(⇨ Фиг. 6.25)*

Сляпа зона: зоната между чувствителната повърхност на първичния преобразувател и минималното разстояние, в която обекта не може достоверно да бъде открит. В границите на сляпата зона разпознаването на обекта е невъзможно.
Разполагане на обекти в сляпата зона на първичния преобразувател по време на работа е недопустимо, защото това може да предизвика нестабилна изходната реакция на системата.
Зона на разпознаване: областта, в границите на която първичният преобразувател може да разпознае обекта.
В зависимост от модела на преобразувателя, зоната на разпознаване може да бъде фиксирана или регулируема, т.е. да се настройва, например с помощта на бутон.
Фактори, влияещи върху работата на първичния преобразувател: ултразвуковите първични преобразуватели се използват за откриване на обекти, имащи плоска повърхност, перпендикулярна на оста на разпознаване.
Обаче, има много други фактори, които оказват смущаващо въздействие върху работата на първичния преобразувател:

- внезапни силни въздушни потоци могат да ускорят или забавят звуковата вълна;
- резки температурни промени в зоната на разпознаване на преобразувателя. Когато обектът излъчва голямо количество топлина, възникват различни температурни области, които променят скоростта на разпространение на вълната и се затруднява надеждното разпознаване;
- звукопоглъщащи материали. Материали като памук, дрехи, гума и др. поглъщат звука. В този случай се препоръчва да се използва режим на работа отразяване;
- ъгъл между повърхността на обекта и оста на разпознаване на

а) б)

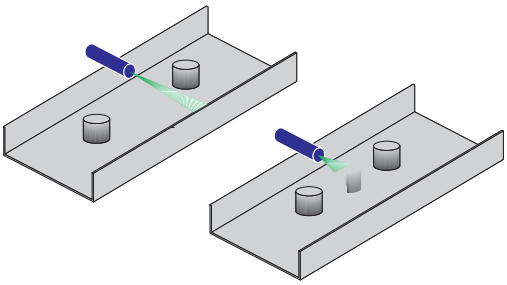
първичния преобразувател. Когато този ъгъл е различен от 90° отразената вълна се отклонява от оста на разпознаване и това намалява максималното разстояние на разпознаване. Колкото е по-голямо разстоянието между обекта и първичния преобразувател, толкова този ефект се проявява по-силно. При отклонения над 10 % разпознаването става невъзможно;
- форма на разпознавания обект. В съответствие с разгледания по-горе фактор многоъглови обекти, не могат да бъдат разпознати.

Режим на работа *(⇨ Фиг. 6.26)*

• **Дифузен режим:** Първичният преобразувател излъчва и регистрира звуковата вълна след като тя се отрази от обекта.
В този случай функцията отрязване се изпълнява от разпознавания обект.

• **Отразяващ режим:** Първичният преобразувател излъчва и регистрира звуковата вълната след като тя се отрази от обекта. В този случай като обект служи плосък твърд елемент, например част от механизъм. Първичният преобразувател постоянно приема отразената звукова вълна. Обектът се разпознава от момента, когато това равновесие се наруши. Този режим е особено подходящ за разпознаване на звукопоглъщащи обекти и многоъглови обекти;

• **Бариерен режим:** В този случай системата се състои от два елемента – излъчвател и приемник, разположени един срещу друг.



Фиг. 6.26 *Използване на ултразвуково разпознаване: а) бариерен или дифузен режим; б) отразяващ режим.*

Предимства на ултразвуковите първични преобразуватели

Основните предимства са:
- отсъствие на физически контакт между първичния преобразувател и обекта, т.е. не се наблюдава износване и има възможност за откриване на чупливи обекти или такива с неизсъхнала боя;
- обекти от всякакви вещества и цвят могат да бъдат разпознати на еднакво разстояние без допълнителни настройки и корекции;
- в първичния преобразувател няма подвижни части и следователно неговият срок на служба не зависи от броя на работните цикли;
- висока устойчивост към външни въздействия – вибро-, влаго-, прахо- и устойчивост на удари;
- функция обучение, която се реализира с помощта на бутон, за задаване на минимално или максимално разстояние на разпознаване (± 6mm).

6.7 RFID -радио-честотна идентификация

В тази глава се описват устройства, които използват радиочестотен сигнал за съхранение и използване на информация в електронни етикети.

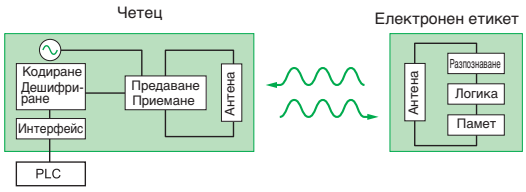
Обзор

Радио-честотната идентификация (RFID) е относително нова система за идентификация, разработена за следене на обекти и хора (проследяване, контрол на достъп, сортиране, съхраняване).

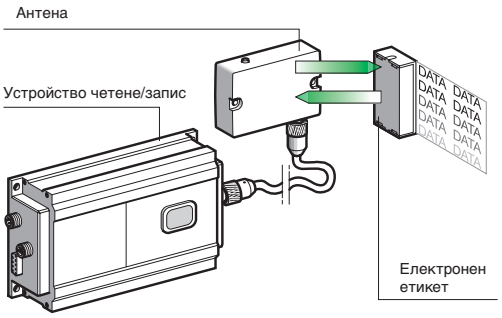
Принципът на действие е основан на възможността всеки обект да се характеризира с данни, които са достъпни за дистанционно четене или записване.

Информацията се съхранява в памет, достъпът до която се осъществява чрез проста радио-честотна връзка, не изискваща пряк контакт или видимост, на разстояние от няколко сантиметра до няколко метра. Паметта е разположена в електронния етикет (идентификатор), наричан понякога транспондер (TRANSmitter – предавател и resPONDER - приемник). Той се състои от антена и интегрална микросхема (чип).

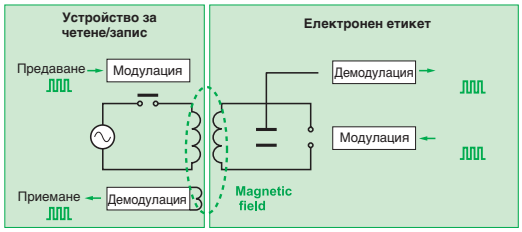
6.7 RFID -радио-честотна идентификация



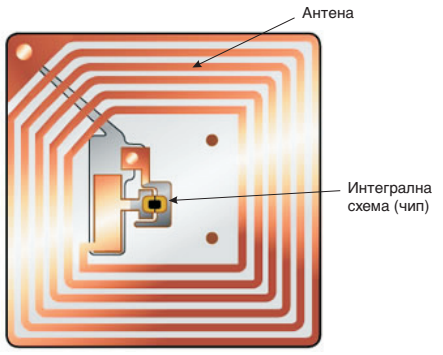
↑ Фиг. 6.27 *Принцип на работа на RFID*



↑ Фиг. 6.28 *Външен вид на елементи от системата RFID (Schneider Electric)*



↑ Фиг. 6.29 *Към работа на системата RFID*



↑ Фиг. 6.30 *Основни елементи на електронния етикет*

Принцип на действие

Системата RFID се състои от следните елементи (⇨ *Фиг. 6.27 и 6.28*):
- електронен етикет;
- устройство за четене/запис (или RFID четец).

Устройство за четене/запис

Той модулира амплитудата на полето, излъчвано с антена, чрез която на логическа схема за обработка на информация, се подава сигнал за четене или запис. Едновременно с това, образуваното в антената електромагнитно поле подава захранване на чипа.

Електронен етикет (идентификатор)

Той предава съхранената в него информация на антенното устройство на четеца чрез модулиране на захранващото напрежение. Входната верига на устройството на четеца приема модулирания сигнал и го преобразува във цифров вид (⇨ *Фиг. 6.29*).

Описание на елементите

Електронен елемент

Конструкцията на електронният етикет има три основни елементи.

• **Антена** (⇨ *Фиг. 6.30*):
Антената трябва да бъде настроена на честотата на носещата вълна и може да бъде реализирана по няколко начина:
- бобина от меден проводник с феромагнитна сърцевина или без нея или отпечатана на гъвкава или твърда печатна платка (за преминаване силовите линии на магнитното поле или отпечатана с електропроводими мастила, за честоти, които не надхвърлят 20 MHz;
- дипол, нанесен върху печатна платка или отпечатан с електропроводими мастила за високи честоти (> 800 MHz).

• **Логическа схема**
Логическата схема изпълнява ролята на интерфейс между командите, получени с антената и паметта.

Нейната сложност зависи от начина на използване и може да варира от просто формиране на команди за четене до използване на микроконтролер, например при платежни карти, защитени с механизъм за кодиране.

• **Памет**
Тя служи за съхраняване на данни в електронните етикети. Използват се няколко типа и са оформени като интегрални микросхеми (⇨ *Фиг. 6.31*).

Активните електронни етикети имат батерия за захранване на електронните компоненти. В този случай е възможно да се увеличи разстоянието между етикета и антената, но се появява необходимост от периодична замяна на батерията.

Конструкция

Разположението и защитата на трите основни елементи е електронния етикет, се изпълняват по различен начин в зависимост от областта на приложение (⇨ *Фиг. 6.32а*):
- табелка във вид на пластмасова карта, за контрол на достъпа на персонала;
- лепящи етикети за идентификация на книги в библиотека;
- пластмасови бутони за идентификация на дрехи в супермаркети и перални;
- пластмасови бутони за идентификация на дрехи в супермаркети и перални;
- етикет за проследяване на пощенски пратки.

Съществуват много други формати, включително електронен ключ, пластмасови шпилки за идентификация на дървени палети, удароустойчиви и химически устойчиви корпуси за използване в промишлеността (обработка на повърхност, пещи и др.) (⇨ *Фиг. 6.32б*).

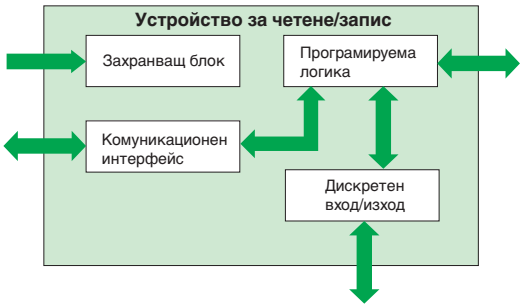
6.7 RFID -радио-честотна идентификация

Тип	Предимства	Недостатъци
ROM	• Устойчивост на високи температури • Ниска цена	• Само четене
EEPROM	• Няма необходимост от използване на батерии или акумулатор за захранване	• Много голямо време за четене/запис • Броят на операциите запис/четене е ограничен до 100 000 цикъла за байт
RAM	• Бърз достъп до данни • Голям обем • Неограничен брой четене/запис	• Необходимост от акумулатор, вграден в електронния етикет, за съхраняване на данни
FeRAM (ferroelectric)	• Бърз достъп до данни • Няма необходимост от използване на батерия или акумулатор • Голям обем памет	• Броят на операциите четене/запис е ограничен до 10^{12}

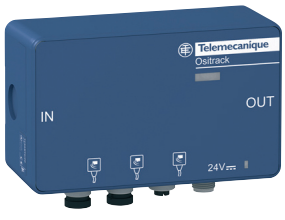
Забележка: ROM (постоянна памет); EEPROM (енергонезависима препрограмируема памет с електрически запис и изтриване); RAM (памет с произволен (непосредствен) достъп); FeRAM (енергонезависима памет с произволен (непосредствен) достъп на феромагнитна подложка).

↑ *Фиг. 6.31 Характеристики на видовите памети*

↑ *Фиг. 6.32 Външен вид на електронни етикети: а –за различни области на приложение; б – промишлени RFID (Schneider Electric Indictel)*



↑ *Фиг. 6.33а Схема на четящо устройство RFID*



↑ *Фиг. 6.33б Външен вид на четящо устройство RFID (Telemecanique Inductel Station)*

Устройство за четене/запис

Това устройство(⇨ *Фиг. 6.33а)*се използва като свързващо звено между система за управление (PLC, компютър и др.) и електронен етикет чрез съответен комуникационен интерфейс (RS232, RS485, Ethernet и др.).
То също може да има редица допълнителни характеристики, за конкретна област на приложение:

- дискретни входове/изходи;
- локална обработка на данни в случай на автономна работа;
- управление с няколко външни антени;
- управление с вградена антена (за компактна система) *(⇨ Фиг. 6.33б)*.

Антени

Антените се характеризират с размери, които определят областта, в която е възможен обмен на информация с електронни етикети и честотата на излъчваната вълна. Феромагнитните магнитопроводи се използват, за да се концентрират силовите линии на електромагнитното поле, което увеличава максималното разстояние на предаване на сигнала *(⇨ Фиг. 6.34)* и намалява влиянието на всякакви метални конструкции, разположени близо до антената.

Използваните честоти покриват няколко диапазона, всеки от които има своите предимства и недостатъци *(⇨ Фиг. 6.35)*.

Номиналните мощности и честоти се различават в зависимост от областта на приложение и страните, в които се използват разгледаните устройства. Съществуват три основни зони Северна Америка, Европа и останалите страни от света. Всяка зона и всяка честота имат разрешен диапазон на спектър на излъчване (CISPR стандарт 300 330), в границите на които трябва да работи радио-честотната идентификация.

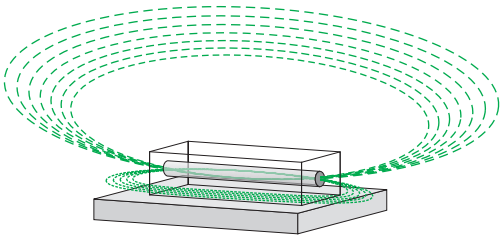
Кодове и протоколи

Протоколите за обмен между устройствата за четене/запис и етикетите се определят от международни стандарти (ISO 15693 – ISO 14443 A/B).
В процес на разработка се намират тясноспециализирани стандарти, например предназначени за търговия на дребно (EPC - електронен код на продукта) или идентификация на животни (ISO 11 784).

Предимства на RFID

В сравнение с баркодовата система (етикети или маркировки и четящи устройства) RFID има следните предимства:

- възможност за изменение на данните в електронния етикет;
- достъп за четене/запис през голям брой неметални материали (идентификация на продукт, например в кутия);



↑ Фиг. 6.34 *Влияние на феритна антена върху електромагнитните лините на магнитното поле*

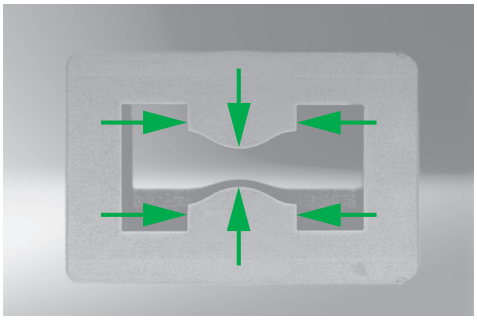
- нечувствителност на прах, замърсяване и др.;
- възможност за запис на няколко хиляди символа в един етикет;
- конфиденциалност на данни (невъзможност за препрограмиране – заключване на етикета).

Всички тези предимства допринасят за неговото разпространение в сферата на услугите (например, контрол на достъпа до ски лифтове и трасета) и търговия на дребно.
Освен това, намаляването на цената на етикета RFID е възможно да доведе до бърза замяна на обикновените баркодове върху контейнери, кутии, пакети, багаж с електронни етикети в материално-техническото снабдяване и транспорта, а също и в изделията от индустрията.
Трябва да се отбележи, че остава привлекателна идеята за автоматична идентификация на продукти, разположени върху транспортна лента в супермаркети, без да се отстраняват от нея за контрол. Тази идея засега не е реализирана поради редица технически и физически проблеми.

Честотен диапазон	Предимства	Недостатъци	Характерни приложения
(125-134) kHz (НЧ)	• Устойчивост към въздействие на околна среда (метал, вода и др.)	• Малък обем на паметта • Продължително време за достъп	• Идентификация на животни
13.56 MHz (ВЧ)	• Стандартни протоколи антена/ идентификатор (ISO 15693 - ISO 14443 A/B)	• Чувствителност към присъствие на метал в околната среда	• Проследяване на книги в библиотека • Контрол на достъп • Платежни системи
(850 - 950) MHz (УВЧ)	• Ниска цена • Голямо разстояние (няколко метра)	• Честотните диапазони са различни в различните страни • Влияние на смущения в диалоговата зона поради препятствие (метал, вода и др.)	• Контрол на стоки в търговия на дребно.
2.45 GHz) (микровълни)	• Много висока скорост на предаване между етикета и антената • Голямо диалогово разстояние (до няколко метра)	• Пропадания на сигнала, което се контролира сложно в диалоговата зона • Висока цена на четеца	• Проследяване на транспортни средства (контролни постове на магистрали)

↑ Фиг. 6.35 *Честотни диапазони, използвани в RFID*

6.8 Системи за техническо зрение



↑ Фиг. 6.36 *Контрол на механичен елемент. Стрелките показват зоните, които се проверяват от системата*

Принцип на работа

Системата за техническо зрение е „окото“ на машината и дава визуални възможности на системата за автоматизация.
Камерата прави снимки на обекта и преобразува физическите му характеристики в цифрова информация *(⇨ фиг. 6.36)* за:
- размери;
- разположение;
- външен вид (качество на повърхността, цвят, яркост, някои дефекти);
-маркировки (лога, букви, цифри и др.).

Чрез системата за техническо зрение, потребителят на тази услуга може да автоматизира такива сложни функции като:
- измерване;
- управление;
- идентификация.

Компоненти на видеосистемата

Промишлената видеосистема се състои от оптична система (осветление, камера и лещи), свързана с устройството за обработка на данни и система за управление задвижването на изпълнителен механизъм.

• Осветление

Много е важно да се осигури подходящо осветление, предназначено специално за създаване на съответстващ устойчив контраст, необходим за разделяне на изследваните елементи.

• Камера и лещи

Качеството на изображението (контраст, рязкост) зависи от избора на леща, от разстоянието между камерата и обекта и конкретната цел на изследване (размер, обработка на повърхностни детайли, подлежащи на записване).

• Устройство за обработка на данни

Изображението от камерата се предава в устройство за обработка на данни, което изпълнява операциите форматиране на изображението и анализ по алгоритми, необходими за проверка. След това резултатите се изпращат в автоматизирана система или предизвикват директно заработване на изпълнителния механизъм.

□ Системи за осветление

• Светотехника

- LED (светлоизлъчващи диоди)

Най-широко използваната система в момента е осветление на основата на светодиоди: тя осигурява равномерно осветление при много дълъг срок на служба (около 30 000 часа).

Възможно е осветление и с различен цвят на светлината, но тогава се обхваща област с диаметър около 50 cm.

- Високочестотни луминесцентни лампи

Лампите с дневна светлина имат голям срок на служба (около 5 000 часа) и голяма площ на осветление, която зависи от мощността на лампата.

- Халогенни лампи

Те също създават дневна светлина. Имат по-малък срок на служба (500 часа), но много голяма интензивност на светлината, което позволява да се обхванат големи зони.

Посочените светотехнически елементи могат да се използват по различен начин. За фон на изследваните обекти се използват пет основни системи *(⇨ Фиг. 6.37)*:

- кръгов фон;
- заден фон;
- директен фронтален фон;
- тъмно поле;
- коаксиален фон.

□ Камери и лещи

• Типове камери

- Камера CCD (полупроводникова светлочувствителна матрица)

Този вид камера се използва най-много в момента поради високата си разделителна способност. Линейните камери (линейни CCD) се използват за непрекъснат технологичен процес. В останалите случаи се използват матрични камери (матрични CCD).

В промишлените камери се използват няколко формата светлочувствителни матрици *(⇨ Фиг. 6.38)*, измервани в inch: 1/3, 1/2 и 2/3 (1/3 и 1/2, камкордер, 2/3 и др.): висока резолюция, телевизия и др.).

За всеки формат съществуват специални лещи, които осигуряват пълно използване на пикселите.

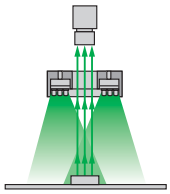
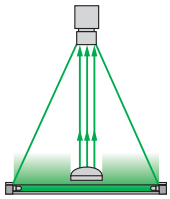
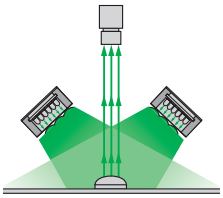
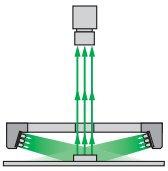
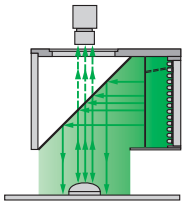
- Камера CMOS

Тя е евтина и има много области на приложение.

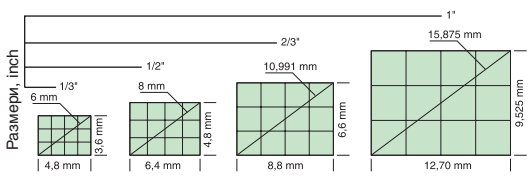
Постепенно се измества от камерата CCD.

- Видикон (тръба)

Това е остаряла технология и в момента не се използва.

Системи	Характеристики	Област на приложение
Кръгов фон 	• Светлоизлъчващи диоди, разположени по окръжност • Много мощна система за осветление • Осветяване на обекта по ос отгоре надолу	• Точност, например при използване за маркиране
Заден фон 	•Осветяване зад обекта, с насочване към камерата • Отделя контурите на обекта (изображение на сянка)	• Измерване размери на обекта или анализ на непроницаеми елементи
Директен фронтален фон 	• Отделя проверявания елемент от обекта и образува дълбока сянка	• Откриване на конкретни дефекти, проверка на винтови резби и др.
Тъмно поле 	• Разпознава краищата на обекта • Проверява маркировка • Открива дефекти в стъкло или метални повърхности	• Проверяване на печатни знаци, качество на повърхности и разпознаване на пукнатини
Коаксиален фон 	• Отделя гладки повърхности, перпендикулярни на оптичната ос чрез отразяване на светлина върху полуотразяваща огледална повърхност	• Изследване, анализ и измерване на гладки метални повърхности и други отразяващи повърхности

↑ *Фиг. 6.37* *Типове фон за промишлени видеосистеми*



↑ *Фиг. 6.38* *Размери на матрици, използвани в индустрията*

• **Сканиране**

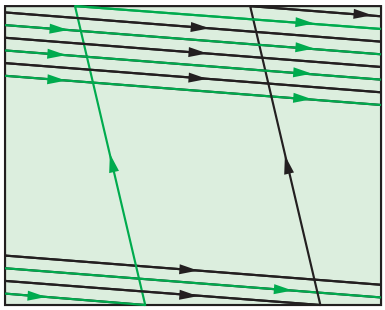
Камерите са с редова или с прогресивна/пълна развивка.

В случаите, когато се наблюдава вибрация или се изисква получаване на изображение в движение се препоръчва да се използва прогресивната развивка или първични преобразуватели за пълен кадър. Камерата CCD осигурява показване на всички пиксели едновременно.

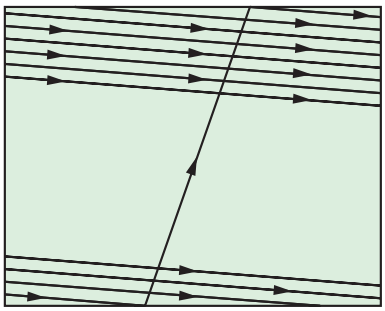
• **Редова развивка**

Тази развивка е въведена за първи път при обработка на телевизионен сигнал. Изображението се анализира чрез последователно описване на четни и нечетни редове *(⇨ Фиг. 6.39)*.

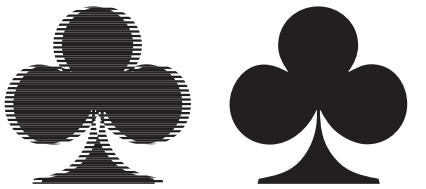
Тя е разработена за икономия на половината от ширината на ивицата за пропускане за сметка на малки дефекти, едва различими на екрана, например при трептене. Един кадър, представен на изображението с черни редове, се описва от нечетни редове, а втори зелен – се описва от четни редове.



↑ Фиг. 6.39 Редова развивка



↑ Фиг. 6.40 *Прогресивна развивка*



↑ Фиг. 6.41 *Сравнение между редова и прогресивна развивка*

• **Прогресивна развивка**

Прогресивната развиква е вид анализ на изображения, използван в информационните технологии. Всички редове от изображението се анализират последователно *(⇨ Фиг. 6.40)*.

Предимството на тази технология е отсъствието на трептене и осигуряване на стабилно изображение *(⇨ Фиг. 6.41)*.

• **Лещи**

- Оптичните лещи, съответстващи на стандарт C Mount и CS Mount, с диаметър 25,4 mm са най-често използвани в индустрията.
- Фокусното разстояние, в mm, се изчислява в зависимост от размера на обекта **H**, в mm, разстоянието между обекта и лещата D, в mm, и размера на изображението **h**, в mm: **f = D x h/H** *(⇨ Фиг. 6.42)*. Ъгълът на полето на зрение е равен на **2xarctg (h/(2xf))**. При това колкото е по-малко фокусното разстояние, толкова е по-голямо полето **H**.
- следователно вида на лещата се избира в зависимост от разстоянието D и размера на наблюдаваното поле **H**.

□ **Устройство за обработка на данни**

Неговата електронна система има две функции: форматиране на изображението и анализ на подобреното изображение.

• **Алгоритми за обработка на изображения**

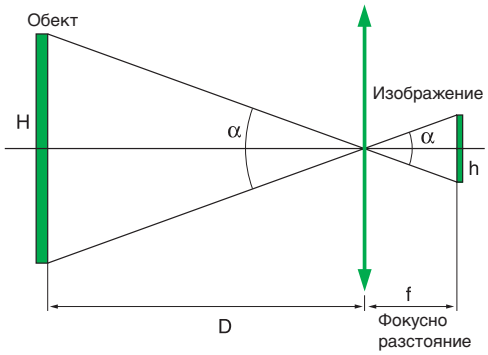
Предварителната обработка променя стойността на диапазона от сиви тонове на изображението. Това се използва за подобряване на изображението, за да може то да се анализира по-ефективно и с по-голяма достоверност. Най-разпространените операции, свързани с предварителната обработка са:

- преобразуване в двоична форма;
- проектиране;
- намаляване/увеличаване;
- откриване/закриване.

• **Алгоритми за анализ на изображения**

На *(⇨ Фиг. 6.43)* са посочени няколко алгоритми за анализ на изображения. Необходимо е да се обърне внимание, че в колоната „Предварителни условия“ са посочени операциите за предварителна обработка на изображения, които трябва да изпълнени преди изпълнение на алгоритъма.

6.9 Оптични енкодери



↑ Фиг. 6.42 *Фокусно разстояние*

Обзор на оптични енкодери

□ **Конструкция**

Въртящ оптичен енкодер – това е първичен преобразувател на ъглово положение, изграден от светлоизлъчващ диод (LED), светлочувствително приемно устройство и диск с редуващи се непрозрачни и прозрачни зони, съединен физически с вала на изследвания възел на механизъм.

Светодиодите излъчват светлина, която преминава през прозрачните зони на диска и попадайки върху фотодиоди се преобразува в електрически сигнал. Той се усилва и се преобразува в правоъгълна форма преди да се подаде в системата за обработка на данни. При въртене на диска изходният сигнал на кодиращото устройства приема формата на последователни правоъгълни импулси. На *(⇨ Фиг. 6.44)* показан външен вид на енкодер.

□ **Принцип на работа**

При въртене на градуирания диск на изхода на светочувствителния първичен преобразувател се изработват еднакви импулси в зависимост от движението на изследвания обект. Резолюцията, т.е. броят

Алгоритъм за анализ на изображения	Принцип на действие и препоръчвана дейност	Предварителни условия	Предимства	Ограничения
Линеен	Изчисляване на пиксели на обекти Наличие/отсъствие, изчисляване	Преобразуване в двоична форма и настройка на експозиция при необходимост	Много висока скорост (<ms)	Преобразуването в двоична форма може да повлияе върху стабилността на изображението
Огледален двоичен код	Изчисляване на пиксели Наличие/отсъствие, анализ на повърхност, проверка на интензивност	Преобразуване в двоична форма и настройка на експозиция при необходимост	Бързо (ms)	Преобразуването в двоична форма може да повлияе върху стабилността на изображението
Сиво полутоново изображение	Изчисляване средната стойност на диапазона сиви тонове. Наличие/отсъствие, анализ на повърхност, проверка на интензивност	Няма		
Контурно двоично изображение	Търсене на граници на обекта в двоична форма на изображение. Измерване, наличие/отсъствие, позициониране	Преобразуване в двоична форма и настройка на експозиция при необходимост		Висока точност на ниво пиксели. Преобразуването в двоична форма може да повлияе върху ста билността на изобра жението
Гранично сиво полутоново изображение	Търсене границите на изображението в диапазона сиви тонове. Измерване, наличие/отсъствие, позициониране.	Няма, при необходимост регулиране на положението	Възможна точност - субпиксели. Възможно е проектиране в диапазона сиви тонове чрез предва- рителна обработка	Необходимо е точно повторно позициониране
Отделяне на контури	Изчисляване, разпознаване на обекта, измерване и определяне на геометрични параметри	Преобразуване в двоична форма и настройка на експо- зиция при необходимост	Много получени резултати, универсални Възможно е повторно позициониране на 360°	Висока точност на ниво пиксели. Преобразуването в двоична форма може да повлияе върху ста билността на изобра жението. Бавен (>10...100 ms)
Разширено сравнение	Разпознаване на форми, позициониране, повторно позициониране, измерване, сортировка, изчисляване, идентификация	Няма	Лесно осъществим	Разпознаването е ограничено до 30°. Бавен (> 10...100 ms) при голям образец и/ или зона на търсене
Оптично разпознаване OCR/ Оптична проверка OCV	Оптично разпознаване на символи (OCR)/ Оптична проверка на символи (OCV)	Изисква висока контрастност на изображението. Размерът на изображението се увеличава максимално	Всички типове символи или лога се изчисляват с използване на библиотеки (например щамповани детайли)	Стабилността на разпознаваната маркировка може да се подобри с времето

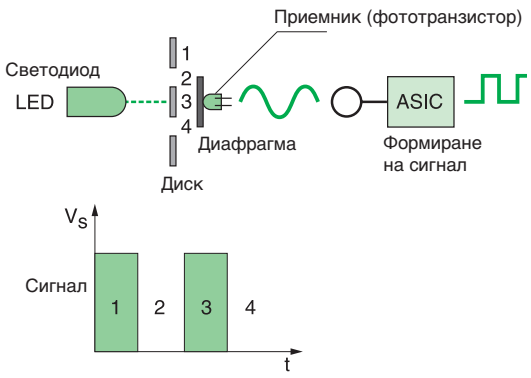
↑ *Фиг. 6.43* *Алгоритми за анализ на изображения, използвани в промишлени системи*

↑ *Фиг. 6.44* *Външен вид на оптичен енкодер Schneider Electric*

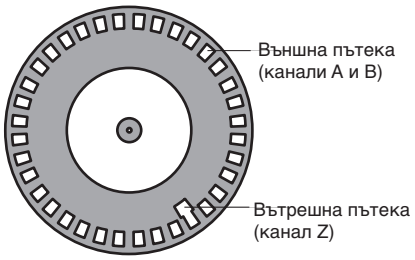
импулси за един оборот, зависи от броя на деленията на диска или е кратна на това число. Колкото е по-голяма тази стойност, толкова е по-голям броят измервания за един оборот и се определя по-точно преместването или скоростта на въртящите се части, свързани с енкодера.
Типово приложение: дължина на рязане.
Резолюцията се изразява чрез отношението

$$\frac{\text{Разстояние, съответстващо за един оборот}}{\text{брой на точките}}$$

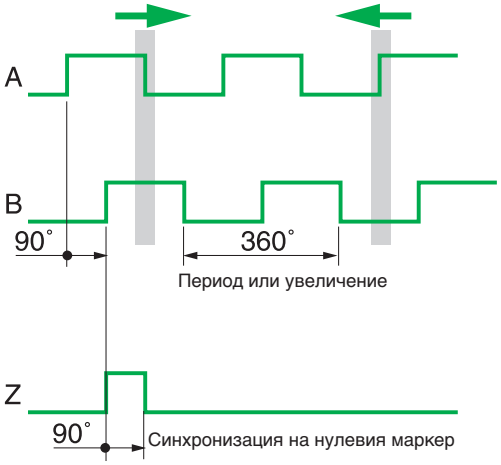
Например, ако нарязваният обект задвижва измервателен диск с дължина на окръжността 200 mm, за постигане на точност 1 mm резолюцията на енкодера трябва да бъде 200 точки, а за постигане на точност 0,5 mm резолюцията на енкодера трябва да бъде 400 точки.



↑ Фиг. 6.45 *Принцип на работа на инкрементален енкодер*



↑ Фиг. 6.46 *Външен вид на градуиран диск към инкрементален енкодер*



↑ Фиг. 6.47 *Принцип за определяне посоката на въртене и нулевия маркер*

Техническа реализация *(⇨ Фиг. 6.45)*

Излъчващата секция на светлина е изградена от три фотодиода или светодиода (за резервиране) със срок на служба от 10 до 12 години. Специална интегрална схема ASIC, включена към светочувствителния първичен преобразувател на сигнала, преобразува синусоидалния сигнал в правоъгълни импулси, след усилване.
Градуираният диск е изработен от здрав материал (POLYFASS Mylaramica) при резолюция до:

- 2 048 точки за диаметър 40 mm;
- 5 000 точки за диаметър 58 mm;
- 10 000 точки за диаметър 90 mm,

или от стъкло, за по-високи резолюции и високи честоти на броене до 300 kHz.

Типове оптични енкодери

Тези изделия се използват във всички отрасли на промишлеността. Разглеждат се две основни групи изделия:

- инкрементални енкодери, разработени за определяне положението на въртяща се част или наблюдаване на нейното движение чрез нарастване или намаляване на генерираните импулси;
- абсолютни енкодери, които показват точното положение след един или няколко оборота.

Тези две групи включват в себе си:

- абсолютни многооборотни енкодери;
- тахоенкодери, които представят информация за скоростта;
- тахометри, които обработват данните за представяне на информация за скоростта.

Във всички тези устройства се използват еднакви технологии. Те се отличават една от друга по броя на отворите в диска и начина на тяхното кодиране и обработка на оптичния сигнал.

Инкрементални енкодери *(⇨ Фиг. 6.46)*

Инкременталните енкодери са разработени за позициониране на движещи части на механизми и наблюдаване на техните движения чрез увеличаване или намаляване на броя на генерираните импулси.

- **Инкрементален енкодер с два типа пътеки**
  - Външната пътека (каналите A и B) е разделена на “n“ редуващи се непрозрачни прозрачни интервали с равни ъгли, “n“ – резолюция на брой периоди. Два фотодиода, отместени един спрямо друг, разположени зад тези пътеки, изработват правоъгълни сигнали A и B всеки път, когато светлинният лъч преминава през прозрачната зона. Фазовото отместване на 90° (съответства на 1/4 от периода) между сигналите A и B, определя посоката на въртене *(⇨ Фиг. 6.47)*. При въртене в дадено направление B = 1. При въртене в противоположна посока B = 0. И в двата случая A се изменя от 0 до 1;
  - Вътрешна пътека (Z) с единствен прозрачен прозорец. Сигналът Z, наричан нулев маркер, с период 90°, се синхронизира със сигналите A и B. Той определя изходното положение и се използва за повторна инициализация за всяко завъртане.

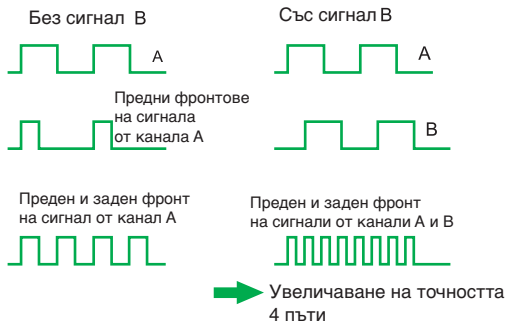
- **Функциониране на каналите A и B**

Инкременталните енкодери осигуряват три нива на точност:

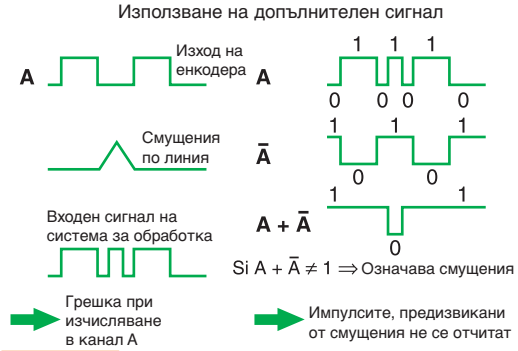
- с помощта на предния фронт на сигнал от канала A: отделна операция с точност, съответстваща на резолюцията на енкодера;
- с помощта на предния и задния фронт на сигнал от канала A: точността се удвоява;
- с помощта на предния и задния фронт на сигнали от канала A и B: точността се увеличава четири пъти *(⇨ Фиг. 6.48)*.

- **Отстраняване на смущения**

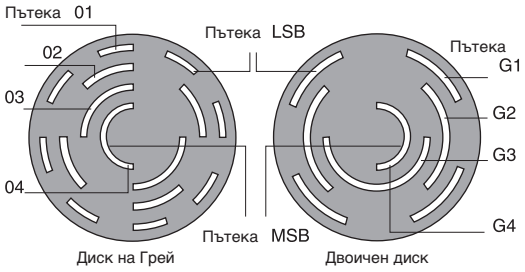
Работата на всяка изчислителна система може да бъде нарушена от смущения по линия, която обработва едновременно импулси, изработ-



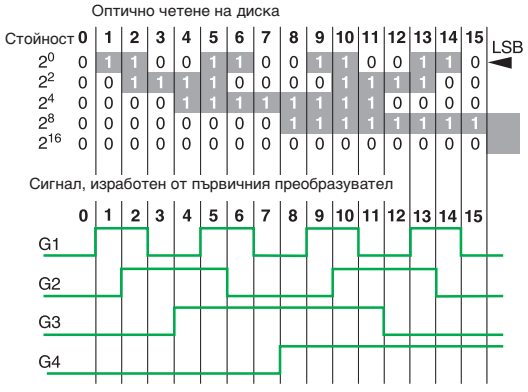
Фиг. 6.48 *Към увеличаване на точността*



Фиг. 6.49 *Отстраняване на импулси, предизвикани от смущения*

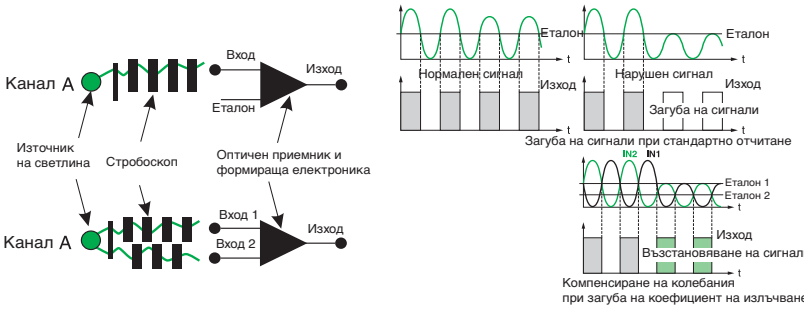


Фиг. 6.51 *Гравиран чрез ецване диск за абсолютен енкодер*



Фиг. 6.52 *Сигнал, представен в код на Грей от въртящ абсолютен енкодер*

вани от енкодерите. За да се избегне това, голяма част от инкременталните енкодери изработват т.нар. инвертиращи сигнали $\overline{A}$, $\overline{B}$ and $\overline{Z}$, като допълнение към сигналите A, B и Z. Ако системата за обработка на данни е разработена за тяхното поддържане (например числено програмно управление), тези допълнителни сигнали могат да се използват за отделяне на импулсите на енкодера от смущаващите импулси *(⇨ Фиг. 6.49)*, и да се избегне тяхното обработване или да се възстанови сигнала *(⇨ Фиг. 6.50)*.



Фиг. 6.50 *Възстановяване на сигнал, подложен на смущения*

Абсолютни енкодери

• Принцип на работа

Абсолютните енкодери са разработени за определяне положението на движещите се части или за определяне на тяхното положение.

Абсолютните въртящи енкодери работят на същия принцип, както и инкременталните енкодери, но се различават по дисковете, които имат няколко концентрични пътеки, разделени на равни редуващи непрозрачни и прозрачни участъци *(⇨ Фиг. 6.51)*. Абсолютният енкодер постоянно изработва код, който отразява фактическото положение на наблюдавания движещ се обект. Едната от дължината на първата вътрешна пътека е прозрачна, а другата – непрозрачна. Тя дава показания за положението на обекта с точност до половин оборот (MSB - Most Significant Bit: старши разряд).

Следващите пътеки, от центъра до края на диска, са разделени на редуващи се прозрачни и непрозрачни четвъртини. Едновременното отчитане на първата и втората пътека показва в коя четвъртина (1/4 или $1/2^2$) от оборота е разположен обекта. Следващите пътеки последователно определят в коя осмина (1/8 или $1/2^3$), шестнайсетина (1/16) и т.н. от оборота е разположен обекта.

Външната пътека съответства на младшия разряд (LSB - Least Significant Bit: младши разряд).

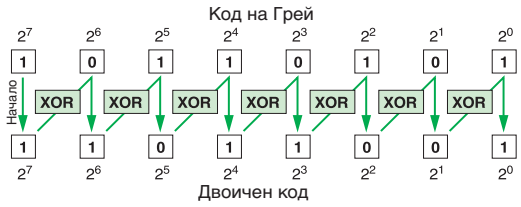
Броят на паралелните изходни сигнали е равен на броя на разрядите или пътеките върху диска. Разпознаването на движението изисква броят на двойката диод-фототранзистор да е равен на броя на изработваните разряди или пътеки от диска. Комбинацията от всички сигнали в даден момент определя положението на движещата се част.

Абсолютните първични преобразуватели на положение изработват цифров код, разпознаващ физическото положение на диска като всеки отделен код съответства на определено положение. Кодът, изработван от въртящ се абсолютни енкодери е или обикновен двоичен код (чист двоичен) или огледален двоичен код, наричан код на Гей *(⇨ Фиг. 6.52)*.

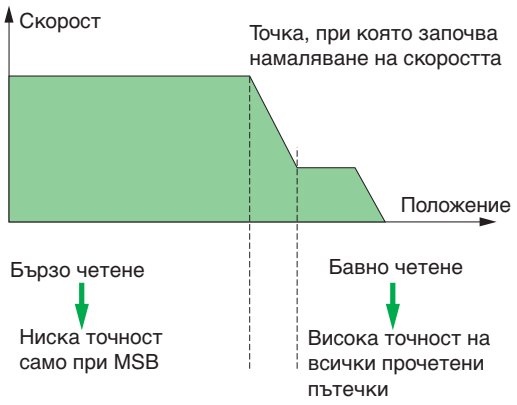
• Предимства на абсолютните енкодери

Абсолютните енкодери имат две основни предимства в сравнение с инкременталните енкодери:

- те са устойчиви при прекъсване на захранване, защото при пускане или възстановяване на захранването абсолютният енкодер изработва данни за фактическият ъгъл на положение на под-



Фиг. 6.53 *Принцип на преобразуване от код на Грей в двоичен код*



Фиг. 6.54 *Положение на движеща се част върху ос*

вижната част на механизма, които могат да бъдат използвани незабавно в системите за обработка на данни. Инкременталният енкодер е необходимо да се установи в нулева позиция преди сигналите да бъдат фактически използвани;
- те са устойчиви на смущения по линиите. Смущенията могат да повлияят върху кода, изработван от абсолютния енкодер, но той автоматично се връща към нормално състояние щом се прекрати действието на смущенията. При използване на инкрементален енкодер смущенията се филтрират, ако се използват инвертиращи сигнали.

• **Използване на сигнали**

За всяко ъглово положение на вала дискът изработва код, който може да бъде двоичен или код на Грей:

- прост двоичен код: използва се изпълнение на четири аритметични операции с числа така, че системата за обработка на данни (PLC) може да ги използва едновременно за изчисление.
При преминаване от едно положение в съседно няколко бита могат едновременно да променят своето състояние.

За да се избегне това, абсолютните енкодери за положение изработват забраняващ сигнал, който блокира изходните сигнали за времето, през което се изменя статуса;
- код на Грей, при който само един бит променя състоянието си при преминаване между две съседни положени на диска. Той позволява да се избегне тази неточност. Но за да може PLC да използва кода на Грей той трябва първо да бъде преобразуван в двоичен код *(⇨ Фиг. 6.53)*.

• **Приложение на абсолютни енкодери**

В повечето случаи стремежът към постигане на по-голяма производителност изисква бързи движения на работния механизъм с високи скорости, след които трябва да се намали скоростта, за да се получи точно позициониране.

За осъществяване на тази цел, с помощта на стандартни I/O платки, е необходимо да се извърши наблюдение на старшите битове при висока скорост, така че намаляването на скоростта да започне при най-близкия полуоборот *(⇨ Фиг. 6.54)*.

□ Видове енкодери

В момента са разработени и се използват за различни области на приложения следните видове енкодери:
- многооборотни абсолютни енкодери;
- тахо-енкодери и тахометри;
- енкодери с плътен вал;
- енкодер с кух вал;
- енкодери, с връзка по протокол.

□ Енкодери с устройства за обработка на данни

Входните вериги на устройство за обработка на данни трябва да бъдат съвместими с потока от данни, постъпващ от енкодерите *(⇨ Фиг. 6.55)*.

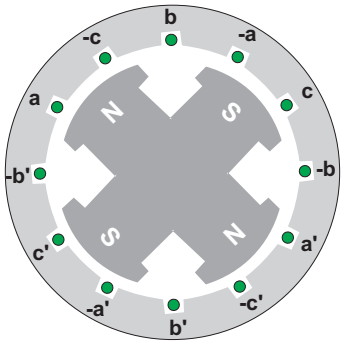
■ Първични преобразуватели на скорост

Посочените по-горе енкодери могат да предават данни за изчисляване на скоростта чрез процеса на формиране на изходния сигнал, позволяващ негова последваща обработка.

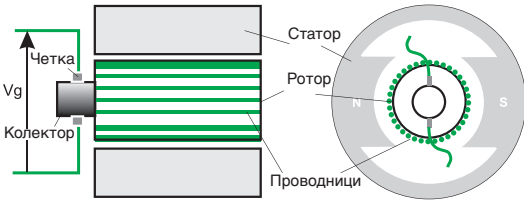
Това описание не може да бъде пълно без да се отбележат аналоговите първични преобразуватели на скорост. Те се използват главно за регулиране на скоростта и особено в регулаторите за скорост на постояннотоковите двигатели. При работата на честотните преобразуватели в затворен контур за управление, съвременните регулатори използват „виртуални“ първични преобразуватели на скорост, които отчитат електрическите параметри, измерени от регулатора, за индиректно пресмятане фактическата скорост на двигателя.

Устройство за обработка на данни		Енкодер			
		Инкрементален			Абсолютен
		Честотата на сигнала, kHz			Паралелно свързване
		=< 0,2	=< 40	> 40	
PLC	Дискретни входни сигнали	X			X
	Бързо четене Модули за управление на оси	X	X		
Цифрово управление		X	X	X	
Микрокомпютри	Паралелни входни сигнали				X
Специални карти и модули		X	X	X	X

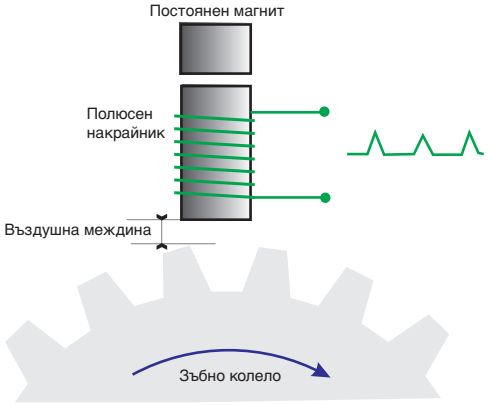
↑ Фиг. 6.55 *Основни типови устройства за обработка на данни, използвани в промишлеността*



↑ Фиг. 6.56 *Конструкция на тахометричен генератор*



↑ Фиг. 6.57 *Конструкция на динамо-машина*



↑ Фиг. 6.58 *Първичен преобразувател с променливо магнитно съпротивление*

Тахометричен генератор за променлив ток

Този първичен преобразувател на скорост се състои от статор върху, който са поставени няколко намотки и ротор с постоянни магнити (⇨ Фиг. 6.56). Машината прилича на променливотоков генератор. При въртене на ротора в статорните намотки се индуктират променливи напрежения.

Амплитудата и честотата на изработвания сигнал зависят директно от честотата на въртене.

Потребителят може да регулира или задава скоростта чрез използване на напрежението (средноквадратична стойност или изправена стойност) или честотата.

Посоката на въртене може лесно да се определи чрез изместване на фазовия ъгъл в намотките.

Тахометрична динамо-машина

Този първичен преобразувател на скорост е изграден от статор с постоянни магнити и ротор, върху който е поставена намотка. Роторът е снабден с колектор и четки (⇨ Фиг. 6.57).

При въртене на ротора се индуктира постоянно напрежение полярността, на което зависи от посоката на въртене, а амплитудата е пропорционална на скоростта.

Стойността на амплитудата и полярността на напрежението могат да бъдат използвани за регулиране и формиране на зададена стойност на скоростта.

Диапазонът на напрежения, изработвани от този вид първичен преобразувател, варира от 10 до 60V за 1000 tr/min. За някои типове динамо-машини той може да се задава от потребителя.

Първичен преобразувател с променливо магнитно съпротивление

Принципът на действие на този преобразувател е илюстриран на (⇨ Фиг. 6.58). Магнитопроводът на бобината на първичния преобразувател е обхванат от магнитно поле, създадено от постоянния магнит и е ориентиран към диска (полюсно зъбно колело) или към феромагнитна въртяща се част.

Нарушаването на магнитната еднородност (хомогенност) от зъби, прорези, отвори, свързани с въртенето на диска, са причина за изменение на магнитното съпротивление в магнитната верига на индуктивната бобина. Честотата и амплитудата на индуктираното в нея напрежение са пропорционални на скоростта на въртене.

Амплитудата на напрежението зависи от:
- разстоянието между бобината и въртящата се част;
- скоростта на въртене: по принцип амплитудата е пропорционална на тази скорост, но при ниска скорост тя може да бъде недостатъчна за регистрация, т.е. ако скоростта е по-малка от една определена стойност първичният преобразувател не може да се използва.

Диапазонът на измерване на първичния преобразувател зависи от броя на магнитните неоднородности, разположени върху въртящата се част. Минималната стойност на скоростта, която може да се измери намалява с увеличаване броя на зъбите и обратно, максималната измервана скорост се увеличава с намаляване броя на зъбите поради трудности, свързани с обработка на високочестотни сигнали.

Измерванията могат да се извършват в диапазона от (50… 500) tr/min с полюсно колело, върху което са оформени 60 зъба и от (500 … 10 000) tr/min при използване на полюсно зъбно колело с 15 зъба.

Тахометърът, построен на принципа на протичане на вихрови токове, е конструиран така, че той може да се използва и с неферомагнитна метална въртяща се част.

Вместо система, изградена от индуктивна бобина с постоянен магнит се използван колебателен контур. Индуктивната бобина, която е чувствителният елемент на преобразувателя, влияе върху индуктивността на измервателната верига на синусоидалния колебателен контур. Характеристиките на бобината L и R се изменят с приближаването на металния проводник.

Когато зъбното колело, намиращо се пред бобината, се върти всеки преминаващ зъб прекъсва сигнала. Например чрез изменение формата на тока в захранващия източник.

Честотата на получения сигнал е пропорционална на скоростта на въртене. Амплитудата на сигнала в дадения случай не зависи от скоростта на въртене. Това означава, че този тип първичен преобразувател може да се използва при ниски скорости.

Той също може да се използва за определяне превишаване или намаляване на скоростта спрямо зададената, както това е направено в индуктивния първичен преобразувател за управление честотата на въртене Schneider Electrice XSAV… или XS9….

6.10 Прекъсвачи за налягане и вакуум

Определение за налягане

Налягането P се определя от отношението на приложената сила към площта:
P=F/S,
където **F** е нормалната компонента на силата на натиск;
S – площта върху, която действа силата.

Земята е обкръжена от слой въздух, който има определена маса и затова оказваното налягане върху повърхността на предметите се нарича „атмосферно налягане“. На морското равнище то е 1 bar. В практиката атмосферното налягане се измерва в Паскал (Pa) или в бар (bar).

Връзката между хектопаскал (hPa) и милибар (mbar) е 1hP = 1mbar.

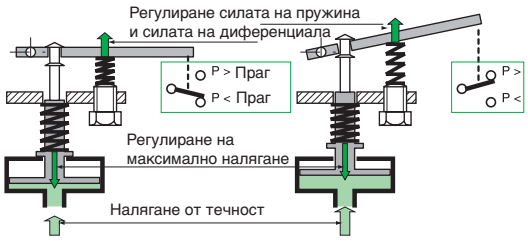
В система СИ се използва измерителната единица Pa: 1Pa = 1N/1m^2.

По-често се използва единицата bar: 1bar =10^{5}Pa =10^{5}N/m^2 = 10N/cm^2.

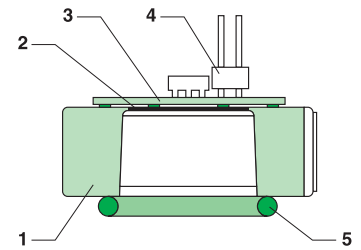
Релето за налягане, вакуумните прекъсвачи и първичните преобразуватели за налягане се използват за наблюдение, регулиране или измерване на налягане или вакуум в хидравлични или пневматични системи.

а) б) в)

↑ Фиг. 6.59 *Външен вид на мембранни превключватели на Schenider,*
а) XML-B електромеханично реле за налягане
б) XML-F електронно реле за налягане
в) XML-G първичен преобразувател за налягане

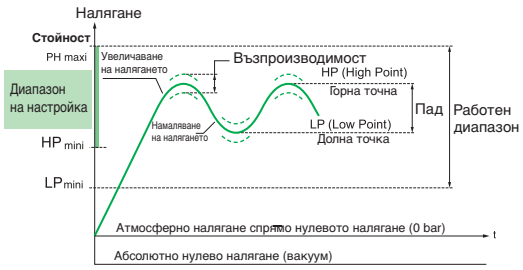


↑ Фиг. 6.60 *Принцип на действие на електромеханичен първичен преобразувател*



1 – Керамичен елемент с измервателна диафрагма 2
3 – Електронен усилвател
4 – Електрическа връзка
5 – Уплътнение

↑ Фиг. 6.61 *Разрез на електромеханичен мембранен изключвател*



↑ Фиг. 6.62 *Графична илюстрация на най-често използваните термини*

Релето за налягане и вакуумните прекъсвачи преобразуват изменението на налягането в дискретен електрически сигнал след достигане на зададени стойности. Това може да реализира чрез електромеханично или електронно устройство *(⇨ Фиг. 6.59)*.

Първичните преобразуватели за налягане (наричани още аналогови първични преобразуватели за налягане) преобразуват пропорционално налягането в електрически сигнал.

Първични преобразуватели за налягане

Принцип на действие

Електромеханичните устройства използват движение на диафрагма, бутало или гофрирана мембрана за механично задействане на електрически контакти *(⇨ Фиг. 6.60)*.

Електронните първични преобразуватели за налягане на Schneider Electric използват пиезокерамичен елемент *(⇨ Фиг. 6.61)*. Въздействието, предизвикано от налягане, се предава на многослойни резистори, разположени върху керамична мембрана и участващи в мост на Уитсон. Изменението на съпротивлението се обработва от вградена електронна схема, изработваща дискретен сигнал или сигнал, пропорционален на стойността на измереното налягане (например (4 - 20) mA, (0 - 10) V и т.н.). Измереното налягане е резултат от разликата в наляганията от двете страни на елемента.

В зависимост от вида на налягането се използват следните термини:

Абсолютно налягане: налягането на течности, газове и пари върху обкръжаващите ги повърхнини.

Относително налягане: измерено спрямо атмосферното налягане.

Диференциално налягане: разлика между две стойности на налягането.

Необходимо е да се обърне внимание, че тези апарати имат:
- двуполюсни или триполюсни контакти за директно управление на еднофазни двигатели на помпи, компресори и др.;
- контакти за управление на бобини, релета, контактори, входове на PLC, електромагнитни вентили и др.

Термини и определения *(⇨ Фиг. 6.62)*

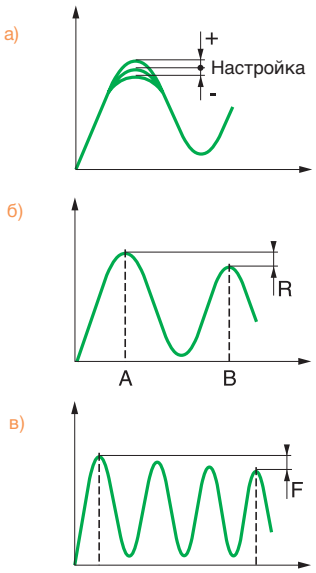
- **Общи термини и определения**

- Работен диапазон
Интервал, определен от минималната и максималната стойност, които могат да бъдат зададени за мембранни превключватели и вакуумни изключватели. Той съответства на диапазона на измерване на първичните преобразуватели за налягане (наричани още аналогови преобразуватели). Необходимо е да се обърне внимание, че стойността на налягането, посочена върху устройството, е спрямо атмосферното налягане.

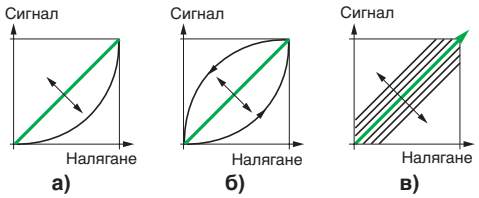
- Номинални параметри
Максималната стойност на работния диапазон за прекъсвачи за налягане.
Минимална стойност на работния диапазон за вакуумни прекъсвачи.

- Горна граница (HP)
Максимална стойност на налягане, избрано и зададено за реле за прекъсвач за налягане или вакуумен прекъсвач, при която изходният сигнал променя статуса при повишаване на налягането.

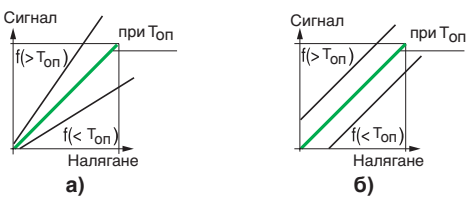
- Долна граница (LP)
Минимална стойност на налягане, избрана и зададена за прекъсвач за налягане или вакуумен прекъсвач, при която изходният сигнал променя статуса при намаляване на налягането.



↑ Фиг. 6.63 *Графична илюстрация на електромеханични термини*



↑ Фиг. 6.64 *Графично изображение на:*
а - линейност
б - хистерезис
в - възпроизводимост



↑ Фиг. 6.65 *Графично изображение на дрейф на:*
а/ чувствителност ;
б/ нулева точка.

- **Диференциал**
  Разлика между HP и LP.
- **Устройства с фиксиран диференциал**
  Долната граница се определя от горната граница чрез големината на диференциала.
- **Устройства с регулируем диференциал**
  Долната граница може да бъде зададена чрез промяна големината на диференциала.

• **Термини и определения за електромеханични устройства** *(⇨ Фиг. 6.63)*

- **Точност на отработване на зададена стойност** *(⇨ Фиг. 6.63а)*
  Допустимо отклонение между зададената стойност и фактическата стойност, при която задейства контакта. При първоначално инсталиране на изделието се използва еталонно устройство (манометър и др.).
- **Възпроизводимост (R)** *(⇨ Фиг. 6.63б)*
  Колебания на положението на работната точка между две последователни измервания.
- **Дрейф (F)** *(⇨ Фиг. 6.63в)*
  Колебание на положението на работната точка за срока на служба на устройството.

• **Термини и определения за електронни устройства**

- **Диапазон на измерване за първичен преобразувател за налягане**
  Обхваща стойността на налягането от 0 bar до номинална стойност на налягането.
- **Точност**
  Отчита линейност, хистерезис, повторяемост и допуск на точността при настройване. Тя се изразява в проценти от измервателния диапазон на първичния преобразувател за налягане (%MR).
- **Линейност**
  Най-голямата разлика между фактическата и номиналната крива на преобразувател *(⇨ Фиг. 6.64а)*.
- **Хистрезис**
  Най-голямата разлика между кривите при увеличаване и намаляване на налягането *(⇨ Фиг. 6.64б)*.
- **Повторяемост**
  Максималната зона на разсейване, получена в резултат на колебание на налягането при зададени условия *(⇨ Фиг. 6.64в)*.
- **Допуски при регулиране**
  Допуск за нулевата точка и допуск за чувствителността, зададени от производителя (ъгъл на наклона на кривата на изходния сигнал на първичния преобразувател).
- **Температурен дрейф**
  Точността на първичния преобразувател за налягане винаги зависи от работната температура. Дрейфът се изразява като процентно отношение на MR/°C.
- **Дрейф на нулева точка и дрейф на чувствителност**
  (⇨ Фиг. 6.65а и 6.65б)
- **Максимално допустимо налягане във всеки цикъл (Ps)**
  Налягане, което първичният преобразувател може да издържи за всеки цикъл на измерване без отрицателно влияние върху неговия срок на служба. Обикновено то не е по-малко от 1,25 от номиналната стойност.
- **Максимално допустимо случайно налягане във всеки цикъл**
  Максималното налягане с изключение на ударни вълни, които първичният преобразувател може да издържи без повреда.

- **Налягане на разрушаване**
  Налягане, превишаването на което може да доведе до риск от теч или разрушване.

Всички тези определения са важни при избора на подходящи типове първични преобразуватели особено, когато трябва да се гарантира тяхното използване в хидравлични системи, където могат да възникнат кратковременни процеси, например хидравличен удар.

Други характеристики на първични преобразуватели

В тази част се разгледаха различни технологии за измерване. Всяка от тях има своите предимства и ограничения.
При избора на първични преобразуватели обаче съществуват други критерии. Те се посочват в каталози на производителите.
Сред най-важните критерии са:
- електрически характеристики;
- условия на околна среда;
- начин обслужване.

Критерии за избор

По-долу са посочени няколко примера на критерии, които макар и да нямат принципно влияние върху основните функции са важни при въвеждане в експлоатация и използване на първични преобразуватели.

Електрически характеристики

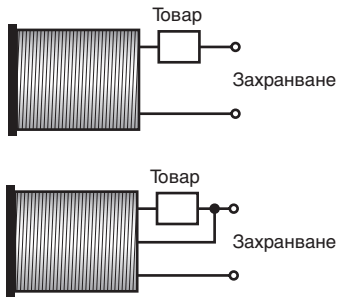
- **Захранващо напрежение, променлив или постоянен ток и диапазон на тяхното изменение;**
- **Двупроводна или трипроводна линия за включване на товара** *(⇨ Фиг. 6.66)*.

Двупроводна линия: първичният преобразувател се захранвана последователно с товара и по такъв начин той е подложен на въздействието на диференциалния ток във включено състояние и пада на напрежение при изключено състояние. Изходът може да бъде нормално отворен (НО) или нормално затворен (НЗ).

Максималният комутирания ток при променливотоково или постояннотоково захранване може да бъде по-висок или по-малък, със или без защита от късо съединение.

Трипроводна линия: първичният преобразувател има два проводника за захранване и един за предаване на изходния сигнал. Изходът може да бъде реализиран с транзистори от типа NPN или PNP.

Двата начина се използват от много производители, но е важно да се отдели особено внимание върху диференциалните токове и пада на напрежение на клемите на първичния преобразовател: ниските стойности на тези величини осигуряват висока съвместимост със всички типове товари.



↑ Фиг. 6.66 *Двупроводна и трипроводна линия на свързване*

Условия на околната среда

- **Електрически:**
  - устойчивост към смущения по мрежата;
  - устойчивост към радиоизлъчвания;
  - устойчивост на електрически претоварвания;
  - устойчивост към електростатичен разряд.
- **Топлинни**

Диапазонът на работните температури е обикновено от -25 до +70°C, но може да бъде от -40 до +120 °C.

- **Влажност/прах**

Степен на защита на обвивката: например, IP68 за първичен преобразувател към система със смазочно-охлаждаща течност в металорежещи машини.

□ **Допълнителни критерии**
- геометрична форма (цилиндър или паралелепипед);
- метален/пластмасов корпус;
- възможност за скрит монтаж в метален корпус;
- скрепителни елементи;
- присъединяване с помощта на кабел или съединител;
- функция самообучение.

6.11 Заключение

Перспективи за развитие

Техническите характеристики на електронните първични преобразуватели се подобряват в резултат на постиженията в областта на електрониката. Това се отнася както за електрическите характеристики на елементи, така и за техните масогабаритни показатели.

С развитието на средствата за телекомуникация (интернет, мобилни телефони) работните честоти на електронните устройства се разшириха от няколко стотици MGz до няколко GHz. Това опростява измерването скоростта на вълната и позволява да се изключи влиянието на местни физически явления.

Освен това, новите технологии, например Bluetooth и Wi-Fi, откриха възможност за създаване на безжични преобразуватели за честоти, например 2,4 GHz.

Цифровата обработка на сигнала е още едно предимство на съвременната електроника. Поевтиняването на микроконтролерите водят до това, че дори и най-простите преобразуватели могат да реализират съвременни функции (автоматична настройка към околната среда, отчитайки влажност, дим или близко разположение до метални обекти, интелигентни първични преобразуватели с възможност за самодиагностика и др.).

В резултат на техническия прогрес електронните преобразуватели ще отговарят още по-добре на първоначалните технически изисквания, и ще се адаптират още по-лесно към измененията в технологичните процеси без някакво значително изменение в цената. Но тези иновации изискват значителни инвестиции, които в момента могат да бъдат осигурени само от големи производители на измервателни устройства.

Роля на първичните преобразуватели

Всички проектанти и потребители на автоматизирани системи, започвайки от управлението на най-прости гаражни врати и завършвайки до сложни технологични линии, знаят че непрекъсната работа на автоматизирани системи зависи от избора на първични преобразуватели, които осигуряват:
- безопасност на имущество и хора;
- надеждност на технологични процеси;
- оптимизирано управление на промишлено обзавеждане;
- регулиране на експлоатационни разходи.

Но, употребата на първичните преобразуватели предполага също осигуряване на определени изисквания по отношение на тяхното въвеждане в експлоатация и използване, което е неразделна част от технологиите, описани в това Ръководство.

Това описание има за цел да помогне по-доброто разбиране на експлоатационните ограничения и необходимите настройки на първичните преобразуватели.

Избор

За да се избере необходимият първичен преобразувател трябва да се използват каталозите на производителите.
В тях се посочват практически съвети в резултат на натрупания голям опит от специалисти. Компанията Schneider е разработчик и производител на разглежданото обзавеждане, чиито опит предизвиква доверие.

6.12 Препоръки за избор на първични преобразуватели

Обект	Разстояние за разпознаване	Околна среда	Физически принцип	Вид на изходния сигнал	Особености и предимства
Недеформируеми детайли	От непосредствен контакт до 400 mm (с лост)	Всички типове	Механически	Електромеханически контакт (дискретен изход)	Удобен, с висока комутираща възможност. Директен контакт
Метални детайли	--> 60mm		Индуктивен	Дискретен или аналогов	Твърд, херметичен, твърдо разрушаем
Феромагнитни детайли	--> 100mm		Магнитен	Магнитно управляем контакт	Разпознаване през всички нефероманитни материали
Всички детайли	--> 300m	Без прах Без течности	Фотоелектрически	Дискретен или аналогов	Широк диапазон Разпознаване на всички типове обекти
	--> 60 mm	Суха	Капацитивен		Разпознаване през всички електроизолационни материали
	--> 15m	Без силни звуци и шумове (ударни вълни) Без пара	Ултразвуков		Разпознаване на прозрачни вещества и прахове
Електронни етикети, книги, части, пакети и др.	Няколко метра	Чувствителна към метал	Радиочестотен	Цифрови данни	Четене на данни от електронни етикети, работи при движение на обекта
Всички детайли	--> 1m	Изисква специално осветление	Оптичен	Разпознаващ алгоритъм Цифрови или аналогови данни	Разпознаване на наличие, форма и цвят

↑ *Фиг. 6.67* *Препоръки за избор на първични преобразуватели*

7

Безопасност на хора и обзавеждане

- Европейски правила за безопасност на хора и околна среда, стандарти на МЕК за машини и обзавеждане.
- Примери за използване на продукти и електрически мрежи с отчитане нормите за безопасност.

7.1 Увод 180

7.2 Термини и определения. Област на приложения на устройства за безопасност 180

7.3 Опасности в промишлеността 182

7.4 Европейско законодателство 184

7.5 Стандарт, използван към избран проект за управление на машина 186

7.6 Стандарт EN/ISO 13849-1 Безопасност на машините. Части от системите за управление, свързани с безопасността 188

7.7 Стандарт EN 62061 Безопасност на машините. Функционална безопасност на безопасно свързани електрически, електронни и програмируеми електронни системи за управление 192

7.8 Сертификация и маркировка 197

7.9 Обзор на опасни условия на околна среда 199

7. Безопасност на хора и обзавеждане

7.1 Увод
7.2 Термини и определения. Област на приложения на устройства за безопасност

7.1 Увод

В момента решаването на проблемите за безопасност са сред най-важните.

Развитието на обществото, свързано с техническия прогрес, има силно въздействие върху законодателството и нормите, отнасящи се до създаване и използване на електрическо обзавеждане за автоматизация.

Социални аспекти

Хуманизацията на обществото предизвиква увеличаване броя на законодателните актове и установяване на по-строги правила за безопасност. В същото време високите разходи, свързани с нещастни случаи в индустриалното производство, заставят компаниите да полагат усилия и мерки в същата посока.

Технологични аспекти

Повишаването на нивото на автоматизация предизвиква редица нови ограничения. Например, фактически става трудно и дори много опасно внезапното спиране на механизъм. Затова е необходимо да се изпълни безопасно последователност от операции, преди персонала да предприеме адекватни действия.

Широкото използване на електроника и програмно осигуряване налага и друг подход при вземане на решения. В повечето случаи емпиричните правила не са достатъчни. Изборът трябва да бъде основан на определяне надеждността и прогнозиране поведението на системата.

В този контекст етапа на проектиране е от особена важност. Изследванията показват, че причина за повече от 2/3 от нещастните случаи е в некачествено проектиране. Във връзка с това, на етапа проектиране, е необходимо да се извърши оценка на потенциалните рискове и да се избере най-подходящо решение за намаляване на последиците от тях. Тези рискове са класифицирани в законодателни актове, където е уточнен и процеса на тяхното оценяване.

Производителите на елементи и решения помагат на своите клиенти, предлагайки готови модули, които при използване в съответствие с инструкциите удовлетворяват потребностите на потребителите и отговарят на законодателните изисквания.

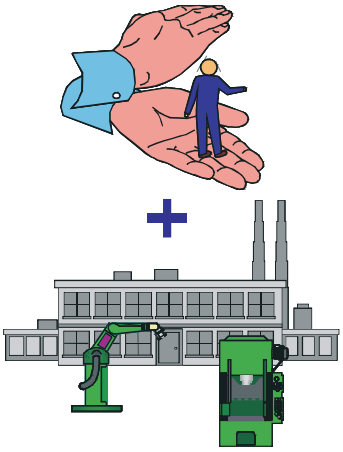
В този раздел е описан посочения процес. За да се направи избора на обзавеждане е необходимо да се използва частта от този раздел, посветена на функционалната безопасност и тази, отнасяща се до компоненти на безопасност.

7.2 Термини и определения. Област на приложения на устройства за безопасност

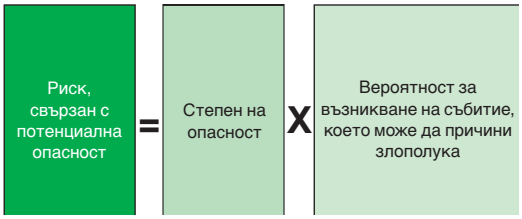
Законодателството изисква да се предприемат профилактични мерки за защита на околната среда и здравето на човека. За постигане на тези цели са приети европейски Директиви, които трябва да се спазват от операторите на производство и производителите на обзавеждане. Те също определят отговорността при възможни нещастни случаи.

- **Независимо от някои ограничения функцията за безопасност на механизми има следните положителни страни:**

- предотвратяване на нещастни случаи в процес на производство;
- защита на персонала и околната среда с помощта на подходящи мерки за безопасност, които отчитат особености на използване на механизма.



↑ Фиг. 7.1 *Безопасност и надеждност*



↑ Фиг. 7.2 *Към определението за риск*

- **Това позволява да се намалят преките и косвените разходи:**
  - намаляване степента на физическо увреждане;
  - намаляване на застрахователните разходи;
  - намаляване на загубите от производство и глоби поради неизпълнение на доставки в срок;
  - намаляване на загубите и стойността на техническо обслужване.
- **Безопасната работа е основана на два принципа:** безопасност и надеждност на обзавеждането при експлоатация *(⇨ Фиг. 7.1)*
  - безопасност: това е способност на устройството да запази вероятността от увреждане, причинявано на хората, в допустими граници;
  - надеждност при експлоатация: способност на система или устройство да запази и изпълнява своите функции във времето при зададени условия.
- **Въпросите на безопасността трябва да се вземат под внимание, започвайки от етапа на проектиране и в продължение на всички останали етапи от жизнения цикъл на механизма:** транспорт, монтаж, настройване, техническо обслужване, демонтаж.
- **Механизмите и производствените помещения са източници на потенциална опасност от поражения.** Затова промишлените инструкции за безопасност изискват да се извърши оценка на риска за всяко предприятие, за да се гарантира, че потенциалният риск е по-малък от допустимия.
- **Стандартът БДС EN ISO 14121-1:2008** Безопасност на машините. Оценяване на риска. Част 1: Принципи (ISO 14121-1:2007) дава следното определение за риск – това е степента на опасност умножена с вероятността за нейното възникване *(⇨ Фиг. 7.2)* . Той се описва и като итеративен процес за постигане безопасност на механизма, който позволява да се определи риска за появяване на всяка потенциална опасност и се състои от четири етапа. Този метод е в основата за определяне на необходимото намаляване на риска.
- На *(⇨ Фиг. 7.3)* е показан описания итеративен процес, който се описва детайлно по-нататък.

↑ Фиг. 7.3 *Алгоритъм за намаляване на рискове при работа на машини*

7.3 Опасности в промишлеността

Злополуките в производствения процес могат да възникнат при неправилна организация на работния процес или на работно място. Те могат да предизвикат както леки, така и тежки увреждания върху здравето на персонала, управляващ или обслужващ машината (настройчик, оператор, техник и др.).

Причини за злополуки на работното място

- **Човешки фактор (проектанти, потребители):**
  - недостатъчно разбиране принципа на работа на системата или механизъма;
  - подценяване на опасността, недостатъчно сериозно отношение или игнориране на опасни ситуации;
  - подценяване на опасността, предизвикващо пренебрегване на предпазни устройства и приспособления;
  - недостатъчно внимание при контрол на дейността (умора);
  - неточно изпълнение на всички процедури;
  - нарастващ стрес (шум, темп на работа и др.);
  - неразбиране на инструкциите за безопасна работа от служителя;
  - некачествено или лошо обслужване, което може да доведе до непредвидени опасности.
- **Фактори, свързани с машините:**
  - предпазни устройства, които не отговарят на техническите изисквания;
  - сложни системи за управление и визуализация;
  - опасности, присъщи за машините (обратно движение, внезапно пускане или спиране);
  - машини, които не са подходящи за дадена област на приложение или не отговарят на техническите изисквания на околната среда (например, звукови сигнали за известяване на опасност се заглушават от шума на други машини).
- **Производствени фактори:**
  - придвижване на персонал (автоматизирана поточна линия);
  - машинно обзавеждане от различно производители и използване на различни технологии в технологичния процес;
  - движение на материали или продукция между машини.

Последици:

- различни степени на физическа опасност за потребителя;
- спиране на машини от производството;
- спиране на машини за извършване на инспекции, например от органи за технически надзор;
- извършване на необходими изменения или модернизация на уредба за осигуряване на съответствие с изискванията на инструкцията за безопасност;
- замяна на персонала и обучение на нов персонал;
- намаляване авторитета на търговската марка на компанията.

Изводи

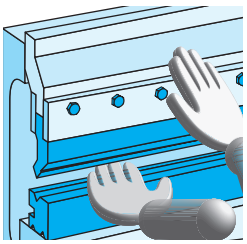
Всяко година в Европейският съюз се отчитат загуби поради физически увреждания, еквивалентни на 20 млрд. евро.

Необходимо е да се предприемат решителни действия, за да се намали броя на нещастните случаи на работното място. Най-важни са адекватната политика на компанията и нейната ефективна организация. Намаляването на броя на злополуките и размера на пораженията зависят от безопасността на механизмите и обзавеждането.

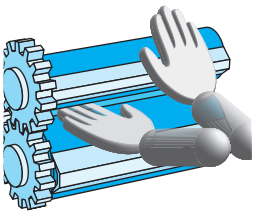
Видове опасности

Потенциалните опасности при работа на машините могат да се разделят на три основни групи *(⇨ Фиг. 7.4)*.

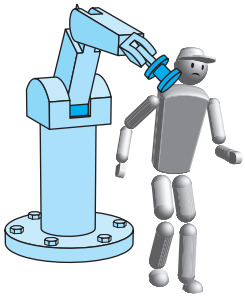
Механични опасности



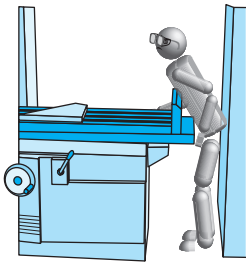
Прорезни рани, откъсвания, счупвания, ампутация



Затягане, притискане, разтягане, удари

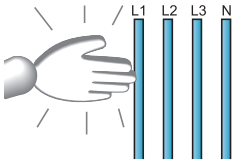


Удари



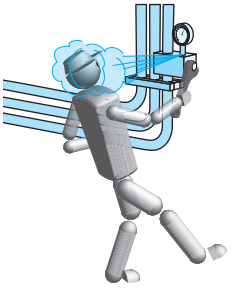
Притискане

Електрически опасности

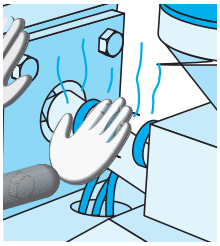


Поразяване с електрически ток

Физически и химически опасности



Изхвърляне на опасни вещества



Изгаряния

↑ *Фиг. 7.4* *Видове потенциални опасности*

7.4 Европейско законодателство

Главната цел на Европейската Директива по охрана на труда в машиностроенето 98/37/ЕС се състои в това да накарат производителите да гарантират минимално ниво на безопасност за машините и обзавеждането, продавани в границите на Европейския съюз.

В ЕС се използва маркировката CE върху всеки продукт, предназначен за европейския пазар. Това позволява свободна продажба в неговите граници. Чрез този знак се декларира, че съответният продукт отговаря на европейските изисквания за безопасност. Потребителят получава декларация за съответствие с изискванията на Европейското законодателство. Директивата е въведена през януари 1995 г. и е задължителна за всички машини от 1.01.1997 г.

На потребителя се предоставят гаранции, съгласно директивите за безопасност 89/655/ЕЕС, които се основават на всички действащи стандарти.

Този комплекс от стандарти е сложен. След кратко представяне на структурата на системата от стандарти, в това ръководство ще бъдат дадени практически указания за използване на стандартите, които трябва да се отчитат при разработване на избрания проект на система за управление.

Стандарти

На основата на съгласувани европейски изисквания за безопасност са формирани технически спецификации, в които са отразени минимални изисквания за безопасност, определени в съответни директиви. Съответствието на всички приети съгласувани европейския стандарти гарантира и съответствие на Директивата и с тези стандарти. Главната цел е да се гарантира минимално ниво на безопасност за машини и обзавеждане, продавани на Европейски пазар и да позволи свободно движение на стоки и услуги в Европейския съюз.

Групи европейски стандарти

• Стандарти от група A
Основни стандарти за безопасност, които определят фундаментални термини, принципи за проектиране и общи аспекти, използвани за всички машини; (БДС EN ISO 12100 Безопасност на машините. Общи принципи за проектиране. Оценяване на риска и намаляване на риска).

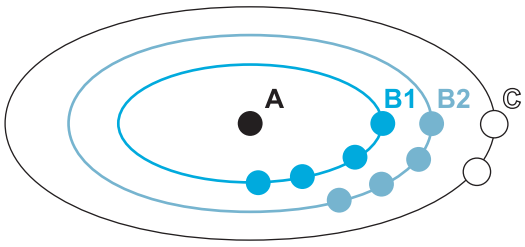
• Стандарти от група B
Стандарти за безопасност, които определят специфични аспекти на безопасността и отделни устройства за безопасност, които могат да се използват в различни машини.

• Стандарти от група B1
Стандарти за безопасност, които определят специфични аспекти на безопасността на електрическо обзавеждане на машини: БДС EN 60204-1 Безопасност на машини. Електрообзавеждане на машини. Част 1: Общи изисквания (например: шум, безопасни разстояния, системи за управление и др.).

• Стандарти от група B2
Стандарти, които се отнасят за отделни устройства за безопасност, например устройства за аварийно спиране, включващо станции, управлявани с две ръце (БДС EN 574 Безопасност на машините. Устройства за управление с две ръце. Функционални аспекти. Принципи за проектиране), предпазни устройства (БДС EN 418 Безопасност на машините. Устройство за аварийно спиране, функционални аспекти. Принципи за проектиране/разработване) и др.

• Стандарти от група C
Стандарти, които се отнасят към различни групи и категории машини (например: хидравлични преси - БДС EN 693 Металообработващи машини. Безопасност. Хидравлични преси, роботи и др.) и съдържат подробни описани изисквания, за областта на приложение.

На *(⇨ Фиг. 7.5)* е представен непълен списък на стандарти.

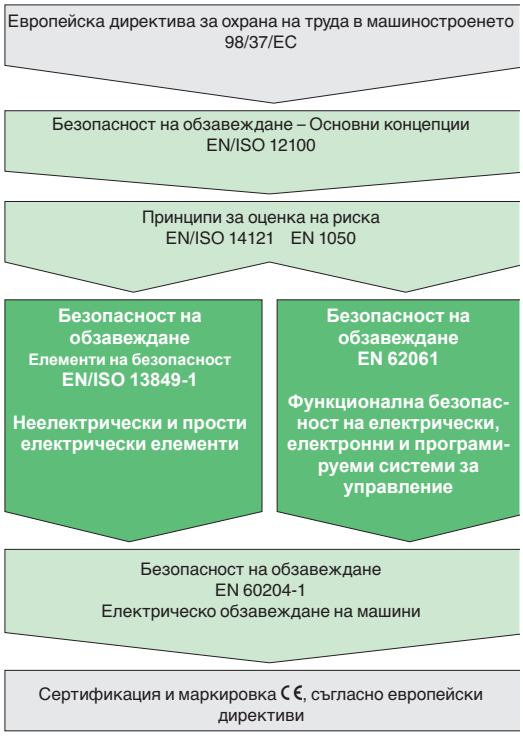


↑ Фиг. 7.5 Към обзора на стандарти

Стандарти	Група	Наименование
БДС EN/ISO 12100-1 БДС EN/ISO 12100-2	A	Безопасност на машините. Основни положения, общи принципи за проектиране/ разработване. - Част 1: Основна терминология, методология. - Част 2: Технически принципи.
БДС EN 574	B	Безопасност на машините. Устройства за управление с две ръце. Функционални аспекти. Принципи за проектиране
БДС EN/ISO 13850	B	Безопасност на машините. Аварийно спиране. Принципи за проектиране/ разработване
БДС EN 954-1:2002	B	Безопасност на машините. Части от системите за управление, свързани с безопасността. Част 1: Общи принципи за проектиране/разработване
БДС EN/ISO 13849-1	B	Безопасност на машините. Части от системите за управление, свързани с безопасността. Част 1: Общи принципи за проектиране/разработване
БДС EN 349	B	Безопасност на машините. Минимални разстояния за избягване премазването на части от човешкото тяло
БДС EN 294	B	Безопасност на машините. Безопасни разстояния за предотвратяване достигането на опасни зони с горните крайници
БДС EN 811	B	Безопасност на машините. Безопасни разстояния за предотвратяване достигането на опасни зони с долните крайници
БДС EN 1050 (EN/ISO 14121-1)	B	Безопасност на машините. Принципи за оценяване на риска
БДС EN 60204-1	B	Безопасност на машини. Електрообзавеждане на машини. Част 1: Общи изисквания
БДС EN 999	B	Безопасност на машините. Разположение на предпазните съоръжения в зависимост от скоростите на приближаване на части от човешкото тяло
БДС EN 1088	B	Безопасност на машините. Блокиращи устройства, свързани със защитни прегради. Основни положения за проектиране/разработване и подбор
БДС EN 61496-1	B	Безопасност на машини. Електрочувствителни защитни съоръжения. Част 1: Общи изисквания и изпитвания
БДС EN 60947-5-1	B	Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 5-1: Апарати и комутационни елементи във веригите за управление. Електромеханични апарати във веригите за управление
БДС EN 842	B	Безопасност на машините. Визуални сигнали за опасност. Общи изисквания, проектиране и изпитване
БДС EN 1037	B	Безопасност на машините. Предотвратяване на неочаквано задействане
БДС EN 201	C	Машини за каучук и пластмаси. Машини за леене на пластмаси под налягане. Изисквания за безопасност
БДС EN 692	C	Механични преси. Безопасност
БДС EN 693	C	Хидравлични преси. Безопасност
БДС EN 289	C	Машини за обработка на каучук и пластмаси. Преси за компресионно и за трансферно формуване. Изисквания за безопасност при проектиране/ разработване
БДС EN 422	C	Машини за каучук и пластмаси. Безопасност. Машини за формоване на пластмаси чрез раздуване (на кухи изделия). Изисквания за проектиране/ разработване и конструкция
БДС EN/ISO 10218-1	C	Роботи и роботизирани устройства. Изисквания за безопасност на промишлени роботи. Част 1: Роботи
БДС EN 415-4	C	Безопасност на опаковъчните машини. Част 4: Палетизатори и депалетизатори
БДС EN 619	C	Устройства и системи за непрекъснат транспорт. Изисквания за безопасност и за електромагнитна съвместимост (EMC) на съоръженията за механизирано манипулиране на единични товари
БДС EN 620	C	Устройства и системи за непрекъснат транспорт. Изисквания за безопасност и за електромагнитна съвместимост (EMC) на стационарни транспортьори за насипни материали
БДС EN 746-3	C	Съоръжения за промишлени топлинни процеси. Част 3: Изисквания за безопасност при производство и използване на атмосферни газове
EN/ISO 14432	C	Портативни дискови режещи механизми с двигатели. Изисквания за безопасност.

↑ Фиг. 7.5 *Към обзора на стандарти*

7.5 Стандарт, използван към избран проект за управление на машина



↑ *Фиг. 7.6* *Стандарти, използвани при проектиране на машини*

Проектирането на система за управление, отчитаща всички технически изисквания на стандартите за безопасност, може да се окаже твърде сложна дейност. Този процес се описва в Ръководството на следните етапи:

- основа и развитие на стандарти;
- стандарти, използвани в съответствие с избрания подход;
- монтаж на машинно обзавеждане.

Основа и развитие на стандарти

Развитието на стандарти за безопасност е основано на два различни подхода за защита на персонала *(⇨ Фиг. 7.6)*.

Местен подход: рискът възниква обикновено при контакти с производственото обзавеждане. Най-често, отказът на машината може само да предизвика ограничени ефекти около нея. В зависимост от възможните рискове, за да се постигне желаната цел, е достатъчно да се използват ефективни решения за безопасност, например: при работа с преса пулта за управление да се манипулира с две ръце.

Съгласно стандарт EN ISO 13894-1 процесът трябва да обхваща:

- анализ на опасни ситуации и оценка на риска;
- избор на мерки за намаляване на риска, свързани с веригите за управление;
- формулиране на технически изисквания към елементите на системата за управление на безопасност;
- проектиране на елементи от системата за безопасност;
- определяне на остатъчния риск.

Глобален подход: в сложни системи, например, завод за преработка на нефт, техническите изисквания за безопасност предявявани към отделни елементи са недостатъчни, за да се гарантира защита. Отказът на някоя подсистема може да доведе до катастрофални последици както за хората, така и за околната среда. Затова подходът към безопасността трябва да бъде общ.

Стандартът БДС EN 61508 определя техническите изисквания за безопасност към дадена система, техническите спецификации и изисквания за обучение на персонала, отчитайки безопасността на обзавеждането в продължение на целия негов срок на служба.

Както се отбеляза в увода, използването на по-сложни системи за управление, изградени на основата на електронно обзавеждане и програмно осигуряване, показа следните недостатъци на стандарта EN 954-1:

- не се взема под внимание надеждността на елементите;
- няма технически изисквания към програмируемите устройства;
- при взаимна работа на елементи, наличието на сертификат на отделните елементи е достатъчно, за да се гарантира необходимото ниво на риска.

Полученият опит от използването на системи за управление позволи, в съответствие със стандарта EN61508, да се разработи Ръководство за прилагането на ISO 13849-1 и IEC 62061, което съдържа освен други термини и терминът функционална безопасност. Този стандарт има две важни предимства:

- включени са нови електронни елементи и програмируеми технологии, за да се осигури функцията безопасност;
- съвместимост със стандарта на системата, което осигурява по-голямо използване от потребителите на машини.

В същото време, стандартът EN13984-1 заменя стандартът EN 954-1, който съдържа някои подобрения и преди всичко е съвместим със стандартите за безопасност.

Използвани стандарти в съответствие с избрания подход

Тези стандарти класифицират нивото на риска, използвайки различни методи за изчисляване. Те се разглеждат в следващите части, на основата на общо управление на риска *(⇨ Фиг. 7.2)*.

Дефинират се две определения:

- стандарт EN/ISO 13849-1: PL (Ниво на качество),
- стандарт EN 62061: SIL (Ниво на съвкупна безопасност).

В *табл. 7.1* се посочват приблизителните нива на еквивалентност между тези две определения.

Таблица 7.1

Стандарт	Определение	Ниво на еквивалентност				
EN/ISO 13849-1	PL	a	b	c	d	e
EN 62061	SIL	x	1	1	2	3

Стандартът EN/ISO 13849-1 дава характеристики, представени в *табл. 7.2*, които позволяват да се избере подходящия стандарт.

Таблица 7.2

Използвана технология *(1)*	EN/ISO 13849-1 Максимално PL	EN 62061 Максимално SIL
В състава на системата не влизат електрически и хидравлични елементи	e	Не се поддържа
Системата има електромеханични части, например реле и/или проста електроника	e	3
Състава на системата съдържа електронни и програмируеми системи за управление (сложна електроника)	e	3

(1) Тази опростена таблица предполага използване на устройства за безопасност или функция безопасност, достъпни на пазара и сертифицирани от производителите, като удовлетворяващи стандартите за безопасност.

За построяване на сложни специфични подсистеми или при по-високо ниво на изисквания е необходимо да се използва стандартът EN 61508.

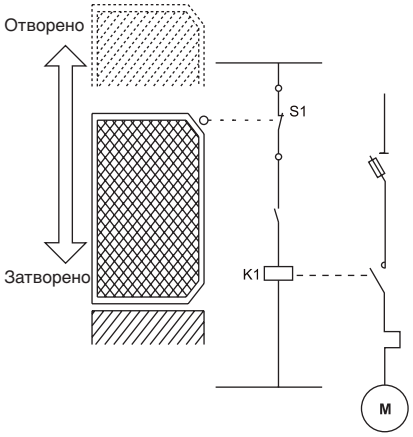
Машинно- и електрообзавеждане

Стандартът EN 60204-1 допълва стандартите за безопасност, установявайки правила за монтаж на електрически и електронни съоръжения на индустриални машини.

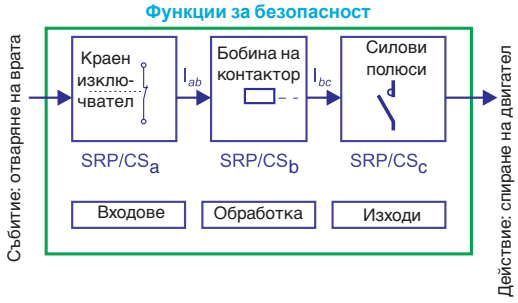
Даденият стандарт определя:

- типа съединителни клеми, отключващи и заключващи устройства;
- типа на защита срещу поражение от електрически ток;
- типа на веригите за управление;
- типа на проводниците и правилата за монтаж на електрически проводници;
- типа на защита на двигателя.

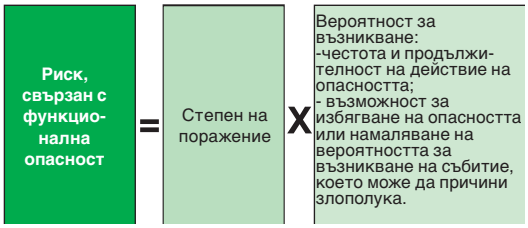
7.6 Стандарт EN/ISO 13849-1 Безопасност на машините. Части от системите за управление, свързани с безопасността



↑ Фиг. 7.7 *Пример на функция за безопасност*



↑ Фиг. 7.8 *Функционална система за безопасност*



↑ Фиг. 7.9 *Анализ на риск*

Стандартът EN/ISO 13849-1 е развитие на стандарта EN 954-1. Той съответства на всички стандарти за безопасност, изброени в EN 38816, Ver2.0/6. Стандартът EN ISO 13849-1 се анализира накратко в дадения раздел.

Област на използване на стандарта

Този стандарт определя изискванията за безопасност и насоки относно принципите за проектиране и интегриране на свързаните с безопасността части на системи за контрол (SRP/CS), включително софтуерното проектиране. Той определя характеристики, отчитащи нивото на качество, необходимо за осигуряване на функцията безопасност. Стандартът се прилага за всички елементи на SRP/CS към всички типове машини, независимо от технологията и вида на използваната енергия (електрическа, хидравлична, пневматична, механична и т.н.).

Процес

На основана на анализа на риска, описан в стандарта EN/ISO 14121 *(⇨ Фиг. 7.3),* се вземат решения относно мерки за предотвратяване на риска. Ако тези мерки зависят от системата за управление се използва дадения стандарт. Той определя 6 етапа в процеса на проектиране:

1 - Избор на функции за безопасност, които трябва да изпълняват SRP/CS. За всяка функция за безопасност е необходимо да се определят характеристики;
2 - Определяне необходимото ниво на качество PLr;
3 - Проектиране и техническа реализация на функция за безопасност: избор на елементи, които ще изпълняват функциите за безопасност;

Определянето нивото на качество PL на всички елементи за безопасност трябва да се извършва с отчитане и на други критерии.

4 - Изчисляване нивото на качество PL на всеки елемент.
5 - Проверка за това дали достигнатото ниво на качество PL е по-голямо или равно на изискваното ниво за качество PLr.
6 - Потвърждаване изпълнението на всички изисквания.

Изброените по-горе етапи са илюстрирани като пример на функция за безопасност, използвана за спиране двигател, задвижващ изпълнителен орган, например врата *(⇨ Фиг. 7.7)*. В отворено положение, крайният изключвател S1 е задействан, двигателят не получава захранване и няма опасност от злополука при разположение на ръцете на оператора в работната зона.

Вратата е потенциално опасна, защото има риск от травма или откъсване ръка на оператор, ако няма никаква защита.

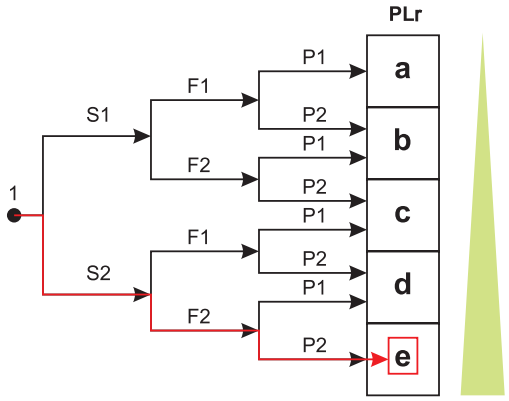
Етап 1 – Избор на функции за безопасност

На *(⇨ Фиг. 7.8)* е илюстрирана функционална система за безопасност, изградена от:

- входен нормално затворен контакт, система за охрана със защита (SRP/CS_a),
- логика за управление, в дадения пример, ограничаваща се до отваряне и затваряне веригата на бобина на контактор (SRP/CS_b),
- силови вериги за управление на двигател (SRP/CS_c),
- връзки между блоковете (I_{ab}, I_{bc}).

Етап 2 – Определяне необходимото ниво за качество (PLr)

Тази оценка е изпълнена с помощта на диаграмата за риск, за избрания пример на функционална система за безопасност *(⇨ Фиг. 7.9)*.



↑ Фиг. 7.11 *Оценка за необходимото ниво на качество:*
1 - *начална точка на оценката;*
L - *малко участие за намаляване на риска;*
PLr - *изисквано ниво на качество;*
H - *голямо участие за намаляване на риска.*
→ *: Оценка*

Трябва да се отчитат следните параметри:
S - степен на поражение:
S1 - лека травма, след която здравето на човека се възстановява напълно;
S2 - тежка травма, предизвикваща телесна повреда или смърт.

F - честота и/или продължителност на действие на опасността:
F1 - от рядко до много често и/или с къса продължителност;
F2 - от често до постоянно и/или с голяма продължителност.

P - възможност за избягване на опасността и ограничаване на злополуката:
P1 - възможно е при определени обстоятелства;
P2 - практически е невъзможно.

Тъй като в разглеждания пример машината е потенциално опасна оценката (маркирана с червен цвят на ⇨ *Фиг. 7.10*) дава ниво на експлоатационните параметри **PLr = e**.

□ Етап 3 – Проектиране и реализация на функции за безопасност

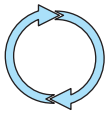
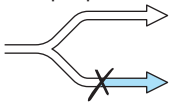
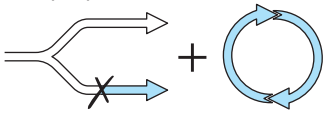
На този етап е необходимо да се опише методът за изчисляване на PL. Нивото на качество PL зависи от вероятността за появяване на опасен отказ за 1 час:

PL	Вероятност за появяване на опасен отказ за 1 час
a	$\geq 10^{-5} \ldots < 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6} \ldots < 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6} \ldots < 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7} \ldots < 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8} \ldots < 10^{-7}$

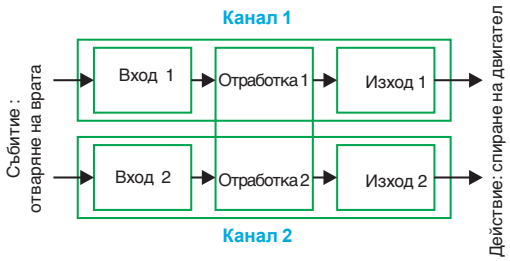
То обединява следните основни елементи:
- категория на използваните елементи *(⇨ Фиг. 7.10)*;
- надеждност на елементи (MTTFd: средна отработка до опасен отказ);
- възможност за диагностика DC.

□ Категория на използвани елементи

В таблицата на *(⇨ Фиг. 7.11)* са описани поведенията на системата при възникване на неизправност. Разглеждат се пет категории (K):

K	Поведение на системата	Принципи за осигуряване на безопасност
B	Неизправността може да доведе до отказ на функцията за безопасност	Избор на съответни елементи
1	Аналогично на категория B, но изисква по-висока надеждност на функцията за безопасност.	Избор на съответни елементи
2	Неизправността може да доведе до отказ между две периодични проверки. Загубата на функцията за безопасност се открива при поредна проверка.	Самодиагностика 
3	Функцията за безопасност се изпълнява гарантирано за отделна неизправност .	Резервиране 
4	Функцията за безопасност се изпълнява гарантирано при възникване на неизправности. Неизправностите се откриват навреме така, че се предотвратява отказ на функцията за безопасност.	Резервиране + Самодиагностика 

↑ Фиг. 7.12 *Видове категории на неизправности*



Фиг. 7.13 *Функционална диаграма към примера*

Надеждност на елементите

Параметърът MTTFd е средна отработка на елемент до опасен отказ на устройство. Може да се използват диапазоните, показани в *табл. 7.3*, ако не се прилагат предлаганите методи за изчисление:

Таблица 7.3

Ниво на надеждност на елементите (DC*)	
Индекс	**Диапазон**
Нисък	3 години ⩽ MTTFd < 10 години
Среден	10 години ⩽ MTTFd < 30 години
Висок	30 години ⩽ MTTFd < 100 години

** DC - Diagnostic capability categories*

Стойност на параметъра MTTFd под 3 г. е неприемлива, защото това означава, че след първата година 3% от компонентите на системата се нуждаят от замяна. Максималната стойност е ограничена от горната граница на периода 100 г., защото надеждността на потенциално опасни устройства не трябва да зависи от надеждността на отделните елементи. В случая се изискват допълнителни мерки като резервиране и самодиагностика.

Възможност за диагностика

Този параметър се измерва в % и описва способността да се диагностицира опасна неизправност. Например, в случай на заваряване на нормално затворен контакт в реле, при оценка за състоянието на релето по отношение на нормално отворения му контакт NO, се подава неправилна информация за отворена верига. Грешката ще бъде открита, ако устройството анализира състоянието на нормално отворения NO и нормално затворения контакт NC.

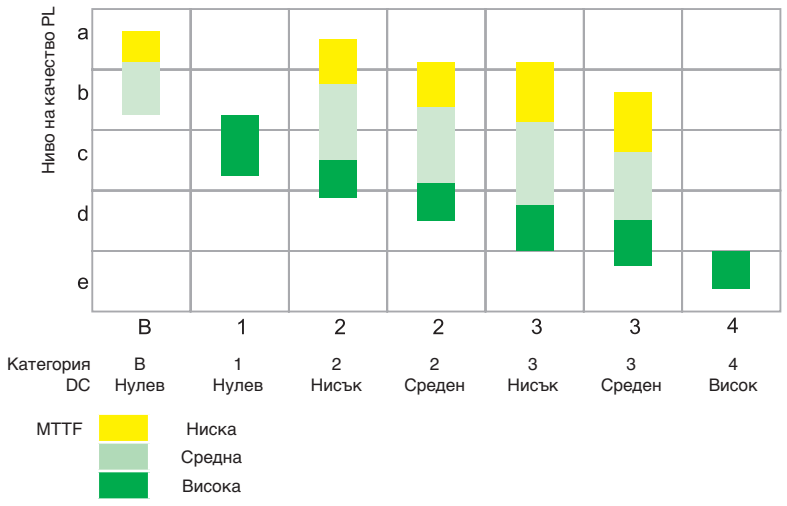
Оценката се изпълнява с помощта на анализ на аварийни режими и последици. Стандартът описва четири диапазона *(табл. 7.4)*.

Таблица 7.4

Категории на възможност за диагностика	
Индекс	**Диапазон**
Нулев	DC < 60%
Нисък	60% ⩽ DC < 90%
Среден	90% ⩽ DC < 99%
Висок	99% ⩽ DC

Справочна таблица за проектанти

Обобщена информация за елементите на нивото на качество PL е показана на *(⇨ Фиг. 7.12)*.

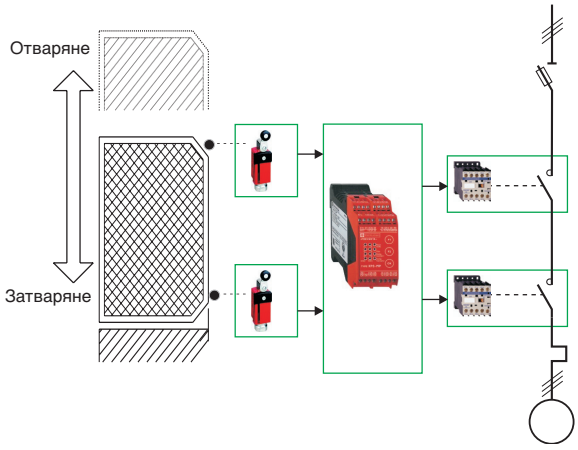


Фиг. 7.12 *Елементи за нивата на качество PL*

Решение, приложимо за разгледания пример на *(⇨ Фиг. 7.2)*, ще отговаря на категория 4 при използване на резервирана верига. Неговата функционална схема е представена отляво *(⇨ Фиг. 7.13)*. Тя се състои от два паралелни канала и има висока диагностична способност и голяма стойност на параметърът MTTFd.

В примера се предлага използването на резервирана релейно-контакторна схема, но в момента е по-просто да се използват функционални блокове за безопасност.

Решението е показано на *(⇨ Фиг. 7.14)*.



↑ Фиг. 7.14 Схема за резервиране към примера

Процесът, предлаган от стандарта е итеративен. За да се получи необходимото ниво на качество в посочения пример се препоръчва използване на решение с резервирана верига.

☐ Етап 4 – Определяне нивото на качество PL на всеки елемент

Чрез използване на информация от каталога на завода – производител се намират следните стойности:

Пример	Работни цикли, бр.	MTTFd	DC
SRP/CS_a: Контакт за безопасност	10 000 000	2840	99%
SRP/CS_b: XPS модул за безопасност	-	191,5	99%
SRP/CS_c: LCK контактор	1 000 000	284	99%

Стойността на MTTFd за електромеханични устройства се изчислява от общия брой работни цикли, които устройството може да изпълни.

В разглежданият пример машината работи 220 дни в годината, 8 часа за денонощие и има работен цикъл с продължителност 90 s.

N=220дни x 8часа x (3600/90) = 70 400 работни цикли за година.

За контактора: MTTFd = (2 x 1 000 000) / (0.1) x 70 400 = 284 години.

За всеки канал MTTFd се изчислява по израза:

$$\frac{1}{MTTF_{канал}} = \sum \frac{1}{MTTF_{a...n}}.$$

Получава се 109,9 години за всеки канал.

Диагностичната способност се изчислява с израза:

$$DC_{канал} = \frac{\frac{DC_a}{MTTF_a} + \frac{DC_b}{MTTF_b} + \frac{DC_c}{MTTF_c}}{MTTF_{канал}}.$$

В резултат на изчисленията се получава DC = 99%.

Етап 5 – Проверка за изискваното ниво на качество PLr

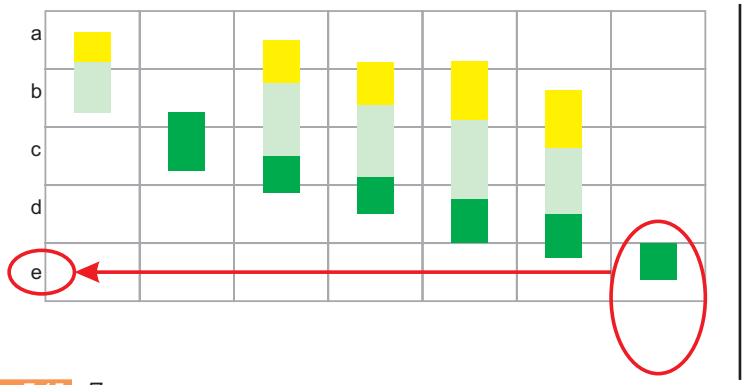
Резултатите от посочените изчисления могат да се обобщят както следва:

- резервирана архитектура: категория 4 *(⇨ Фиг. 7.11)*;

- средна отработка до опасен отказ MTTFd: > 100 години (висока стойност);

- диагностична способност DC: 99% (висока стойност).

Съгласно *(⇨ Фиг. 7.15)* може да се направи извода, че е постиганото изискваното ниво за качество PLr:



↑ Фиг. 7.15 Проверка за изискваното ниво на качество PLr

Етап 6 – потвърждаване изпълнението на всички изисквания

Проектирането на SRP/CS трябва да бъде потвърдено и трябва да покаже, че комбинацията SRP/CS изпълнява всяка функция за безопасност и удовлетворява всички приложими изисквания на стандарта EN/ISO 13849 Безопасност на машините. Части от системите за управление, свързани с безопасността.

7.7 Стандарт EN 62061 Безопасност на машините - Функционална безопасност

Функционална безопасност на безопасно свързани електрически, електронни и програмируеми електронни системи за управление.

Област на приложение на стандарта

Електрическите системи за управление, осигуряващи безопасност и влизащи в структурата на машините (**SRECS**) имат все по-голяма роля при осигуряване на пълна безопасност на машините и все по-често се използват в сложни електронни технологии.

Стандартът се използва за машини, участващи в състава на сложни структури, съгласно документа EN61508. В него са формулирани правила за интеграция на подсистеми, разработени съгласно стандарта EN ISO 13849. Той не определя изисквания към неелектрическите компоненти на системите за управление на машините, например хидравлични, пневматични. Той не обхваща опасни електрически явления, за които причина може да бъде електрическото обзавеждане на управление; те са описани в стандарта EN 60204-1.

Функционален подход за безопасност

Съгласно стандарта EN ISO 13849-1, е необходимо да се извърши анализ на рисковете (EN ISO 14121), в процеса на който се формулират изискванията за безопасност. Този стандарт изисква, ползвателят да извърши функционален анализ на архитектурата, да я

разложи на нейните подфункции и да анализира тяхното взаимодействие преди да избере апаратните средства за тяхната реализация (SRECS).

□ В комплекта проектна документация трябва да бъде включена схемата за функционална безопасност. В нейният състав се съдържат още:

Спецификация на изискванията за безопасност за функциите за безопасност (SRCF), които се състоят от две части:

- описание на функциите, интерфейсите, режимите на работа, приоритетите на функциите, честотата на пускане и др.;
- спецификация на комплексните изисквания за безопасност за всяка функция, описани с термините SIL (ниво на обща безопасност). В *табл. 7.5* са посочени стойности за всяко ниво;

Таблица 7.5

Ниво на обща безопасност (SIL)	Вероятност за опасен отказ за час (PFHd)
3	$\geqslant 10^{-8}...< 10^{-7}$
2	$\geqslant 10^{-7}...< 10^{-6}$
1	$\geqslant 10^{-6}...< 10^{-5}$

- структуриран и документиран процес за конструкцията, интегрирането и проверката на безопасно свързани електрически, електронни и програмируеми електронни системи за управление (SRECS) на машини;
- процедури и ресурси за запис и защита на необходимата информация;
- процес на управление и модификация на конфигурацията с отчитане организацията на работа и действията на упълномощен персонал;
- план за изпитване и атестация.

□ Функционална безопасност

Съществено предимство на този подход е възможността да се предложи метод за изчисляване на вероятността за отказ, включващ всички параметри, влияещи върху надеждността на електрически системи, независимо от използваната технология.

Методът се състои в задаване нивото на обща безопасност (SIL) на всяка функция с отчитане на следните параметри:

- вероятност за опасен отказ на елементи за час (PFHd);
- типа архитектура (вж. EN 38816, Ver2.0/11 Safety of personnel and equipment): с резервиране или без него; с диагностициращо устройство, позволяващо да се избегнат някои опасни откази или без него;
- типична причина за откази (прекратяване подаването на електроенергия, пренапрежение, загуба на връзка по комуникационна мрежа и др.) (CCF).

■ Процес

Проектирането на една система може да се раздели на 5 етапа:

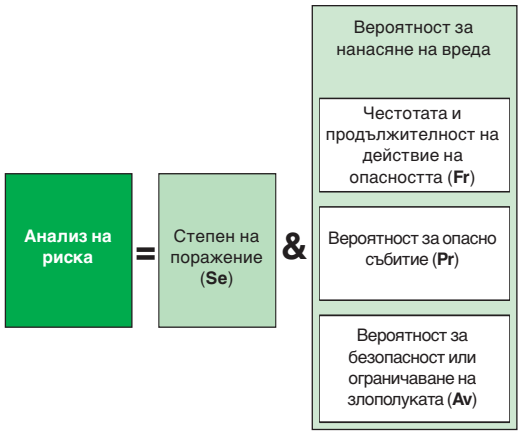
1 - на основата на спецификация за изисквания за безопасност (**SRS**) се определя нивото на обща безопасност (**SIL**), дефинира се базовата структура на системата за управление (**SRECS**) и се описват изискванията за безопасност за всяка функция за безопасност (**SRCF**);

2 - всяка функция се представя като система от функционални блокове (**FB**);

3 - съставя се списък на изисквания за безопасност на всеки функционален блок и се определят функционални блокове за подсистемите в състава на архитектурата;

4 - избор на елементи за всяка подсистема;

5 - разработване на диагностични функции и проверка за това дали е постигнато нивото на обща безопасност (**SIL**).



↑ *Фиг. 7.16* *Анализ на параметрите на риска*

Нека се разгледа отново последния пример, в който е необходимо да се изключи двигателя, ако контактът за безопасност е отворен *(⇨ Фиг. 7.13)*. При възникване опасно събитие съществува риск от счупване на крайници или откъсване на пръсти.

□ Етап 1 – задаване ниво на обща безопасност (SIL) на базова структура на системата за управление (SRECS)

На основата на анализа на риска, извършен съгласно стандарт EN/ISO 14121, се намира оценката за всяко опасно събитие и се определят параметрите, посочени по-долу *(⇨ Фиг. 7.16)*

- Степен на поражение (Se)

Степента на травма или злополука на човек може да се оцени като се вземат под внимание следните последици: пълно възстановяване на здравето, необратимост на травмата или смърт. Тази класификация е представена в *табл. 7.6*.

↓ *Таблица 7.6*

Възможни последици	Степен на поражение (Se)
Необратими: смърт, загуба на око или ръка	4
Необратими: разкъсване на крайници, загуба на пръст	3
Обратими: изисква се оказване на лекарска помощ	2
Обратими: изисква се оказване на първа помощ	1

- Вероятност за появяване на злополука

Всеки от трите параметри, разгледани по-долу, (**Fr, Pr, Av**) се оценява отделно в зависимост от неблагоприятните последици. Препоръчва се силно използването на моделиране при анализ на задачата, за да се гарантира коректност на оценката за вероятност от възникване на злополука.

- Честотата и продължителност на действие на опасността (Fr)

Нивото на **Fr** е свързано с необходимостта да се получи достъп до опасна зона (при нормална работа, обслужване и др.) и начина на достъп (ръчно подаване, регулиране). Трябва да се оцени средната честотата и продължителност на действие на опасността. Класификацията на **Fr** е представена в *табл. 7.7*:

↓ *Таблица 7.7*

Продължителност на действие на опасността	Fr
⩽ 1 час	5
>1 час... ⩽ 1 ден	5
> 1 ден... ⩽ 2 седмици	4
2 седмици... ⩽ 1 година	3
> 1 година	2

- Вероятност за опасно събитие (Pr)

В този случай се отчитат две основни концепции *(табл. 7.8)*:

- прогнозиране на опасни елементи от различни части на машината във всички режими на функциониране (нормален, техническо обслужване, търсене и отстраняване на неизправности). Особено внимание трябва да се отдели на възможността за неочаквано пускане на машината;
- състояние на оператора, работещ с машината: стрес, умора, неопитност и др.

↓ *Таблица 7.8*

Вероятност за опасно събитие	Pr
Много висока	5
Висока	4
Среедна	3
Ниска	2
Много ниска	1

- Вероятност за безопасност или ограничаване на злополуката (Av)

Този параметър е свързан с етапа проектиране на машина. Той отчита внезапността от възникване на опасно събитие, характера на опасността (механична, температурна, електрическа) и възможност за идентификация на опасността.

Вероятност за безопасност или ограничаване на злополуката (Av)	Ниво
Няма	5
Средна	3
Висока	1

- Ниво на обща безопасност (SIL)

Оценката се извършва с помощта на *табл. 7.9*, посочена по-долу.

В разглеждания пример степента на опасност е равна на 3, тъй като съществува риск от загуба на пръсти. Дадената стойност е посочена в първата колона на таблицата.

Нивата на всички останали параметри трябва да се сумират, за да се определи класа CI (вертикалните колони в таблицата). Получават се следните стойности:

Fr = 5 – достъп няколко пъти за ден;

Pr = 4 – възможни са опасни събития;

Av =3 – средна вероятност за безопасност.

В резултат се получава клас CI = 5 + 4 + 3 = 12.

Нивото за обща безопасност SIL = 3 трябва да бъде постигнато с помощта на система (системи) за управление на безопасност (**SRECS**) на машината.

Таблица 7.9

Оценка на ниво SIL					
Se	Клас CI				
	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3	-	-	SIL 1	SIL 2	SIL 3
2	-	-	-	SIL 1	SIL 2
1	-	-	-	-	SIL 1

- Базова структура SRECS

Независимо от използваните технически средства системата се разбива на подсистеми. В разглеждания пример *(⇨ Фиг. 7.17)* се отделят три подсистеми, които ще изпълняват следните функции: вход, обработка и изход. На фигурата е представен даден етап като се използва терминология от стандарта.

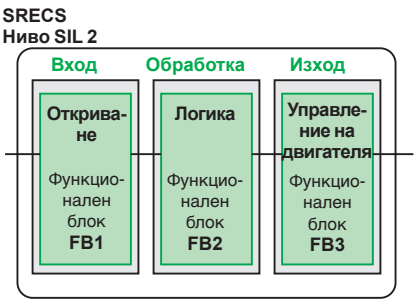
□ Етап 2 – Представяне на всяка функция във вид на структура, изградена от функционални блокове (FB)

Функционалният блок (**FB**) е резултат от детайлно определени функции за безопасност. Отказът на която и да е предизвиква отказ във функцията за безопасност.

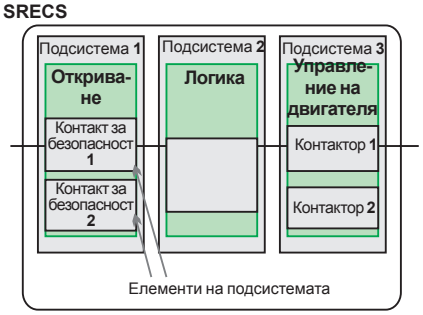
Структурата от функционални блокове дава първоначална представа за архитектурата SRECS *(⇨ Фиг. 7.18)*. Изискванията за безопасност за всеки блок се определят от спецификацията на изискванията за безопасност към функционирането на системата.

Елементите, изпълняващи функция за безопасност трябва да имат същото ниво **SIL**, което има и системата.

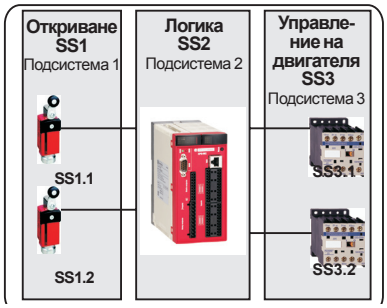
Фиг. 7.17 *Етап 1: Базова структура на електрическа система за управление*



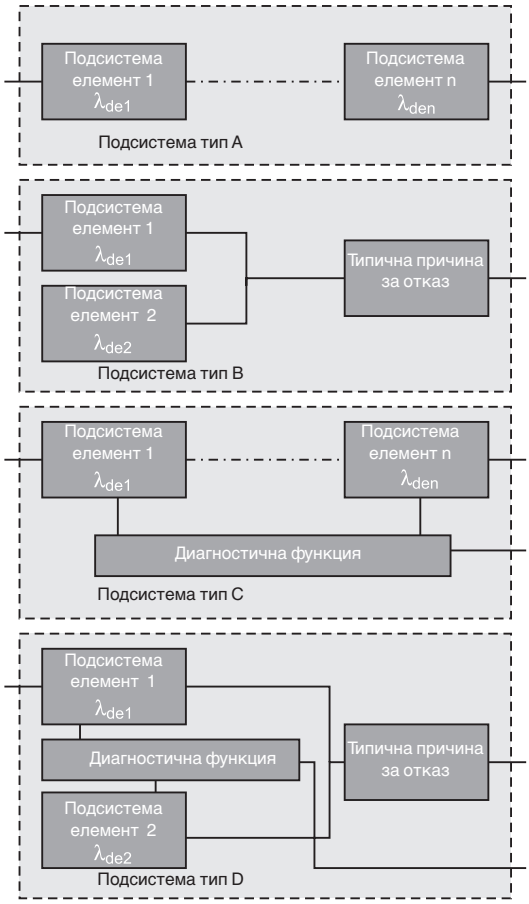
Фиг. 7.18 *Етап 2: Разделяне на блокове*



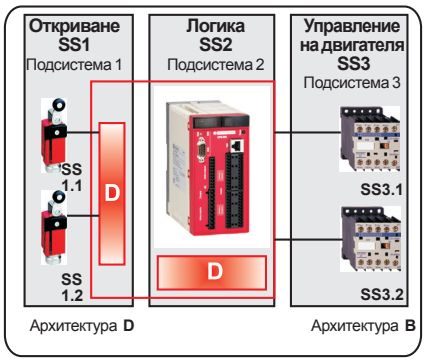
Фиг. 7.19 *Етап 3: Предназначение на функционални блокове*



↑ Фиг. 7.20 *Етап 4 Избор на елементи*



↑ Фиг. 7.21 *Типове архитектури на подсистема*



↑ Фиг. 7.22 *Етап 5: Проектиране на диагностични функции*

☐ Етап 3 – Списък на изисквания за безопасност на всеки функционален блок и предназначение на функционалните блокове от подсистемите в състава на общата структура

Всеки функционален блок трябва да влиза в състава на коя да е подсистема в общата структура **SRECS** *(⇨ Фиг. 7.19)*. В състава на подсистемата могат да се включват елементи, и ако е необходимо диагностични функции, за откриване на отклонения от нормите и вземане на съответни мерки.

Тези диагностични функции (D) се разглеждат като отделни функции. Те могат да се изпълняват в състава на подсистемата чрез друга вътрешна или външна подсистема.

☐ Етап 4 – Избор на елементи за всяка подсистема

Избраните елементи, за разглеждания пример, са представени на *(⇨ Фиг. 7.20)*. Ако се използват същите първични преобразуватели и контактори, както в примера, то е по-добре да се избере контролер, конфигуриран с помощта на софтуера XPSMF.

Тъй като е прието ниво на системата за безопасност SIL = 3 всеки елемент трябва да постигне това ниво.

В каталога на производителя са посочени две стойности:
- за прекъсвачите за безопасност 1 и 2: B10 = 10 000 000 работни цикли, съответстващи на 20% опасни откази;
- контролер за безопасност: $PFH_d = 1.25\ 10^{-8}$;
- контактори 1 и 2: B10 = 1 000 000 работни цикли, съответстващи на 75% опасни откази.

☐ Етап 5 – проектиране на диагностична функция

Нивото SIL на подсистемата зависи не само от елементите, но и от избраната архитектура.

Стандартът определя четири типа архитектури *(⇨ Фиг. 7.21)*. За разглеждания пример се избират архитектури тип B и D.

В архитектурата D контролерът диагностицира не само своето състояние, но и състоянието на прекъсвачите за безопасност *(⇨ Фиг. 7.22)*.

Необходимо е да се определи нивото за безопасност за трите подсистеми:

- SS1: два резервирани крайни прекъсвача за безопасност в съответствие с приетата архитектура D;
- SS2: контролер за безопасност с ниво SIL = 3 (стойността е получена въз основа на параметъра PFHd);
- SS3: два резервирани контактора в съответствие с архитектура тип B.

Изчислителният метод е доста сложен и затова тука се посочва само получения резултат. Този метод е подробно разгледан в каталога на Schneider Electric (функции за безопасност). Отчитат се следните параметри:

- **B10:** брой работни цикли, съответстващи на 10% откази;
- **C**: отношение между броя опасни откази към общия брой откази, в %;
- λ_D: интензивност на опасни откази ($\lambda_D = \lambda$ x C);
- β: коефициент на откази по типични причини;
- **T1**: периодичност на контролни изпитвания на елементи, доставени от производител;
- **T2**: периодичност на периодични изпитвания;
- **DC**: ниво на диагностициране – отношение между интензивността на откритите откази и интензивността на опасните откази λ_{DD}/λ_D.

При тези стойности на параметрите се получава:

-за SS1 $PFH_d = 8\ E^{-9}$

-за SS3 $PFH_d = 4.82\ E^{-9}$

Общата вероятност за опасни откази за час е:

- $\mathbf{PFH_{DSRECS}} = \mathbf{PFH_d}$ SS1 + $\mathbf{PFH_d}$ SS2 + $\mathbf{PFH_d}$ SS3
- $\mathbf{PFH_{DSRECS}} = 8\ E^{-9} + 1.25\ 10^{-8} + 4.82\ E^{-9} = 5.02\ E^{-7}$

Полученият резултат отговаря на очакваното ниво SIL = 2 (виж *табл. 7.10*).

Коментар: Ниво SIL = 3 може да се постигне при използване на допълнителни контакти за създаване на обратна връзка с контакторите.

↓ *Таблица 7.10*

Проверка за съответствие с прието ниво SIL	
SIL	**Вероятност за опасни откази за час (PFHd)**
3	$\geqslant 10^{-8} \ldots < 10^{-7}$
2	$\mathbf{\geqslant 10^{-7} \ldots < 10^{-6}}$
1	$\geqslant 10^{-6} \ldots < 10^{-5}$

7.8 Сертификация и CE маркировка

Процесът на сертификация и присвояване на маркировка CE на машини се състои от шест етапа:

1 – използване на всички приложими директиви и стандарти;
2 – съответствие с важни изисквания за здраве и безопасност;
3 – изработване на техническа документация;
4 - процедура от независим орган за оценка на съответствието;
5 - издаване на декларация за съответствие;
6 – поставяне на CE маркировката.

Европейски директиви за охрана на труда в машиностроенето

Европейските директиви за охрана на труда в машиностроенето са първи пример за „Нов подход“ при съгласуване на продукти по отношение на технически спецификации и стандарти. Даденият подход се основа на:

- съществени изисквания за безопасност и охрана на здравето, които трябва да бъдат изпълнени преди машината да бъде пусната за продажба;
- доброволен процес на съгласуване на съответствията на стандарти, приети от Европейския комитет по стандартизация (CEN) и Европейският комитет по стандартизация в областта на електротехниката (CENELEC);
- съгласуваност на процедури за оценка на съответствието между типовете машини и свързаните с тях типове рискове;
- нанасяне на маркировка CE от производителя, която показва, че машината съответства на всички приложими към него директиви; машини с такива маркировка могат свободно да се използват в Европейския съюз.

Директивите значително опростиха действащи национални законодателства и при това ликвидираха много бариери, затрудняващи търговията в Европейския съюз. Те също позволиха да се намалят социалните разходи, изплащани поради нещастни случаи. Директивите „Нов подход“ са приложими за продукти, които за първи път се пускат на пазара. Списък на съответните машини е посочен в приложение 4 на Директива MD 2006/42/EC за машини.

Съществени изисквания

В приложение I към Директивата за машини, са групирани съществени изисквания за безопасност и опазване здравето, свързани с проектирането и изработването на машините, които трябва да удо-

влетворяват машините и елементите за безопасност, за да се получи разрешение за обслужване в Европа.

От това следва, че:
- ако изискванията на Директивата са изпълнени никоя държава членка на Европейския съюз не може да се обяви против пускането на продукта на пазара;
- ако изискванията на Директивата не са изпълнени пускането на продукта на пазара може да бъде забранено или да се изисква изтегляне на продукта от пазара.

В Европейският съюз това се отнася не само за производителите и техните дистрибутори, но също и за вносителите и търговските посредници, които внасят тези машини или ги въвеждат в експлоатация.

Хармонизиране на стандарти

Най-лесният начин за доказване на съответствие на продуктите със съществените изисквания на директивите е да се потвърди съответствие с Европейски хармонизирани стандарти (EN).

Когато един продукт, посочен в приложение 4 на Машинната директива, няма никакъв съгласуван хармонизиран стандарт или съществуващите стандарти не описват съществени изисквания за безопасност и опазване на здравето, или производителят предполага, че тези стандарти не са приложими за неговия продукт, той може да потърси одобрение от външно регистрирано Бюро за сертификация. Такива организации трябва да имат одобрение от всички членове на Европейския съюз, за провеждане на достоверна експертиза (TÜV, BGIA, INRS, HSE и др.).

Въпреки, че Бюрото за сертификация носи някаква отговорност съгласно Директивата, основната отговорност за съответствието на продукта със стандарта носи производителят или представителя.

Декларация за съответствие

В съответствие със статия 1 на Машинната директива, производителят или негов официален представител в Европейския съюз трябва да състави Европейска декларация за съответствие на всяка машина (или елемент за безопасност). Това се прави за да се удостовери, че машината или елементът за безопасност съответства на Директивата.
Преди да се пусне продуктът на пазара, производителят или негов официален представител трябва да подготвят технически паспорт и да го представят в Бюрото за сертификация.

CE Маркировка

CE маркировка

В резултат маркировката CE трябва да бъде нанесена върху машината от производителя или неговия официален представител в Европейския съюз. Дадената маркировка е задължителна от 1 януари 1995 г. и може да бъде нанесена само ако машината отговаря на всички приложими стандарти, например директивите за:
- безопасност на машините 98/37/EC;
- електромагнитна съвместимост (EMC) 2004/108/EC;
- съоръжения за ниско напрежение 2006/95/EC.

Използват се и други директиви, например за защита на персонала на подемно-транспортно обзавеждане, медицинско обзавеждане и др., които могат също да бъдат приложими.Маркировката CE е паспорт на машината в Европейски съюз, който разрешава тя да бъде продавана на Европейския пазар, независимо от законодателството на отделните страни от Съюза.

Процедура за получаване на маркировка CE

(⇨ Фиг. 7.23)

↑ *Фиг. 7.23* *Процедура за получаване на маркировка CE*

7.9 Обзор на опасни условия на околна среда

Обзавеждането на системите за автоматизация може да бъде монтирано при опасни условия на околна среда, където има риск от взрив. Опасността възниква, когато във въздуха присъства определена концентрация на газове, частици или горим прах. За избягване на тази опасност е необходимо да се използват определени типове обзавеждане, а също да се извършват съответни действия за техническо обслужване. В европейското законодателство са създадени следните директиви:

- Директива 99/92/ЕО, определяща минималните изисквания за подобряване защитата на здравето и безопасността на работниците от потенциален риск в експлозивни атмосфери;
- Директива 94/9 ЕО, определяща изисквания към производители на обзавеждане.

По-подробна информация е представена на сайта: http://ec.europa.eu/enterprise/atex/indexinfor.htm.

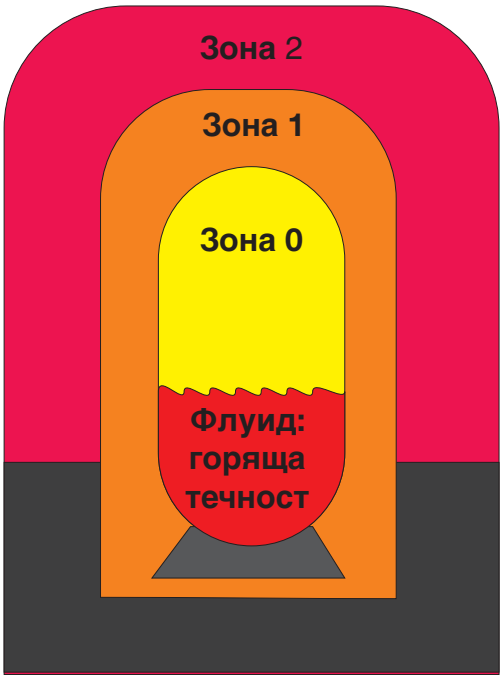
Опасни промишлени сектори

По-долу е представен непълен списък на производства, където може да се създаде опасност от взрив:

- шлифоване на метал и в частност алуминий;
- пречистване на въглеводороди;
- газопроводи и газоразпределителни станции;
- печатници, хартиени и текстилни производства;
- обслужване на самолети и хангари;
- химическо производство;
- обработка на зърно и силозни бункери;
- обработка на повърхности;
- обработка на отпадни води;
- шахти;

Миннодобивна промишленост		Промишлено обзавеждане с различен риск (газ и прах)		
Категория		Категория		
1	2	1	2	3
Много високо ниво на защита	Високо ниво на защита	Много високо ниво на защита	Високо ниво на защита	Нормално ниво на защита
Безопасност при две грешки	Безопасност при една грешка	Безопасност при две грешки	Безопасност при една грешка	Безопасност при нормална работа

Фиг. 7.24 Категории промишлени предприятия с опасни условия на околна среда



Фиг. 7.25 Класификация на опасни зони

Зона 0 – практически постоянно наличие на взривоопасни условия или такива за дълъг период от време;

Зона 1 – взривоопасни условия понякога могат да възникнат в хода на нормална работа;

Зона 2 – взривоопасни условия не могат да възникнат в хода на нормална работа или могат да възникнат само за много кратко време.

- дървопреработващи производства;
- захарни заводи;
- флот;
- електрически централи.

Условия, които могат да предизвикат взрив

Няколко фактора могат да създадат опасна ситуация:

Първи фактор – наличие на частици от гориво, газ или прах във въздуха в съотношения, способни да предизвикат взрив. Ако пропорцията е под определен процент (известна като LEL - долна граница на взривяемост) сместа е твърде бедна, за да се взриви.
Ако пропорцията е над определен процент (известна като ULM - горна граница на взривяемост) сместа е твърде богата. Например, за бутан съответната пропорция е 1,4 и 9,3 %.

Втори фактор – присъствие на елемент, който може да предизвика възпламеняване на смес, например гореща повърхност, пламък, искра (могат да бъдат предизвикани от триене на повърхности, електрически устройства или статично електричество), електромагнитно излъчване, удар на мълния, концентрация на слънчеви лъчи, ултразвук, химическа реакция, адиабатно налягане или ударна вълна, топлинна или химическа реакция и др.

Класификация на опасни производства

Европейските директиви описват класификационни критерии:
- категории на промишлени предприятия *(⇨ Фиг. 7.24)*;
- типове опасни услови на околна среда (наличие на газ или прах);
- класификация на нивото на риска в опасни зони.

Опасните зони се класифицират в съответствие с потенциалния риск *(⇨ Фиг. 7.25)*.

Взривоопасната смес се характеризира с връзката между нейните компоненти(газ, прах и др.), температура и енергия, които са необходими, за да предизвикат взрив.
Стандартите, описват дадени класове по температура (от T1 = 450°C до T6 = 86°C) и газове в съответствие с енергията, която е необходима за възпламеняването на сместа от A (<20 J) до C (>180 J).
В *табл. 7.26* е показана посочената класификация.

Препоръчвани решения

Отчитайки изложената по-горе информация, промишлените предприятия предлагат съответни решения, позволяващи да се отстрани потенциалната опасност.
Тези решения трябва да съответстват на стандартите и имат специална маркировка.

Защита на съоръжения чрез взривонепроницаеми обвивки, вид “d” (БДС EN 60079-1/EN 50018)

В такава обвивка се разполага устройство, което може да взриви, намираща се в нея смес. Корпусът е изработен по такъв начин, че гарантира невъзможността вътрешния взрив да се разпространи извън него. Устройството се маркира с Ex d.

Защита на съоръжения чрез повишена безопасност, вид “e” (IEC/EN 60079-7/ БДС EN 50019)

Вградени функции за безопасност гарантират невъзможността да се предизвика взрив в сместа. Устройството се маркира с Ex e.

Електрически съоръжения за потенциално експлозивни атмосфери. Съоръжения със собствена безопасност, вид “i” (IEC/EN 60079-7/ БДС EN 50020)

Безопасността се гарантира чрез ограничаване на енергията в устройството и по такъв начин предизвикването на взрив в сместа е невъзможно. Устройството се маркира с Ex ia или Ex ib.

Категория	Тип на атмосферата		Зона	Маркировка (виж примера по-долу)
1	Газ	G	0	0
	Прах	D		20
2	Газ	G	1	1
	Прах	D		21
3	Газ	G	2	2
	Прах	D		22

↓ Таблица 7.26 *Класификация на опасни зони*

- **Електрическа апаратура за експлозивни газови атмосфери. Част 15: Вид на защита “n” (IEC/EN 60079-15/ БДС EN 50021: Зона 2)**

В състава на електрическата апаратура няма никакви елементи, които могат да взривят сместа (няма искрене или горещи повърхности). Устройството се отбелязва с маркировка Ex na.

- **Експлозивни атмосфери. Част 6: Защита на съоръжения чрез потапяне в масло, вид “o” (IEC/EN 60079-6/ БДС EN 50015)**

Елементите, потопени в масло се отбелязват с маркировка Ex o.

- **Експлозивни атмосфери. Част 2: Защита на съоръжения чрез обвивки под налягане, вид “p” (IEC/EN 60079-2/ БДС EN 50016)**

Устройството е монтирано в херметичен корпус, запълнен с въздух или неутрален газ под налягане. Устройството се маркира с Ex p.

- **Експлозивни атмосфери. Част 5: Защита на съоръжения напълнени с кварцов пясък, вид “q” (IEC/EN 60079-5/ БДС EN 50017)**

Устройството се изолира от опасната зона с помощта на инертен прах (кварц). Устройството се отбелязва с маркировка Ex q.

- **Експлозивни атмосфери. Част 18: Защита на съоръжения чрез капсуловане, вид “m” (IEC/EN 60079-18/ БДС EN 50028)**

Устройството се капсулира със специална епоксидна смола. Устройството се отбелязва с маркировка Ex m.

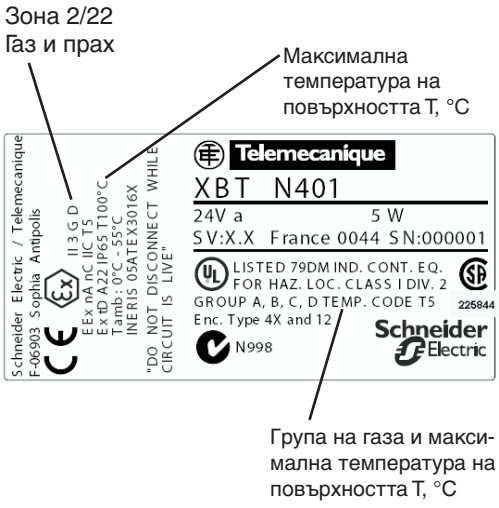
Допълнителни предпазни мерки

Използването на устройства за безопасност, посочени по-горе, трябва да се съпровожда и от допълнителни предпазни мерки, позволяващи да се ограничи опасността.
Например, намаляването на опасността от електростатичен разряд се извършва с помощта на метализация на части, изпълнени с помощта на пластмаса и заземяване.
Стандартът описва следните класове на непроводими повърхности от 11A до LL1.
Аналогични мерки трябва да бъдат взети и за ограничаване на енергията от различни излъчвания (микровълни, оптични вълни или ултразвукови вълни). Стандартът EN 1127 описва праговите стойности за дадените излъчвания.

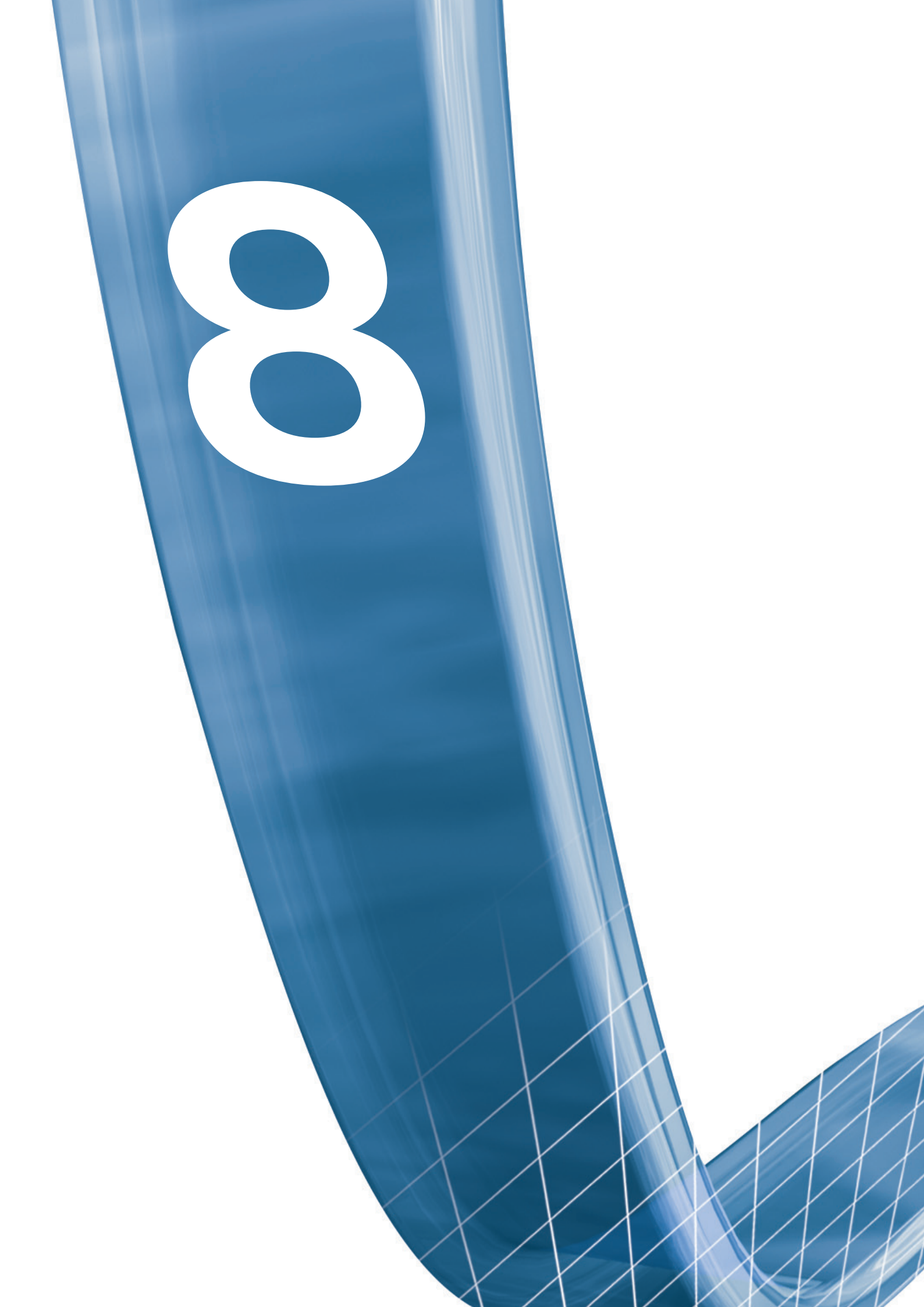
Маркировка на продукта

Маркировката, представена на *(⇨ Фиг. 7.27)*, се нанася върху продукта, предназначен за използване във взривоопасни условия.
Маркировката от ляво на дясно дава следната информация:
- маркировка CE, разрешаваща продажба на продукта;
- лицензионен номер на продукта;
- лого Ex, което показва, че продуктът е подходящ за използване във взривоопасна среда;
- група на обзавеждане (повърхност);
- категория;
- индекс G, който показва, че продуктът може да се използва в среди, съдържащи газ.

Допълнителна информация:
- код EEX de (маркировката на производителя в момента се заменя с EX de);
- код IIC, който показва класификация на газа;
- код T, който показва температурна класификация (T4 означава максимална температура 135°C).



↑ Фиг. 7.27 *Маркировка на продукт*


8

Диалог човек-машина

- Диалог човек-машина в различни етапи от жизнения цикъл на машината
- Дискретно управление и индикация, текстови и графични дисплеи
- Програмно осигуряване конфигурирането на екрани

8.1 Предназначение на интерфейса човек-машина 204

8.2 Обзор на потребителски изисквания 205

8.3 Избор на решения 208

8.4 Дискретно управление и индикация 211

8.5 Технически решения на Schneider Electric за дискретно управление и индикация 213

8.6 Графични дисплеи и терминали 214

8.7 Промишлени и администраторски компютри 216

8.8 Програмно осигуряване на средства за човеко-машинен интерфейс 217

8.9 Диалогови средства, вградени в продуктите 220

8.10 Изводи 221

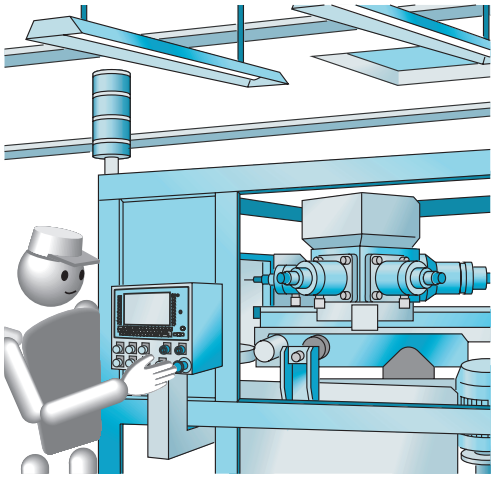
8. Диалог човек-машина

8.1 Предназначение на интерфейса човек-машина

Операторите играят важна роля в работата на автоматизираната промишлена уредба. Те трябва да използват информацията, която имат и да изпълняват действия, които да позволяват на машините или уредбите да започнат или завършат работа по съответния алгоритъм, без да създават заплаха за безопасността на хората и без да намаляват експлоатационната готовност на обзавеждането.

Затова е много важно интерфейсите и диалоговите функции да бъдат изпълнени с гарантиране надеждната работа при всякакви обстоятелства.

8.1 Предназначение на интерфейса човек-машина



↑ *Фиг. 8.1* *Диалог човек-машина*

■ Информационни потоци при диалога на човек с машина

Човеко-машинният интерфейс включва в себе си два информационни потока *(⇨ Фиг. 8.1)*:

- Машина –> Човек
- Човек –> Машина

Тези потоци са независими въпреки, че са свързани помежду си.

□ Независимост

Потоците са независими, защото се отнасят към различни нива от системата за управление.

Нивата се определят от разработчика на системата за автоматизация, в съответствие с техническите изисквания на процеса и заданието от потребителя. Операторът обикновено задава кратки команди към машината, а от машината към оператора постъпват буквено-цифрови или графични съобщения.

□ Свързаност

Потоците са свързани, тъй като автоматизираната система интерпретира командата на оператора и изпълнява зададено действие, след което към оператора се подава контролна информация. След получаване на информация от машината операторът може да действа в зависимост от обстоятелствата (да спре производството, да коригира данни или др.) или просто да приеме за сведение съобщение от машината (например сигнализация за край на цикъл).

■ Роля на оператора

Диалоговият интерфейс включва в себе си всички функции, необходими за контролиране работата на машината или уредбата.

В зависимост от техническите изисквания операторът може да изпълни:

□ Типични действия за управление на процеса

- спиране и пускане на процеса; възможни са различни изисквания към пусковия процес и спирането, които могат да бъдат изпълнени в автоматичен, ръчен или полуавтоматичен режим;
- управление и внасяне на корекции, необходими за нормалния работен режим на системата.

□ Дейности, свързани с непредвидени ситуации

- откриване на състояния, различни от нормалната работа и изпълнение на коригиращи действия за отстраняването им, за да не бъде нарушен основния процес на работа. Например ранно предупреждаване за претоварване на двигателя, възстановяване на нормалните работни условия преди релето за претоварване да задейства;
- коректно излизане от състоянието на неизправност в системата, осигуряване спиране на производството или преминаване в без-

опасен режим на работа, ръчно управление вместо автоматичен режим, за да се запази процеса в работно състояние;
- осигуряване безопасност на хора и имущество с помощта на защитни устройства в случай на необходимост.

Обхвата на тези задачи показва колко е важна ролята на оператора. В зависимост от наличната информация операторът може да вземе решение и да извърши действия, излизащи извън рамката на обичайната работа и непосредствено влияещи върху безопасността и поддържане надеждната работа на уредбата. Това означава, че диалоговата система не трябва да бъде ограничена само от обмена на информация между човека и машината, а трябва да бъде разработена като се отчита необходимостта от опростяване работата на оператора и осигуряване безопасността на системата при всякакви обстоятелства.

Качество на изпълнение на интерфейса

За качеството на изпълнение на диалоговия интерфейс може да се съди по простотата, с която операторът **открива** и **разбира** събитието и по това доколко той може ефективно да **реагира** на събитието.

Откриване

Всяко изменение на работните услови на машината обикновено предизвиква изменение на представяната информация върху индикатора, блока за индикация или екрана. Операторът трябва да има възможност бързо да открие събитието при всякакви външни условия (общо осветление и др.). За привличане на вниманието могат да се използват различни средства. Например мигаща светлина, изменение на цвета, звуков сигнал, противоотражателни устройства.

Разбиране

За да се предотвратят всякакви действия, които биха поставили под заплаха безопасността информацията, която постъпва при оператора трябва да бъде достатъчно ясна и точна, за да се осигури възможност за бързо възприемане.

Ергономичните изисквания към елементите от диалоговия интерфейс са толкова важни, колкото функционалните:

- за контролните лампи: използване на стандартен цвят, ясно възприемане на бързи или бавни мигания на светлина и др.;
- за индикаторния блок: ясни текстове на езика на потребителя, четимост от достатъчно разстояние и др.;
- за екрана: използване на стандартни символи, изменение на мащаба, осигуряващ удобно преглеждане на съобщенията и др.

Реагиране

В зависимост от това какво съобщение се получава от машината операторът трябва да реагира бързо, задействайки един или няколко бутони или клавиши. За адекватна реакция от оператора е необходимо:
- ясно означаване на бутони и клавиши, например нанасяне на стандартни символи върху бутоните;
- интелигентни ергономични системи: използване на големи клавиши, сензорни бутони и др.

8.2 Обзор на потребителски изисквания

Изборът на средства за диалог човек-машина трябва да бъде основан на изучаване на редица фактори.
Трябва да се отчитат:
- функционални изисквания;
- ергономични изисквания и изисквания, осигуряващи комфорт на потребителя;

- изисквания, свързани с културата и специфичните особености на операторите;
- изисквания, отнасящи се до проектирането и възможността за разширяване на функционалните възможности.

Функционални изисквания

В зависимост от типа на обработваната информация, възможностите за нейното представяне и режима за достъпа на средства човеко-машинният интерфейс може да се класифицира на седем основни групи: помощ при разработване, настройка, управление, помощ при работа, наблюдение, управление на производство, обслужване и диагностика *(⇨ Фиг. 8.2)*.

Класификация	Разработка	Настройка	Работа	Обслужване
Помощ при разработване	X			X
Настройка		X	X	X
Управление		X	X	X
Помощ при работа			X	
Наблюдение		X	X	
Управление на производство			X	X
Обслужване и диагностика				X

Фиг. 8.2 Функционални изисквания в жизнения цикъл на машината

Помощ при разработване и обслужване

По-голяма част от човеко-машинния интерфейс се настройва с помощта на компютър и специализиран софтуер. Това облекчава разработването и обслужването на системата.

Настройка

Независимо от режима на работа на машината (включено или изключено състояние) операторът извършва настройка (избор на набор от команди, конфигуриране на машината, избор на начални параметри на работа и др.). Тези променливи се задават чрез селектор, функционални ключове, буквено-цифров или графичен списък или от подменю.

Управление

Диалоговият режим позволява да се управлява технологичния процес. За тази цел обикновено се използват специални функционални клавиши, превключватели или подменюта. За панели, чувствителни на допир, се отделят специални области от екрана, за приемане на команди от оператора.

Помощ по време на работа

Съвременният диалогов режим позволява да се допълнят основните задачи за контрол и управление:

- графично изображение на променливи величини със зададени гранични стойности (променливи на PLC/броячи с цветно изображение на граничните стойности);
- извикване помощни страници (Help pages);
- изпълняване на графична анимация или на текстови блокове с помощта на светодиодни индикатори;
- построяване на графики за изменение на променливи величини и хистограми.

Наблюдение

По време на работа на машината трябва да се наблюдава нейното състояние и състоянието на технологичния процес. Например трябва да се следи за: броя на операции, позиции на инструмента, заготовки, състояние на изпълнителни механизми, първични преобразователи, автоматизирани системи, обем на производството, качествен контрол и др.

Тази информация съдържа данни от различен тип (двоични, дискретни, аналогови, текстови, графични обекти, изображения и др.) и нейното количество може да бъде от няколко единици до няколко хиляди единици. За представяне на информацията се използват различни атрибути (свойства): цвят, мигане, размер на символи и шрифтове, звукови ефекти, стрелкови или стълбови индикатори и др.

Управление на производство

Операторът на машината получава информация за състоянието на производствения процес, количеството и качеството на произведената продукция. Производствения мениджър получава специални отчети за процеса, достъп до база данни, печатни форми и др.

Обслужване на машината или уредбата и диагностика на неизправности

Сервизните възможности, предоставени на оператора обикновено включват:

- идентификация на текст или информационни съобщения по цвят или мигане;
- статистическо или програмно потвърждаване на аварийни сигнали;
- въвеждане и съхраняване на дневник за аварии и събития;
- идентификация на проблем чрез текстови и графични страници с коментари;
- преглеждане и изменение на променливи на PLC.

Условия за спиране и експлоатация на средства за човеко-машинен интерфейс

Човеко-машинният интерфейс трябва да отчита ергономическите особености на уредбата в съответствие с типа, обема и важността на изобразяваната информация. При избора на най-подходящо средство за човеко-машинния интерфейс е необходимо да се отчита нивото на осветеността, нивото на температурата и влажността на въздуха.

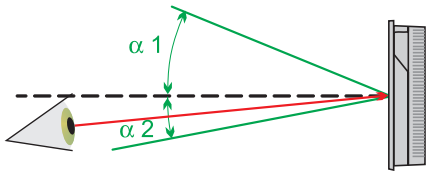
Зрителен ъгъл

Широко разпространената употреба на плоски екрани, използващи LCD и LED технология, налагат специално внимание върху зрителния ъгъл на оператора, тъй като операторът рядко се намира в най-подходяща позиция, спрямо екрана.

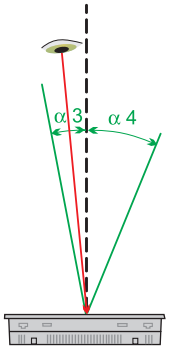
Производителите обикновено предават информацията с различен контраст и яркост на символите. На(⇨ *Фиг. 8.3, 8.4* и *8.5)* са представени характеристики на зрителния ъгъл за диалогов операторски панел XBTGT 15”, производство на Schneider Electric.

	Зрителен ъгъл					Яркост	
Модел	α 1	α 2	α 3	α 4	Единица		Единица
XBTGT7340	60	50	60	60	Градус	220	cd/m²

↑ *Фиг. 8.3* *Технически характеристики на диалогов операторски панел XBTGT7340*



Фиг. 8.4 *Хоризонтален зрителен ъгъл*



Фиг. 8.5 *Вертикален зрителен ъгъл*

Възможност за експлоатация в промишлени условия

В зависимост от това, за каква производствена система се предлага да се използва човеко-машинният интерфейс, е необходимо да се отчитат особеностите на експлоатация. Например диалоговия операторски панел XBT е проектиран да издържа въздействието на химически среди:

- минерали, хлоросъдържащи и разтворими масла;
- течности, използвани в хранително-вкусовата промишленост (вода, млечна киселина и разредена солна киселина);
- кисели и алкални химически добавки.

Използването на диалоговия операторски панел XBT трябва да отговаря на изискванията за безопасност (глава 7). Интерфейсите за човеко-машинния диалог, предлагани от Schneider Electric, покриват всички технически изисквания на международни стандарти като EC, UL, CSA, ГОСТ, морските (BV, GL, LR, и др.).
Освен това, за употреба във взривоопасни атмосфери диалоговите операторски панели Magelis са сертифицирани по ATEX (виж Глава 7, раздел 7.9).

Изисквания, свързани с културата и специфичните особености на операторите

При избора на средства за човеко-машинния интерфейс трябва да се отчитат културните и психологичните особености на операторите. Въпросът може да бъде зададен “Кой” работи и “Как”. Например:

- системата може да се управлява от няколко човека и всички оператори да са запознати с основните принципи на работа на машината;
- системата може да се управлява от опитен или неподготвен оператор;
- необходимо е да се предвиди помощна информация и кратки описания на командите (подсказки);
- системата може да се управлява от един оператор.

8.3 Избор на решения

За удовлетворяване на всички разгледани по-горе изисквания на потребителите има четири типа основни решения:

Дискретно управление и индикация

Бутоните, селекторните превключватели, светодиодите, буквено-цифровите панели, броячите и др. се използват за настройка на параметрите на системата и дискретно управление. Такива диалогови средства са удобни за малък обем информация, използван в диалога оператор-машина. Техническите средства за човеко-машинния интерфейс отговарят на изискванията за безопасност (виж. *Глава 7*).

Компактни диалогови операторски панели

Буквено-цифровите, матричните и компактните диалогови операторски панели дават възможност за модерна комуникация между оператора и системата за управление, основана на обмяна на съобщения с буквено-цифрова и псевдографика, употребата на функционални клавиши и обработка на аварийни сигнали. Тези диалогови средства обикновено се използват от един оператор на машини, но имат възможност да се свържат и към комуникационни шини и мрежи.

Графични диалогови панели

Тези панели се използват за изобразяване на графична информация, удобни са за обработка на аварийни съобщения, диагностика и обслужване. Обикновено се използват заедно с PLC за управление на машини или поточна линия.

Промишлени PLC с програмно осигуряване за визуализация

Използването на промишлен Ethernet позволява да се реализира удобно управление на цех или участък и да се осигури:

- управление на производство и връзка със система за планиране ресурсите на предприятие (ERP);
- намаляване стойността на производството, времето за престой на обзавеждането, потреблението на енергия и др.;
- обслужване, диагностика и откриване на неизправности.

По такъв начин операторът може удобно да управлява производствената линия.

Избор на критерии

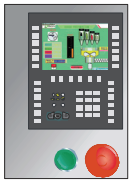
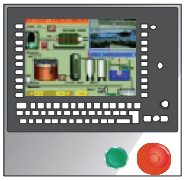
Два критерия определят подхода за избор на подходяща технология. Първият критерий е архитектурата на системата за автоматизация (виж *Глава 1*). Тя определя типа на комуникационната мрежа или шините за предаване на обема информационен поток към оператора. Вторият критерий зависи от специфичните изисквания към човеко-машинния интерфейс.

Технология човеко-машинен интерфейс, свързана с архитектурата за автоматизация

За да отговори на изискванията, описани в началото на главата, системата човеко-машинен интерфейс трябва да постигне следните цели:

- да представя ясно информацията, независимо от условията на околната среда или други фактори;
- да позволи на оператора да извършва бързо и ясно управление на системата независимо от текущото ѝ състояние, условията на околната среда и др. фактори.

На *(⇨ Фиг. 8.6)* са представени основните типове системи на човеко-машинен интерфейс, предназначени за различни задачи за автоматизация.

Диалогови потребности			Технологии				
Изображение (прегледност и удобство)			Индикация				
			Цифрови индикатори	Дисплеи и диалогови операторски панели с текстови или матричен екран	Диалогови операторски панели с графични екрани	Индустриален PLC и човеко-машинен интерфейс за автономна архитектура	Индустриален PLC и човеко-машинен интерфейс в разпределена мрежова архитектура
Действие (операция на реагиране)			Бутони				
				Клавиатура/Чувствителен на допир интерфейс			
							
Архитектура	Компактна	Проста	X				
		Оптимизирана		X			
		Разширена		X	X		
		Производителна			X		
		Високопроизводителна			X	X	
		Разширена				X	
	Разпределена	Промишлена мрежа Ethernet			X		X

↑ Фиг. 8.6 Избор на технология човеко-машинен интерфейс за различни архитектури на системи за управление

Технология човеко-машинен интерфейс за специфични нужди

В началото на главата бяха представени типови средства човеко-машинен интерфейс и се отбеляза, че техният избор зависи от типа на системата за автоматизация и потребностите на потребителя. На *(⇨ Фиг. 8.7)* е представен списък от критерии, който позволява на потребителя да извърши избор на дисплей или на диалогов операторски панел, подходящ за специфичните му нужди, от продуктовия каталог. На разработчиците на човеко-машинен интерфейс за сложни системи за управление, например системи с преобразуватели на честота, сервозадвижвания и др., се предлагат готови програми за построяване на система на основата на това обзавеждане.

Икономически показатели	Готовност
	Цена
	Количество
Архитектура на системата за автоматизация	Тип (компактна, високопроизводителна, разпределена)
	Система за автоматизация (реле, PLC, специални карти)
	Връзка (тип, последователна/паралелна шина)
	Протокол (Modbus и др.)
Екран	Светодиодни индикатори
	Текст, псевдографика, графика
	Разделителна способност
	Брой на цветове
	Размери
	Разстояние за коректна видимост
	Зрителен ъгъл
Управление	Бутони
	Клавиатура (бутони, плоска клавиатура, сензорни екрани)
	Брой и разположение на клавиши
	Време на работа (възможност за въвеждане на данни, честотата)
Входно-изходни параметри	Цифров или буквено-цифров вход
	Баркод
	Тип и брой на комутационните входове
	Брой и типове на входове и изходи (аларми, принтери, мултимедия и др.)
Функции	Брой страници с приложения, аварийни сигнали и др.
	Брой на променливи в страница
	Брой на графики
	Брой на готови програми („рецепти“)
	Обем на памет
	Вграден часовник за реално време (вътрешен/външен)
	Брой и типове на входове и изходи (аварийни сигнали, принтери и др.)
	Специализиран софтуер за настройка
Околна среда	Устойчивост на удари и вибрации
	Температура
	Запрашеност
	Влажност
	Устойчивост на агресивна среда
Приложение	Механични характеристики (открит/закрит монтаж и др.)
	Възможности за настройка (цвят, лога и др.)
	Връзки (тип, позиция и др.)
	Електрическо захранване (24 V DC, 220 V AC и др.)

↑ *Фиг. 8.7* *Характеристики на средства за диалог човек-машина*

8.4 Дискретно управление и индикация

↑ Фиг. 8.8 *Външен вид на бутони от серия Harmony*

■ Бутони и лампи

□ Стандартно изпълнение

Тези устройства са приспособени към ситуации, при които операторът и машината си обменят информация в малък обем, когато информацията е ограничена с дискретни сигнали (команди за пускане и за състояние).

Те са надеждни електромеханични компоненти, ергономични и устойчиви по отношение на външни условия. Елементите могат да бъдат задействани от широка гама накрайници с кръгла или квадратна форма на главата.

Те имат стандартна цветова гама, с помощта на която лесно се идентифицират. Те са интуитивни или рефлексни устройства (например за аварийни стопове) и затова те осигуряват безопасно и надеждно управление на уредбата.

Забележка: Стандартът IEC 60204-1 регламентира цвета на контролните лампи и бутони за използване в промишлеността:

- *червен цвят: извънредно опасна ситуация, изискваща незабавно действие (налягане над безопасни стойности, излизане извън установени граници, повреда в съединители и др.);*
- *жълт цвят: аварийна непредвидена ситуация, способна да предизвика опасни последици (повишаване на налягане, изключване на защита и др.);*
- *бял цвят: указателна информация с общо предназначение (наличие на захранващо напрежение и т.н.)*
- *червен бутон: опасност - предприемат се действия за предотвратяване на опасността (аварийно спиране и др.);*
- *жълт бутон: опасност за режим, чиито параметри се отклоняват от нормите – предприемат се мерки за предотвратяване на аварийна ситуация (например възстановяване на автоматичен цикъл).*

Бутоните се използват за пускане и спиране в нормален режим на работа, а също и за спиране в авариен режим (екстремни ситуации). Те се предлагат в изпълнение ∅16, 22 и 3 mm от различни материали (стандарти NEMA) *(⇨ Фиг. 8.8)*:

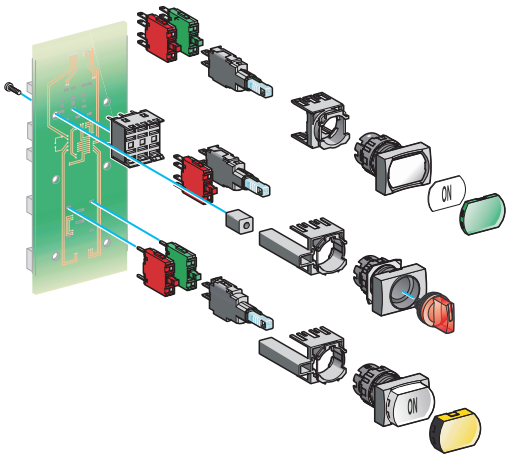
- с хромирана метална основа, за работа в тежки промишлени условия;
- пластмасови, за химическа и хранително-вкусова промишленост;
- други.

• **Работни глави**

Предлагат се широк диапазон от работни глави, които могат да се използват за управление на превключватели и бутони:

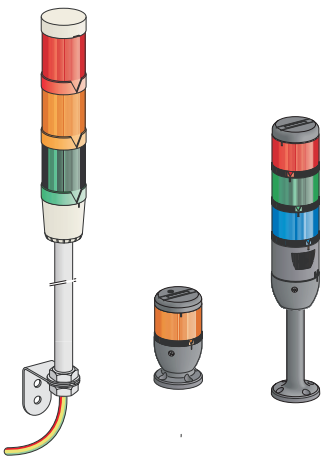
- плоска (наравно с повърхността на гривната), с ръкохватка, изпъкнала или вдлъбната;
- гъба;
- сдвоена;
- гъба със заключване;
- авариен стоп;
- прекъсвач с ръкохватка, с две устойчиви състояния, с ключ, с 2 или 3 позиции;
- с метален щифт;
- плоска (наравно с повърхността на гривната), с ръкохватка, изпъкнала или вдлъбната със сигнална лампа.

Модулното изпълнение на блоковете за управление и индикации осигуряват голяма гъвкавост при използване.
Контролните индикатори и светещите бутони са снабдени с лампи с нажежаема жичка или светодиоди. Те са елементи, на които се подават захранване и могат да бъдат снабдени с преобразувател на напрежение или вграден трансформатор.
Блоковете за управление могат да имат от 1 до 6 нормално отворени или затворени контакти, съвместими с 24 V-те входове на PLC.



↑ Фиг. 8.9 *Външен вид на бутони и контролни лампи за печатни платки*

Фиг. 8.10 *Светодиодни индикатори*



Фиг. 8.11 *Сигнални фарове и колони*

- **Якост и надеждност**

Бутоните и контролните лампи са подложени на въздействие на неблагоприятни условия на околна среда. Продължителността на експлоатация на един бутон е около 1 млн. работни операции. Бутоните са проектирани да издържат изпитвания на удар, съгласно изискванията на стандарт IEC 60947-5-5. Като пример, е необходимо да се отбележи, че съгласно стандарта, бутонът за аварийно спиране трябва да издържа 5,5 J без повреда, а бутонът от серията Harmony издържа 17 J без повреда.

Бутони и контролни лампи за печатни платки *(⇨ Фиг. 8.9)*

Предлага се отделна серия с диаметър ∅22 mm, предназначени за монтаж върху печатни платки. Блоковете за управление и блоковете за индикация се избират от стандартна гама изделия.

Електрическите блокове, използвани за тези версии, имат изходни контакти за монтаж върху печатни платки.

- **Бутонни превключватели и лампи с квадратна форма на главите**

Тези устройства се монтират през интервал 19,5 mm (3/4”) в отвори с диаметър ∅16 mm. Те се използват за създаване на компактни блокове за управление, когато са поставени ограничителни условия по отношение на габаритните размери. При това те могат да бъдат свързани с клавиатура за въвеждане на данни.

Бутонните превключватели могат да бъдат от типа чувствителни на допир. Те могат да бъдат с посребрени или позлатени контакти.

- **Светодиодни индикатори** *(⇨ Фиг. 8.10)*

Светодиоди с диаметър за монтаж (0,8 – 12) mm, се препоръчват в случаи, когато е необходимо да се икономисва пространство или при наличие на голям брой сигнални елементи и необходимост от намаляване мощността на сигналната станция.
Те имат редица предимства:
- висока устойчивост към удари, вибрации и пренапрежения;
- голям срок на служба (над 100 000 часа);
- малка консумирана мощност, което позволява да се включат директно към PLC.

Сигнални фарове и колони *(⇨ Фиг. 8.11)*

Сигналните фарове и колони са оптични или звукови индикатори, предназначени за доставяне на информация, относно състоянието на механизма или системата, разположени на значително разстояние от оператора и зрителен ъгъл до 360°.

- **Сигнални фарове**

Те имат една оптична леща или устройство за проблясваща светлина, които могат да бъдат със зелен, червен, оранжев или син цвят.

- **Светлинни колони**

Те имат различен състав и се състоят от лещи, устройства за проблясваща светлина или източници на звукови сигнали. Свързването на елементите се осъществява с помощта на канали. Електрическият контакт се осъществява веднага щом те се свържат заедно.

- **Стандарт IEC 60204-1**

Стандартът IEC 60204-1 регламентира цветовия код за изобразяване на различни съобщения.
Използваната светлинна сигнализация означава:
- червена светлина: необходимо е незабавно действие;
- жълта/оранжева светлина: отклонение от нормата (необходима е проверка и/или намеса на оператора);
- зелена светлина: нормално състояние (по избор);
- синя светлина: задължително действие (изисква вземане на решение от оператора);

↑ Фиг. 8.12 *Лостове за управление*

- бяла светлина: текущ контрол (по избор).

Мигащи светлини:
- за акцент върху специфична информации или особени съобщения;
- привличане на внимание;
- предприемане на незабавно действие;
- посочване на разлика между необходимо и фактическо положение;
- посочване на изменения в цикъл (мигащ режим по време на преходен процес).

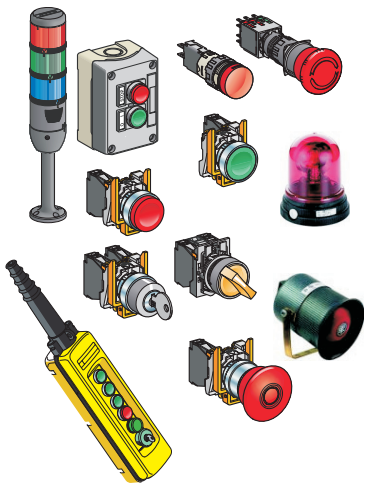
Проблясващите и сигналните въртящи се огледални фарове са мощен информационен сигнал за голям приоритет или предаване на информация на голямо разстояние в съответствие с IEC 60073.

Зумер и сирени:
- Препоръчват се при наличие на значителни смущения при предаване звук или светлина или, когато присъствието на оператора е много важно.

□ Лостове за управление *(⇨ Фиг. 8.12)*

Лостовете за управление (джойстиците) имат вградени контакти за управление на движение по една или две оси, например при преместване или вдигане/спускане.
Като правило те имат от 2 до 8 посоки на движение, с един или два контакта за посока, с преминаване през нулево положение или без такова.
Някои лостове имат контакт за безопасност в края на лоста.

8.5 Технически решения на Schneider Electric за дискретно управление и индикация



↑ Фиг. 8.13 *Общ вид на компоненти от серия Harmony*

■ Серия Harmony на Schneider Electric

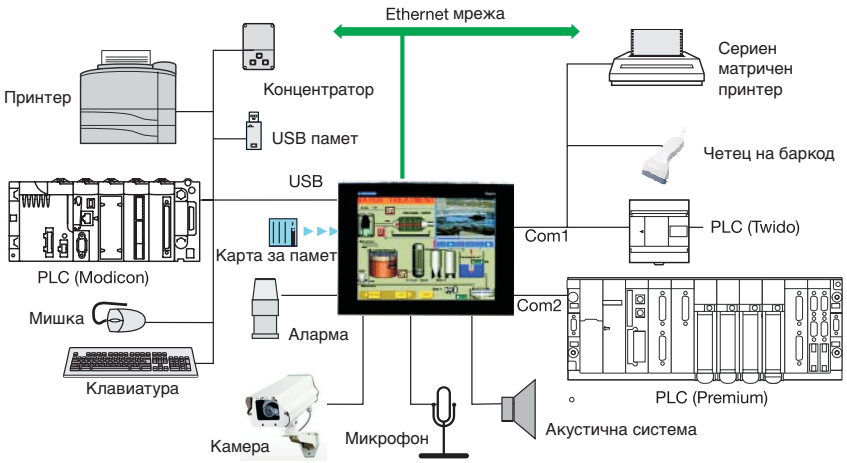
На *(⇨ Фиг. 8.13)* са показани компоненти от серията Harmony за дискретно управление и индикация. Тези изделия се отличават със следните характеристики:
- **простота:** елементите се закрепват заедно, за осигуряване на безопасен и лесен монтаж;
- **иновативност:** светодиодната технология се използва за реализиране на всички светлинни функции
- **гъвкавост:** модулна конструкция за модернизиране на продукти, използвани в система за автоматизация;
- **компактност:** малогабаритните показатели превъзхождат стандартните;
- **разнообразни вариант за свързване:** чрез клеми тип Faston 2.8 x 0.5, запояване, кабелни накрайници, винтови клеми, пружинни клеми.

8.6 Графични дисплеи и терминали

Използваните системи за управление изискват наличие на съвременен човеко-машинен интерфейс, облекчаващ работата на оператора и повишаващ производителността на труда.

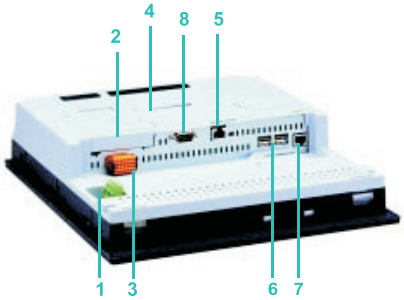
Средствата за човеко-машинен интерфейс осигуряват получаване на информация от първични преобразуватели, например за ток, температура и др. Най-сложните системи за човеко-машинен интерфейс могат да работят с видеокамери, микрофони и акустични системи, свързани към корпоративни Ethernet мрежи и да печатат отчети на отдалечени принтери *(⇨ Фиг. 8.14)*.

■ Структура на диалогов операторски панел Magelis



↑ Фиг. 8.14 *Пример за решение с терминал Magelis XBTGT*

↑ Фиг. 8.15 *Лицев панел на Magelis XBT GK*



↑ Фиг. 8.16 *Заден панел на Magelis XBT GK*

Обикновено диалоговият операторски панел се вгражда в промишлен шкаф или пулт за управление. Лицевият панел съдържа *(⇨ Фиг. 8.15)*:

1 – сензорен дисплей от типа TFT, конфигуриран с помощта на специализирания софтуер VisoDesigner;

2 – светодиоден индикатор за режима на работа (зелен, оранжев и червен);

3 – 8 динамични клавиши с трицветен светодиоден индикатор;

4 – 12 статични клавиши с трицветни светодиодни индикатори;

5 – програмно-конфигурируем конфигуратор – лост за управление (джойстик от промишлен тип);

6 – 2 буквено-цифрови клавиши;

7 – 8 специални клавиши (преместване, изтриване, потвърждаване, извикване на меню и др.).

На задния панел са разположени *(⇨ Фиг. 8.16)*:

1 - изваждаем клеморед за подаване на напрежение 24 V;

2 – картов четец за памет тип Compact Flash;

3 – клеморед за серийна връзка с повече от едно устройство (аудио сигнал, авариен сигнал и др.);

4 - допълнителен интерфейс за комуникационна карта;

5 – съединител тип RJ45 за мрежа Ethernet TCP/IP;

6 – два USB порта;

7 - съединител тип RJ45 за серийна връзка RS485 (COM2);

8 – съединител тип SUB D9, за серийна връзка с S232C-RS422/485 (COM1).

Фиг. 8.17 *Серия Magelis XBT*

Избор на диалогов операторски панел или дисплей

Видове дисплеи и панели от серията Magelis на Schneider Electric

Серията текстови панели Magelis XBT и малките сензорни панели RT осигуряват на оператора простотата и удобство на работа. Лесната настройка, с помощта на специализирания софтуер Visio Designer позволява да се оптимизира работата на системата.

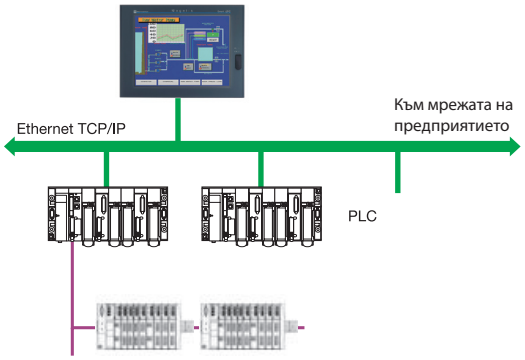
Серията графични диалогови операторски панели Magelis и тези с разширени възможности GTV позволяват създаване на приложения за визуализация с различна степен на сложност. Тези изделия притежават широки комуникационни възможности, много диалогови операторски панели имат вграден Ethernet порт. Всички диалогови операторски панели Magelis са изградени с използване на висококачествен сензорен екран или клавиатура. Предлагат се в шест размера на екраните - от 3,8″ до 15″. За разработване на приложения се използва Visio Designer. Той позволява основна настройка на интерфейса и използване на вградени мултимедийни възможности и уеб интерфейс.

На *(⇨ Фиг. 8.17* и *8.18)* са представени основните характеристики на диалогови операторски панели Magelis.

Възможности на ЧМИ	Дисплей	Текстов	Текстов	Полуграфичен	Графичен	Графичен	Графичен
Действие	Интерфейс	Клавиши	Клавиши	Клавиши и сензорен екран	Клавиши и сензорен екран	Сензорен екран	Сензорен екран
		XBT N	**XBT R**	**XBT RT**	**XBT GK**	**XBT GT**	**XBTGTW**
Екран	Технология	Задна подсветка LCD Зелен/оранжев/червен	Задна подсветка LCD Зелен/оранжев/червен	Матричен LCD Зелена подсветка	Цветен TFT LCD	Чернобял STN или цветен TFT LCD	Цветен TFT LCD
	Размер	4 to 17mm	4 to 17mm	3.9"	5.7" / 10.4"	3.8"/5.7"/7.5"/10.4"/12.1"/15"	8.4" / 15"
	Разделителна способност	от 1 до 4 реда от 5 до 20 символа	от 1 до 4 реда от 5 до 20 символа	от 2 до 10 реда от 5 до 33 символа	320x240 / 640x480	320x240 to 1024x768	800x600 / 1024x768
Въвеждане	Тип	Клавиатура	Клавиатура	Клавиатура/ Сензорен екран	Клавиатура/ Сензорен екран/мишка	Сензорен екран	Сензорен екран
	Клавиши, брой	8	20	12	44 / 55	0 / 6 on XBTGT3,8"	0
Обем на паметта	Оперативна	512Kb flash	512Kb flash	512Kb flash EPROM	16 / 32Mb flash EPROM	от 8 до 32Mb flash EPROM	Ограничено с CF на 1 Gb
	Допълнителна	-	-	-	CF card 128Mb with 1Gb	CF card 128Mb with 1Gb	CF card 128Mb with 1Gb
Функции	Брой на страници	128/200 приложения 256 аларми	128/200 приложения 256 аларми	200 приложения 256 аларми	Ограничено от паметта	Ограничено от паметта	Ограничено от паметта
	Променливи на страница, бр.	40-50	40-50	50	no limited	no limited	no limited
	Представяне на променливи	Буквено-цифрово	Буквено-цифрово	Буквено-цифрово, стълбовидни индикатори, бутони, светлини	Буквено-цифрово, стълбовидни индикатори, бутони, светлини	Буквено-цифрово, стълбовидни индикатори, бутони, LED	Буквено-цифрово, стълбовидни индикатори, бутони, LED
	Рецепти	-	-	-	32 групи по 64	32 групи по 64	32 групи по 64
	Графики	-	-	■	■	■	■
	Дневник с аларми	■	■	■	■	■	■
	Часовник	Достъп до часовник в PLC	Достъп до часовник в PLC	Достъп до часовник в PLC	■	■	■
	Цифрови входове/изходи	-	-	-	1I / 3O	1I / 3O	-
	Мултимедийни входове/изходи	-	-	-	-	1I audio , 1I Video, 1O audio	1O audio
Комуникация, съгласно модел	Протоколи за комуникация	Uni-TE, Modbus, Allen-Bradley, Omron, Mitsubishi, Siemens.	Uni-TE, Modbus, Allen-Bradley, Omron, Mitsubishi, Siemens.	Uni-TE, Modbus, Allen-Bradley, Omron, Mitsubishi, Siemens.	Uni-TE, Modbus, Modbus TCP/IP, Allen-Bradley, Omron, Mitsubishi, Siemens.	Uni-TE, Modbus, Modbus TCP/IP, Allen-Bradley, Omron, Mitsubishi, Siemens.	Uni-TE, Modbus, Modbus TCP/IP, Allen-Bradley, Omron, Mitsubishi, Siemens.
	Серийна връзка	RS232C/RS485	RS232C/RS485	RS232C/RS485	RS232C/RS422/RS4855COM1) RS485(COM2)	RS232C/RS422/RS4855COM1) RS485(COM2)	RS232C(COM1) RS232C(COM2)
	USB порт	-	-	-	1 à 2	1 à 2	4 + 1 frontal
	Полева шина	-	-	-	Modbus Plus, Fipio, Ethernet TCP/IP, Profibus DP, Device Net	Modbus Plus, Fipio, Ethernet TCP/IP, Profibus DP, Device Net	Modbus Plus , Fipio, 2 ports Ethernet TCP/IP
	Порт за принтер	RS232C	RS232C	RS232C	RS232C (COM1) , USB	RS232C (COM1) , USB	RS232C (COM1) , USB
Програмно осигуряване	Специализиран софтуер	Vijeo Designer Lite	Vijeo Designer Lite	Vijeo Designer Lite	Vijeo Designer	Vijeo Designer	Vijeo Designer
	Операционна система	Magelis	Magelis	Magelis	Magelis	Magelis	Windows XP Embededded

Фиг. 8.18 *Основни характеристики на операторсри диалогови панели Magelis, серия XBT*

8.7 Промишлени и администраторски компютри



Фиг. 8.19 *Човеко-машинен интерфейс в разпределена структура*

Фиг. 8.20 *Външен вид на индустриални компютри от серията Magelis Compact iPC*

За разлика от архитектурата, предназначена за работа с една уредба, има възможност да се изградят различни разпределени структури за човеко-машинен интерфейс. В тези структури работата с обзавеждането се осъществява чрез непосредствено използване на специализиран софтуер за планиране, организация и управление на ресурсите и бизнес процесите в предприятие (ERP) *(⇨ Фиг.8.19)*. Този тип средства човеко-машинен интерфейс изисква използването на мощни изчислителни системи. За тази цел се въвеждат промишлени компютри. Благодарение на специализираното си изпълнение те могат да работят в сложни промишлени условия, характеризиращи се с високи нива на електромагнитни смущения, тежки климатични условия и др.

Промишлените компютри се доставят с най-разпространените операционни системи от типа Windows, SCADA системи (система за диспечерски контрол и събиране на данни), за уредби с приложения или системи човеко-машинен интерфейс или за уеб – интерфейс в зависимост от потребностите на потребителя (виж *Глава 9*).

Софтуерните пакети на Schneider Electric позволяват добра интеграция с корпоративните системи за управление (база данни, системи за управление на предприятие) и системи за управление чрез използване на PLC, разработени в средата на софтуера Unity Pro за програмиране, трасиране и експлоатация за гамите контролери Modicon Premium, Atrium и Quantum.

Промишлени контролери от серията Magelis iPC

Тази серия от четири промишлени контролери допълва серията диалогови операторски панели Magelis XBT *(⇨ Фиг.8.20)*:

- Magelis Smart – компактен диалогов панел, предварително конфигуриран с Windows операционна истема;
- Magelis Compact iPC – индустриален компютър с 1 PCI слот; има същите функционални възможности като промишлените компютри Compact;
- Magelis Smart BOX, Compact PC BOX, Flex PC BOX – мощни промишлени компютри с голям набор от конфигурации и възможности за разширение; 2 или 4 PCI слота; промишлени твърди дискове 24h/24 7/7 и/или 8 или 16 GB диск; процесор Celeron M 440 с 1,86 GHz или Pentium Core Duo с 2 GHz; захранване (100 - 240) V AC или 24 V DC;
- Magelis iDisplay – отделен индустриален сензорен екран, използван със стандартен компютър и с възможност за включване на клавиатура.

В таблицата на *(⇨ Фиг.8.21)* са представени основни характеристики на индустриални компютри.

Градивни елементи	Magelis Smart	Magelis Compact iPC	Magelis Smart BOX Magelis Compact PC BOX Magelis Flex PC BOX	Magelis iDisplay
Тип на екрана	8.4" SVGA 12" SVGA 15" XGA	8.4" SVGA 12" XGA 15" XGA		15" XGA 19" SXGA
Интерфейс	Сензорен екран 1 x USB (12" и 15")	1 x USB (12" и 15")	1 x USB	Чувствителен екран и/или клавиатура 1 x USB
Четец	-	DVD + FDD	DVD (Flex PC)	-
Памет	CF 1 Gb	HDD ³ 40 Gb	CF 1 Gb (Smart BOX) HDD 60 GB или Flash диск 8 GB или 16GB (Compact PC) 1 или 2 HDD 80 GB със Raid опция или Flash диск 8 GB или 16GB (Flex PC)	-
Слотове за допълнителни карти	от 0 до 2 PCMCIA	1 PCI + 0 до 2 PCMCIA	от 1 до 4 PCI	-
Ethernet Ports	2	2	2	-
Вградени видеопортове	-	VGA(15")		VGA и DVI (Input)
Захранване	AC и DC	AC	AC и DC	AC

↑ *Фиг. 8.21* *Основни технически характеристики на индустриални компютри от серията Magelis Compact iPC*

8.8 Програмно осигуряване на средства за човеко-машинен интерфейс

За облекчаване на работата по създаване и обслужване на системи за визуализация Schneider Electric предлага специализирания софтуер Vijeo Designer Lite, Vijeo Designer и Vijeo Citect. Дадената комбинация от трите софтуера за конфигуриране на дисплеи и панели удовлетворяват разнообразните потребности на потребителите *(⇨ Фиг. 8.22)*.

	Диалогови операторски панели Magelis						Индустриални компютри Magelis		
Програмно осигуряване	XBTN	XBTR	XBTRT	XBTGK	XBTGT	XBTGTW	Smart	Compact iPC	Flex PC BOX
Vijeo Designer Lite	■	■	■						
Vijeo Designer				■	■	■	■	■	
Vijeo Citect								■	■

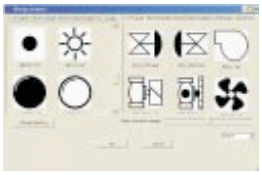
↑ *Фиг. 8.22* *Таблица за съвместимост на специализиран софтуер с диалогови операторски панели и индустриални компютри от серията Magelis*

■ Vijeo Designer Lite

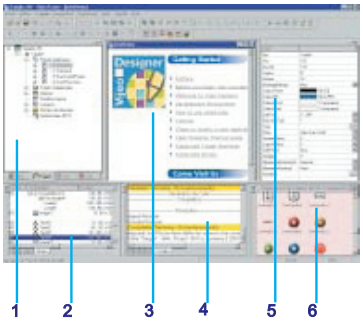
Специализираният софтуер Vijeo Designer Lite се използва за разработване на прости диалогови приложения за панелите от серията Magelis XBT N, R и RT (компактни диалогови операторски панели със сензорни екрани). Той позволява също работа с приложения, разработени с последната версия за конфигуриране на диалогови операторски панели XBT L1000.

За увеличаване производителността на труда на разработчиците и подобряване на ергономическите изисквания специализираният софтуер има потребителски интерфейс, аналогичен на Vijo Designer. Специализираният софтуер Vijeo Designer Lite позволява създава-

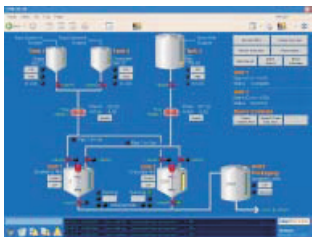
Фиг. 8.23 *Екран на Vijeo Designer Lite*



Фиг. 8.24 *Пример за библиотека с обекти*



Фиг. 8.25 *Прозорци на Vijeo Designer*



Фиг. 8.26 *Екран на система за визуализация Vijeo Citect*

не на всички типове страници (приложения, аварийни съобщения, помощ), а също управляват връзките между тях *(⇨ Фиг. 8.23)*.

Специализираният софтуер има следните функции:

- разширен набор от графични изображения за Magelis XBT/PT (стълбови индикатори, криви на трендове и др.) *(⇨ Фиг. 8.24)*;
- шрифтове: кирилица: опростен китайски, японски;
- изработване на отчети;
- симулационна процедура на персонален компютър.

Vijeo Designer

Специализираният софтуер Vijeo Designer се използва за конфигуриране на графични диалогови панели от типа Magelis XBT GT/GK и GTW и компактни диалогови панелиMagelis Smart & Compact iPC. Той също така позволява да се използват мултимедийните функции на XBTGT, XBTGTW and Magelis Smart & Compact iPC (видео и звук), а също да се организира отдалечен достъп за диалогово приложение през уеб интерфейс.

Продуктът Vijeo Designer има много мощен и удобен интерфейс, основан на използването на шест екрана *(⇨ Фиг. 8.25)*.

Системата предлага пълноценен интерфейс на средства за управление на проект:

- създаване на проекти: изграден от една или няколко части/приложения;
- редактор на „рецепти” (32 групи с 64 „рецепти“ с 1 024 променливи);
- предварително конфигурирани системни страници;
- страници на приложения (които могат да бъдат взаимосвързани);
- препращане към променливи на приложения;
- библиотека с пиктограми и символи;
- създаване на документи за визуализация;
- режим на симулиране за проверка на приложение;
- предварително конфигурирани сложни обекти: превключватели, радио бутони, индикатори, бутони, резервоари, бар графики, потенциометри, селектори, полета за текст или цифри, номерирани списъци и т .н . (над 30 готови обекта);
- режим на наслагване и скриване на екрани за повишаване ефективността на разработката;
- споделени променливи (300 променливи между 8 диалогови операторски панели);
- поддържане на 40 езика (вкл. опростен китайки, корейски, арабски и др.);
- възможност за работа със специализиран софтуер (Unity, PL7, Concept, Twido-Soft, ProWORX, ModSoft);
- разширени възможности за обработка (по събитие, време и заявка);
- възможност за запазване на проекта в диалоговия операторски панел, за удобство при обслужване;
- удобно средство за отчитане на данни;
- поддържане на стандартни USB карти памет до 2 Gb;
- поддържане на външни клавиатури и мишки с USB интерфейс;
- поддържане на стандартни средства за обзавеждане на Schneider Electric (диалогов буфер, средства за разглеждане през уеб и др.);

Vijeo Designer съдържа следните прозорци:

1 - Търсачка;

2 - Списък на обекти;

3 - Рецепти;

4 - Отчет;

5 - Свойства на обекта;

6 - Библиотека на анимирани графични обекти и Образни обекти.

Чрез използване на съвременни информационни технологии програмното осигуряване Vijeo Designer позволява:

- създаване на скриптове на програмни език Java, което увеличава възможностите на разработената система за визуализиация;
- поддържане на графичните формати jpeg, bmp, png, txt, wav;
- обработка на аварийни съобщения;
- действия с вграден FTP сървър;
- инсталиране на приложения през сериен порт или Ethernet;
- действия, отнасящи се до определено събитие;
- преминаване в режим WEB Gate;
- отдалечен достъп към приложения за визуализация през интернет чрез използване на програма за навигация по интернет (например Internet Explorer);
- отдалечено обслужване на приложение към допълнение на режима WEB Gate. Vijeo Designer предоставя възможност за използване на вграден web сървър клас B15 (виж *Глава Промишлени мрежи*);
- работа с мениджъра на данни – това средство опростява препращането на данни;
- поддържане на протоколи от различни прозводители Mitsubishi Melsec, Omron Syamac и серийна връзка, Rockwel automation, Siemens Simatic, Profibus DP.

■ Vijeo Citect,

Това програмно осигуряване позволява на системните инженери, инженерите по автоматизация и системните интегратори да разработват SCADA-приложение за своята система за управление *(⇨ Фиг. 8.26)*. Възможностите на системата Vijeo Citect позволява използване в различни области:

- енергетика и инфраструктура;
- летища, управление на тунели и пътища;
- обработка на вода;
- хранителна промишленост;
- минна промишленост;
- металургия.

За увеличаване на производителността при обработка на приложения за визуализация Vijeo Citect позволява да се използват мощни многопроцесорни компютри и разпределение на обработката на различни сървъри на системата. Даденият продукт има мощно средство „търси и замени“.

Vijeo Citect ссъдържа интерфейс на основата Web XML - технология за достъп към всички кмпонентни на продукти, съществено облекчаващ интеграцията на това приложение в информационната система.

-Опростена разработка на системата за визуализация

По време на разработка на системата за визуализация има възможност да се работи със средството speedlink, което позволява да се намират променливите от приложението, разработено в системата

за програмиране на контролери Unity Pro, създавайки необходимите сигнали за трендове и аварийни съобщения. Освен това, Vijeo Citect е съвместим с Unity Application Generator.

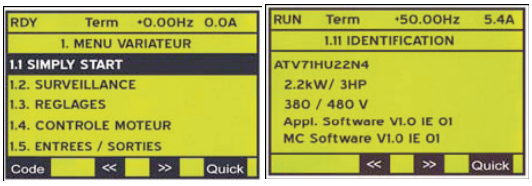
- Подобрена система за безопасност

Система за безопасност Vijeo Citect позволява да се настрои режимът за достъп само четене, за различни компонентни от приложението. Такава система може да работи на основата на привилегии, зададени за потребители на операционната система, или на основата на група потребители, създадени в рамките на проекта.

8.9 Диалогови средства, вградени в продуктите

Фиг. 8.27 *Външен вид на преобразувателя на честотата ATV71 и на пускателя TeSys с диалогов графичен панел*

Фиг. 8.28 *Лицев панел и екран на Altivar*



Фиг. 8.29 *Примери за съобщение от ATV71*

Много продукти, например честотни преобразуватели, интелигентни първични преобразуватели, устройства за пускане и управление на двигатели TeSys U и др. имат вградени диалогови средства за реализиране на човеко-машинен интерфейс *(⇨ Фиг. 8.27)*. Тези елементи позволяват извършването на настройка на технологичното обзавеждане и получаване на диагностична информация по време на експлоатация.

Като пример се разглежда графичен диалогов панел за преобразувател на честотата ATV 71 *(⇨ Фиг. 8.27)*.

■ Графичен диалогов панел за преобразувател на честотата ATV71

□ Основни характеристики:

- графичен дисплей;
- текстово представяне на 6 езика (китайски, английски, френски, немски, италиански и испански) с възможност да се разшири и за други езици, включително руски в специално изпълнение;
- навигационен клавиш за лесно разглеждане на менюта - менюто „Simply start“ за бързо пускане на двигателя, както и за привеждането му в оптимален режим;
- функционални бутони, подаващи кратки команди за директен достъп и за отваряне на помощно on-line меню или за управление на приложения;
- постоянно показване на работните параметри на двигателя;
- ясно извеждане на текст до 8 реда и графични изображения *(⇨ Фиг. 8.29)*;
- четимост до 5 m;
- гъвкавост чрез използване на две възможности: на вратата на шкаф със степен на защита IP54 или IP65 и за връзка към няколко регулатора;
- запаметяване на 4 конфигурации за обмен на данни с други регулатори;
- опростено използване на функционалните бутони за подаване на кратки команди за директен достъп, за отваряне на помощно on-line меню, за извеждане на максималните и минималните стойности на параметрите;
- ергономичен навигационен бутон: управление с един пръст, лесно разглеждане на менюта, бързо “сърфиране” с падащо меню;
- потребителски настройки на параметри, разглеждане на екрани, ред за мониторинг, създаване на потребителско меню и др.;
- защита на параметри, регулиране контраста на дисплея, защита с парола за опростяване и пълна защита достъпа до конфигураци-

онните настройки.

Много макро-конфигурации вече са интегрирани в ATV 71. Те са проектирани за широка гама от приложения: за конвейерни и подемни машини, за общо приложение, за връзка с мрежи за комуникация, за PID регулиране, главни/спомагателни (master/slave) устройства.

Програмното осигуряване PowerSuite е създадено за опростяване настройката на преобразувателя на честота *(⇨ Фиг. 8.30)*.

Това програмно осигуряване може да работи с персонални и джобни компютри, които се свързват по сериен порт с ATV 71.

Софтуерният продукт притежава следните възможности:

1 - конфигуриране на преобразувателите на честотата, устройствата за пускане на двигатели (ATV, ATS, TeSys U)

2 - запазване на конфигурацията в персонален компютър;

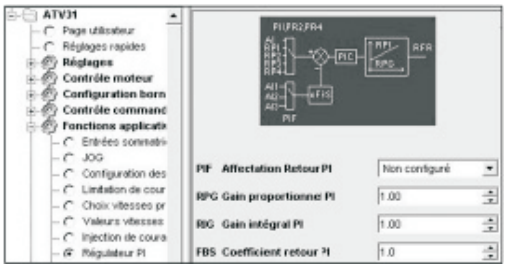
3 - пренасяне на информацията;

4 - настройка на изделието;

5 - наблюдаване на параметри, в това число и във вид на осцилограми;

6 - изобразяване параметрите на комуникация;

7 - управление на честотния преобразувател.



↑ *Фиг. 8.30* *Екран за задаване параметри на PI-регулатор, чрез софтуерния продукт Power Suite*

8.10 Изводи

Човеко-машинният интерфейс е система за автоматизация, която получи много голямо развитие през последните няколко години.

При правилен избор на интерфейса и неговата конфигурация, потребителите могат да контролират технологичните процеси с голяма точност и да извършват диагностика и профилактично техническо обслужване. Така се осигурява висока производителност на обзавеждането и намаляване на времето за обслужване и ремонт.

9

Индустриални мрежи

- Технически потребности
- Мрежови елементи
- Промишлени информационни технологии
- Техническа политика на Schneider Electric

9.1 Увод 224

9.2 История 224

9.3 Пазарни изисквания и решения 226

9.4 Мрежови технологии 228

9.5 Мрежи, използвани от Schneider Electric 230

9.6 Ethernet TCP/IP 231

9.7 Web услуги и концепция Transparent Ready 234

9.8 Промишлена шина CANopen 242

9.9 Съвместна работа на Ethernet и CANopen 250

9.10 Промишлена шина AS-interface (AS-i) 250

9.11 Заключение 257

9. Индустриални мрежи

9.1 Увод
9.2 История

Разглеждат се електрически мрежи, необходими за функциониране на системите за автоматизация в предприятие. Обикновено се разглеждат две категории такива мрежи:

- ***Силови електрически разпределителни мрежи**, които свързват захранващите източници и товарите. В този раздел те не се обсъждат, но се препоръчва на читателя да се запознае с разделите за Захранващи източници и Регулируеми електрозадвижвания;*
- ***Слаботокови мрежи**, които обхващат диалога с оператора, устройствата за обработка на информация и управление с технологичната среда.*

9.1 Увод

Елементите в електрическите уредби се свързват с проводници. Международният стандарт IEC 60204-1 и националните стандарти регламентират ясно условията за техните сечения, качеството на изолационния материал и цветовата гама. За много от посочените връзки се използват гъвкави проводници със сечение (1.5 - 2.5) mm^2 (AWG 16 и 14), защитени в двата си края.

В миналото тези решения удовлетворяват всички технически изисквания по предаване на дискретни и аналогови сигнали за сервоконтрол, но през последните години, в редица случаи, възниква необходимост от използване на екранирани кабели за защита срещу електромагнитни смущения.

Под влияние на информационните технологии и стандартите, използвани в автомобилната промишленост, навлизането на цифрови технологии в други производствени сфери оказа силно въздействие върху проектирането и конструирането на електрически уредби.

Преносът на цифрови данни изисква употребата на съединители (конектори) и предварително изработени кабелни връзки. Това облекчава изграждането на електрически уредби, намалява грешките при свързване на проводници и опростява техническото обслужване.

Тъй като стандартните информационни технологии са широко разпространени в тази глава се разглеждат комуникационните мрежи, използвани в индустрията.

9.2 История

През 1968 г. компанията Modicon разработва концепция на програмируем логически контролер – устройство, отговарящо на голям брой технически изисквания, възникващи при управление на технологични процеси и притежаващо малки масогабаритни показатели. Програмируемият логически контролер PLC (в текста по-нататък се използва само думата контролер) е устройство, аналогично на компютър, използвано при автоматизация на технологичен процес, например управление на електрообзавеждане към монтажна линия в завод. Вместо старите системи за автоматизация, изградени на основата на стотици хиляди релета и командо-контролери, се използва само един контролер. Той се състои от централно устройство за управление (CPU), захранващ източник (постоянно- или променливотоков) и модули в съответствие с техническите изисквания на решаваната задача. Например: :

- аналогови и/или цифрови входно-изходни платки;
- входни платки за свързване с първични преобразуватели, бутони и др.;
- изходни платки, за свързване с изпълнителни механизми, светлинна индикация, вентили и др.;
- комуникационни модули;

- дистанционни входове-изходи;
- специализирани, т.нар. „експертни“ модули, например високоскоростни броячи, модули за измерване на маса и др.;
- модули за управление преместване работните органи на металообработващи машини.

Контролерите работят в определен цикъл: първичните преобразователи подават информация на всички входове, след това данните се копират в памет, обработват се със съответната програма и се подават към изходите.

Времето на цикъла зависи от размерите на програмата, сложността на обработка и мощността на CPU. То обикновено е от порядъка на няколко десетки ms и е ограничено от вграден защитен механизъм, наричан „стражев таймер“. Контролерът се отличава от компютъра с по-високата си надеждност и по-лесното техническо обслужване. Модулите на контролера лесно се подменят и той много бързо възстановява своята работа.

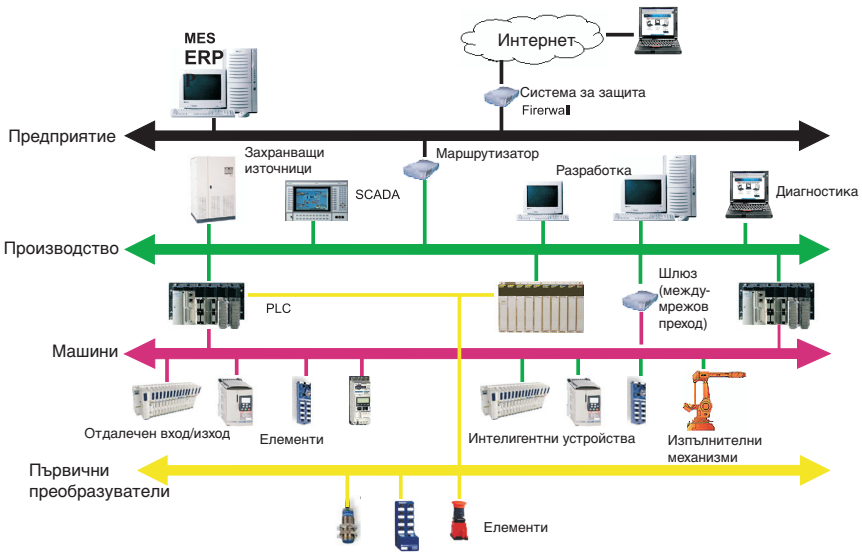
Високата гъвкавост при използване на контролера дава много предимства от всеки един етап от жизнения цикъл на технологичното обзавеждане.

Комуникационните мрежи се появяват постепенно, отначало като шини за последователен (сериен) обмен на информация. Преносът на данни е формализиран във вид на протокол, т.нар. Modbus (1979 г., съкратено от MODicon BUS). Този протокол за кратко време се превръща в стандарт за обмен на данни в индустрията.

През последните години много широко се разпространяват полеви шини (⇨ Фиг. 9.1). Те са в основата на архитектурата на система за автоматизация на технологични процеси. Полевите шини са мощно средство за обмен на информация, мониторинг и диагностициране на включените към тях устройства.

Полевите шини постепенно предизвикват преоценка на системата за автоматизация на технологичните процеси:

- отпадане на необходимостта от традиционното проводниково включване на отдалечени устройства към входа и изхода;
- използване на разсредоточени входно-изходни интерфейси;
- изграждане на децентрализирана и разпределена система за управление;
- връзка с интернет.



↑ Фиг. 9.1 *Пример за нива в архитектура на система за управление*

9. Индустриални мрежи

9.2 История
9.3 Пазарни изисквания и решения

През 1970 г. се предлага протоколът Xerox PARC Ethernet - образува се от думите ether (ефир) и network (мрежа), който след години се превръща в международен стандарт на всяко компютъризирано обзавеждане. Отначало той е използван за обмен на файлове, съобщения и предаване на уеб страници. Разпространението на информационните технологии във всички области на индустрията в края на 1990 г. поставя проблема за обща комуникация в индустрията.
World Wide Web (мрежа от взаимно свързани хипертекстови документи, наричани уеб страници) е предложена от Европейския институт за ядрени изследвания (CERN, Женева) през 1989 г. отначало за обмен на информация между работни групи, намиращи в различни страни. Системата WWW осигурява съвместно използване на документи (уеб страници) и справки с помощта на прост протокол HTTP, използващ програма за разглеждане (browser), за достъп към уеб страниците на сървъра. Тези страници са написани на езика HTML, XML или подобни на тях. През 1994 г. е създаден консорциумът WWW (W3C) за управление на техническото развитие на мрежите (виж сайта http://www.w3.org).
През 1996 г. компанията Schneider Electric започва да развива промишления Ethernet за обединяване на бизнес системи и технологични системи с помощта на PLC . Тя разработи концепцията Transparent Ready, основана на допълване на съществуващите стандартни елементи Ethernet с промишлен инструментариум и специални протоколи, включващи Modbus.

(1) В случая, ако трябва да се подчертае разликата между термините „мрежа“ и „шина“, се приема, че в мрежата всички устройства са равнопоставени и всяко от тях може да осъществява обмен на данни, а в шината има един водещ възел/устройство (мастер, арбитър и т.н), който организира преноса на данни, а останалите устройства се явяват подчинени (слейв).

(2) Използваният в практиката термин „бизнес система“ съответства на остарелия термин АСУП (автоматизирана система за управление на предприятие), а технологична система – на АСУТП (автоматизирана система за управление на технологични процеси). Препоръчва се да се използва и справката за термини в т.10.6. В съответствие с посочената терминология задачите, които се решаваха с АСУП и АСУТП се реализират в момента чрез системите ERP – MES – SCADA.

9.3 Пазарни изисквания и решения

В практиката, с отчитане изискванията на потребителите, на технологичните възможности и на изискванията на стандартите, се отделят четири нива в архитектурата на системите за управление. Те са обединени от промишлени мрежи както в границите на всяко ниво, така и между отделните нива *(⇨ Фиг. 9.1)*.

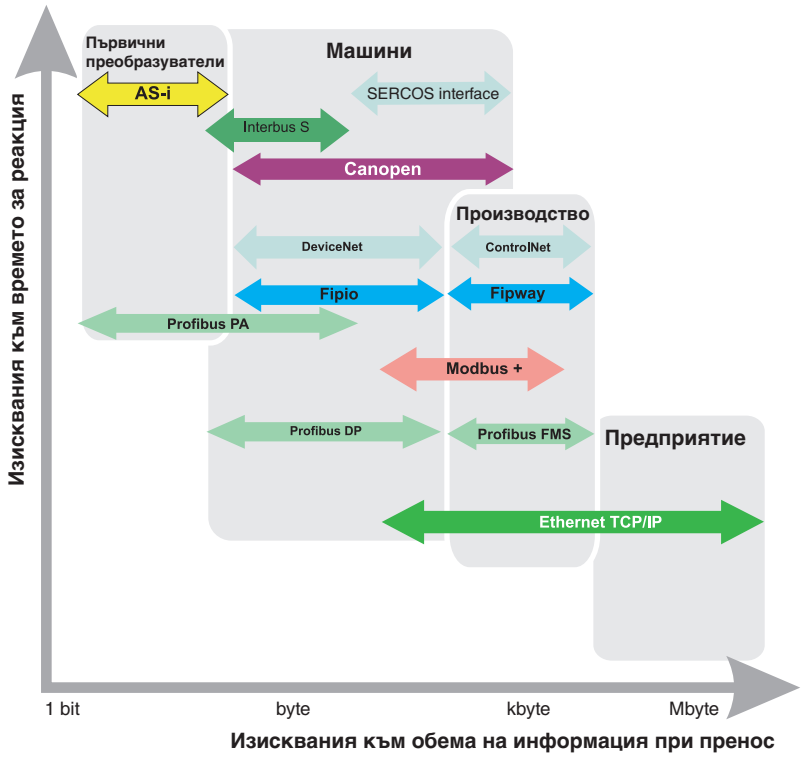
Преди да се разгледат комуникационните мрежи е необходимо да се определят комутационните изисквания на всяко разглеждано ниво. Характеристиките, посочени в таблицата на *(⇨ Фиг. 9.2)*. са разгледани много подробно в следващите параграфи.

Може да се приеме, че основните характеристики на изискванията в тази таблица са:
- обмен на информация при предаване;
- необходимо време за реакция.

Този подход позволява да се позиционират основните мрежи, както е показно на *(⇨ Фиг. 9.3)*.

Ниво	Изисквания	Обем на данни за препредаване	Време за реакция	Разстояние	Топология на мрежата	Брой адреси	Физическа среда за предаване на информация
Предприятие	Обмен на данни Компютърна безопасност Стандарти за предаване на програмни пакети	Файлове, Mbit	1 min	Без ограничение	Шина, звезда,	Неограничен	Електрически проводници, оптични влакна, радио
Производство	Синхронизация на PLC при предаване на данни в границите на локална система в режим „клиент-сървър“ със средства за управление (HMI, SCADA) Режим реално време	Данни, kbit	(50-500) ms	(20 - 40) km	Шина, звезда	10 - 100	Електрически проводници, оптични влакна, радио
Машини	Разпределена архитектура. Интегрирани функции и обмен. Прозрачност. Топология и разходи за включване	Данни, kbit	(5-100) ms (Цикъл на контролера)	10 m до 1 km	Шина, звезда	10 - 100	Електрически проводници, оптични влакна, радио
Първични преобразуватели	Опростено включване на захранващите източници към първичните преобразуватели и изпълнителните устройства. Оптимизирани разходи за монтаж	Данни, bit		(1-100) m	Без ограничения	10 - 50	Електрически проводници, радио

Фиг. 9.2 Комуникационни изисквания и ограничения



Фиг. 9.3 Основни промишлени мрежи

9.4 Мрежови технологии

По-долу са описани накратко принципите, използвани в основата на мрежови технологии.

■ Топология на мрежа

Промишлените мрежи са изградени от програмируеми логически контролери (ПЛК или PLC), диалогови панели за работа с оператора (човеко-машинен интерфейс HMI), компютри и входно-изходни устройства, всички свързани с помощта на електрически кабели, на оптични влакна, на радиовръзка, а също и спомагателни комутационни устройства, например мрежови карти и шлюзове. Физическата топология на мрежата е топологията на техническите средства или мрежовата архитектура.

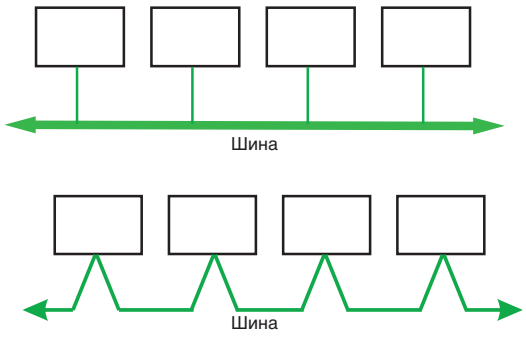
За процеса предаване на информация и обмен между възлите се използва понякога термина **програмна топология**.
Различават се следните видове топологии:

- шинна;
- звездообразна;
- дървовидна
- кръгова;
- клетъчна;
- интегрирана.

• Шинна топология

Това е най-простата топология. Всички елементи са свързани заедно с един и същи кабел. Тази топология се реализира лесно. Излизането от строя на един възел или елемент не прекратява работоспособността на останалите устройства. Мрежите на нива машини и първични преобразуватели, известни още като полеви шини, също използват тази технология.

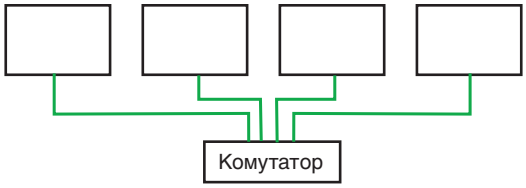
Шинната топология се реализира чрез включване през съединителни кутии към основния кабел (TAP) или чрез верижно свързване на устройствата *(⇨ Фиг. 9.4)*.



↑ *Фиг. 9.4* *Шинна топология*

• Звездообразна топология

Това е топологията Ethernet, която се използва най-често на нива предприятие и производствен процес *(⇨ Фиг. 9.5)*. Нейното предимство се изрязва в голяма гъвкавост при модернизация и при отстраняване на неизправности. Крайните станции се свързват чрез междинни устройства (повторители, концентратори, комутатори). Излизането от строя на един възел не оказва влияние върху работата на останала част от мрежата. Но, междинните устройства, свързващи възлите са звена, особено чувствителни към неизправности.

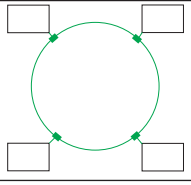
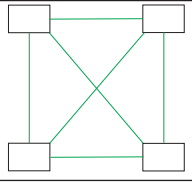


↑ *Фиг. 9.5* *Звездообразна топология*

• Други топологии *(⇨ Фиг. 9.6)*

- **Кръговата топология** използва същите апаратни средства както звездообразната, но осигурява по-висока степен на готовност на системата.
- **Клетъчната технология** не е получила широко разпространение в индустрията и нейният недостатък е големия брой връзки.

■ Протокол

Кръгова топология	Клетъчна топология
	

↑ *Фиг. 9.6* *Други топологии*

Протоколът за връзка определя комплекса от правила за даден тип комуникация. Първоначално думата “протокол” се използва за описване процеса на взаимодействие между различните устройства на едно разглеждано ниво. Сега този термин обхваща правилата на взаимодействие между няколко нива в една система.

Моделът OSI (Open System Interconnection – модел на взаимодействие на открити системи) е регламентиран от ISO чрез публикуване на стандарт ISO 7498 (БДС ISO/IEC 7498-1), който дефинира информационни технологии, взаимосвързване на отворени системи и основен еталонен модел. В този модел съвкупността от мрежови протоколи е разделена на седем части, наричани нива OSI и номерирани с цифрите от 1 до 7. Нивата OSI използват следните принципи:

- всяко ниво трябва да изпълнява точно определени функции, независимо от останалите нива;
- всяко ниво предоставя обслужване на ниво, разположено непосредствено над него;
- ниво 7 осигурява обслужване на потребителя или приложение;
- на всяко ниво, освен ниво 1, е необходимо обслужващо ниво, разположено непосредствено под него;
- ниво 1 описва канала за връзка.

При сесия, потребителят на мрежата извиква обслужвания на ниво 7 чрез програмата. Това ниво формира данни, предадени му от програмата, съгласно протокола и ги изпраща на предидущото (долулежащото), когато се появи заявка за обслужване. Всяко ниво изменя формата на данните и добавя служебна информация, съответстваща на използвания протокол. Окончателно тези данни се изпращат в канала за връзка и достигат до друг мрежов възел. Те отново преминават през всички нива на възела и се доставят от приемащата програма, филтрирани от служебната информация на протоколите.

Моделът OSI 7е реализиран от няколко разработчици *(⇨ Фиг. 9.7)*. Но той никога не е имал търговски успех на пазара, тъй като се е наложил модела с 4 нива TCP/IP. Последният е по-лесен за разбиране и използване, и вече реализиран в много области. Но моделът OSI 7 теоретически има някои предимства независимо, че моделът TCP/IP няма ясни еквиваленти на модела OSI. Тези нива са описани в частта, разглеждаща Ethernet.

N°	OSI ниво	Функции	Примери
7	**Приложно**	Осигурява достъп на приложните процеси (програми) до мрежата, изпраща заявка към нивото за представяне на данни.	HTTP, SMTP,POP3, FTP, Modbus.
6	**Представително**	Определя използвания формат за обмен на данни, отговаря за конвертирането на протоколите, преобразуването на данните и тяхното кодиране, управлява компресирането и криптирането на данните.	HTML, XML.
5	**Сесийно**	Синхронизира единиците на предаване – съобщения, управлява взаимодействието и достъпа до мрежата и правата за опериране в нея, обработва приоритетите и прекъсванията.	ISO8327, RPC, Netbios.
4	**Транспортно**	Управлява трафика на данни в мрежата и неговото качество при предаване на данни, открива загубени или дублирани съобщения.	TCP, UDP, RTP, SPX, ATP.
3	**Мрежово**	Осигурява конфигурирането на мрежата, определя маршрута от изпращащия до получаващия компютър, според конкретните условия в мрежата, управлява потока от предавани данни и уплътнява каналите за предаване на данни.	IP, ICMP, IPX, WDS.
2	**Канално**	Организира синхронизация на канала за данни, открива и изправя грешки, получени във физическия слой, очаква потвърждение за изпратения кадър и при необходимост ги предава повторно.	ARCnet, PPP, Ethernet, Token ring.
1	**Физическо**	Свързва оптичните, електрическите, механичните и функционалните интерфейси с кабела, пренася сигналите, носещи данни, генерирани от по-горните нива, дефинира връзката на кабела с мрежовата карта, дефинира кодирането на данните и тяхната синхронизация.	CSMA, RS-232, 10 Base-T, ADSL

↑ Фиг. 9.7 Нива и функции на OSI модела

■ Единица за информация (Frame)

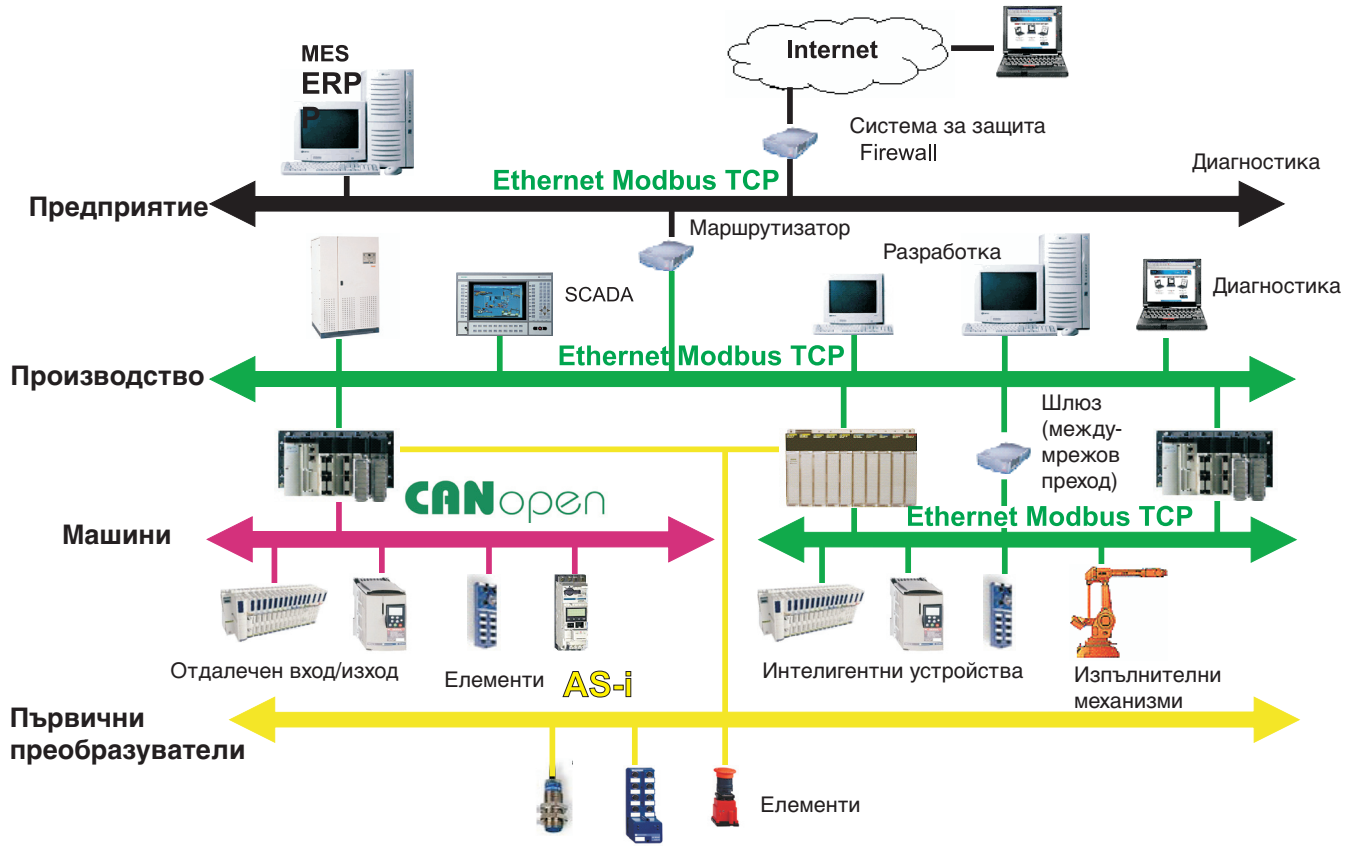
Единицата за информация (Frame) е набор от данни, предавани по мрежа в един блок *(⇨ Фиг. 9.8)* . Тя се нарича още кадър. Всеки кадър има еднакъв формат и включва в себе си управляваща информация, сред която символи за синхронизация, адрес на работни станции, контролна сума за определяне на грешки (CRC) и др.

Встъпление (Преамбюл)	Ограничител	Адрес на насочване	Адрес на източника	Дължина	Данни	Контролна сума

↑ Фиг. 9.8 Структура на единица за информация (Frame)

9.5 Мрежи, използвани от Schneider Electric

За да се предложат рационални решения, отговарящи на всички изисквания, компанията Schneider electric предлага три типа комуникационни мрежи, за реализация на препоръчваните системи за автоматизация, описани в началото на този документ *(⇨ Фиг. 9.9)*.



↑ Фиг. 9.9 Комуникационни нива, използвани от Schneider Electric

■ Ethernet Modbus TCP

Използването на Интернет и широкото разпространение на Ethernet в бизнес системите на предприятията го превръщат в много голяма степен като задължителен стандарт за комуникация. Той помага да се намалят разходите за включване и да се повиши производителността и надеждността, разширява функционалните възможности. Неговата скорост не забавя работата на приложенията, а архитектурата позволява лесно да се извърши модернизация: изделията и програмното осигуряване са съвместими, което позволява бързо да

се добавят нови функции към системите. Използването на протокола Modbus в индустрията осигурява ниска стойност на предлаганото решение и лесно адаптиране на приложно ниво.

CANopen

Това е промишлена версия и надстройка на шината CAN (Controller Area Network), разработена за автомобилния сектор. Тази мрежа е доказала своята гъвкавост и надеждност в продължение на повече от 10 г. чрез широко използване в автомобили, влакове, лифтове, медицинско обзавеждане и много други производства. Изборът на тази технология е свързан с нейното широко разпространение.

AS-Interface

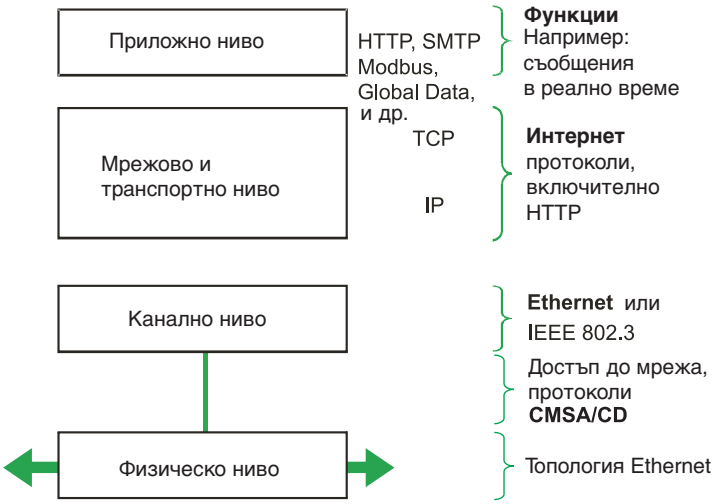
В съвременните машини и агрегати се използват много изпълнителни механизми и първични преобразуватели. Началните букви A и S, съответно на actuator (изпълнителен механизъм) и sensor (първичен преобразувател), са използвани за име на протокола. Машините също така трябва да удовлетворяват изискванията за безопасност. AS-Interface определя протокола на мрежата за ниво първични преобразуватели и изпълнителни механизми, който отговаря на изискванията на промишлената автоматизация. Негово предимство е захранването с електроенергия и предаването на данни с един кабел, което осигурява лесни и бързи връзки.

9.6 Ethernet TCP/IP

Общо описание

Ethernet работи на принципа на достъп до среда, основан на механизма за откриване на конфликти (кулизии) при предаване на информация. Всяка работна станция (възел) от мрежата се идентифицира с уникален код или MAC адрес. При работа се изисква всеки компютър в Ethernet мрежата да има различен адрес. Тази технология, известна още под името Collision Detection (CSMA/CD – многократен достъп с контрол на носеща и открита кулизия) гарантира, че в даден момент от време само една станция може да изпълни предаване.

Успешното развитие на Ethernet предизвика появата на стандарта IEEE 802.3 (виж www.ieee.org) , който определя характеристиките на физическите нива. По принцип достъпа до мрежата и формата на кадъра от данни трябва да бъдат определени на следващите нива. Тъй като тези термини често водят до затруднения те, като и вече въведените термини на протоколи са представени на *(⇨ Фиг. 9.10)* и се разглеждат в следващите параграфи.



↑ *Фиг. 9.10* *Протоколи Ethernet*

Ethernet се използва от много години в промишлеността, но не е бил широко разпространен. Доставчиците на обзавеждане и потребителите го разглеждат като недетерминиран протокол. Тяхната потребност от управление в реално време ги застави да отдават своите предпочитания към собствени мрежи и протоколи, разработени от отделни фирми за промишлено използване. Само комбинацията от промишлени протоколи и Ethernet протоколи ги застави да използват Ethernet в промишлеността.

Физическо ниво

Физическото ниво описва физическите характеристики за комуникация, като тип на използвана среда (електрически кабели и оптични влакна или радиовръзка) и всички свързани с нея особености, като типове кодиране и модулация, синхронизация и допустими разстояния, типове съединители и др.

Канално ниво

Каналното ниво изпълнява управлението на достъпа до средата и метода за предаване на пакета данни на физическото ниво, в частност структурата на кадъра (т.е. специфична последователност от битове за начало и край на информационните пакети). Например, горната част на Ethernet кадрите съдържа поле, показващо към кой възел от мрежата е насочен пакета от данни.

Мрежово ниво

С първоначалното определение на термина „мрежово ниво“ се дефинира проблема за предаване на пакет от данни в отделна мрежа. Допълнителните функции към това определение са добавени, когато се създава връзка между мрежите, в частност предаване на данни от мрежата на източника към друга мрежа. Това означава, че за предаване на информационните пакети трябва да се посочи маршрута в мрежата от мрежи и именно за означаване на този термин се появява названието Интернет.

В системата интернет протоколи, интернет протоколът за мрежово ниво (IP – Internet Protocol) предава информационните пакети от източника към приемащия възел, намиращ се в произволна точка на света. IP-маршрутизацията става възможна в резултат на въвеждането на принципа IP-адресация, съгласно който всеки IP адрес трябва да бъде уникален. Всяка станция има свой IP адрес. Протоколът IP също обединява други протоколи, например ICMP, използван за предаване на съобщения на грешки и IGMP, който управлява предаване на данни към много потребители. ICMP и IGMP са разположени над IP, но имат функции на мрежово ниво. По такъв начин моделите Internet и OSI се оказват несъвместими.

Мрежовото ниво IP може да предава данни за много протоколи на по-високо ниво.

Транспортно ниво

Протоколите транспортно ниво позволяват да се решат такива проблеми като надеждност на обмена на данни („Получени ли са данните от съответния възел?“, автоматична адаптация към пропускателната способност на мрежата и управление на потока от данни). Те също гарантират, че данните се доставят в правилна последователност. В протоколите TCP/IP транспортните протоколи определят какво е приложението на всеки доставен пакет от данни. На това ниво се използват протоколи TCP и UDP.

TCP е транспортен протокол, организиращ взаимодействието между два възела. Той формира надежден поток от битове, гарантирайки цялост и подреденост на доставените данни, осигурявайки повторно предаване в случай на загуба или унищожаване на данните. Той също

следи данните с най-висок приоритет да се обработват в случаен порядък (дори и технически, ако те не излизат от лентата за пропускане). TCP се стараят да доставят коректно всички данни в правилен ред – това е негова основна цел и предимство пред UDP. Тази особеност може да бъде обаче недостатък за използване на обмена в реално време с големи загуби на мрежово ниво. UDP е прост, ненадежден протокол и не зависи от свързването на двойка възли.

Но това не означава, че той е действително ненадежден. Той просто не проверява дали пакетите са достигнали до предназначения възел и не гарантира правилния порядък. Ако за приложението са необходими такива гаранции то трябва само да проверява това или да използва TCP. UDP обикновено се използва за приложения за управление на данни към много потребители, например Global Data или мултимедийни приложения (аудио, видео и др. в реално време), където е недостатъчно времето за управление за повторно предаване и сортировка и предаване на пакет с помощта на TCP. Има още една причина за използване на UDP- това са приложения, основани на простия механизъм въпрос-отговор от типа Simple Network Management Protocol (SNMP), където високите разходи за надеждност на връзката са неадекватни на решаваната задача.

TCP и UDP се използват в много приложения. Инструкциите в протоколите TCP и UDP използват различни номера на портовете. Modbus TCP използва инструкциите на TCP. UDP може да бъде използван за включване на Factorycast (уеб сървъри, вградени „при източника“ в контролера).

■ Приложно ниво

По-голяма част от функциите на мрежовите приложения се реализират на приложно ниво. Те включват протоколите HTTP (World Wide Web - световна мрежа), FTP (прехвърляне на файлове), SMTP (обмен на съобщения по електронна поща), SSH (защитен отдалечен достъп), DNS (задаване на имена и IP адреси) и др.
Програмите на приложно ниво работят под TCP или UDP и обикновено са свързани с използването на т.нар. порт – входна точка.
Примери за използване на портове по подразбиране:
- HTTP – порт TCP 80 или 8080;
- Modbus – порт 502;
- SMPT – порт 25;
- FTP – порт 20/21.

Дадените портове са посочени от Администрацията на адресното пространство Интернет (IANA – Internet Assigned Numbers Authority).

□ Протокол HTTP (Hyper Text Transfer Protocol – протокол за предаване на хипертекстови файлове)

Този протокол се използва за предаване на уеб страници между сървъра и браузъра. Той се използва в мрежата от 1990 г.

Уеб сървърите, които са интегрирани в устройства, вградени в съответствие с концепцията Transparent Ready, осигуряват достъп до устройства до коя да е точка от земното кълбо с помощта на браузер от типа Internet Explorer или друг подобен.

□ Протокол BOOTP/DHCP

Протоколът служи за автоматично задаване на IP адреси на различни устройства. Така се изключва необходимостта от ръчно управление на адресацията на всяко устройство. Вместо това управлението се осъществява чрез специален сървър за IP адресация.
Протоколът DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol – протокол за динамична конфигурация на крайно устройство) се използва за автоматично присвояване на конфигурационни параметри на крайното устройство. DHCP е разширение на BOOTP. Протоколът OOTP/DHCP задава работа на компонента:

- сървър, предоставящ IP адрес;
- клиент, който търси IP адрес.

Устройствата на Schneider Electric могат да бъдат:

- BOOTP/DHCP клиенти, които автоматично получават IP адреси от сървъра;
- BOOTP/DHCP сървъри, които позволяват разпределяне на IP адреси към мрежови станции.

Стандартните BOOTP/DHCP протоколи се използват за осигуряване обслужването при подмяна на неизправни устройства FDR (Faulty Device Replacement)

Протокол FTP (File Transfer Protocol)

Той осигурява базаови функции за предаване на файлове. В много системи протоколът FTP се използва за обмен на файлове между устройства.

Протокол TFTP (Trivial File Transfer Protocol)

Този протокол опростява предаването на файлове и натоварването на кодове в устройства. Например той може да се използва за предаване на инициализиращ код в работната станция без използване на дисково устройство и натоварва микропрограмното осигуряване в мрежовите устройства. Компонентите Transparent Ready реализират протоколите FTP и TFTP за предаване на данни между устройства.

Протокол NTP (Network Time Protocol)

Това е протокол за мрежово време и се използва за синхронизация на устройства (клиент или сървър) чрез специален сървър. В зависимост от използваната мрежа той предоставя универсално време UTC с точност от порядъка на няколко ms в локалната мрежа (LAN) до няколко десетки ms в световната мрежа (WAN).

Протокол SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)

Този протокол обслужва доставянето на електронна поща. Използва се за изпращане на електронна поща от подателя към получателя през SMTP сървър.

Протокол SNMP (Simple Network Management Protocol)

Интернет обществото разработва този стандарт за управление на различни мрежови компоненти чрез отделна система. Системата за мрежово управление може да обменя данни с устройства, които се наричат в този случай SNMP агенти. Тази функция позволява на мениджъра да прегледа статуса на мрежата и устройствата, след тяхната конфигурация и в случай на необходимост да осигури информация за неизправност. Устройства Transparent Ready са съвместими със SNMP и могат лесно да се интегрират в мрежа, администрирана чрез протокола SNMP.

COM/DCOM (Distributed Component Object Model) или OLE (Object Linking and Embedding)

Това е название на обектно ориентираната технология на компанията Microsoft, реализираща ясно взаимодействие между приложенията на операционната система Windows. Тя се използва за програмно осигуряване на Schneider Electric – сървър OFS (OLE for Process Control Factory Server).

9.7 Web-услуги и концепция Transparent Ready

В началото на раздела се отбеляза, че универсалните сървъри не са подходящи за промишлено използване и затова компаниите – производители на обзавеждане допълват универсалните интернет услуги със специализирани функции, за автоматизирани производствени системи.

Компанията Schneider Electric разработва обзавеждане и програмно осигуряване за „Transparent“ Ready („ясно“ взаимодействие) между

WEB и всички нива, описани по-горе, определяйки го като уеб технология, вградена в изделията и услугите. Това предложение има две страни:

- промишлен Ethernet;
- WEB компоненти.

Целта е да се предложат “услуги” с функции, позволяващи на потребителя да изпълнява много специални задачи, например препращане на данни от един промишлен контролер към друг, инициализация на сигнал за неизправност и др.

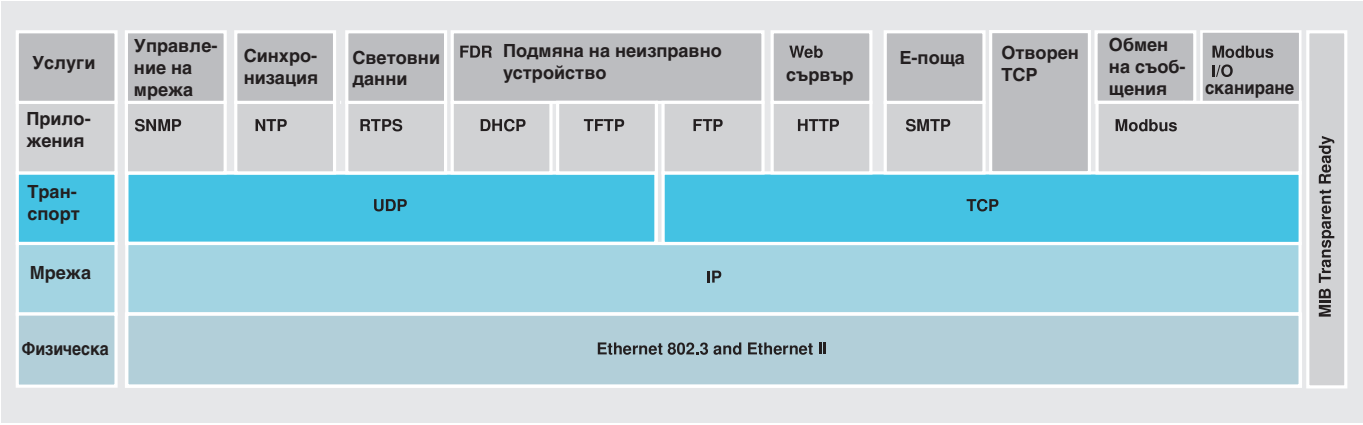
Терминът „Web-технология“ е идентичен на термина „Internet технология“ и включва интернет протоколи, езици за програмиране (JAVA, HTML, XML и др.), а също и инструментални средства, които са напълно променени чрез разпределяне и съвместно използване на информация.

Промишлени Ethernet услуги

В допълнение към универсалните услуги Ethernet ((HTTP, BOOTP/DHCP, FTP и др.) се разглеждат 8 типа услуги, предназначени за използване в промишлени условия:

- услуга за съобщения: Modbus/TCP;
- услуга за обмен с отдалечени устройства вход/изход: сканиране на входове/изходи – I/O Scanning;
- услуга за замяна на неизправни устройства: FDR;
- услуга за администриране на мрежа: SNMP;
- услуга за световни данни: Global Data;
- услуга за управление на `честотна лента;
- услуга за синхронизация: NTR;
- услуга за съобщения по електронна поща: SMTP.

В таблицата на *(⇨ Фиг. 9.11)* е показана връзката между тези услуги и нивата на мрежата.



↑ *Фиг. 9.11* *Комуникационни услуги Ethernet и нива на мрежа*

Услугите се делят на три класа:

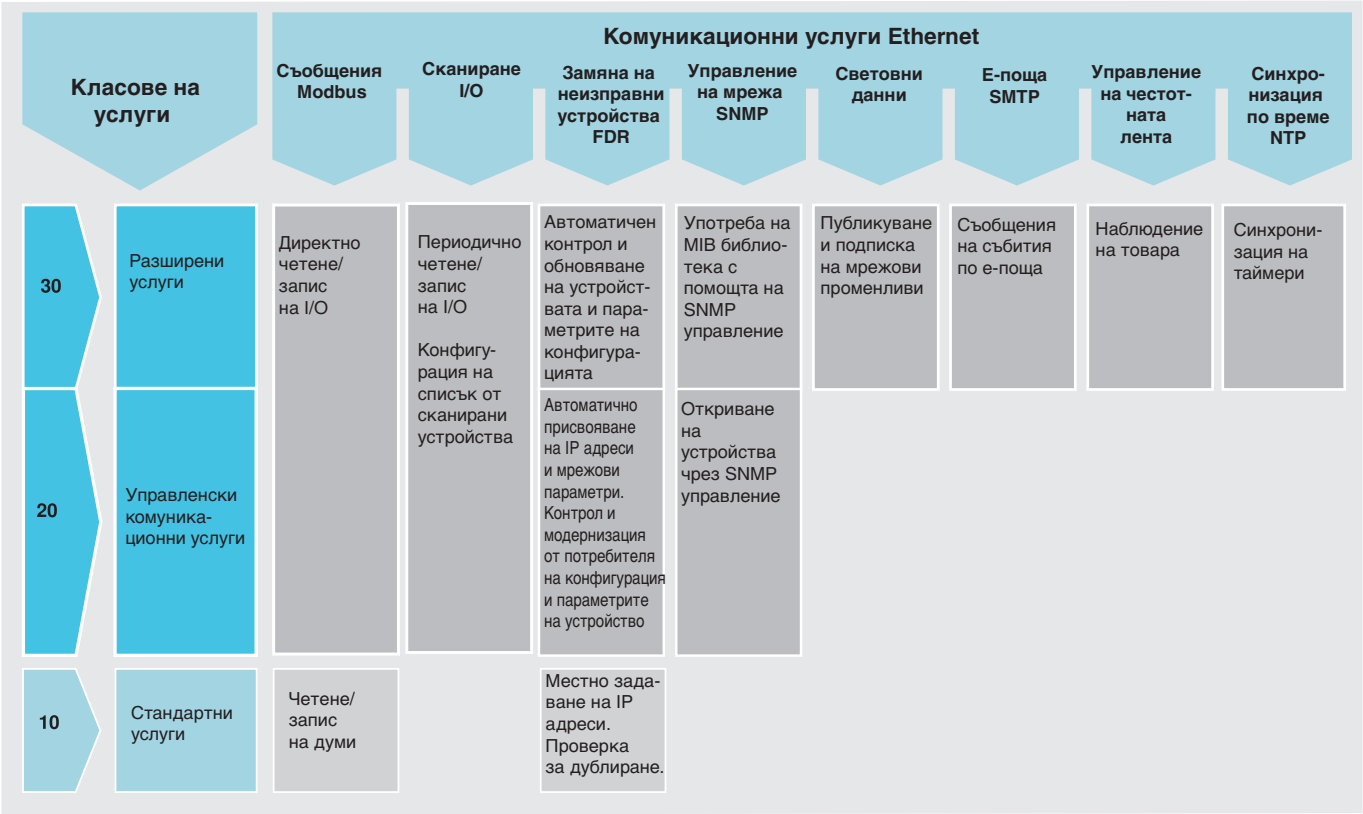
- Клас 10: базова връзка чрез Ethernet;
- Клас 20: управление на връзка чрез Ethernet (мрежови нива и нива на устройства);
- Клас 30: разширена връзка чрез Интернет.

В таблицата на *(⇨ Фиг. 9.12)* е представен преглед на услугите Ethernet.

Услуги за съобщения: Ethernet Modbus TCP

Протоколът Modbus е фактически промишлен стандарт за връзка от 1979 г. В съчетание с Ethernet TCP/IP служи за основа за създаване на Ethernet Modbus TCP – напълно съвместим с протокола Ethernet. Разработката за включване към протокола Modbus TCP не изисква

никакви особени компоненти и придобиване на лиценз. Този протокол може да се използва от всяко устройство, което поддържа стандартен TCP/IP комуникационен стек (пакет). Спецификациите са публикувани са достъпни на сайта на международната организация Modbus-IDA (IDA – Interface for Distributed Automation) www.modbus-ida.org.



↑ *Фиг. 9.12 Преглед на услугите Ethernet*

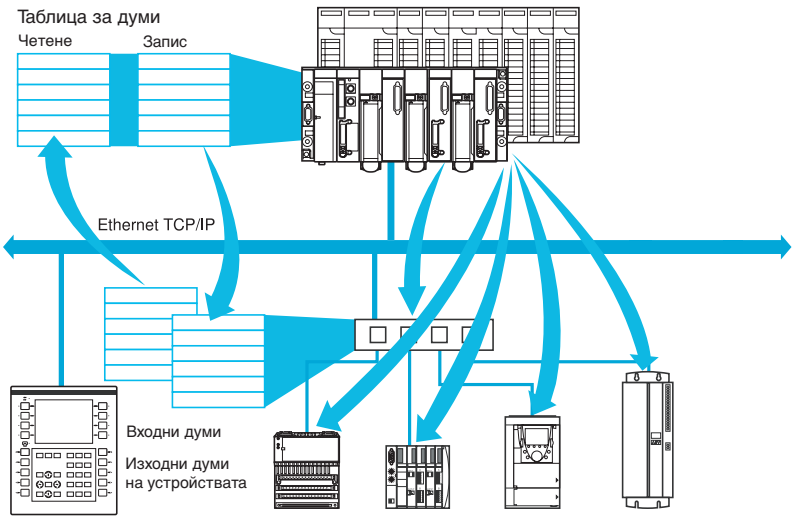
Протоколът Modbus TCP/IP дава възможност на всяко устройство, например входно-изходен модул, да обменя данни по Ethernet без да е необходим мощен микропроцесор или голям обем вътрешна памет. Мрежата Ethernet Modbus TCP/IP има опростен протокол и скорост от 100 Mbit/s, което осигурява висока производителност. Това означава възможност за използване на дадения тип мрежи за приложения в реално време, например за сканиране на отдалечени входове и изходи.

Протоколът за приложно ниво е идентичен на серийния Modbus, Modbus Plus и Ethernet TCP/IP и маршрутизацията между мрежите се реализира без смяна на протокола.

Тъй като Modbus се реализира в качеството на надстройка над нивото TCP/IP при предаването се използва маршрутизация IP, която позволява да се обменят данни между устройства, разположени в различни точки на земното кълбо. В случая разстоянията между тях нямат значение.

Администрацията на адресното пространство (IANA) отделя за Ethernet Modbus TCP фиксиран порт TCP 502, превръщайки го по такъв начин в стандарт за Интернет.

Максималният размер на данни е 125 думи или регистри в режим на четене и 100 думи или регистри в режим на запис.



↑ *Фиг. 9.13* *Услуга за обмен с отдалечени устройства: сканиране I/O*

Услуга за обмен с отдалечени устройства вход/изход: сканиране I/O

Тази услуга се използва за управление обмена с отдалечени устройства вход/изход чрез Ethernet, основана на принципа „клиент – сървър“. След просто конфигуриране – попълване на таблица (не възниква необходимост от програмиране) сканирането става автоматично с помощта на заявки за четене/запис в съответствие с протокола Modbus TCP. Този принцип за сканиране чрез стандартен протокол се използва за връзка с всяко устройство, поддържащо Ethernet Modbus TCP. Услугата предлага определяне на две зони от думи, една за четене на входове и друга за запис на изходи *(⇨ Фиг. 9.13)*. Периодът за обновяване не зависи от цикъла на контролера.
Модулът осигурява при работа:

- управление на TCP/IP връзката с всяко от отдалечените устройства;
- сканиране на устройства и копиране на състоянията на I/O в конфигурираните зони за думи;
- обратна връзка за статуса на зоните от думи към PLC, позволяваща да се контролира надеждната работа на дадената услуга;
- установяване на предварително конфигурирани безопасни стойности в случай на проблем с връзката.

Изискванията към апаратната и програмна реализация на протокола за сканиране I/O във всяко устройство, имащо възможност за работа с Ethernet Modbus TCP, може да се намери на сайта (www.modbus-ida.org).

Услуга за FDR (подмяна на неизправно устройство)

Услугата за FDR използва стандартна технология за управление на адреси (BOOTP, DHCP) и стандартни протоколи за управление на файлове FTP или TFTP. Услугата опростява техническото обслужване на устройства, включени към Ethernet.

В случай на замяна на неизправно устройство с ново изделие, тази услуга осигурява откриване на това устройство, реконфигурация и автоматично повторно включване от системата.

Основните етапи при подмяната са:

- отказ на устройството, поддържащо услугата FDR;
- обслужващият персонал взема от склада аналогично устройство, то се конфигурира като се указва името на отказалото устройство,

след което се включва в мрежата. В зависимост от типа на устройството, името се задава с въртящи превключватели (например, в системите I/O Advantys STB или Advantys OTB) или с помощта на вграден пулт с клавиатура в устройството (например, честотен преобразувател Altivar 71);

- сървърът FDR разпознава новото устройство, задава му IP адрес и му прехвърля конфигурационни параметри;
- подмененото устройство проверява, че параметрите са съвместими с неговите характеристики и се превключва в работен режим.

■ Услуга за администриране на мрежа: SNMP

Услугата за SNMP наблюдава и контролира всички компоненти на Ethernet архитектурата от станцията за управление на мрежа, като прави бърза диагностика при възникване на проблем. Тя позволява:

- проверка текущия статус на мрежовите компоненти като компютри, маршрутизатори, комутатори, мостове и терминални устройства;
- получаване на статистически данни за работата на мрежата към която са включени устройствата.

Тази услуга използва стандартния модел „клиент – сървър“.

За избягване на конфликти с други комуникационни протоколи, за описването на които се използва същата технология, в SNMP се използват термините „мрежов мениджър“ и „агент SNMP“.

Управлението на услугата Transparent Ready може да се осъществи с кой да е мрежов мениджър SNMP, включително HP Openview, IBM Netview и разбира се, чрез програмата за администриране на мрежа Transparent Ready ConnexView на Schneider Electric.

Стандартният протокол SNMP осигурява достъп до конфигурация и управление на обект, намиращ се в MIB (Management Information Bases – база от данни за управление на мрежа). За да предостави достъп до всички видове мрежови мениджъри MIB трябва да съответства на определени стандарти. Обаче в зависимост от сложността на устройствата, техните производители могат да разширят стандартната част на MIB и да добавят определени обекти в т.нар. частни бази от данни за управление на информация (частен MIB).

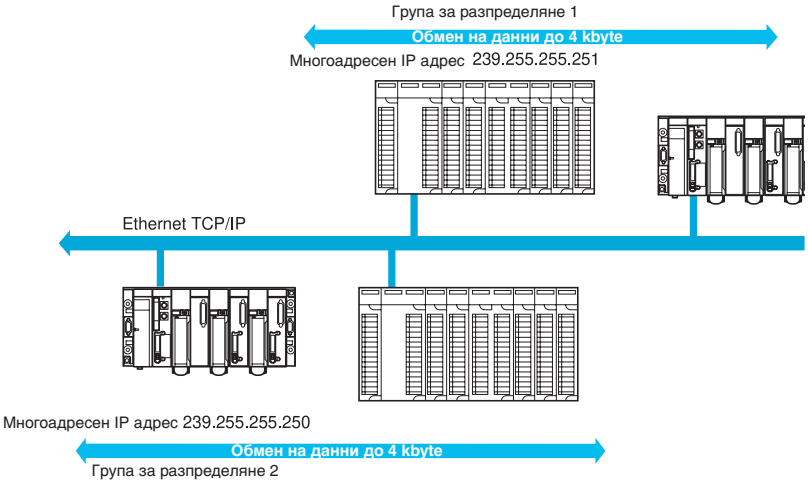
Частните MIB, за услугата Transparent Ready, включват обекти, предназначени за специални услуги. Например съобщение Modbus, сканиране I/O, FDR и др. Тези обекти опростяват уредбата, въвеждането в експлоатация и техническото обслужване на изделията на Schneider Electric с помощта на стандартни средства за мрежово управление.

Устройствата Transparent Ready поддържат две нива на мрежово управление SNMP:

- стандартно MIB II – базово ниво за мрежово управление. То позволява да се идентифицират устройства, влизащи в състава на архитектурата и да се събира информация от общ характер, за конфигурацията и работата на интерфейсите Ethernet TCP/IP;
- частно MIB Transparent Ready, разширяващо възможността за управление на устройства Transparent Ready. Това MIB включва комплект от обекти, позволяващо на системата за мрежово управление да извършва администриране на всички услуги Transparent Ready. Частното MIB може да се натовари от FTP сървъра на всеки модул Ethernet Transparent Ready с PLC.

■ Услуга за световни данни Global Data (⇨ Фиг. 9.14)

Услугата за Global Data осигурява предаване на данни в реално време между станции, принадлежащи към една група за разпределение Ethernet (фиг. 9.14). Тя се използва за синхронизация на отдалечени приложения на контролери или за съвместно използване на общи данни с разпределени приложения на контролери.



Фиг. 9.14 Услуга Global Data

Обменът на данни се осъществява на основата на стандартен протокол „източник – абонат“, който осигурява максимална производителност при минимално натоварване на мрежата. Протоколът RTPS (Real Time Publisher Subscriber – протокол „източник-абонат“ в реално време) се разпространява с помощта на организацията Modbus IDA и е приет в качеството на стандарт от няколко производители на обзавеждане.

При обмена на Global Data могат да участва до 64 устройства в една група за разпределение. Всяко устройство може:
- да публикува една променлива с размер 1024 бита; периода на публикуване може да бъде от 1 до n цикли от главната задача на контролера;
- да се абонира за „променливи“ (от 1 до 64).

Достоверността на всяка „променлива“ се проверява от Health Status битове, свързвани с време за обновяване, конфигурирано в границите от 50 ms до 1 s. Достъпът до отделен елемент на променливата не е възможен. Общият размер на областта за променливи, за които може да се извърши абониране, е в обем 4 kbyte.

За допълнителна оптимизация на производителността на мрежата Ethernet може да се конфигурират Global Data с опция за многоадресна филтрация, която в случай на използване на комутатори от серия ConeXium позволява да се изпълни многоадресна филтрация на данни само на тези портове на Ethernet, които имат устройства – абонати за услугата Global Data. Ако тези комутатори не се използват Global Data се предават в многоадресен режим към всички устройства на групата за разпределение.

■ Услуга за синхронизация: NTP

Услугата за синхронизация използва протокола NTP (Network Time Protocol - протокол за мрежово време) и установява времето за клиентски и сървърни възли Ethernet TCP/IP със специален NTP сървър или някаква друг източник на еталонно време (радио, спътник и т.н.).

Модулите за връзка, използващи Ethernet Modbus TCP: 140 NOE 771 11 на платформа за автоматизация Modicon Quantum Unity ver. 2.0 (или по-висока версия); TSX ETY 5103 на платформа за автоматизация Modicon Premium Unity ver.2.0 (или по-висока версия) включва компонента NTP клиент. Тези модули могат да се свързват с NTP сървъра, използвайки клиентска заявка, за установяване на своето локално време. Периодично (с период от 1 до 120 s) часовникът на модула се обновява с грешка по-малка от 10 ms за обикновени процесори и 5 ms за високопроизводителни процесори. Ако с NTP сър-

вра не може да се установи връзка модулът Ethernet Modbus TCP може да използва резервен NTP сървър.

Услуга за съобщения по електронна поща: SMTP

Тази обявена услуга за електронна поща може да бъде програмирана. Приложението на PLC я използва за известяване на събития при определени условия. Контролерът автоматично и динамично създава електронно писмо за предупреждаване на получател, включен в локалната или интернет мрежата. Необходимо е да се отбележи, че тази услуга е достъпна в последните модули за връзка Ethernet за Modicon Premium и Modicon Quantum и в последните процесори с интегриран порт Ethernet, които се програмират със системата Unity Pro. Освен това има и модули с по-широки функционални възможности – комуникационни модули с активен уеб сървър Factorycast HMI. Механизмът е прост и ефективен. Изработването на заглавни полета на съобщението се свързва с тялото на електронното писмо, което се създава динамично, на основата на последната информация от приложението на контролера. Приложението подготвя съобщение, използвайки предварително зададени условия. Използва се библиотечен функционален блок за избор на едно от трите предварително изработени заглавни полета, създава се електронно писмо със стойности на променливи и текст (до 240 байта) и се изпраща директно от контролера. Всяко от трите заглавни полета съдържа следните предварително изработени елементи:

- списък на получателите на електронното писмо;
- име на изпращача;
- тема.

Тази информация се подготвя и обновява от администратор, използващ уеб страница за конфигуриране на съобщенията.

Web услуги *(⇨ Фиг. 9.15)*

Нивото на услугата уеб сървър се оценява с четири класа, които се означават с букви.

Клас на уеб сървъра		Web услуги: Техническо обслужване	Мониторинг и връзка с IT приложения	Диагностика	Опция
D	Активен уеб сървър	Обновяване на потребителски страници	Автоматично пускане на услуги (например, известяване за тревога по е-поща, обмен с външни бази данни, изчисления и т.н.). SOAP/XML (клиент/сървър)	Конфигурации, зададени от потребителя	Потребителска документация на сървъра
C	Конфигурируем уеб сървър		PLC редактор на променливи - Отдалечени команди - Потребителски уеб страници - SOAP/XML сървър	Диагностика на комуникационни услуги. Състояние на ресурсите на вътрешните устройства	
B	Стандартен уеб сървър	Обновяване на програмното осигуряване на отдалечени устройство. Администриране на отдалечени устройства	Описание на устройства. Преглед и запис на променливи	Състояние на устройството. Диагностика на PLC модулите	Конфигуриране на мрежови параметри и Ethernet услуги. Документация на устройства
A	Без уеб сървър	Не се осигуряват уеб услуги			

↑ *Фиг. 9.15 Класификация на Web услуги*

Клас A

Устройства Transparent Ready без web услуга.

Клас B

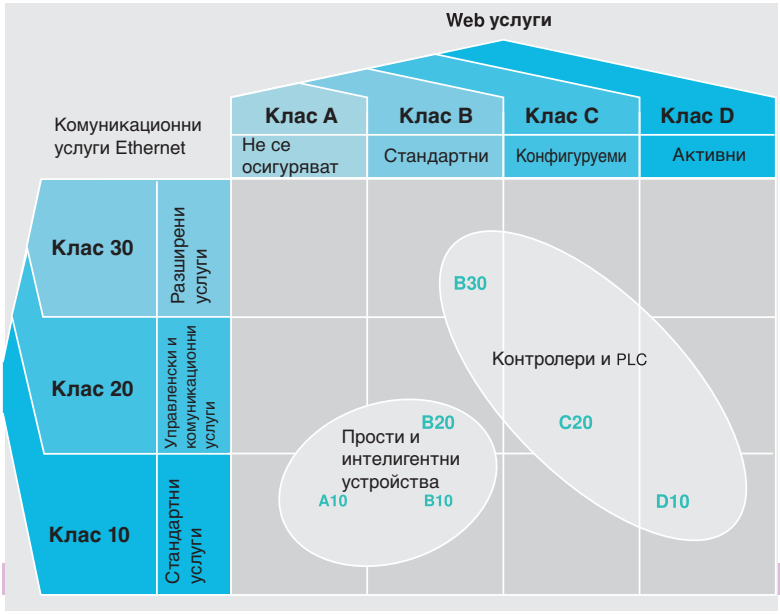
Базово ниво за достъп към предварително конфигурирани фиксирани страници в устройство Transparent Ready. В този случай се извършва диагностика и мониторинг на устройства с използване на обикновен уеб браузер.

Клас C

Ниво на конфигурируеми уеб услуги за настройка на уеб сайт на устройство Transparent Ready с уеб страници, които потребителят може да създава за изображение и въвеждане на необходимата информация. Диагностиката и мониторингът на устройствата могат да бъдат изпълнени с обикновен уеб браузер. Програмното осигуряване Factorycast е инструмент, който се използва за управление на уеб сайт Transparent Ready и за неговата настройка и изменения.

Клас D

Ниво на активни уеб услуги за стартиране на специални процеси в самия уеб сървър Transparent Ready. Тези устройства се използват за математически изчисления с използване на променливи от процесния модул на контролера, управление на база данни в реално време, комуникация с релационни база данни и изпращане на електронни писма. По такъв начин времето на взаимодействието между браузера и сървъра се намалява и оптимизира. Програмното осигуряване Factory Cast дава възможност за конфигуриране на указаните процеси, стартирани в уеб сървъра.



↑ *Фиг. 9.16 Таблица за избор*

Устройства Transparent Ready

Тези устройства се идентифицират с букви на ниво уеб услуга, след която следва число, показващо нивото на Ethernet услугата. Например:

- Клас A10: устройство без никаква уеб услуга и със стандартни Ethernet услуги;
- Клас C30: устройство с конфигуруем уеб сървър и с разширени комуникационни Ethernet услуги.

Услугите, предлагани от по-висок клас, съдържат в себе си всички услуги, поддържани от по-ниски класове. Съвкупността от устройства Transparent Ready може да се раздели на четири основни групи:

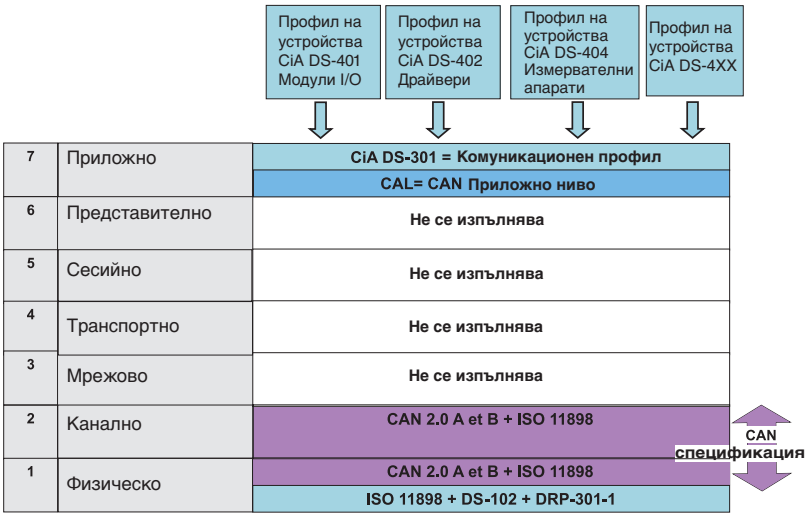
- полеви устройства (прости или интелигентни) от типа първични преобразуватели и изпълнителни устройства;
- PLC;
- човеко-машинен интерфейс: диалогови панели и промишлени компютри;
- специални шлюзове и сървъри.

Таблицата на *(⇨ Фиг. 9.16)* може да се използва за избор на устройства Transparent Ready като се отчита необходимия клас услуги.

9.8 Промишлена шина CANopen

■ Общо описаниен

CAN (Controller Area Network - промишлени комуникационни подсистеми за интерфейси на контролери) е серийна системна шина, разработена от компанията BOSCH, за автомобилната промишленост. Тя е представена от фирмите BOSCH и Intel през 1985 г. Предназначена е за намаляване дължината на проводниците в автомобили (възможно е тя достигне до 2 km) чрез комуникация на всички органи за управление



↑ *Фиг. 9.17* *Нива на промишлена шина CAN*

по една шина вместо тяхното свързване с отделни кабели. Това обстоятелство позволява да се намали и масата на машината.

Високата устойчивост към електромагнитни въздействия и надеждността при работа в реално време привличат вниманието на инженерите, работещи в различни отрасли на индустрията. През 1983 г. е създадена международната организация CiA (CAN in Automation – CAN в автоматизацията) с цел стимулиране разпространяването на шини CAN в промишлеността (виж http://www.can-cia.de/).

През 1993 г. организацията CiA публикува спецификацията CAL (CAN Application Layer – приложно ниво на CAN), описваща механизмите за комуникация, без да дава детайли кога и как те се използват. През 1995 г. организацията CiA публикува материали за комуникационен профил DS301:CANopen.

Няколко приложения от седмо ниво, които са показани на *(⇨ Фиг. 9.17)*, са дефинирани в съответствие със стандарта CAN:

- CANopen;
- DeviceNet;

- CAL;
- SDS;
- CAN Kingdom.

През 2001 г. организацията CiA публикува материали по профила DS304, който позволява да се интегрират в стандартна шина CANopen компоненти за функционална безопасност от четвърто ниво, в съответствие със стандарта EN 954-1 (CANsafe).

По-долу е направено описание на техническите характеристики на CANopen.

■ Предимства на CANopen

□ CANopen използва къси кадри

Благодарение на високата устойчивост към електромагнитни въздействия CANopen позволява на машината или технологичната линия да работят със зададена точност дори и в условия на високи електромагнитни смущения. Късите кадри CANopen и съединението CAN ground осигурява високоскоростно предаване на данни, за всяко устройство, включено към мрежата и ги защитава от електромагнитно въздействие.

□ CANopen осигурява надеждно предаване на данни

Когато устройството CANopen предава данни системата формира и автоматично присвоява приоритет на съобщението. Кадърът не може да бъде загубен поради грешки и няма загуба на време при очакване на следващ момент за незаето състояние на линията за предаване. CANopen създава условия за абсолютно надеждно предаване на данни. Това е една от причините поради, която CANopen се използват в медицински уредби, за които техническите изисквания към мрежите са най-строги.

□ CANopen предотвратява загубата на време

Загубата на време предполага непроизводителни разходи. Протоколът CANopen е разработен така, че да доведе загубата на време до един възможен минимум. Използва се кодиране с разстояние по Хеминг 6 и затова CANopen притежава много висока вероятност за откриване на грешки и механизъм за тяхното отстраняване. Интензивността за появяване на неоткрита грешка е 1 грешка за 1000 години, което прави CANopen най-надеждната мрежа за машини и производства.

Посоченият брой години е при предположение, че един сгрешен бит се появява на всеки 0,7 s при скорост 500 kbit/s, 8 часа работа на ден в продължение на 365 дни за година.

Ако в мрежата възникне грешка нейното откриване става с помощта на „стражев“ таймер. Всяко диагностично съобщение съдържа източник и причина за грешката, което осигурява бърза реакция и намалява загубата на време. Следващата диагностика на проектираната система може да бъде разработена с цел подобряване стандартната диагностика, за отделни устройства и поддържане работоспособността на мрежата като цяло. В допълнение към това може да се използва регистрация на грешки, помагаща установяването на причините за появяване на случайни грешки.

□ CANopen: работни характеристики

Основна причина за използване на мрежовите решения е увеличаване на производителността и лесното адаптиране към изискванията за обработка на данни. CANopen предлага уникален механизъм за постигане на тази цел. Шината CANopen, използваща модела „източник - абонат“ може да предава данни в многоадресен режим, в режим „директна връзка между две точки“, в цикличен режим и др. Данните могат да се предават само при необходи-

мост или при определени времеви условия. Технологичните данни на обектите могат да се конфигурират индивидуално. Във всеки момент от времето параметрите могат също да бъдат променяни.

• **Производителност**
Шината CANopen притежава висока гъвкавост, а мрежовата реакция е много бърза. 256 дискретни точки I/O могат да бъдат обработени със скорост 1 Mbit/s за по-малко от 1 ms. Шината Profibus-DP обикновено изисква за предаване на същия обем от данни около 2 ms при скорост 12 Mbit/s. Като допълнение към бързата реакция може да се отбележи възможността за изменение управлението на приоритетни съобщения.

При използване на CANopen предаването на данни може да се адаптира в съответствие с изискванията на решаваната задача.

□ Намалени разходи

CANopen се характеризира с лесно инсталиране и използване на евтини устройства. Тази шина не изисква допълнително обзавеждане за изравняване на потенциалите между точки от мрежата, което е необходимо в редица други полеви шини. При тях лошата връзка не само предизвиква комуникационни грешки, но също така повреждa устройствата, включени към полевата шина.

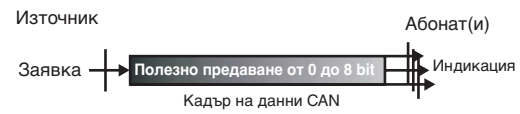
Елементите на CANopen се произвеждат в голям обем, което намалява тяхната стойност.

Компанията Schneider Electric предлага това предимство на потребителите. Цените, свързани с тази среда за предаване на данни, са с (10 - 20) % по-ниски от цените на други полеви шини със същите функционални възможности.

■ Принцип на работа на CAN

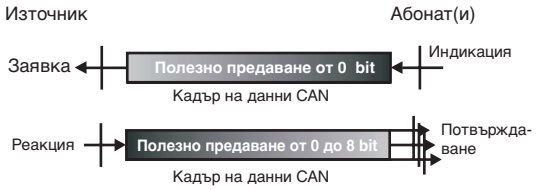
CAN е серийна шина, използваща модела „източник-абонат“, в който източникът изпраща съобщения на абонатите. CAN е разработена като архитектура за многоадресен обмен на данни.

Източникът (изпращачът) изпраща съобщение с идентификатор. Абонатите филтрират съобщенията, получени по шината, Те използват определени критерии и ако съобщението е предназначено за тях, го прочитат и обработват. След което абонатът може да стане източник *(⇨ Фиг. 9.18)*.



↑ Фиг. 9.18 Работа на CAN

Фигурата показва начина на изпращане в модела „източник-абонат“. CAN също така поддържа режим на приемане. Клиентът може да изпраща съобщение, като се основава на заявка за отдалечено предаване на данни RTR, която е CAN кадър с RTR флагове (статус на битове). При получаване на такава заявка възелът отговаря със съответно съобщение *(⇨ Фиг. 9.19)*.



↑ Фиг. 9.19 Модел на CAN „източник-абонат“ (Изпращане и приемане на данни)

В многоадресния обмен на данни мрежовите възли могат да се опитат да водят предаване в едно и също време. CAN има два механизма за решаване на този проблем: първо източникът наблюдава мрежовата магистрала като проверява имали обмен на данни от друг възел. Ако магистралата е свободна възелът започва предаване на данни. Няколко възела могат да започнат предаване, но не и в едно и също време. Тази задача се решава на основата на системата за приоритети – това е вторият механизъм на CAN.

Кадърът CAN започва от стартовия бит (SOF), след който следват 11 идентификационни бита, започвайки от старшия и завършвайки с младшия *(⇨ Фиг. 9.20)*. Следващият бит е за отдалечена заявка за предаване на данни RTR, след който следват 5 контролни бита за управление и до 8 бита - за данни. Битовете на полето за управление са: признак на разширения формат на кадъра (IDE), резервен бит (r0) и 3 бита за работни данни, посочващи размера на полезните данни в битове (DLC). След полезните данни (Data) следва

SOF	identifier	RTR	IDE	r0	DLC	Data	FCS	ACK	EOF	IFS

↑ *Фиг. 8.20* *Кадър CAN*

контрол на последователност на кадъра (FCS), заемаща 15 бита. Източникът изпраща бит за потвърждение (рецесивен бит) (ACK), който се замества от получателя с доминантен бит при получаване на кадъра без грешка.

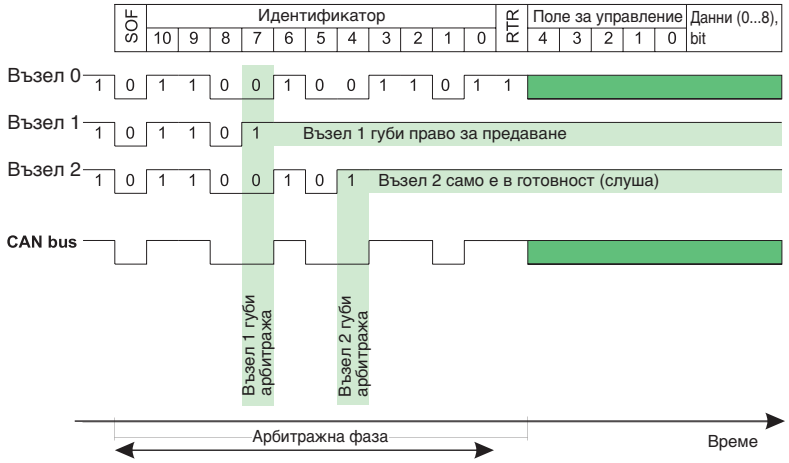
Битът (EOF) посочва края на предаването на кадъра.

Битът, запълващ пространството между кадрите (IFS) до началото на следващия кадър, трябва да бъде рецесивен. Ако никой един от възлите не е готов за предаване състоянието на шината се запазва. Бит кодът има две стойности – доминантна и рецесивна. Ако два възела започнат предаване в едно също време, потребителят вижда само доминатната стойност. В двоичен код „0“ съответства на доминантната стойност, а „1“ – на рецесивната. Възелът винаги „прослушва“ шината при предаване. Ако той предава рецесивен бит, а в отговор получава доминантен, той прекратява предаването и продължава да получава доминантни битове. Тази проста система предотвратява възникването на потенциални проблеми при предаване на информация в CAN шината. Съобщението с малка стойност на идентификатора е приоритетно.

CAN е системна шина, осигуряваща многоадресен достъп с откриване на носещата, разпознаване на проблеми и арбитраж на основата на приоритетни съобщения (CSMA/CD+AMP). Тъй като проблеми не се получават шината CAN често се нарича CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access and Collision Avoidance – Многоадресен достъп с контрол на носещата и предотвратяване на проблеми)*.

** Терминът „откриване на носеща“ означава, че всеки възел (станция) в мрежата непрекъснато „прослушва“ средата (кабела) за присъствие на сигнал преди да се опита да предаде своите данни. Терминът „многоадресен достъп‘ означава наличие на много възли (станции), които се опитват да предават, т.е. те се състезават за правото на предаване. Терминът “предотвратяване на проблеми (колизии)“ означава, че при откриване на такива, станциите спират да предават и всяка изчаква случаен интервал от време преди да направи опит за ново предаване на данни. (бел. на преводача).*

Кадърът съобщения, представен на *(⇨ Фиг. 9.21)*, е основен. За приложения, изискващи голям брой идентификатори съществува разширен формат на кадъра CAN. Разширеният кадър включва 18 допълнителни идентификационни бита в заглавното поле. Това значително разширява областта на различните идентификатори. В една шина могат да съществуват два типа кадри.



↑ *Фиг. 9.21* *Типово съобщение CAN*

В CAN се реализират няколко метода за откриване на грешки:

- контролът на последователност на цикъла (FCS) съдържа алгоритъм, проверяващ за грешки при предаване и съхранение на данни, използващ контролна сума (CRC). Получателят проверява кадъра CRC и сравнява резултата с FCT. Ако резултатите са различни това показва, че кадърът има CRC грешка;
- получателят открива грешки в структурата на кадъра. Ако структурата на кадъра е некоректна, кадърът е с неправилен формат;
- получателят на кадъра публикува доминантен бит за потвърждение (ACK) при получаване на кадъра без грешка. Ако подателят не получи този бит той изпраща потвърждаване за грешка;
- CAN използва код без връщане към нулата NRZ (Non Return to Zero) със запълване на битове. Ако подателят трябва да изпрати последователно пет еднотипни бита той включва в последователността бит с противоположно ниво. Запълването на битове позволява на получателя да синхронизира веригата за битове. Получателят отстранява запълващите битове от кадъра с данни. Ако има повече от пет последователни еднотипни бита, получателят открива грешка при запълване.

Използват се няколко протокола на приложно ниво, които са създадени на основата CAN, например DeviceNet и CANopen. Шината CAN не изисква протокол на приложно ниво.

■ Преглед на CANopen

Шината CANopen покрива изискванията за приложно ниво и комуникационния профил на основата на CAN.

□ Видове комуникационни съобщения (обекти):

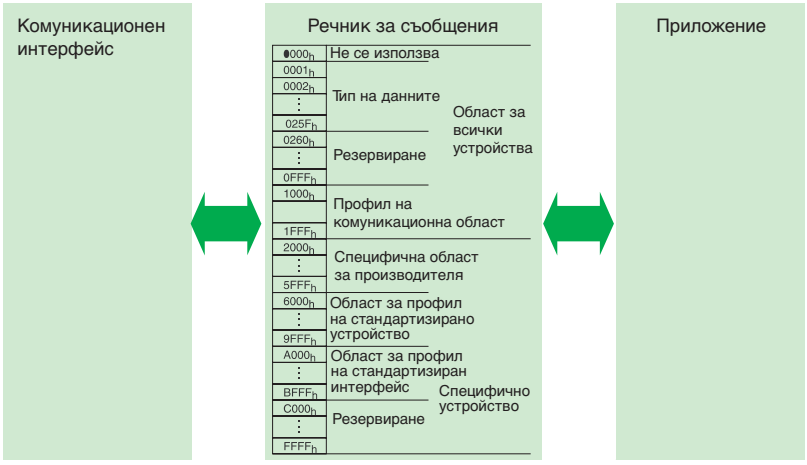
- за технологични данни (PDO – Process Data Object);
- за сервизни данни (SDO – Service Data Object);
- за мрежово управление (NMT – Network Management);
- за специални функции (SYNC - Synchronization Object, EMCY - Emergency Object, TIME - Time Stamp Object).

□ Свойства:

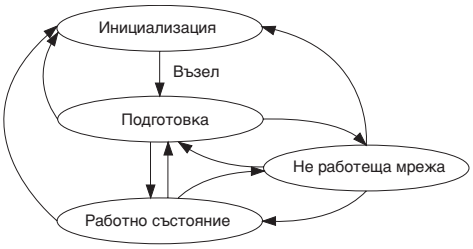
- серийно предаване на данни на основата на CAN;
- скорост до 1 Mbit/s;
- ефективност – приблизително 57%;
- допустими са няколко главни устройства (Master);
- възможност за мрежово взаимодействие между устройства от различни производители.

□ Речник за съобщения (Object Dictionary)

Интерфейсът между приложението и CAN интерфейса е изпълнен в т.нар. речник за съобщения (Object Dictionary) *(⇨ Фиг. 9.22)*.



↑ *Фиг. 9.22* *Речник за съобщения*



↑ *Фиг. 9.23* *Управление на мрежа*

• Съобщения за технологични данни (PDO)
Съобщенията за технологични данни PDO се използват за предаване на информация за технологичен процес. Съобщението може да съдържа до 8 байта работни данни, което е максимум за кадъра CAN. При обмен на данни PDO използва модела „източник-абонат“, разширен чрез синхронизирани предавания. Синхронизираното предаване PDO се основава на съобщението SYNC на шината CAN. Съобщението PDO се изпраща в цикличен режим, след определен (конфигуриран от 1 до 240) брой получени съобщения SYNC. Възможно е също очакване за достъп до технологични променливи приложения и препращане на PDO след следващо получено съобщение SYNC. Това се нарича **ациклично синхронизирано предаване**.

• Съобщения за сервизни данни (SDO)
Съобщенията за сервизни данни SDO са предназначени за предаване на служебни параметри. Съобщението SDO позволява на отдалечени устройства да получат достъп до Речника за съобщения. Няма ограничения за дължината на SDO. Ако сервизните данни не могат да се поместят в един кадър CAN, те се разделят на няколко кадъра. Всеки SDO изисква потвърждаване.

Обменът на SDO става в режим „точка-точка“, при това едната точка работи като сървър, а другата – като клиент.

• Съобщения за мрежово управление (NMT)
Съобщенията за мрежово управление изменят или проверяват състоянието на устройствата CANopen *(⇨ Фиг. 9.23)*. Съобщението NMT има CAN 0 идентификатор. Това прави съобщенията NMT с най-висок приоритет. В съобщенията NMT винаги има два байта на работни данни в кадъра CAN. Първият байт съдържа кода на командата NMT, а вторият – номера (ID) на адресната точка.

Инициализацията на статуса на устройство CANopen започва при натискане на бутона за включване ON. След завършване на инициализацията устройството изпраща стартово съобщение за мрежово управление NMT, за известяване на главното устройство (Master).

Протоколът за откриване на проблеми в статуса на наблюдаваното устройство се изпълнява чрез NMT съобщения.

• Съобщения за специални функции (SYNC, EMCY, TIME)
В шината CANopen трябва да има генератор на сигнали SYNC за синхронизиране поведението на нейните възли. Генераторът на сигнали SYNC периодично предава съобщения SYNC. Идентификаторът на SYNC съобщението е 128. Това може да доведе до закъснение, предизвикано от приоритета на това съобщение.

Вътрешна грешка на устройството може да предизвика аварийно съобщение EMCY. Отговорите на EMCY на абонатите зависи от приложението. Стандартът CANopen определя само някои аварийни кодове. Аварийното съобщение се изпраща в един кадър CAN с дължина 8 байта.

Кадърът CAN с идентификатор ID CAN 256 и 6 байта работни данни може да бъде използван за предаване на съобщение TIME до няколко възли на CANopen. Съобщението TIME съдържа дата и време във формат Time-Of-Day (Време – Денонощие).

• Системи за следене (Watchdog)

Шината CANopen реализира два метода за наблюдаване работоспособността на устройство. Единият е т.нар. механизъм на мрежовия мениджър, който редовно сканира всяко устройство през конфигуруеми интервали от време. Този метод се нарича наблюдаване състоянието на устройството (Node guarding). Неговият недостатък е, че заема голяма част от честотната лента.

Другият метод се състои в редовно изпращане на съобщение до

всяко устройство. Така се заема много по-малка част от честотната лента в сравнение с метода на мрежовия мениджър.

- **Дължина на мрежа и скорост на предаване**

Дължината на шината се ограничава от изходната скорост в зависимост от приоритета на бита *(⇨ Фиг. 9.24)*.

Скорост на предаване, kbit/s	1000	800	500	250	125	50	20	10
Lmax, m	20	25	100	250	500	1000	2500	5000

↑ *Фиг. 9.24* *Дължина на мрежа и скорост на предаване*

В документацията на CANopen най-често се посочва максимална дължина 40 m при номинална скорост на предаване 1 Mbit/s, изчислена без да се отчита електрическата изолация, използвана в устройствата CANopen на Schneider Electric. Ако се отчита влиянието на изолацията дължината на шината е в диапазона от 4 m до 20 m при 1 Mbit/s.

За устройствата, създаващи нелинейна топология на мрежата трябва да се отчитат ограниченията, посочени в таблицата на *(⇨ Фиг. 9.25)*.

Скорост на предаване, kbit/s	**1000**	**800**	**500**	**250**	**125**	**50**	**20**	**10**
L max, m	0.3	3	5	5	5	60	150	300
ΣL max, m за локална звезда	0.6	6	10	10	10	120	300	600
Интервал min, m 0,6 x ΣL local		3.6	6	6	6	72	180	360
ΣL max, m за всички шини	1.5	15	30	60	120	300	750	1500

↑ *Фиг. 9.25* *Ограничения за CANopen устройства*

Забележка:

L max - максимална дължина на отклонителя;
ΣL max за локална звезда - максимална стойност на общата дължина на отклоненията, излизащи от една точка, когато топологията е тип звезда;
Интервал min - минимално разстояние между две разпределителни кутии. Също и за всяка двойка устройства, образуващи звезда. Тази стойност може да бъде изчислена отделно за всяко устройство: минималното разстояние между две разпределителни кутии е 60% от общата сума на дължината на лъчите, включени към една кутия в цялата топология;
ΣL max за всички шини - максимална стойност на общата дължина на всички елементи от шината.

Комбинации, съгласно класове за съответствия

Компанията Schneider Electric определя класове за съответствие за главни и спомагателни устройства CANopen подобно на класификацията Ethernet Modbus TCP и уеб услуги. Класовете за съответствие определят кои системи могат да поддържат устройството и да осигурят функционална съвместимост отдолу нагоре за всеки клас *(⇨ Фиг. 9.26)*.

В таблицата на *(⇨ Фиг. 9.27)*показва най-добрата съвместимост

Клас за съответствие	S10	S20	S30
M10	Съвместимост	Ограничения при използване	
M20			
M30			

↑ *Фиг. 9.27* *Пример за съвместимост*

Характеристики					
Класове за съответствие			**M10**	**M20**	**M30**
Настройки на ниво	Slave ID		1-16	1-63	1-127
	Скорост на предаване	**kbit/s**	125, 250, 500	M10 + 50, 1000	M20 +10, 20, 800
	LSS		–		Master
Брой на поддържани устройства			16	63	126
NMT (съобщение за мрежово управление)	NMT Master		NMT Master , в съответствие с DS301		–
	CANopen мениджър		–		NMT master,в съответствие с DS301. Конфигурационен мениджър в съответствие с DSP302
	Процедура за начално натоварване		В съответствие с DS302		
	Програмно задаване на време		–		Подател
	Автоматична конфигурация		–		Поддържа се
SDO (съобщение за сервизни данни)	SDO Абонат		1	1	2
	SDO Сървър		–	1	1
	SDO Мениджър		–		1
	SDO Предаване на данни		Разширено сегментно прехвърляне		Разширено сегментно блоково прехвърляне
PDO (съобщение за технологични данни)	COB-ID		Само четене	Четене/Запис	Четене/Запис
	PDO TT		254, 255	M10 +0, 1-240	
	PDO време за задръжка		–	TPDO's (Четене/Запис)	
	PDO брояч на събития		–	TPDO's (Четене/Запис)	RPDO's & TPDO's (Четене/Запис)
SYNC	SYNC		–	Подател	Подател/Потребител
	Тригер		–		Подател
EMCY			Подател	Подател/Потребител	
HEALTH	Тактов импулс		16 потребители 1 подател	63 потребители 1 подател	126 потребители 1 подател
	Наблюдаване на възел от мрежата		Не	Да	Да
Параметри	Запазване на параметри		Не	Да	Да
Класове за съответствие			**S10**	**S20**	**S30**
Настройки	Slave ID		1-63	1-127	1-127
	Скорост на предаване	**kbit/s**	125, 250, 500	S10 + 50, 1000	S20 +10, 20, 800
	LSS		–		Slave
Устройства за диагностиране	Диагностиране		–	LED или дисплей	
NMT (Съобщение за мрежово управление)	NMT slave		Пускане на отдалечен възел Спиране на отдалечен възел Режим "Pre-operation" Рестартиране на възел Рестартиране на комуникация		
	Програмно задаване на време		–		Потребител
SDO (Съобщение за сервизни данни)	SDO клиент		–		1
	SDO сървър		1		2
	SDO предаване на данни		Разширено сегментно прехвърляне		Разширено сегментно блоково прехвърляне
PDO (Съобщение за технологични данни)	COB-ID		Само четене	Четене/Запис	Четене/Запис
	PDO TT		254, 255	S10 +0, 1-240	
	Параметри на изобразяване на PDO		FIX (Read)		–
	Режим на включване		Предопределена връзка	Без ограничения	
	PDO време за задръжка		–	TPDO's (Четене/Запис)	
	Таймер на събития PDO		–	TPDO's (Четене/Запис)	RPDO's & TPDO's (Четене/Запис)
SYNC	SYNC		–	Потребител	Подател/Потребител
	TRIGGER		–		Потребител
EMCY			Подател	Подател	Потребител/Подател
HEALTH	Тактов импулс		1 потребител 1 подател		
	Наблюдение на възел		Не	Да	Да
Параметри	Запазване на параметри		Не	Не	Не

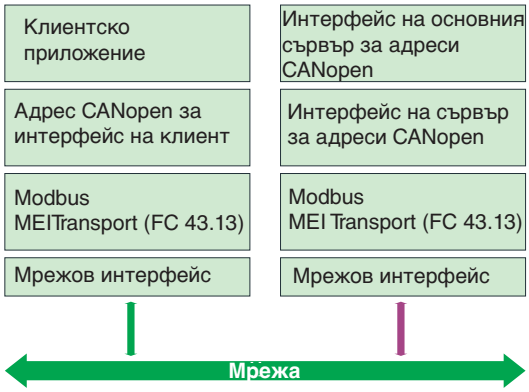
Забележка: Означенията S00 и M00 се използват и за продукти, които не са 100% съвместим с класовете за съответствие.

Фиг. 9.26 CANopen класове за съответствие

между изделия, използващи класове за съответствия.

Независимо от това обаче може да се използва подчинено устройство с главно устройство от по-нисък клас за съответствие (например S30 с M20) или главно устройство с подчинено такова от по-висок клас за съответствие (например M1 с S20), ако се използват същите функции, които се поддържат и с по-нисък клас за съответствие.

9.9 Съвместна работа на Ethernet и CANopen



↑ Фиг. 9.28 *Съвместна работа на Ethernet и CANopen*

Общият комуникационен профил (DS-301) освен всичко друго определя предназначението на идентификатори от типа COB-ID за всеки тип съобщения.

Профилите, предназначени за всяко семейства изделия като дискретни устройства I/O (DS-401), аналогови устройства I/O, регулируемо честотно задвижване (DS-402) и енкодери, описват т.нар. комбинирани обекти.

Международните организации CiA (CAN in Automation) и Modbus-IDA разработват съвместно стандарт за осигуряване на пълна прозрачност на взаимодействие между CANopen и Ethernet Modbus TCP.

В резултат на съвместната работа е изработена спецификация Modbus-IDA, определяща стандарта на взаимодействие между мрежата Ethernet Modbus TCP и шината CANopen. Спецификацията определя услуги за изобразяване, позволяващи на устройствата CANopen да взаимодействат с мрежата Ethernet Modbus TCP чрез шлюза *(⇨ Фиг. 9.28)*.

Достъпът до информация в устройствата CANopen се осъществява в режима запис/четене, за списък от голям брой функции за управление на устройства.

9.10 Промишлена шина AS-interface (AS-i)

■ Общо описание

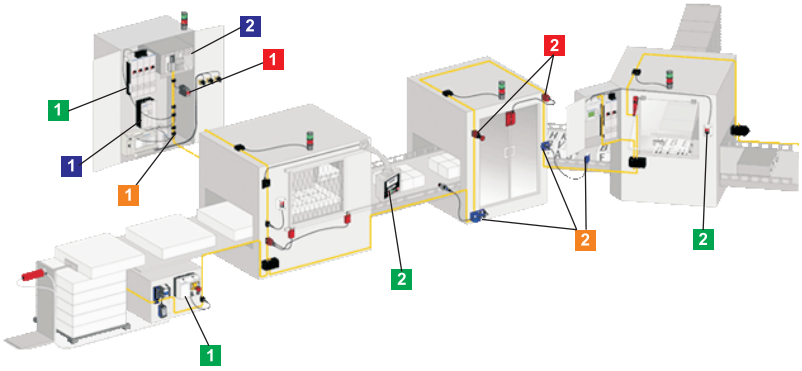
Днес, в промишлените уредби се използват голям брой първични преобразуватели и изпълнителни механизми. При това се обръща все по-голямо внимание на безопасността, възможността за модернизация и необходимостта от техническо обслужване. Интерфейсът AS-i е мрежа на производствено ниво, удовлетворяващ съвременните изисквания на промишлената автоматизация. Той предава данни и осигурява електроснабдяване чрез използване на двужилен кабел. Елементите, включени в мрежата, могат да бъдат лесно заменени при техническо обслужване и новото устройство автоматично получава адреса на заменено изделие.

Интерфейсът AS-i е високо ефективна мрежова алтернатива на опроводяването на PLC с полеви устройства – първични преобразуватели и изпълнителни механизми.

Всички предложения на Schneider Electric отговарят на AS-i стандарта, който е дефиниран от Международната асоциация по използване на AS-i интерфейс (виж сайта www.as-interface.net). Това е открита технология, поддържана от водещи доставчици на средства за промишлена автоматизация, която гарантира взаимозаменяемост и възможност за съвместна работа на изделия от различни производители.

Интерфейсът AS-i, илюстриран на *(⇨ Фиг. 9.29)*, е добре разработен протокол, който в продължение на повече от 10 г. е доказал своята надеждност и удобство при използване. Той е реализиран в стотици хиляди приложения, включително конвейери, лифтове, системи за разпределение на електрическа енергия, летищни транспортни системи, линии за пълнене на течност в бутилки и други системи за управление в хранителната промишленост.

Интерфейсът AS-i се реализира с двупроводен жълт кабел, имащ сечение със специална форма *(⇨ Фиг. 9.30)*. Тя не позволява да се размени полярността при включване. Кабелът е с херметизирана изолация (нейните изолационни свойства се възстановяват след отстраняване на устройството), а първичните преобразуватели и изпълнителните устройства са снабдени с пробождащи съединители, позволяващи да се извършат превключвания и замяна без допълнителен инструмент.



Фиг. 9.29 *Производствена структура на AS-i интерфейс*

1 Интерфейс IP20
2 Интерфейс IP67
1 Компонент на управление
2 Диалогов панел
1 Диалогов панел
2 Интерфейс за безопасност
1 Захранващ източник
2 Главно устройство на AS-i

Интерфейсът AS-i е полева шина от типа Master/Slave, където в ролята на главно устройство може да се използва компютър, PLC или специализиран контролер, които получават информация от първични преобразуватели и управляват изпълнителни устройства на промишлената уредба. Могат да се отбележат и други предимства на шината AS-i. Например нейната свободна топология, която позволява да се работи при конфигурации - звездообразна, дървовидна, кръгова, клетъчна или интегрирана.

Фиг. 9.30 *Елементи на интерфейс AS-i*

В продължение на 10 години AS-i се използва само за устройства за дискретен I/O.Само някои доставчици предлагат AS-i за бавни аналогово-цифрови устройства. Например първични преобразуватели на температура и ниво, но те винаги остават изделия, предлагани от компанията-разработчик, а броят на адресите (до 31) е тяхно основно ограничение.

Международната асоциация за използване на шина AS-i предлага нова версия на протокола – версия 2. За нея броят на адресите е увеличен двукратно с възможност за включване на 62 I/O устройства към едно главно устройство. Възможно е смесено включване на дискретни и аналогови първични преобразователи, но броят на спомагателните устройства в този случай се намалява.

Във втората версия са въведени още изменени за ниво диагностика. Старата версия позволява да се определят само неизправности в мрежата. В новата версия може да се извършва диагностиране за допълнителни неизправности, включително неизправности в самите устройства.

В една мрежа могат да работят устройства, съответстващи на функционалните възможности на версии 1 и 2.

Предимства на протокола AS-i *(⇨ Фиг. 9.31)*

Простота	Простотата на кабелната система се осигурява от: - наличие на един единствен двужилен кабел, свързващ всички първични преобразуватели и изпълнителни устройства в системата за автоматизация; - вградените възможности за управление.
Намаляване на разходите	Разходите могат да бъдат намалени с 40% поради: - намаляване времето за разработване, пускане и модернизация; - намаляване на габаритите чрез използване на по-компактни устройства и отстраняване на междинни елементи, поддържани извън устройството; - използване на един кабел за управление и електроснабдяване.
Безопасност	AS-i интерфейсът помага да се увеличи надеждността, степента на експлоатационна готовност и безопасност: - значително намаляване грешките при монтаж; - няма риск, породен от лоши връзки; - увеличена устойчивост от електромагнитни смущения; - функциите за безопасност на машината могат да бъдат вградени напълно в интерфейса.

↑ *Фиг. 9.31* *Предимства на интерфейса AS-i*

Компонентни на шината AS-i

Компонентите са обединени в групи *(⇨ Фиг. 9.32)* . За по-подробна информация се обръщайте към продуктовите каталози на Schneider Electric.

Принципи на работа на шина AS-i

Включване

Приспособлението за включване използва пробождащ съединител, наричан още съединител „вампир“. Съединителят има два контакта, които се включват при пробождане на изолационния материал на кабела, след което двете половини на съединителя се усукват взаимно, за да се получи надеждно съединение. Тази система е стандартна и в промишлената уредба може да осигури степен на защита до IP67 *(⇨ Фиг. 9.33)*.

Модулация на сигнала

Интерфейсът AS-i е разработен за функциониране без съгласуващо съпротивление в двата края на линията. Принципът на работа е основан на модулация на тока в съответствие с кода Manchester. Две бобини, разположени в захранващия източник, оформят синусоидалната форма на тока. Формата на генерирания сигнал позволява да не се използва екраниран кабел *(⇨ Фиг. 9.34)*.

Дължина на шината

Ограниченията за дължината са свързани с изкривяване на сигнала и пада на напрежение. Максималната дължина между две спомагателни устройства не трябва да бъде по-голяма от 100 m *(⇨ Фиг. 9.35)*. Увеличаване на това разстояние може да стане чрез използване на допълнителни повторители при следните ограничения:

- не повече от два повторителя на една шина;
- максималното разстояние до главното устройство не трябва да надвишава 300 m;
- пасивният повторител увеличава разстоянието от 100 до 200 m;
- активният повторител увеличава разстоянието до 300 m.

Протокол AS-i

Главното устройство организира работата на шината. То изпраща

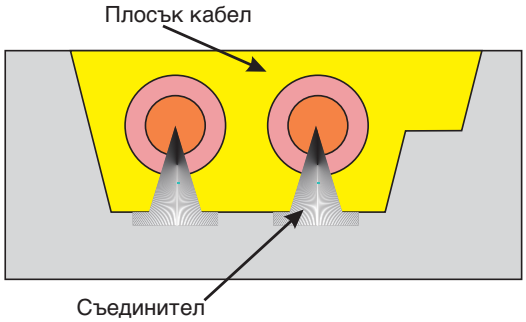
Устройства с общо предназначение	Към шината AS-i могат да се включват различни стандартни устройства (първични преобразуватели, изпълнителни устройства, пускатели и др.). Те осигуряват голяма свобода за избор и са особено подходящи при модернизация на уредба, която първоначално е изградена с конвенционални устройства. Дадените устройства могат да се използват в шкафове (със степен на защита IP20) или извън тях (със степен на защита IP67).
Специализирани устройства	Специализираните модули (комуникационни и други) се използват за съединения с шината AS-i. Специализираните компоненти се вграждат в устройства и могат да бъдат свързани директно с кабела AS-i . Това намалява значително работата за монтаж, но изборът не е толкова голям, както в случая при устройства с общо предназначение.
Главно устройство (Master)	Това е централен елемент на системата; неговата задача е управлението на обмена на данни в спомагателните устройства. Той може да осигури работа: -с 31 интерфейса или компоненти при версия 1 на протокола (време на цикъла 5 ms); -с 62 интерфейса или компоненти при версия 2 на протокола (време на цикъла 10 ms); Главното устройство е: - съставна част от PLC, например специализиран комуникационен модул; -устройство, включено към полева шина, в този случай то изпълнява ролята на шлюз.
Захранващ източник	Електроснабдяването на устройството се осигурява по кабела на шината AS-i с напрежение от 29,5 до 31,6 V. Захранващият източник е защитен от претоварване и къси съединения. Има само един тип захранващ източник, който се използва за шина AS-i. Тъй като за работата на шината се изисква минимален ток, в някои случаи, е необходим допълнителен захранващ източник, особено за изпълнителните устройства.
Плосък кабел	Кабелът с жълт цвят на изолацията, включен към захранващия източник, изпълнява две функции: - предаване на данни между главното и спомагателното устройство; - захранване на първични преобразуватели и изпълнителни устройства. Черният кабел, включен към допълнителния захранващ източник 24 V захранва изпълнителните устройства и първичните преобразуватели с изолирани входове. Механичният профил на кабела не допуска грешки при свързване; използваните материали осигуряват много бързо и надеждно включване на устройствата. Когато устройството е изключено, например за извършване на изменения, кабелът възстановява своята първоначална форма и херметичност на съединението. Тези кабели са изчислени за максимален ток 8A и се предлагат два варианта: - каучукови, за обикновено използване; - тип PTE (термопластична каучукова пяна), за приложения, където кабелът се подлага на въздействието на масла.
Безопасност	Стандартната технологична информация и информацията за безопасност до 4-то ниво в съответствие със стандарта EN60945-1 могат да бъдат предавани по едно и също време в същата среда. Интеграцията с интерфейс AS-i се извършва чрез включване към жълтия кабел на допълнителни системи за мониторинг и компоненти за безопасност. Информацията за безопасност се предава изключително между системата за мониторинг и елементите за безопасност и е прозрачна по отношение на останалите стандартни функции. Това означава, че системата за безопасност може да бъде добавена към съществуваща мрежа AS-i.
Терминал за адресация	Тъй като към шината AS-i се включват паралелно елементи трябва за всеки един от тях да се зададе отделен адрес. Тази задача се решава чрез терминал, свързан индивидуално с всеки елемент.

↑ *Фиг. 9.32* *Елементи на интерфейс AS-i*

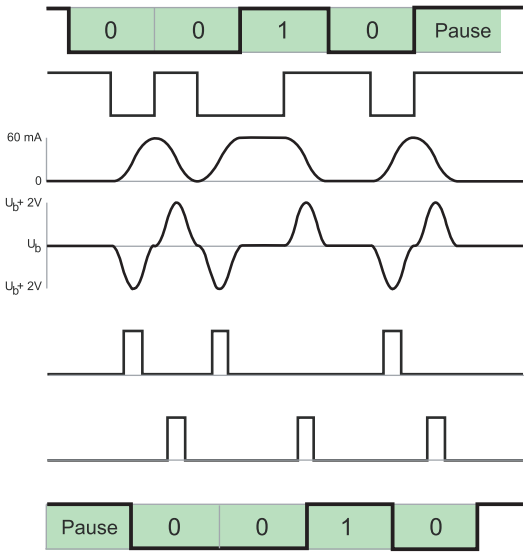
запитване към всички спомагателни устройства, които на свой ред изпращат исканите данни *(⇨ Фиг. 9.36)*. Когато всички спомагателни устройства отговорят започва нов цикъл и т.н. Продължителността на цикъла зависи от броя на спомагателните устройства и се изчислява лесно.

Интерфейсът AS-i използва няколко начина за осигуряване надеждно предаване на данни. Сигналът се проверява от абоната. Съобщението се отхвърля, ако формата е неправилна. Битът за контролна сума, добавен към кратко съобщение (от 7 до 14 бита) осигурява AS-i допълнителна проверка на предаваната информация.

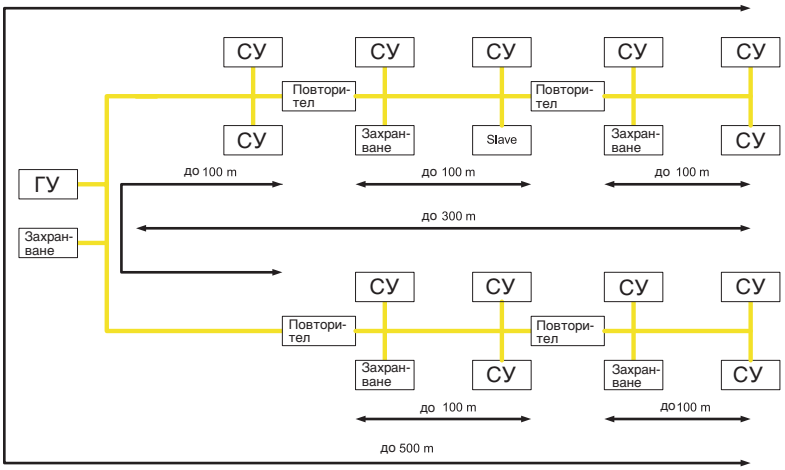
През времето за пауза на главното устройство се получава потвърждаване от спомагателно устройство *(⇨ Фиг. 9.37)*.



Фиг. 9.33 *Включване към шина AS-i*

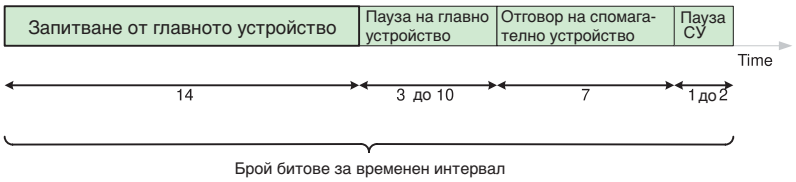


Фиг. 9.34 *Форма на напрежение и ток*



Фиг. 9.35 *Ограничения на интерфейса AS-i:*
Master - главно устройство (ГУ);
Slave - спомагателно устройство (СУ).

Фиг. 9.36 *Кадри на главно и спомагателно устройство*



Фиг. 9.37 *Структура на времето за запитване и отговор*

Интервалът за предаване на 1 бит е 6 ms. Продължителността на цикъла не може да надхвърли 5 082 μs, при честотата 166,67 kbit/s и добавени всички битове за пауза.

- **Всеки цикъл може да се раздели на три части:**
  - обмен на данни;
  - проверка на системата;
  - обновяване/добавяне на спомагателни устройство.

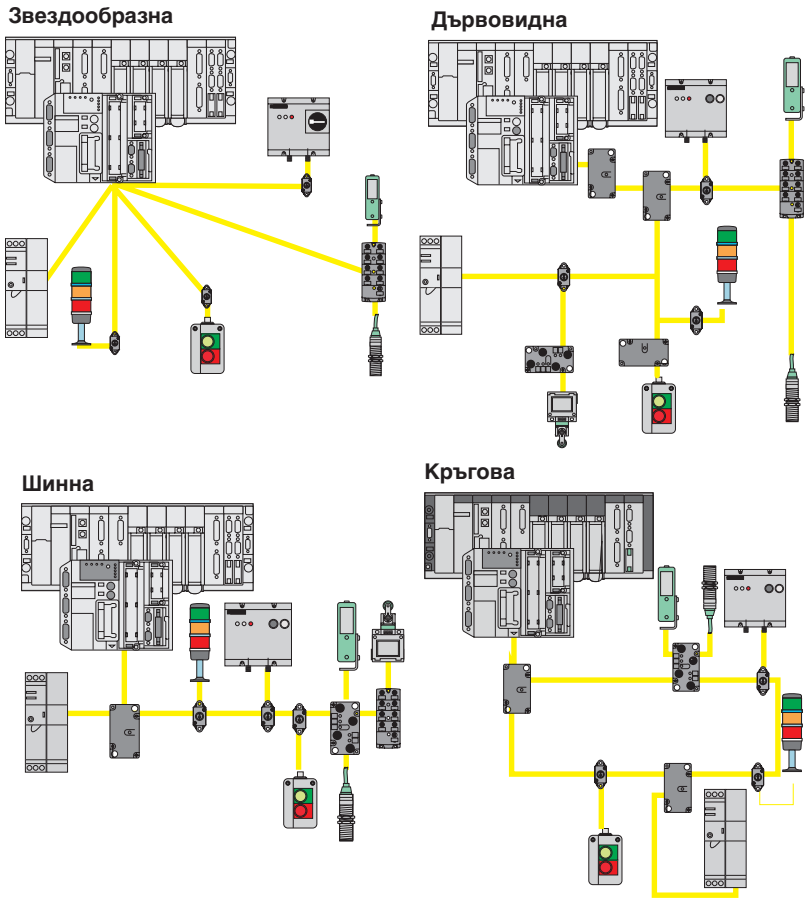
Профилът на главното устройство на интерфейса AS-i е съобразен с неговите задачи. Обикновено той изпълнява следните функции:

- инициализация на системата;
- идентификации на включените спомагателни устройства;
- изпращане параметрите на спомагателните устройства;
- проверка коректността на технологичните данни, получавани от спомагателните устройства;
- системна диагностика (състояние на спомагателните устройства, на захранващия източник и др.);
- предаване на информация за всички забелязани неизправности към системния супервайзър (PLC и др.);
- преконфигурация на системата при внасяне на изменение.

Спомагателните устройства дешифрират запитванията, получени от главното устройство, и изпращат отговор без времезакъснение. Но, спомагателното устройство не отговаря за коректността на запитването. Функционалните възможности на спомагателното устройство се определят от неговия AS-i профил.

Топология и опроводяване на интерфейс AS

Отсъствието на ограничения позволява да се формират разнообразни конфигурации на системата, някои от които са показни на *(⇨ Фиг. 9.38)*.



↑ *Фиг. 9.38 Примерни конфигурации на система AS-i*

Версии на интерфейс AS-i

Първата версия (V1) е модернизирана до версия V2.1, в която са реализирани следните подобрения:

- възможност за включване на 62 спомагателни устройства (във версия V1 техният брой е 31);
- възможност за предаване на съобщения за неизправност на спомагателно устройство без изключването му, което му позволява да функционира, когато възможността за непрекъсната работа е определящ фактор;
- поддържане на аналогови спомагателни устройства.

Профил на интерфейс AS-i

Обзавеждането на AS-интерфейса определя неговата функционалност. Две устройства, предлагани от различни производители, но имащи еднакъв профил функционират еднакво. Те са взаимнозаменяеми в структурата на мрежата. Профилът на изделието се задава при неговото изработване, определя се с два ли три символа и не може да бъде променян. В момента консорциумът AS-i определя повече от 20 различни профила. Те са описани по-нататък накратко.

Таблицата на *(⇨ Фиг. 9.39)*представя съвместимостта между версии V1 и V2.1.

	Спомагателно устройство, съгласно версия V1	Спомагателно устройство, съгласно версия V2.1 със стандартна адресация	Спомагателно устройство, съгласно версия V2.1 с разширена адресация	Аналогово спомагателно устройство
Главно устройство Съгласно версия V1	Съвместимо	Съвместими, но неизправности на спомагателното устройство не се обработват	Несъвместимо	Несъвместимо
Главно устройство Съгласно версия V2		Съвместимо	Съвместимо	Съвместимо

↑ *Фиг. 9.39* *Съвместимост между версии V1 и V2.1*

Профили на главно устройство

Профилите на главното устройство определят неговите възможности. Съществуват четири типа профили: M1, M2, M3 и M4, като последният е съвместим с профилите от старата версия.

Профили на спомагателно устройство

Всички спомагателни устройства имат свой профил, което означава, че те могат да се разглеждат като периферни устройства на интерфейса AS-i със специализирани микросхеми. В семейството на последните влизат например, интелигентни изпълнителни механизми и устройства, позволяващи да се включат традиционни устройства към шината AS-i. Профилите, подобно на ID картите, са определени така, че да класифицират изпълнителни механизми и първични преобразуватели от възможно най-голям брой категории. Това е много полезно, когато е необходима замяна на спомагателно устройство. Например, тягови изпълнителни механизми, предлагани от различни производители с еднакъв профил, могат да бъдат монтирани в мрежата без промяна на програмата или адресацията.

9.11 Заключение

Използването на комуникационни мрежи в промишлената автоматизация повишава гъвкавостта на създаваните системи, осигурява пълно съответствие с изискванията при създаване и модернизация на промишлени уредби, технологични линии и предприятия. Но, за да се направи правилен избор в тази област са нужни необходими знания за ефективни решение на основата на комуникационните мрежи и шини. При това трябва да се използват прости критерии: изделията трябва да бъдат открити, да са стандартизирани и да позволяват оптимизация.

- Откритата мрежа, за разлика от мрежата със закрита информация за нейното функциониране, предоставя възможност за свободен избор на производител на средства за автоматизация;
- Мрежата, удовлетворяваща изискванията на международни стандарти, създава условия за продължително време на използване и възможност за модернизация;
- Обоснованият баланс между производителност на мрежата и изискванията на промишлената уредба или системата за управление на технологичното обзавеждане е средство за оптимизация на инвестицията.

Последното обстоятелство се заключава в очевидната необходимост от ясно разбиране на това какво предлага компанията-производител на комуникационни мрежи, които дълго време се считаха за сложни от гледна точка на проектиране, модернизация и експлоатация. Компанията Schneider Electric фокусира своите предложения върху откритите мрежи. Те отговарят на международни стандарти и са адаптирани към изискванията на всички нива за автоматизация. Това се постига чрез определяне класовете на реализация, които осигуряват простота и оптимален избор.

Обработка на данни и програмно осигуряване

- Примери за архитектура (схемни решени, елементи и програмно осигуряване)
- Представяне на генератор на приложения в групова среда

10.1 Термини и определения 260

10.2 Увод 260

10.3 Програмиране, конфигуриране и езици 260

10.4 Категория на прилагане 262

10.5 UAG: генератор на приложения 276

10.6 Най-често използвани съкращения 280

10. Обработка на данни и програм-но осигуряване

10.1 Термини и определения
10.2 Увод
10.3 Програмиране, конфигуриране и езици

Този раздел разглежда управлението на технологични процеси подобно на това в първия раздел. Разделът включва описание на промишлено програмно осигуряване и неговото взаимодействие с технологични процеси в една системата за автоматизация. За разлика от другите раздели тук не се дават подробности за системата, програмните езици и др. По тези въпроси има много публикации, които читателят може да намери.

10.1 Термини и определения

Програмируем логически контролер (PLC) – термин, използван за означаване на програмируемо електронно устройство, което управлява промишлени системи чрез последователна обработка на информация.

То изпраща на операторите (операционна система или OS) управляващи въздействия, основани на обработката на входни сигнали (от първични преобразуватели), в съответствие с програмата, заложена в PLC.

PLC е устройство подобно на компютър и се използва, например за управление на машини от монтажна линия. Един PLC е достатъчен, за да реализира система на автоматизация от по-старо поколение, която е изпълнена с помощта на стотици или хиляди релета и изпълнителни механизми. Специалистите, които програмират PLC, се наричат системни инженери или програмисти АСУТП.

10.2 Увод

Производството на PLC започва през 70 години на миналия век. Първоначално те са разработени за работа с последователна логика, необходима за управление на машини и технологични процеси. Високата цена ограничава тяхното приложение за големи системи. Последвалите технологични усъвършенствания радикално променят решаваните задачи:

- езиците за програмиране са унифицирани и стандартизирани. Те се определят от стандарта на IEC IEC 61131-3;
- системният подход става основополагащ, а функционалните блокове заместват временните диаграми;
- цифровите системи широко се използват за обработка както на цифрови, така и на аналогови данни със съответен аналогово-цифров преобразувател;
- съществено намаляване на цената на електронните елементи позволява използването на PLC вместо реле дори и в прости системи;
- комуникационните шини и мрежи, използвани за обмен на данни, се оказват конкурентоспособни по отношение на обикновения проводников монтаж;
- технологията за работа с програмно осигуряване, използвана в офисите и бизнеса, става широко разпространена в промишлените системи за автоматизация.;
- интерфейсът човек-машина е по-гъвкав благодарение на процеса програмиране.

10.3 Програмиране, конфигуриране и езици

Програмата за автоматизация се състои от редица инструкции, които се изпълняват от процесора на PLC в ред, зададен от автора на програмата – системния инженер. Думата „програма“ често се използва като синоним на термина „програмно осигуряване“ или „приложение“. Въпреки, че програмното осигуряване в по-голямата си част се състои от програми, то също съдържа и данни, които по

същество не са програми: така и се повява и термина конфигурация. Конфигурацията допълва програмата, описвайки необходимите за изпълнение на програмата апаратни ресурси, задавайки режима на тяхното функциониране.

Съставянето на конфигурация (конфигурирането) не се разглежда като програмиране.

Като пример се разглежда система за управление на станция за водоснабдяване, която независимо от сложността си започва с проста програма, за поддържане нивото на водата в резервоар между две зададени граници чрез отваряне и затваряне на управляем електрически шибър. По-сложната система може да включва контролер за входящия поток и контролер за изходящия поток, поддържащи необходимото ниво на вода. Още един вариант за промишлено приложение е системата за пречистване на вода, която управлява няколко резервоара. Във всеки един от тях е необходимо да се поддържа:

- ниво на водата между долна и горна граница;
- стойност на киселинност (pH) в границите на зададен диапазон;
- определена производителност;
- други.

В програмите за посочените примери се реализират алгоритми за управление с различна сложност. Но, освен това, има разнообразно техническо обзавеждане за управление, използващо различни режими на работа. Тази информация се използва за конфигуриране.

Стандартни езици за програмиране

Международната електротехническа комисия (IEC) разработи стандарт IEC 61131 за PLC. В част трета от този стандарт (IEC 61131-3) се дефинират езици за програмиране:

• **IL** (Instruction List - Списък с инструкции) – списъкът с инструкции е подобен на езика Асемблер, който работи с процесорната архитектура чрез аритметично и логическо устройство, неговите регистри и суматори;

• **ST** (Structured Text – Структуриран текст) – подобен на езика C, използван в компютрите;

• **LD** (Ladder Diagram – Релеен език/Ладер диаграма[1]) – релеен език, който е подобен на електрически схеми и позволява удобното им преобразуване в програма на контролера. Този начин на програмиране осигурява визуализация при решаване на задачи;

• **FBD** (Function Block Diagram – Функционална блокова диаграма) – функционалната блокова диаграма представлява комплект от схемотехнически блокове (суматори, тригери, логически елементи и др.), които могат да бъдат свързани помежду си за изпълнение на произволна функция – от най-проста до най-сложна;

• **GRAFCET** (акроним от “GRAphe Fonctionnel de Commande Etapes/Transitions” или Step/Transition Control Function Chart – Графичен език за последователни функционални диаграми) – езикът GRAFCET е начин за представяне и анализ на система за управление. Той е подходящ за големи последователни системи, защото може да ги представи чрез разлагане на отделни стъпки. Езикът GRAFCET е международен стандарт от 1988 г. под наименованието “Sequential Function Chart” (SFC) – език за последователни функционални диаграми. Всяко действие в този език може да бъде свързано с програма, написана на езиците IL, ST, LD или FBD.

(1) В руската техническа литература на този език съответстват правилата за съставяне на релейно-контактни или релейно-контакторни схеми.

10.4 Категория на прилагане

Развитието на технологиите, удовлетворяващо изискванията на потребителите доведе до появяване на разнообразни типове PLC, които се характеризират с параметри:

- в частта апаратно осигуряване – изчислителна мощност, обем на памет, брой и характеристики вход/изход, скорост на изпълнение на команди, наличие на специални модули (управление по оси, връзки и т.н.);
- в частта програмно осигуряване – наред със стандартния комплект средства за програмиране и с наличие на по-сложни функции и възможности за комуникация и взаимодействие с друго програмно осигуряване от различно ниво.

В рамките на Метод за комплексни решения тези възможности се разглеждат по-долу през призмата на типови приложения, за да се помогне на читателя при неговия избор. Препоръчва се още на читателя да използва техническа документация за всеки продукт.

В първия раздел се разгледаха архитектури на системи за автоматизация и техните най-предпочитани реализации. От гледна точка на предназначение и характер на използване описаните решения могат да бъдат разделени на четири категории.

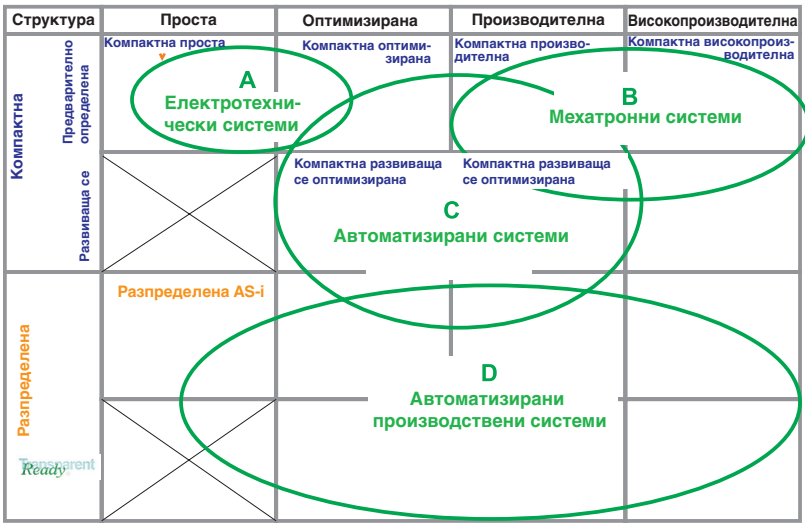
A – Електротехнически решения
Приложенията са прости, автономни и типови. Изборът на компоненти се основава на това, че те трябва да бъдат удобни, евтини и да имат просто техническо обслужване.

B – Мехатронни решения
Приложения, които са свързани с изисквания относно механични характеристики (точност, скорост, управление на преместване, диапазон на изменение и др.). Тяхната архитектура и начините за обработка в голяма степен определят производителността на решението.

C – Решения за автоматизация
Тези автоматизирани системи са сложни поради големия обем и разнообразната информация за технологичния процес относно настройка, връзка между PLC, брой на входове/изходи и др.

D – Организационни решения
Автоматизираните производствени системи трябва да бъдат интегрирани в архитектурата на системата за управление на предприятие. Те трябва да бъдат обединени една с друга и да обменят данни с програмно осигуряване горно ниво – ниво „бизнес системи“.

На *(⇨ Фиг. 10.1)* тези категории са позиционирани спрямо реализациите, описани в раздел 1 на това Ръководство.



↑ *Фиг. 10.1* *Категории за приложение и профили на потребителя*

Електротехнически решения

Най-простите решения се реализират чрез няколко електромеханични релета, чрез които се осигурява работа в автоматичен режим. Последните поколение малки PLC имат малък брой входове и изходи, прости са за програмиране и експлоатация, лесни са за изучаване и имат конкуренти цени.

Типичните приложения са в областите:

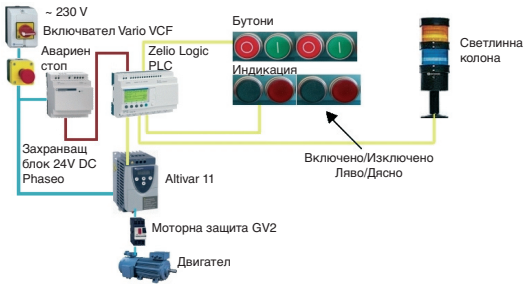
- промишленост: прости машини и реализация на допълнителни функции в децентрализирани системи;
- сгради и помещения, управление на осветление, контрол за достъп, отопление, вентилация, кондициониране.

Приложения с Zelio PLC

Тази конфигурация е подходяща за следните приложения *(⇨ Фиг.10.2)*.

Приложение	Описание	Пример
Мобилна помпена станция	Използване за пълнене и изпразване на резервоари. Използването на честотно регулируемо задвижване помага да се отчита вискозитета на течността	
Автоматична врата	Отваряне и затваряне портални врати на предприятие	
Електрически прозорци	Управление на вентилация в оранжерии	

Фиг. 10.2 *Примери за използване на PLC Zelio*



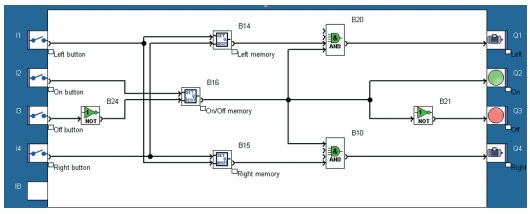
Фиг. 10.3 *Приложение с PLC Zelio*

На *(⇨ Фиг. 10.3)* е илюстрирана работа на асинхронен двигател, управляван от скоростен контролер.

Това приложение включва:
- контролер Zelio Logic PLC;
- захранващ блок 24V DC Phaseo;
- скоростен контролер Altivar 11;
- моторна защита GV2;
- светлинна колона XVB;
- включвател Vario VCF.

Параметрите на честотния преобразувател (време, скорост и други параметри за управление) могат да бъдат зададени непосредствено чрез устройството Altivar 11 или с помощта на програмния пакет PowerSuite, инсталиран на персонален компютър.

PLC Zelio може да се програмира или непосредствено с помощта на бутони и мини дисплей на контролера, или с помощта на програмния пакет Zelio Soft, инсталиран на компютър. Последната възможност се илюстрира с блок-схемата на *(⇨ Фиг. 10.4)*, където е представена програма във вид на функционална блокова диаграма (FBD).



Фиг. 10.4 *Фрагмент на екран с FBD*

Приложения с Twido PLC

Този тип контролер се използва за изграждане на прости приложения, наблюдението и управление на които са възможни чрез модем,

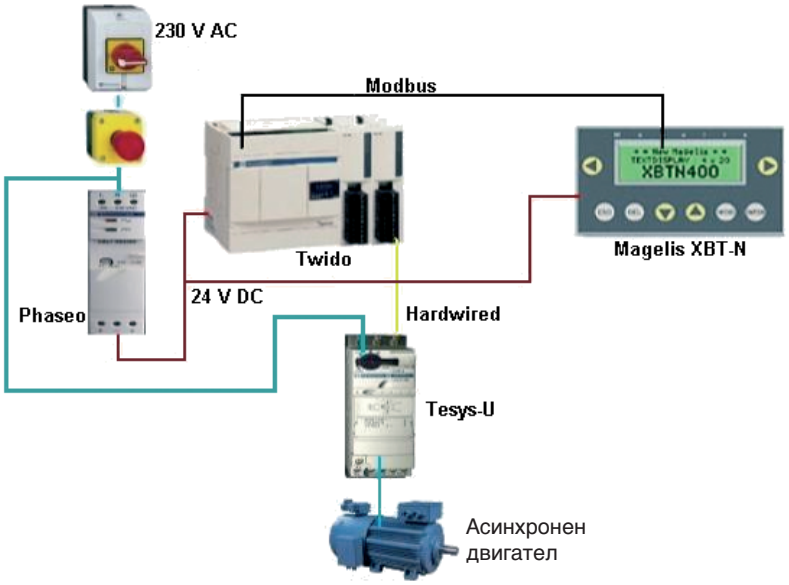
свързан към обществена телекомуникационна мрежа (PSTN).
На *(⇨ Фиг. 10.5)* са показани няколко примера:

Приложение	Описание	Пример
Вентилация	Управление на система за вентилация в производствено помещение. Измерваната температура се използва за управление на пускането и спирането на системата.	
Отопление	Управление на система за отопление в сграда.	
Дистанционно управление на фонтани	Наблюдаване за състоянието на фонтан от обслужващата компания. Системата може да се управлява дистанционно чрез модем.	
Управление на система за почистване с филтри към водоснабдителна станция	Схемата контролира и почиства филтъра във водоснабдителна станция чрез последователно подаване на чист въздух и чиста вода. Система също може да се управлява дистанционно чрез модем.	

↑ *Фиг. 10.5 Примери с PLC Twido*

Типова схема

Системата е реализирана с PLC Twido *(⇨ Фиг. 10.6)* . Като панел за индикация и управление се използва диалогов операторски панел Magelis. Безопасността се осигурява чрез използване на бутон за аварийно спиране.
Елементите в системата са свързани с проводници. Промишленият компютър Twido управлява пускател и формира съобщения за опасност, визуализирани на диалоговия панел Magelis.

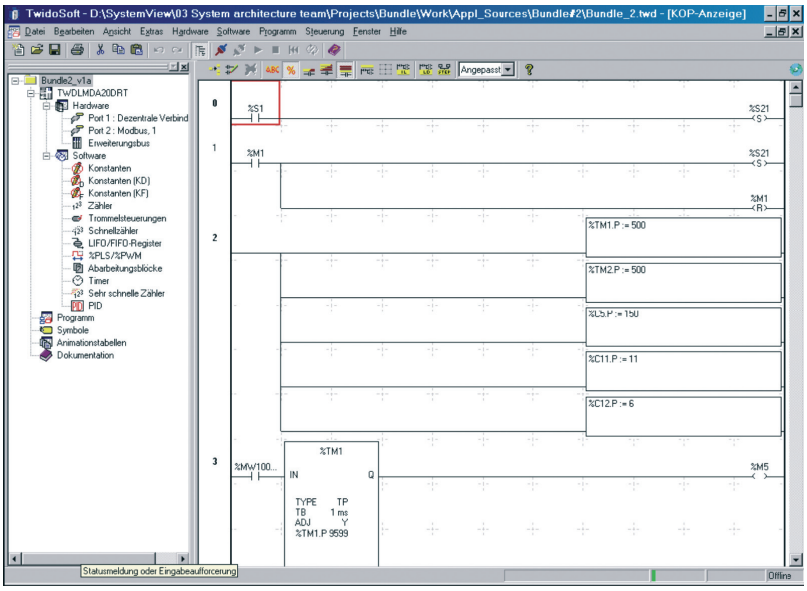


↑ *Фиг. 10.6 Приложение с използване на PLC Twido*

Използват се следните елементи:
Апаратно осигуряване:
- модулен Twido (PLC);
- захранващ блок Phaseo (PS);
- интелигентен пускател TeSys-U Starter Controller (SC);
- диалогов операторски панел Magelis XBT-N (HMI);
- стандартен трифазен асинхронен двигател.

Програмно осигуряване:
- инструментална система за програмиране Twidosoft Version 2.0;
- инструментална система за конфигуриране на диалогови панели Magelis XBTL1003M V4.2.

На *(⇨ Фиг. 10.7)* е представен прозорец на пакета Twido Soft с примерна програма на езика LD, която може да бъде автоматично преобразувана в програма на езика IL. Езиците за програмиране включват голям комплект от инструкции, а вграденият браузер позволява да се осъществи непосредствен достъп до всички елементи от програмата.

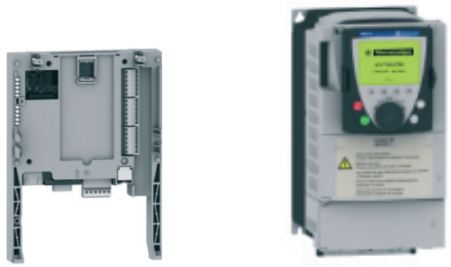


↑ *Фиг. 10.7* *Екран с програма на езика LD*

Мехатронни решения

За редица приложения се изисква да се осигурят технически характеристики, които трудно се постигат без тясна връзка между процеса на събиране и обработка на данни и процеса управление на изпълнителните механизми (електродвигатели). Поради тази причина операциите за обмен на данни могат да бъдат организирани непосредствено в електрозадвижването – или като четене/запис на аналогови входове/изходи, или чрез бърза полева шина с общо предназначение (шини CANopen или подобни), или на основата на специализирана шина (SERCOS и др.). Такъв тип архитектура се изгражда чрез използване на честотни преобразуватели за асинхронни двигатели или сервопреобразуватели за синхронни двигатели, включени в състава на затворени системи за управление.
За обработка на аналогови и дискретни променливи е необходимо в структурата на честотния преобразувател да има:
- входно/изходни платки;
- мрежови платки;
- платки за контролера.

Подобни решени могат да използвани както в промишлеността, така и в инфраструктурни обекти.
Пример за подобно решение: разглежда се система, използваща честотно регулируемо задвижване с вграден програмируем логически контролер.



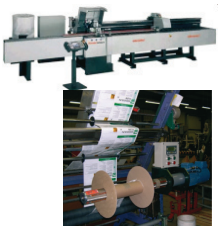
↑ Фиг. 10.8 *Честотен преобразувател Altivar 71 с програмируема платка Controller Inside*

Обработка на данни в честотно регулируемо електрозадвижвания

За превръщане на автономно работещия честотен преобразувател Altivar в елемент от система за автоматизация може да се използва допълнителна програмируема платка *(⇨ Фиг. 10.8)*. Тази платка, наричана „Controller Inside – Вграден контролер“ притежава всички функции, характерни за PLC:

- реализирани, на основата на системата CoDeSys, средства за програмиране, включващи текстови и графични езици, съответстващи на стандарта IEC IEC 61131-3;
- обработка на данни, осигуряващи оперативно управление на двигателя;
- функция на главно устройство на шина CANopen, за осигуряване на възможност за управление на спомагателни устройства за честотно регулируемо задвижване (Altivar 31, -61, -71) и обмен с всички необходими данни;
- картата има собствени входове/изходи и достъп до входовете и изходите на Altivar;
- възможност за използване на графичен терминал за изобразяване на информация и конфигуриране;
- възможност за управление чрез интернет, Modbus и др. комуникационни мрежи.

Системата CoDeSys е инструментална система за програмиране под Windows. Тя поддържа 5 езика за програмиране в съответствие със стандарта IECIEC 61131-3. Системата CoDeSys генерира системен код, за повечето съвременни процесори, и може да бъде използвана за различни видове контролери. Тя обединява мощността на съвременните езици за програмиране, като C и Pascal и функциите на системата за програмиране на PLC. Средствата за разработка включват Ръководство за програмиране и Справочна система на различни езици. Много производители на обзавеждане използват тази система. Компанията Schneider Electric я избра за устройства за управление на честотни преобразуватели Altivar и сервопреобразуватели Lexium.

Приложение	Описание	Пример
Инфраструктура	Помпена станция за снабдяване с чиста вода.	
Специализирани машини	Някои приложения: - вентилатори; - опаковъчна техника; - дървообработващи машини.	
Конвейери	Използват се в комбинация с основно и товарно-разтоварно обзавеждане.	

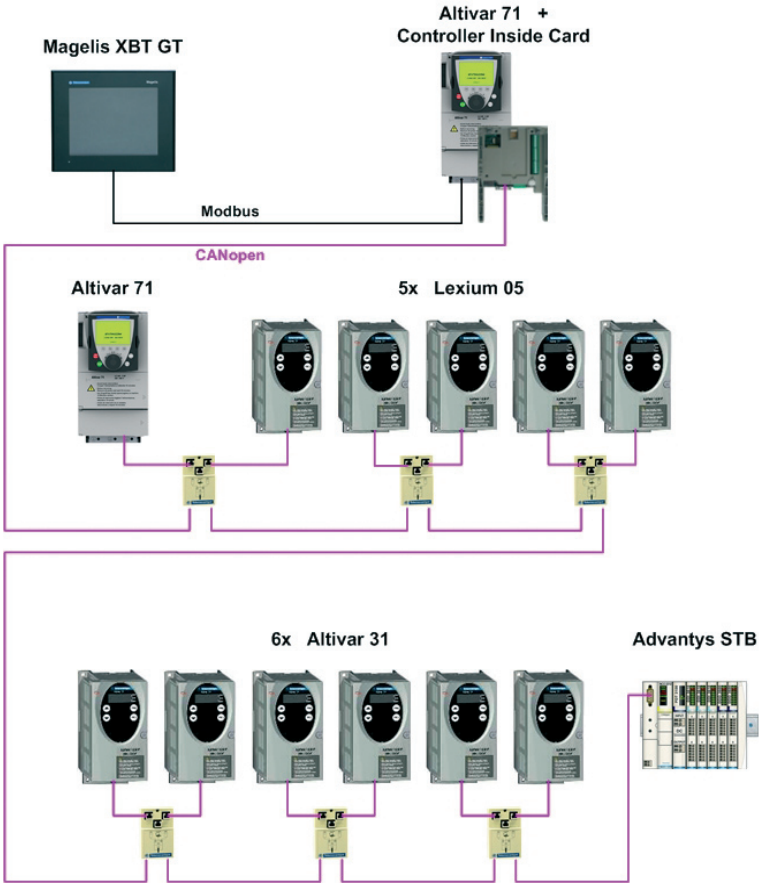
↑ Фиг. 10.9 *Приложения с PLC, вграден в честотен преобразувател Altivar*

Приложения

Тази конфигурация е подходяща за следните приложения *(⇨ Фиг.10.9)*.

Типова схема

За опростяване на илюстрацията на *(⇨ Фиг. 10.10)* не са показани захранващия източник и неговата схема.



↑ *Фиг. 10.10* *Приложение с преобразувател Altivar и вградена програмируема платка Controller Inside*

В системата влизат:

- **Апаратно осигуряване:**
  - програмируема платка Controller Inside, вградена в Altivar 71. Честотният регулатор е главно устройство за шината CANopen;
  - честотни преобразуватели ATV31 и ATV71 с вграден интерфейс CANopen;
  - сервопреобразувател Lexium 05 с вграден интерфейс CANopen. Средствата за човеко-машинен интерфейс, са представени с графичния панел Magelis, свързан с контролер по шина Modbus;
  - система за отдалечен вход/изход, на база устройства за връзка с обект Advantys STB.
- **Програмно осигуряване:**
  - PS1131 (CoDeSys V2.3);
  - PowerSuite за устройства ATV31, ATV71 и Lexium05;
  - Vijeo-Designer V4.30 за Magelis;
  - Advantys Configuration Tool V2.0.

Решения за автоматизация

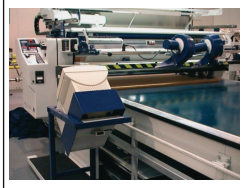
Съвременните системи за автоматизация използват голям брой входове и изходи от различен тип. Те трябва да осигурят на контролера информация, необходима за управление на технологични обекти и техническо обслужване.

10.4 Категория на прилагане

Сложността на системата изисква продължителни и скъпоструващи разработка и реализация. Производителите на обзавеждане предлагат два подхода за намаляване на разходите:

- модулни предложения за апаратно и програмно осигуряване, за намаляване крайната цена на всички приложения;
- програмни инструменти за повишаване на производителността, управление на промени в проекта и опростяване на техническото обслужване и модернизация.

Този тип решени се използват в промишлени цехове, където са обединени няколко машини, а също и в инфраструктурни обекти. В таблицата на *(⇨ Фиг.10.11)* са показани някои примери.

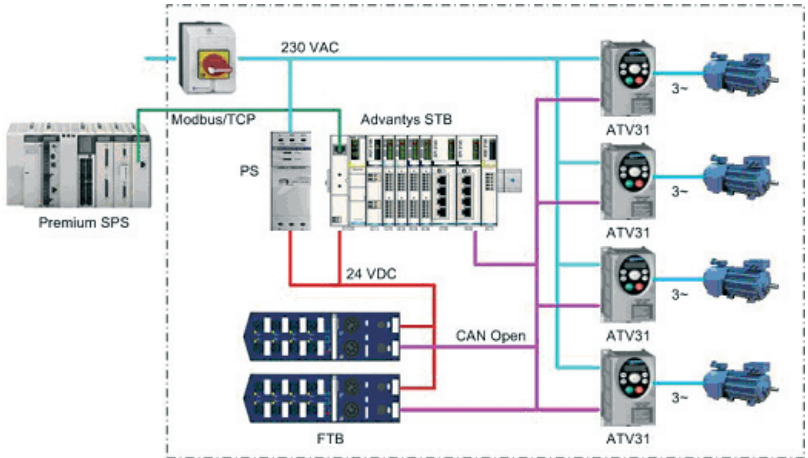
Приложение	Описание	Пример
Обзавеждане за обработка	Използва се в системи с няколко конвейери.	
Опаковъчни машини, текстилни машини, специални машини	Използват се в режещи и опаковащи машини, обединени в производствена линия.	
Помпи и вентилатори	Използват се за измерване разхода на вода и в системи за охлаждане, управлявани на основата на данни от външни измервания (например, скорост на водния поток на изхода).	

Фиг. 10.11 Приложения за производствени процеси

Приложения

За демонстрация на принципа на работа се описват най-важните съставни части на разглежданото приложение.

За управление на локални машини и механизми се използва контролер Premium *(⇨ Фиг. 10.12)*. В това приложение се използват модули за отдалечен вход/изход Advansys TSB, четири честотни преобразуватели и външни модули вход/изход. Всеки елемент е свързан към шина CANopen. Схемата лесно може да се разшири чрез добавяне на честотни преобразуватели и модули вход/изход. Контролерът е свързан с устройства за отдалечен контрол вход/изход с помощта



Фиг. 10.12 Приложение с PLC Premium

на мрежа Modbus TCP. Контролерът и двигателите се захранват от променливотокова мрежа 230 V. Освен това се използва постояннотоков източник 24 V.

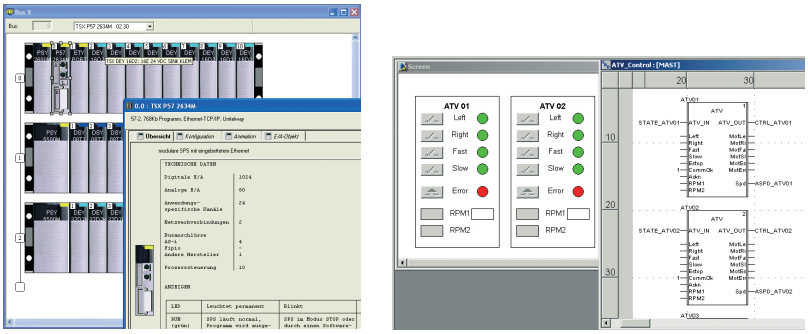
Типова схема *(⇨ Фиг. 10.12)*

В тази схема участват елементите:
- контролер TSX Premium (PLC),
- захранващ източник Phaseo (24V);
- честотен преобразувател ATV31;
- устройства за отдалечен вход/изход Advantys STB;
- модули вход/изход Advantys FTB със степен на защита IP67;
- трифазни асинхронни двигатели с накъсо съединен ротор.

Програмно осигуряване:
- инструментална система за програмиране Unity Pro V2.0.2 за работа с PLC Premium;
- програма за конфигуриране на устройства на отдалечен вход/изход Advantys;
- програмен пакет Power Suite за конфигуриране на устройство Altivar.

Среда за разработване на приложения UNITY PRO

Програмното осигуряване Unity Pro позволява настройка и функциониране на семейство PLC Modicon Premium, Atrium, Quantum и M340. Изградена на опита от създаване и използване на предходни инструментални системи PL7 и Concept, средата Unity Pro позволява да се използват многобройни възможности за повишаване на производителността и осигуряване на съвместна работа при създаване и експлоатация на сложни системи за експлоатация на технологични процеси *(⇨ Фиг. 10.13)* .



Фиг. 10.13 Екрани на Uniy Pro

- **Основни свойства на Unity-Pro**
  - графичен интерфейс Windows;
  - възможност за настройка на системата чрез потребителски икони и панели от инструменти;
  - потребителски профили;
  - графично представяне на апаратни конфигурации;
  - вградени конвертори за PL7 и Concept;
  - генериране на синхронизирани променливи (глобални данни) за обмен по Ethernet;
  - пет езика за програмиране в съответствие със стандарт IEC61131-3 с графични редактори;
  - интеграция на програмни редактори за библиотечни и потребителски функционални блокове и данни;
  - преместване на обекти от библиотека с помощта на показалеца на мишката (операция drag§drop);
  - експорт/импорт на основата на XML и автоматично определяне типа на данни;

- възможност за автоматизация чрез повторно изпълнение на действия чрез помощта на макроси VBA;
- система за горещо резервиране Hot Standby не изискваща допълнително програмиране;
- вградена система за моделиране на контролери („симулатор“ на апаратни средства).

Системата Unity Pro предлага голям набор от функции и инструменти за съгласуване структурата на приложение със структурата на технологичния процес или машина. Приложението може да бъде разделено на функционални модули, които образуват йерархична структура и съдържат:

- програмни секции;
- анимационни таблици;
- диалогови екрани;
- хипервръзки.

Системата съдържа около 800 стандартни функции и функционални блокове и може да бъде разширена с помощта на потребителски елементи (променливи, типове данни, функционални блокове).

Разработчикът на приложение може да създава потребителски производни функционални блокове (DFB) съгласно езиците на стандарта IEC 61131-3 Програмируеми контролери. Част 3: Програмни езици, формирайки пакети от повтарящи се действия и данни.

Системата поддържа локални и разположени на сървър потребителски библиотеки. Те могат да се използват за създаване на типови приложения и проектни решения.

Системата Unity Pro включва допълнително още:

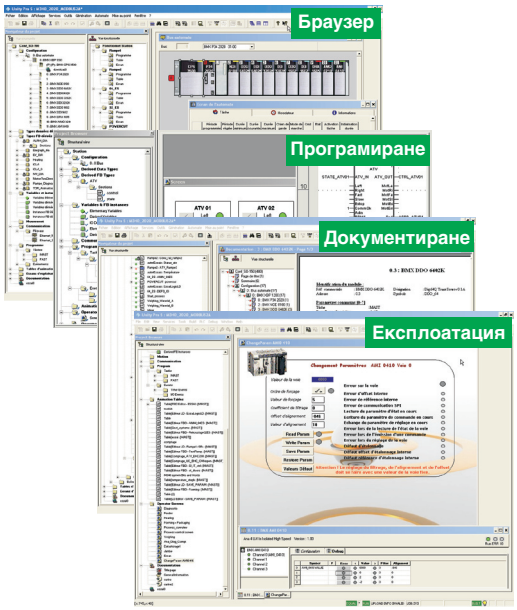
- символни (нелокализирани променливи, разположени в паметта на CPU на самата система);
- определени от потребителите структурирани типови данни DDT;
- библиотека от предварително анимирани графични обекти за диалогови екрани;
- защита на приложение или негови части от запис/четене, предотвратяваща несанкционирана модификация;
- възможност за разработване и настройване на функционални блокове на езика C++ с използване на програмния пакет EFB Toolkit.

Обектите от приложението и техните свойства, инсталирани в библиотеката на локалния компютър или на отдалечен сървър, се използват съвместно във всички проекти и всякакви изменения, изпълнени в библиотеката на обекта оказват влияние върху приложението, което го използва:

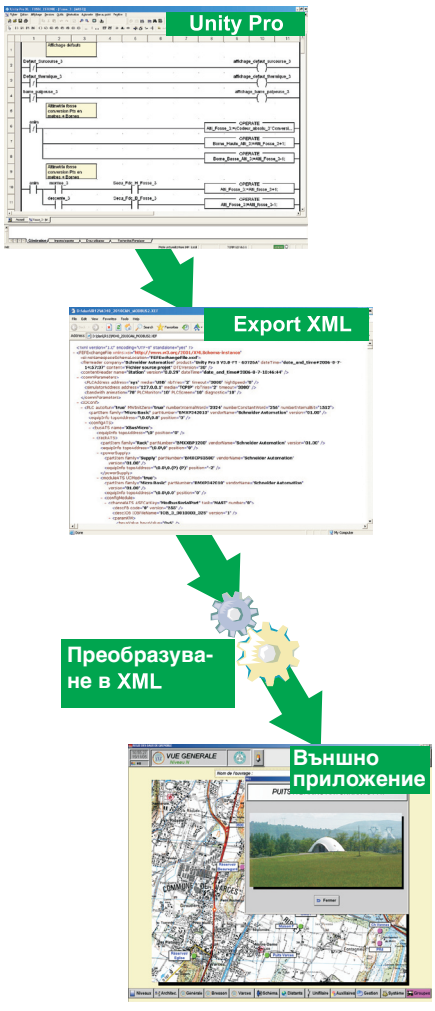
- функционалните модули могат да бъдат използвани в самото приложение и в други проекти чрез XML експорт/импорт;
- функционални блокове се създават от библиотеката с помощта на показалеца на мишката (drag&drop);
- всички реализации на функционалния блок автоматично следват изменението на библиотеката (ако това е избрано от потребителя);
- графичните обекти за диалоговите екрани се избират и конфигурират с помощта на показалеца на мишката.

В Unity Pro е интегриран симулатор на PLC, който може да бъде използван за прецизно настройване на приложението преди да се извърши настройка в реални условия. Той точно възпроизвежда поведението на целевата програмата при зададени ограничения на програмата. В симулатора могат да се използват всички инструменти за настройване, които са достъпни също след зареждане на приложението в PLC:

- стъпково изпълнение на програма;
- спиране в зададена точка;
- динамична анимация за наблюдаване състоянието на променливите и логиката при изпълнение на програмата.



↑ *Фиг. 10.14 Примери за представяне на приложения Unity Pro*



↑ *Фиг. 10.15 Етапи при обмен на данни за програмно осигуряване*

Диалоговите екрани опростяват настройката поради представянето състоянието на променливите във вид на графични обекти: индикатори, графики, стълбови диаграми и др.

Всички специализирани модули на контролера имат специални екрани за тяхното конфигуриране, изпитване и настройка: графики на екрани и действия, които могат да се изпълнят, отчитайки типа на модула (дискретен, аналогов, брояч, комуникационен и др.).

Действията на оператора се регистрират в стандартни Windows-файлове. Хипертекстовите връзки в приложението могат да се използват за показване на документи и други приложения на Windows, които се изискват за работа и техническо обслужване.

• Диагностични инструменти

Системата Unity Pro осигурява на потребителя комплект от диагностични блокове DFB. Те са интегрирани в програмата и в зависимост от техните функции, се използват при наблюдаване на условията за безопасна работа и хода на технологичния процес. Специален прозорец за преглед дава подробно и хронологично информация за неизправности в системата или приложението. Чрез посочване с показалеца на мишката и потвърждение (кликване) върху диагностичното съобщение се показва тази част от програмата, която може да е предизвикала неизправност. Това позволява да се изпълни търсене на условия за нейното повяване.

Системата Unity Pro позволява да се внасят изменения в приложението в работен режим – режим on-line без спиране на контролера. Тези изменения се предават в PLC и се включват в приложението в един цикъл на неговата работа.

Хипертекстовите връзки, интегрирани в приложението, осигуряват отдалечен или локален достъп до работни ресурси (документация, допълнителни инструменти и др.) в резултат на което се намалява престоя. Налице е широк диапазон от възможности за осигуряване на безопасност и защита от несанкционирани действия:

- потребителски профил с избор на разрешени действия и пароли;
- потребителски профил със защитени избор на достъпни функции и парола.

Диалоговите екрани и функционалното представяне на приложения позволява да се изпълни бърз и удобен преход към необходимата част от приложението *(⇨ Фиг. 10.14)*.

Архитектурата клиент-сървър на Unity Pro осигурява достъп до програмни ресурси чрез програмиране на интерфейс на VBA, VB или C++. Могат да се посочат два примера на задачи, които се реализират с тези възможности:

- автоматизация на повтарящи се задачи (въвеждане, конфигурация, транслация и др.);
- интегриране на специални приложения (генератор на код и др.).

• Формат на обмена за програмно осигуряване

Форматът, базиран на XML, като универсален стандарт за обмен на данни чрез Internet, приет от консорциума W3C, се използва като формат за обмен за приложения на Unity-Pro и техни части като променливи, програми, описание на входове /изходи, конфигурации и др. *(⇨ Фиг. 10.15)*.

Операциите импорт/експорт се извършват за всяко приложение или негови части, за използване в друго програмно осигуряване (САПР/CAD и др.).

Специалната програмна система Unity Developer ‘s Edition (UDE – Редактор на разработчика) и нейният програмен интерфейс на C++, Visual Basic и VBA могат да бъдат използвани за създаване на специални програмни решения като интерфейси с електротехнически CAD, генератори на променливи, програми на PLC или повтарящи се проекти

на задачи за автоматизация. Много производители на програмно осигуряване използват UDE за опростяване обмена на данни с Unity-Pro. По-долу са показани няколко примера *(⇨ Фиг. 10.16)*.

Област на приложения	Компания	Програмен продукт
Електротехническа CAD	ECT	Promise
Електротехническа CAD	EPLAN	EPLAN
Електротехническа CAD	IGE-XAO	SEE Electrical Expert
Електротехническа CAD	AutoDesk	AutoCAD Electrical
Електротехническа CAD	SDProget	SPAC Automazione
Моделиране на техно-логични процеси	Mynah	Mimic
Управление на изменения	MDT Software	AutoSave
Генератор на приложения	TNI	Control Build
SCADA отчети	Iconics	GENESIS BizViz Suite
SCADA	EuropSupervision	Panorama
SCADA	Arc Informatique	PCVue32
Графичен потребител-ски интерфейс	ErgoTech	ErgoVU
SCADA	Areal	Topkapi
SCADA	Afcon	P-CIM
MES	Tecnomatix/UGS	XFactory
Архиватор/RtPM	OSISoft	PI
Web услуги	Anyware	PLC Animator

↑ *Фиг. 10.16* *Компании, предлагащи програмно осигуряване с използване на UDE*

• Съвместимост със съществуващи приложения
Приложенията, създадени в инструменталните системи за програмиране PLC7 или Concept на езиците от стандарта IEC 61131 могат да се импортират в Unity –Pro с помощта на интегрирани конвертори. Тази опция присъства винаги като стандартна възможност.

За централните процесори и всички интелигентни модули в PLC Premium и Quantum е предвидено обновяване на техните вътрешни операционни системи за работа с Unity-Pro. Използваните модули с дискретен и аналогов вход/изход, а също и специализираните модули и модулите за полева шина са съвместими с Unity-Pro.

Инженерни решения за организация на производство

Тук се разглеждат сложни архитектури, използващи няколко PLC, които взаимодействат помежду си и с контролиращи работни станции (SCADA). Тези архитектури са свързани също с корпоративната система за управление.

Оптимизацията на системата изисква глобален подход при взаимодействие на всички подразделени на компанията, партньорите и използваните ресурси. Различават се два типа взаимодействия:

- в реално време: процесът на функциониране се характеризира с взаимни връзки между системите за управление н взаимодействието с клиенти (CRM), производствената изпълнителна система (MES) и системата за счетоводно отчитане оптимизацията на потоците ресурси от различен вид;
- колективно на етапите подготовка и осигуряване на функциониране: поддържане на програмни инструменти за взаимодействие между партньорите, участващи на етапите разработване, реализация, внедряване и техническо обслужване за съкращаване

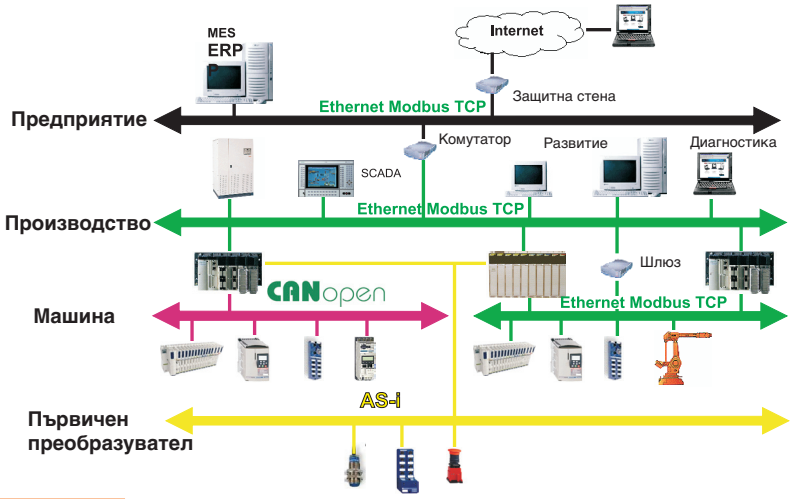
времето и стойността на производство и повишаване и неговото качество.

Приложенията са разнообразни, което затруднява тяхното използване в други приложения, участващи в единна среда за функциониране или проектиране. Потребността от оптимизации на взаимодействието между приложенията предизвиква подход, основан на съвместна работа при организация на дейността на предприятието.

Реално време и корпоративно програмно осигуряване

Илюстрацията *(⇨ Фиг. 10.17)* показва типични съставни части от система за управление на производствено предприятие. Те могат да бъдат представени на четири нива:

- **Ниво предприятие:** Нивото предприятие се характеризира с голям брой потоци информация. Автоматизация в офиса и Интернет са базови изисквания в момента. Програмното осигуряване се реализира чрез персонални компютри или на по-мощни сървъри
- **Ниво производство:** То се характеризира главно със SCADA и PLC, които управляват технологичния процес. В момента, Ethernet е стандартно средство за връзка между компютъра и контролера.
- **Ниво машина, агрегат, уредба:** При избора на средства за връзка са важни условията в реално време. Задачите за управление се възлагат на промишлени PC и PLC, а връзката се реализира чрез полеви шини CANopen, Modbus или избрани протоколи Ethernet.
- **Ниво първичен преобразувател:** Опроводяването се конкурира с шина AS-i, която е особено подходяща за такъв род приложения.



↑ Фиг. 10.17 *Нива на система за управление на производствено предприятие*

Съвместно проектиране и изграждане

Посоченото по-горе програмно осигуряване е предназначено за създаване на приложения за един контролер, дори и когато в приложението са необходими комуникационни връзки.

Разглеждат се нови инструментални средства, преодоляващи ограниченията за паралелна работа при проектиране и реализация на сложни системи. Те помагат на програмистите да опростят и ускорят своята работа, да запазят измененията и историята на проекта, да намалят броят на грешките.

Разглежда се жизнения цикъл от формулиране на задачата до приключване функционирането на машината или технологичния процес *(⇨ Фиг. 10.18)*. Различните типове работа, влизащи в този цикъл, изискват сътрудничество между отделните подразделения на предприятието. Това сътрудничество е възможно чрез такива инструмен-

ти като машинна и електротехническа САПР (CAD) система, системи ERP, MES, SCADA и други програмни средства.

Компанията Schneider Electric предлага програмно осигуряване Unity-Pro и генератор на приложения UAG. Те представляват апаратно-програмна платформа за автоматизация, основана на възможност за въвеждане на иновации и съвместна работа на инструментални средства. По този начин се дава възможност на специалистите да решават задачи от тяхното формулиране до техническо обслужване *(⇨ Фиг. 10.18)*.

↑ *Фиг. 10.18 Системи Unity-Pro и UAG*

Програмното осигуряване Unity-Pro вече беше разгледано и затова следващият параграф се отнася до системата UAG.

Разработени са няколко програмни средства за осигуряване съвместна работа. В таблицата *(⇨ Фиг. 10.19)* са описани техните функции и са дадени кратки пояснения. Тези средства отговарят на изискванията на основните компютърни стандарти (например, Ethernet TCP/IP, Web, OPC, Soap, XML и др.). Те осигуряват йерархично сътрудничество между разгледаните по-горе нива на системите за управление и гарантират:

- увеличаване обема на достъпната информация в реално време;
- опростяване на взаимодействието между технологичните процеси и информационни системи (MES, ERP и др.);
- обмен на данни чрез средства за проектиране, например САПР (CAD).

UDE: Редактор на програмно осигуряване

Областта на приложение Unity-Pro се разширява с помощта на системата Unity Developer's Edition (UDE). Редакторът Unity е специално осигуряване за програмисти, използващи езици VBA, VB и C++. Той осигурява достъп до всички вътрешни сървъри Unity-Pro за разработване на потребителски решения такива като интерфейс с електротехнически CAD или автоматичен генератор на приложения.

UAG: генератор на приложения Unity

UAG е инструмент за разработка, базиран на създаване и повторно използване на модули от проекта (например PID-регулатор, вентил, двигател и др.), който отговаря на изискванията на стандарта ISA88. UAG създава код за контролерите и SCADA графики. В допълнение той управлява база данни, общи за всички елементи от проекта, което осигурява съвместимост на приложенията.

Единният механизъм за въвеждане и изменение на данните осигурява оперативност на разработката и съвместимост между двете части на проекта – за контролери и за SCADA система. В резултат на структурирания модулен подход при проектиране UAG осигурява значителна икономия на средства за разработка, опростява проверката и техническото обслужване на проекти за автоматизация.

10.4 Категория на прилагане

Инструментални средства	Функции
Unity Pro	Разработка на приложение за един PLC
UAG Unity Application Generator	Обектноориентирана разработка на приложения за много PLC и компютри и SCADA. Съответствие със стандарта ISA 88.
UDE Unity Developer Edition	Програмно осигуряване за разработка на Windows приложения, използващи Unity-Pro, на програмни езици VBA, VB и C++.
OFS OPC Factory System	OPC сървър на компанията Schneider Electric за обмен на данни между PLC и Windows приложения (OPC – клиенти, например със SCADA системи).
Factory Cast Web Environnement	Осигурява предаване на информация между PLC и компютър, използвайки Internet технология.
CITEC SCADA	SCADA система за контрол, управление и събиране на данни.
AMPLA	Програмно осигуряване MES - производствена изпълнителна система
Ethernet card	Карти, използващи Factory Cast услуги
Организация на допълнително конфигу-риране и настройки	
XBT L1000	Създаване на приложение за диалогови панели (средства човеко-машинен интерфейс).
Vijeo designer	Създаване на приложение за диалогови панели (средства човеко-машинен интерфейс).
Vijeo Look	Мини SCADA.
Power Suite	Конфигуриране на преобразуватели на честота Altivar, устройства за плавно пускане Altistart и интелигентни пускатели TeSys U.

Фиг. 10.19 Допълнителни инструментални средства за съвместна работа

OFS: OPC Factory Server - Софтуер за сървър за данни

Софтуерът OFS е изграден върху протокола OPC (OLE за контрол на процеси), разработен за обзавеждане от Schneider Electric. Той е програма за взаимодействие между Windows приложения и системи за промишлена автоматизация. Този принцип на взаимодействие произхожда от обмен на база DDE на компанията Microsoft, преработен в OLE база данни, след това - в клиентски програми OLE Automation, на базата на модули COM/DCOM на операционната система Windows.

Основата, изградена от доставчици на програмно осигуряване позволява да се управлява развитието на OPC и да се гарантира съвместимост отдолу нагоре, както и взаимодействието между програмни продукти на различни доставчици.

При модернизацията се отчитат следните изисквания:

- открити стандарти за Internet приложения с цел лесен достъп за производствени данни;
- висока степен на взаимодействие между управляващи приложения и IT-приложения;
- архитектура с много клиенти и сървъри;
- достъп до местни или отдалечени сървъри;
- проста реализация.

Factory Cast: взаимодействие с WEB

Това са инструментални средства, позволяващи на приложенията да се свързват през Internet, като удовлетворяват следните изисквания:

- взаимодействие между приложенията;

- web- и Internet съвместимост;
- използване на открити стандарти;
- проста реализация.

Приложенията трябва да имат възможност за взаимодействие независимо от:

- езика, на който са разработени;
- операционните системи, под управлението на които те работят.

Internet-съвместимите технологии са основани на стандартният протокол XML SOAP (Simple Object Access Protocol) – базиран протокол, позволяващ обмен на информация между приложенията, изпълнявани от различни операционни системи, с различни технологии и езици чрез HTTP. Стандартното описание на услугите и интерфейсите се осигурява, ако приложението използва езика WSDL (Web Service Description Language), който представлява по същество библиотека стандартни и самодокументирани функции за достъп до данни.

Комбинацията от тези технологии е известна като Web Services и е независима от платформи, езици и операционни системи.

SCADA: Система за диспечерски контрол и събиране на данни

SCADA - системата за диспечерски контрол и събиране на данни и наблюдение е промишлено програмно осигуряване, използвано с цел оптимизация управлението на технологичния процес. То работи в реално време с отчитане на производствените изисквания и наличните ресурси.

Ethernet платки

Диапазонът на приложение на Ethernet платки позволява да се използват перспективни технологии за програмно осигуряване в съвременните архитектури за автоматизация. Така се дава възможност на потребителите да реализират собствени функции. Това от своя страна позволява да се организират системи напълно съвместими с IT-среда, използвана в системите MES и ERP.

10.5 UAG: генератор на приложения

Генераторът на приложение Unity (UAG) е едновременно програмно осигуряване за разработване на приложение и инструмент за генериране, позволяващо обединяването на PLC-та и системи за управление SCADA или средствата човеко-машинен интерфейс. За реализация на това той използва принципа за единна база данни на хибридна система за управление, обединяваща функциите на разпределени системи за управление (DCS и PLC). Въпреки, че UAG се използва за приложения с един PLC той е особено ефективен за архитектура с няколко контролера. Той използва всички възможности на системата Unity-Pro, която благодарение на AUG се оказва тясно свързана със системите за управление от типа Monitor Pro, VijeoCitect, I-Fix и аналогични на тях.

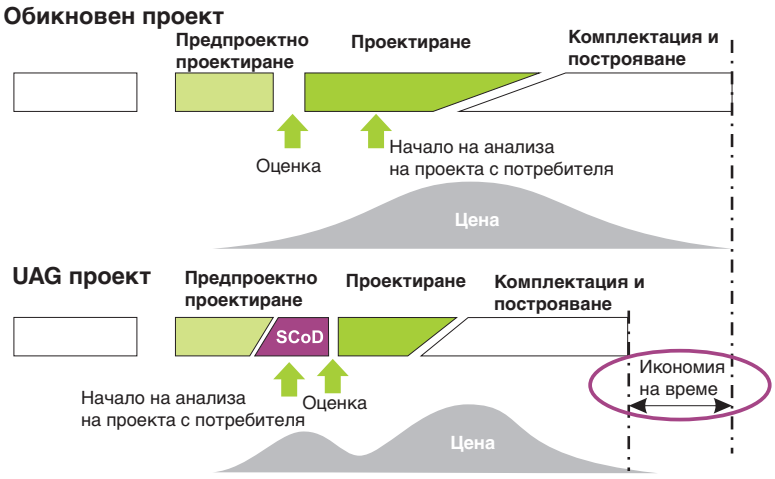
Време за разработване

UAG и принципите, върху които той е построен позволяват на разработчиците да ползват изискванията на потребителите от най-ранния стадий на проекта. Многократното използване на обекти и простотата на обновяване и изпитване могат да съкратят времето за проектиране с (20 - 30) %, което може да означава няколко месеца за големи проекти *(⇨ Фиг. 10.20)*.

Основни характеристики на AUG

По-важните характеристики са:

- еднократно въвеждане на променливи (база данни за проекта) за PLC и човеко-машинен интерфейс и SCADA системи;



↑ *Фиг. 10.20* *Към намаляване на времето и разходите при разработване*

- многократно използване на библиотечни документи;
- конфигурация на приложение, управляващо технологичен процес;
- поетапно генериране за SCADA системи;
- представяне на глобални ресурси;
- PLC-приложения (програма, променливи, конфигурация, комуникации и др.);
- SCADA-приложения (символи, екрани, променливи, атрибути, алармени сигнали и др.);
- управление на комуникация (Ethernet, Modbus Plus и др.);
- типов интерфейс на основата на XML.

Забележка: *"Generic Plug-in Interface - типов интерфейс" е открит интерфейс за други SCADA системи.*

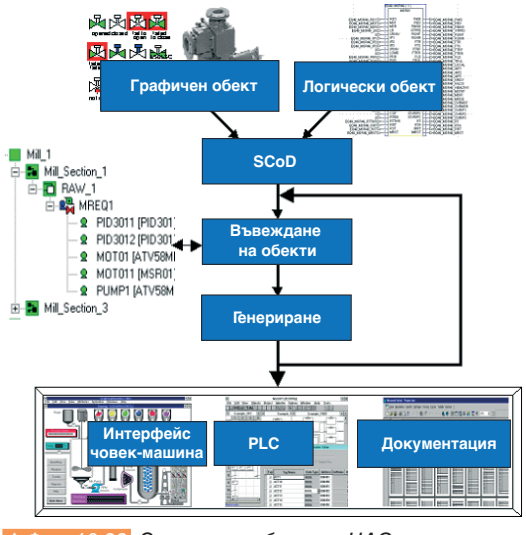
Работа на UAG

Генераторът на приложения е изграден от три подсистеми *(⇨ Фиг. 10.21)*.

Подсистема	Област	Библиотека
SCoD Редактор	Библиотеки	Спецификации на модулите за управление, импорт DFB или EFB, спецификация на атрибути и определяне конфигурацията на екрани (VAUG).
Настройка на UAG	Настройка	Задаване профилите на потребителите на проекта, включително: правила за наименование, каталози за спецификация на апаратура, библиотеки.
Генератор на приложения Unity	Проект	Разработка на проект, анализ на функции и генериране на приложения.

↑ *Фиг. 10.21* *Подсистеми на UAG*

Връзката между подсъстемите е показана на *(⇨ Фиг. 10.22)*.



↑ *Фиг. 10.22* *Схема на работа на UAG*

Редактор на обекти SCoD

Генераторът на приложения UAG е обектноориентиран инструмент, използващ модули за управление. Модулите за управление описват елементи на технологичния процес и обхващат всички страни на задачата за автоматизация:

- логика на PLC;
- представяне на оператори в SCADA;
- механични и електрически характеристики на елемента;
- техническа експлоатация и откриване на неизправности;
- многоаспектно представяне на такива елементи в UAG като Smart Control Device (SCoD – интелигентно управляващо устройство), които отговарят на модулите за управление по стандарт ISA 88.

Инсталирането на обекта SCoD има физически еквивалент, който може да бъде:

- компонент, на който може да се окаже въздействие и чиито характеристики могат да се проверят, например двигател, клапан, първичен преобразувател на температура др.;
- елемент за управление, използван за настройка на други функции, например PID-регулатор, реле за време или брояч.

Модулите за управление са определени и използвани в типови библиотеки. Редакторът SCoD е подсистема, която създава, обновява и групира необходимите функции за управление в обектите (Smart Control Device).

Определянето на правила и свойства в редактора SCoD е основано на интерфейса DFB/EFB и включва:

- графичен интерфейс на потребителя;
- задължителна конфигурация на конкретно SCoD;
- допълнителна конфигурация на конкретно SCoD;
- изследване на конкретно SCoD;
- отделни и комплексни връзки, присъщи за избраните модули и други SCoD;
- определяне на данни, предаване на диалогови екрани и получавани от диалогови екрани;
- определяне на данни, свързани с топологичния модел;
- специална информация за изображение като текст на алармени сигнали, измерителни единици и др.;
- ниво на достъп:
    - за модул, отнасян към специфичен човешко-машинен интерфейс, например ActiveX и символи;
    - за модул, отнасян към специфичен PLC, например DFB/EFB;
- документация на SCoD.

Пример за SCoD е вентил, използван като елемент, предотвратяващ или разрешаващ протичане на течност ли газ в тръба. Той има редица параметри и обикновено се характеризира с три дискретни сигнала:

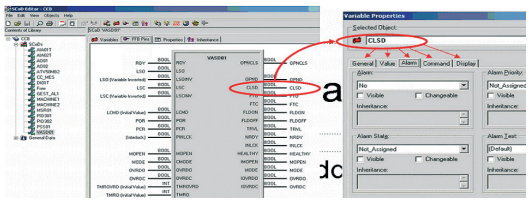
- отворен или затворен вентил (два сигнала);
- сигнал за управление на задвижващото устройство.

Известни са голям брой стандартни вентили - малки, задействани от електромагнити и големи – привеждани в действие чрез електродвигатели.

Характеристиките на всеки тип вентили се определят в приложението на контролера.

По подразбиране вентилът очаква подаване на „Команда за отваряне“ макар, че потребителят може да подаде „Команда за затваряне“.

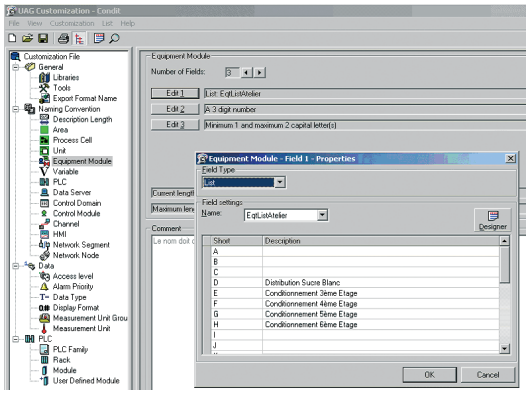
Времето за изпълнение на командата „Travel Time-out“ трябва да лежи в границите: минимална стойност … максимална стойност. На *(⇨ Фиг. 10.23)* са показан прозорец на редактора SCoD.



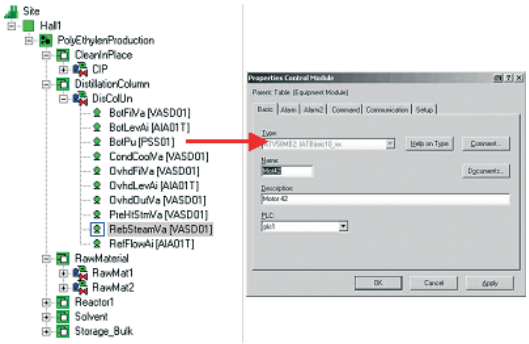
↑ *Фиг. 10.23* *Екран на редактор UAG*

□ Редактор за настройка AUG

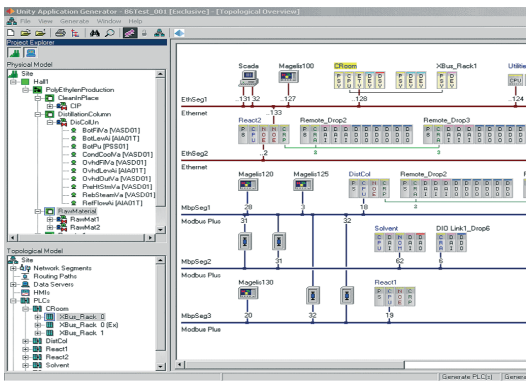
Редакторът UAG се използва за определяне на общ език от различни специалисти (оператори, специалисти по автоматизация, обслужващ персонал). Той съдържа списък на използваните елементи с техните определения, представени в SCoD и на диалоговите екрани



↑ Фиг. 10.24 *Описание на списък от елементи*



↑ Фиг. 10.25 *Изображение на физичен модел UAG и задаване параметрите на компонента*



↑ Фиг. 10.26 *Екран на топологичен модел UAG*

(⇨ Фиг. 10.24).

Настройката се отнася до:
- списък на библиотеки SCoD;
- списък на допустими апаратни модули;
- нива за достъп;
- определяне имената на елементите от технологичния процес;
- указания за специални свойства за човеко-машинен интерфейс или за SCADA системи.

Използвайки отново примера с вентила, може да се отбележи, че потребителят трябва да определи конкретния вентил така, че да бъде невъзможно задействането на друг вентил от системата. Потребителят стандартизира структурата на имена на системни елементи: положение – 4 цифри, абревиатура – 3 знака, тип на елемента – с цифри от 1 до 6. Конкретният вентил може да има уникално име, например 2311VAL4.

Всички елементи, по такъв начин, могат да бъдат определени с помощта на:
- положение на SCoD, съответстващо вентила;
- секция на програмата в PLC;
- апаратни модули, свързани към PLC и др.

В приложенията за PLC и компютри стандартизацията е задължителна за оператори и специалисти по автоматизация и технологичен процес. Проектът следва правилата без изключения и персоналът по експлоатация трябва да бъде обучен на тези инструментални средства. Управлението на проекта става просто при използване на стандартна система от имена.

Генератор на приложения

Генераторът за приложения е програма за анализ и разработка на проект, която генерира приложения за PLC и SCADA системи *(⇨ Фиг. 10.25)*.

Формулират се две независими задачи за генериране на физичен и топологичен модел:
- физичен модел, описващ технологичния процес във вид на дървовидна структура *(⇨ Фиг. 10.25)*;
- топологичен модел, описващ структурата на системата за управление, включващ PLC, устройства за отдалечени входове/изходи, комуникационни мрежи, компютри и др. *(⇨ Фиг. 10.26)*.

UAG и стандарт ISA88

Стандарт ISA88: модерна организация за управление на технологичен процес

Подобрената организация използва базови алгоритми за управление на технологичен процес, прилагани за разширяване на възможностите на устройствата за автоматично управление. Тя също така отчита възможността за възникване на организационни и икономически проблеми. Тя може да взема под внимание риска при избор на обзавеждане, на методи и на резултати от производствения процес.

Стандартът ANSI/ISA88 предлага ефективна концепция за функционална организация на приложения, за да се постигне необходимата степен на устойчивост и изискваното адаптивно поведение на системата при наличие на посочените ограничения.

В този стандарт основно внимание се отделя на:
- гъвкавост и развитие на проектирането, за да се опрости системата за управление, да се увеличи нейната бързина и съответствие на технологичния процес;
- обектноориентиран подход и многократно използване на класове обекти;

- разделяне на начините за производство и технологичен процес;
- разделяне на управлението на технологичен процес и на управлението на обзавеждането за автоматизация.

Допълнителна информация за този стандарт се намира на сайта http:// www.s88.nl.
Генераторът UAG използва терминологията на стандарта ISA88, Част 1: „Модели и терминологии“.
Следвайки принципите на стандарта, потребителят на UAG може да прегледа задачите за управление на технологичния процес така, че те да удовлетворяват нормите и правилата на предприятието. След това той може да използва UAG и получената структура за модернизиране на системата за управление на технологичния процес.

10.6 Най-често използвани съкращения

DCS (Distributed Control System) – разпределена система за управление
HMI (Human Machine Interface) – човеко-машинен интерфейс
PLC (Programmable Logic Controller) – програмируем логически контролер
SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – система за диспечерски контрол и събиране на данни
UAG (Unity Application Generator) – генератор на приложни програми
MES (Manufacturing Execution System) – производствена изпълнителна система. Компютърна система, разработена главно за събиране на пълни или частични данни за произвежданите изделия в реално време.

След това тези данни се използват за различни аналитични задачи:
- проследяване разположението на изделията;
- контрол на качество;
- мониторинг на продукция;
- определяне реда на следване;
- профилактично и ремонтно обслужване.

Стандартът ISA регламентира структурата на MES. Тя се разполага често между системата за промишлена автоматизация и системите ERP, аналогични на SAP.

ERP (Enterprise Resources Planning) – планиране на ресурсите на предприятие. Програмно осигуряване на управление на процеси заедно чрез интеграция на всички функции като управление на човешки ресурси, счетоводен и финансов мениджмънт, инструменти за вземане на решения, продажби, разпределение, снабдяване и електронна търговия.

CRM (Customer Relationship Management) – система за управление на взаимодействието с клиенти. Това е нова парадигма в областта на маркетинга. Целта на CRM е създаването и поддържането на взаимноизгодни връзки между компании и потребители. С помощта на тази система за управление компанията се стреми да увеличи лоялността към клиентите, предлагайки им такива услуги и с такова качество, които те не могат да намерят при конкурентите.

Пример, който често се използва за илюстрация на тази концепция – това е взаимоотношението между собствениците на малки магазини и техните постоянни клиенти. Клиентите се награждават за тяхната лоялност, тъй като собственикът на магазина знае техници навици и действа адекватно. Например, така както хлебарят прави хляб, подходящ за вашия вкус .

CAD (Computer Aided Design) - система за автоматизирано проектиране (САПР). Обикновено се използва в областта на електротехниката и конструирането.

10. Обработка на данни и програм-но осигуряване

Производство на обзавеждане

- Обзор върху различни стадии на производство на електротехническо обзавеждане
- Норми за качество и стандарти

11.1 Увод 284

11.2 Избор на доставчик 285

11.3 Разработка на схеми и програми 286

11.4 Методология на програмиране 288

11.5 Избор на технология 289

11.6 Проектиране на обзавеждане 290

11.7 Комплектация на обзавеждане 292

11.8 Монтаж 294

11.9 Инструменти за монтаж на устройства 295

11.10 Стендови изпитвания 296

11.11 Въвеждане на обзавеждането в експлоатация 299

11.12 Техническо обслужване 302

11. Производство на обзавеждане

В автоматизираните системи се използва обзавеждане, улесняващо процесите на монтаж, опроводяване и свързване на различните елементи за автоматизация. Тези продукти трябва да удовлетворяват изискванията на националните и международните стандарти, а също и правилата за техника на безопасност, отнасящи се до защита здравето на хората и имуществото.

Могат да се отделят три етапа при създаване на обзавеждане:

- *проектиране (схема, писане на програма, избор на материал, изпитване, изучаване начина на монтаж);*
- *изработване (монтаж, опроводяване, изпитване, комплектация);*
- *инсталиране (опроводяване, включване, пускане в експлоатация).*

За успешното изпълнение на тези три етапа е необходимо да се обърне внимание преди всичко на:

- *разбиране на потенциалните проблеми, които могат да повлияят на безопасността и/или работоспособността на обзавеждането;*
- *изпълнение на превантивни дейности и/или изменение на първоначалната схема на автоматизация;*
- *способност на всички подизпълнители да изпълнят техническите изисквания;*
- *съответствие на обзавеждането с техническите изисквания.*

Целта на дадения раздел е да се опишат правилата при изработка на елементи от автоматизираната система и продукти на компанията Schneider Electric, които могат да бъдат използвани за създаване на електрообзавеждане.

Методиката и добрата инженерна практика, основани на опита при изпълнение на всеки един от трите посочени по-горе етапа, позволяват да се изработи надеждно и рентабилно обзавеждане.

11.1 Увод

Успешното създаване на обзавеждане за автоматизирани системи се основава главно на разбирането на точните технически условия.

Средствата за проектиране, схемните решения, изборът на елементи и техният монтаж могат да се различават в зависимост от сложността на системата и избора, извършен от доставчик на услугата. Освен това, ако за изграждането на проста автономна уредба е достатъчен машинен техник или електротехник или инженер по системи за автоматизация, то за инсталирането на по-сложни уредби с гъвкави производствени модули или производствен цикъл често се изисква участие на многопрофилни бригади. Това предполага необходимост от организация на изпълнение на проекта, което разглеждане обаче излиза извън рамките на този раздел.

Технически условия

Техническите условия към раздела за управление трябва да включват всички елементи, необходими за дадения проект. Те са тясно свързани с техническите условия към раздела експлоатация на механизми, задвижвания и др. Техническите условия съдържат следната информация:

- избор на проектно решение;
- изработване на самото обзавеждане;
- провеждане на експлоатационни изпитвания;
- определяне на стойността и планиране на работите;
- изисквания за приемане.

За уточняване изискванията на потребителя се предпочита да се систематизират техническите условия по следния начин:

- основни аспекти: общи положения при използване, стандарти и препоръки, ограничения по отношение на влаганите материали;

- характеристики на захранващия източник и др.;
- използване: схема за разполагане на управляващи устройства, режими на работа, честота на използване и др.;
- функционални особености: изпълнявани функции, възможности за тяхното разширение, диалог оператор-устройство, периферни устройства и други;
- околна среда: температура, влажност, вибрации, удари, корозионна атмосфера, прах и др.;
- специално програмно осигуряване: справочни диагностични програми, контрол, протоколи за връзка и др.;
- настройка: тип, процедури, идентификация;
- изпитвания при приемане и предаване;
- съпровождащи документи;
- всяка друга информация, която може да повлияе върху процеса на изработване на обзавеждане, например опаковка за последващ транспорт.

11.2 Избор на доставчик

При изработване на изделието се препоръчва на доставчика да избира производители на промишлени шкафове и табла, които имат сертификат по стандарта ISO9000.

Използването на сертифициран доставчик опростява процедурата, намалява времето за проверка, осигурява обновяване на каталога за обзавеждане и успешно въвеждане в експлоатация, а освен това опростява и техническото обслужване. Освен всичко изброено може да се влияе върху разходите.

Стандарт ISO9000

Обзавеждането става все по-сложно, технологиите също се усложняват, а нормативните изисквания се формулират все по-строго. В резултат на това може значително да се усложни управлението на проекта.

Клиентът, който прави поръчката, трябва да бъде сигурен, че когато обзавеждане е изработено то ще отговаря точно на техническите условия и ще бъдат предприети всички необходими мерки за безопасност на обзавеждането и персонала. В частност, производителят на промишлени шкафове трябва да разбира и да отчита всички необходими изисквания, възникващи в процеса на производство. Персоналът, участващ в процеса трябва да бъде обучен по съответния начин, а несъответстващите на изискванията изделия трябва да бъдат открити и иззети.

В дадения случай се предполага развитие на връзката „Клиент-Доставчик“.

Доставчикът трябва да представи на клиента доказателства за своята компетентност и квалификация по отношение качеството на предложението и управлението на производствения процес в предприятието.

Клиентът трябва да бъде убеден в способността на доставчика да изпълни техническите изисквания, което може да се гарантира само при високо ниво на вътрешна организация.

Системата от стандарти и сертификати ISO9000 е създадена за опростяване на връзката между „Клиент-Доставчик“ чрез управление на качеството.

Управление на качеството

Терминът „управление на качеството“ означава, че предприятието е задължено да гарантира продукция, а в дадения случай обзавеждане, изработено в съответствие с техническото задание на клиента. То трябва да удовлетворява изискванията след напускане производствените площадки на доставчика.

Начинът, по който предприятието избира да управлява този процес, не може да бъде допуска грешка, влияеща върху крайния продукт. Серията стандарти ISO9000 е насочена към разбирането, че всичко трябва да бъде направено така, че продукцията напълно да удовлетворява изискванията на клиента.

Международният стандарт ISO9000 обединява стандартите ISO9001, ISO9002 и ISO9003.

Разликите между стандартите ISO9001, ISO9002 и ISO9003 се определят от областта на тяхното приложение:

- ISO 9001 определя изискванията за организация, чийто бизнес-процес включва всички отделни фази - от проектиране и разработване, до производство, монтаж и съпътстващите услуги;
- ISO 9002 е стандарт за организации, които не се занимават с проектиране и разработка. В него не се включват изискванията за контрол на проектирането на ISO 9001, но всички останали изисквания са идентични. Това е стандарт за производство, монтаж и съпътстващи услуги;
- ISO 9003 е стандарт, подходящ за организации, които основно реализират проверки и изпитвания, за да се гарантира, че крайните услуги удовлетворяват необходимите изисквания.

Клиентът избира този производител, чиято организация на производство по най-добрия начин отговаря на необходимите условия за работа. Сертификацията по ISO9002 е необходимият минимум.

Клиентът ще направи своя избор след съгласуване на своите изисквания с ръководство за контрол на качество, предоставено от производителите. В Ръководството се описва системата за организация и управление, приета в компанията.

11.3 Разработка на схеми и програми

Схеми за управление и електрозахранване

Схемите за управление и електрозахранване обикновено се изпълняват с помощта на графично програмно осигуряване, използващо база данни, в които се съхраняват графични символи и стандартни схеми.

Схемите могат да бъдат:

- създадени от работни чертежи в базата данни;
- изпълнени чрез адаптация на съществуващи подобни схеми.

Програмите за PLC също могат да бъдат разработени с помощта на програмни средства и програмни комплекси. Сложното обзавеждане обикновено включва един или няколко PLC с много функции.

Режими пускане/спиране

Режимите пускане/спиране на автоматизирана система се анализират с AIADA и се класифицират в ръководство за графични изображения, наричано GDOSM. Последното се използва независимо от технологията за управление за определяне на работни режими или състояние на система на базата на специален речник, възможните връзки между режими, състояния и условия за обновяване.

Работен процес: функционален анализ

Съществуват следните работни режими, необходими за производство:

- нормален работен режим;
- подготвителен или заключителен режим;
- режими за проверка и др.;

- процедури за спиране;
- четене и съхраняване на входно-изходни данни;
- идентификация на процес с цел структуриране на програма за PLC *(⇨ Фиг. 11.1)*.

Ред за действие при отказ

Тази процедура се отнася за работа на машината в случай на възникване на проблем:

- авариен стоп;
- работа в условия на влошени характеристики.

Експлоатационна безопасност

Стандартни изисквания

Експлоатационната безопасност на автоматизирана система означава нейната способност да работи:

- без заплаха за живота на хората и повреда на обзавеждането (безопасност);
- без спиране на производство при възникване на повреди (експлоатационна готовност).

Безопасността трябва да се разглежда анализирайки степента на риска, законодателството и съответните стандарти. Безопасността се анализира с помощта на методика за оценка на риска, последователно използвана за продукция, процес (работа и управление) и приложение.

Допълнителна информация по този въпрос може да се намери в документите „Machine safety Parts 1 and 2" („Безопасност на механизми, част 1 и 2, публикувани от Института за обучение на Schneider Electric).

Европейското законодателство е основано на машинната директива 83/392/EEC, определяща основните изисквания за проектиране, конструиране и монтаж на промишлени механизми за свободно разпространение на тези стоки на територията на Европейския съюз.

Средства за анализ

Инструментите за анализ FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis - Анализ на режими, последствия и критични откази) могат да осигурят системен подход към всички аспекти на отказ и да предоставят подходящи решения.

Методът FMECA е разработен за оценка въздействието на компоненти на системата за надеждност, устойчивост, готовност и безопасност и анализ на критичните откази.

Методът FMECA изчислява възможните откази на елементите и възлите и оценява тяхното влияние върху всички функции на системата.

Този метод е препоръчван за използване в предприятия в целия свят и постоянно се използва в отрасли на промишлеността, свързани с повишена опасност (ядрено-енергетични, космически, химически и други отрасли) за извършване на профилактичен анализ на експлоатационната безопасност.

Преди използване на метода за анализ FMECA трябва точно да се оцени състоянието на системата и околната среда. Тази информация обикновено може да бъде получена от функционалния анализ, анализа на рисковете и с помощта на обратна връзка.

Трябва да бъдат оценени и последствията от отказите. За да се открият тези последствия, за отделния обект, първи се изследват елементите, пряко свързани с обекта (локален ефект), а след това изследването постепенно се разширява към система и околна среда (глобален ефект).

Важно е да се отбележи, че когато се изследва поведението на отделен обект в случай на един или друг отказ се предполага, че условията на работа на всички останали обекти са номинални: методът FMECA се основава на предположението за неедновременни откази.

Третата стъпка е класифициране на последствия от отказ по ниво на тяхната критичност по отношение на определен критерий за експлоатационна безопасност. Той е предварително установен за системата в съответствие с необходимите изисквания (надеждност, безопасност и др.).

Отказите на елемента или възела се групират по ниво на критичност на техните последствия и след това се задава съответно приоритета им.

Дадената типология помага да се идентифицират най-критичните елементи и предлага „строго необходими“ действия и процедури за тяхното коригиране. Даденият процес на интерпретация на резултатите и изпълнение на препоръки е заключителен етап на метода FMECA.

При необходимост от използване на метода FMECA, за няколко обекта на изследване, се препоръчва да се изпълни функционалния анализ FMECA. Той може да покаже най-критичните функции и по такъв начин да ограничи големия брой физически FMECA-елементи, които изпълняват всички или част от функциите.

Методиката FMECA осигурява:

- специфичен поглед върху системата;
- възможност за разглеждане от различни позиции, вземане на решения и подобряване;
- информация за използване при изследване на експлоатационна безопасност и отстраняване на неизправности.

11.4 Методология на програмиране

Организация на програмирането

За целите на промишлеността се използват все по-голям брой програмни продукти. Съществува широк спектър на тяхното приложение. Реализацията на възможността за приложение на кой да е от тях е много сложен въпрос. Необходимостта от съгласуване на взаимодействието между програмите изисква общ подход, който трябва да започне с проектирането на нов производствен модул. Проектът за програмно осигуряване трябва да се анализира много задълбочено. В него трябва да бъде отчетена последователността от действия от заданието за автоматизация на технологичния процес (което може да бъде устно или във вид на подробни писмени спецификации) до разработването и настройването на програмите, така че да бъдат готови за предаване на клиента.
В своята същност, проектирането на програмно осигуряване включва три основни фази:

- функционален анализ;
- технически условия – спецификации;
- проектиране.

Методика за анализ и проектиране

Целта на методиката за анализ е да формализира предварителните етапи на системата за съгласуване с изискванията на клиента. В началото се извършва неформално описание (изискванията на клиента се определят чрез въпросници на експерти, например бъдещи потребители на програмата) и анализ на вече съществуващи системи.

Фазата анализ служи за съставяне на списък от очаквани характеристики по функционални възможности, експлоатационни качества, гъвкавост на системата, техническо обслужване, безопасност, способност за развитие и др.

Фазата проектиране се използва за описание, обикновено чрез езика

за моделиране, работата на бъдещата система чрез ясни термини за опростяване на нейната разработка.

Текущите тенденции в системите за автоматизация, намиращи се в тясна връзка с информационните технологии, налагат използването на обектноориентираното програмиране. Това дава редица предимства: надеждно създаване на код, възможност за многократно използване, защита „know-how“ на разработчика, ускорена оценка за съответствие (приемане) и др.

Средства за програмиране

Всички изброени фактори предизвикват създаване на съвременен иновационен програмен комплекс, предназначен за постигане на исканите резултати.

Терминът „интегрирана среда за разработка IDE“ се въвежда за означаване на програмно осигуряване, което може да се използва за писане на програми за промишлена автоматизация.

Обикновено средата IDE решава следните задачи:
- разработване на сложен проект, разделянето му на части и стадии;
- съгласуване имена на данни и програми;
- структуриране на данни;
- помощ при писане на програми на различни езици;
- компилация или генериране на код;
- помощ при настройка и изпитване чрез мониторинг;
- създаване на потребителски библиотеки, които могат да бъдат отново използвани в други проекти;
- документиране на проекта;
- управление версиите на проекта;
- помощ при въвеждане в експлоатация.

Средата IDE опростява взаимодействието между програмисти и специалисти, осигуряващо въвеждането на програмата в действие чрез използване на общи методи на работа.

11.5 Избор на технология

За създаване обзавеждане на автоматизирани системи се използват основно технологии и устройства от електрониката, електромеханиката, пневматиката и хидравликата. Особена роля играят цифровите устройства за управление: PLC – програмируеми логически контролери, микрокомпютри, стандартни или специализирани устройства и др. Мрежите и полевите шини в уредбите имат специално заземяване и оказват голямо влияние върху избора на материали и елементи.

Допълнителна информация може да се получи от документа *Field buses* (Полеви шини), публикуван от Института за обучение (*Schneider Training Institute),* а също и от Cahier Technique N° CT197: *Field bus: a user approach*.

Съществуват три критерия за избор:

- критерий за техническа приложимост за изключване на технологии, които не могат да удовлетворят техническите условия;
- критерий за оптимизация, предназначен за минимизация на общите разходи в продължение на жизнения цикъл (разработване, внедряване, модернизация, управление, техническо обслужване и др.);
- финансов критерий за създаване на обзавеждане с минимални разходи.

В заключение, използването на предварителния метод FMECA може да помогне при избора на най-подходяща технология.

Избор на елементи

При избора на елементи трябва да се отчитат редица ограничения:
- температура на околната среда (която може да влоши номиналните характеристики на елементите), прах, вибрации и др.;
- съгласуване на устройства, поддържащи изходна мощност;
- селективност между защитни устройства до главния автоматичен прекъсвач;
- необходимо време на машинния цикъл;
- брой работни цикли;
- категория на използване (AC-1, AC-3 и др.);
- стандарти, в това число отраслови: нефтохимия, енергетика, морски регистър.

11.6 Проектиране на обзавеждане

Автоматизирано проектиране

Средствата за програмиране могат да окажат силна поддръжка в областта на проектиране на автоматизирани системи. Освен изпълненията на чертежи, разработчикът може да ги използва и на етапите от регистрация заявката на клиента до въвеждането в експлоатация и техническо обслужване.

Този начин не само увеличава производителността при проектиране на системата, но също така увеличава качеството на чертежите и програмите и позволява тяхното обновяване.

Основните характеристики на програмното осигуряване на системите за автоматизирано проектиране са отбелязани по-долу.

Интелигентна символна база данни

Всеки елемент от символната база данни има различни свойства, например режим на поведение (Master – Главен, Slave – Подчинен), електрическа функция (изолиране, превключване и др.), клеми и др. Той е свързван със семейство от апаратни средства (разединители, контактори др.) и метод за идентификация. Елементът поддържа предлаганите имена на променливи, предложени автоматично от програмното осигуряване или въведени от разработчика.

Базата данни осигурява съгласуваност на информацията и насочва потребителя при въвеждане на информация във времето. Базата данни съдържа пълна техническа и търговска информация за обзавеждането, за неговото наличие, като опростява избора на елементи от обзавеждане и създава списък на изделия, цени и покупки.

Освен това, базата данни включва стандартизирани шаблони (еднолинейно описание, схеми за управление и захранване, габаритни размери, списък на изделия и др.), а също и схеми (пускател на електродвигател, елементи от възли за захранване и управление, движения на подемник и др.).

Това помага бързо да се реагира при обявяване на поръчки и да се опрости изчертаването на схемите.

Управление на информация за електрически уредби

Управлението на информация за електрически уредби включва:
- откриване на еквипотенциални връзки;
- откриване на повтарящи се номера;
- откриване на късо съединение;
- контрол на клеми;
- включване на каталози за обзавеждане;
- автоматично създаване на означения и поддържане на тяхната еднозначност;
- реализиране на препратки;

- контрол за работния ток на контактора и на допълнителните контакти;
- помощ при изчисляване на габаритни размери.

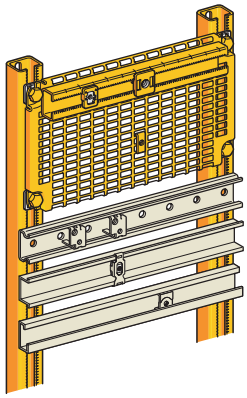
Изчисляване на габаритни размери

За определяне габаритните размери на обзавеждането се използват три метода.

Метод на непосредственото разположение

Този метод се използва за разместване на малко обзавеждане върху стандартни панели, предлагани от производителите на обзавеждане.

Например, устройствата могат да бъдат разположени директно върху монтажен лист, възпроизвеждащ рамка от перфорирана монтажна плоча Telequik® в естествена големина *(⇨ Фиг. 11.1)* Това осигурява бързо и просто изчисляване на габаритните размери на обзавеждането.



↑ *Фиг. 11.1* *Перфорирана монтажна плоча Telequick® на Schneider Electric*

Метод за изчисляване на площта

Това е бърз и точен метод за изчисляване на габаритни размери. Процедурата представлява изчисляване на общата площ на устройствата в състава на обзавеждането (представена в каталози) и умножаване със стойността на пространствения коефициент:

- 2,2 за максимална обща площ 34.2 dm^2;
- 2,5 за обща площ повече от 34.2 dm^2.

В техническите условия някои клиенти изискват по-голяма стойност на коефициента, за да се осигури свободна площ за възможни модификации. В резултат се получава обща работна площ на обзавеждането.

Комплектът от норми, предоставени от производителите, улеснява търсенето на справочна информация за панели, стойки, монтажни рейки и корпуси на основата на изчислената работна площ. В тези норми също се посочват топлинните загуби, които могат да се разсеят през външните стени.

Автоматизиран метод

Този метод е предназначен в голям степен за служби, специализирани при използване на обзавеждане на системи за автоматизация.

Системата за автоматизирано проектиране (САПР или CAD) позволява да се изчислят габаритните размери на обзавеждането на основата на електрически схеми и каталога от елементи, намиращ се в базата данни на САПР.

Работна документация

До започване на производство , работната документация трябва да бъде напълно комплектувана. В нея влизат:

- съдържание със списък на всички документи;
- корпус: монтажни чертежи, чертежи от общ вид и др.;
- шкафове: монтажни чертежи, чертежи от общ вид и др.;
- управляващи станции: монтажни чертежи, чертежи от общ вид и др.;
- електрически схеми;
- програми;
- спецификация на елементите;
- габаритни размери.

11.7 Комплектация на обзавеждане

Много производители на електрообзавеждане разработват спомагателни модулни конструкции за монтаж на своите изделия. Към тези средства се отнася конструкцията Telequick®, предложена от Telemecanique *(⇨ Фиг. 11.1)*.

Тази система съдържа всички елементи, необходими за монтаж на обзавеждането и гарантира, че монтажът на елементи от системата за автоматизация ще бъде бърз и прост.

Изделията се характеризират с четири функции в зависимост от техните свойства: защитна, конструкторска, разпределителна и комутационна.

Защитна функция

Изделието трябва да бъде разположено в кутии или шкафове за защита от удари, неблагоприятни външни условия и осигуряване на работа в най-тежки промишлени условия. Кутиите и шкафовете трябва да притежават всички необходими свойства за намаляване времето за монтаж и техническо обслужване.

В зависимост от необходимата степен на защита корпусът удовлетворява изискванията на стандартите и системата от правила IP (International Protection – Международен код за защита).

Кодът IP е описан в документа 60529, публикуван от Международната електротехническа комисия.

За определяне степента на защита на корпуси, предотвратяващи попадането на опасни части, проникването на твърди чужди тела и вредно въздействие на вода се използва буквено-цифров код за означаване.

Първата цифра (от 0 до 6) означава едновременна защита на работниците от опасни части и защита от проникване на чужди тела.

Втората цифра, също от 0 до 6 означава защита от водни капки.

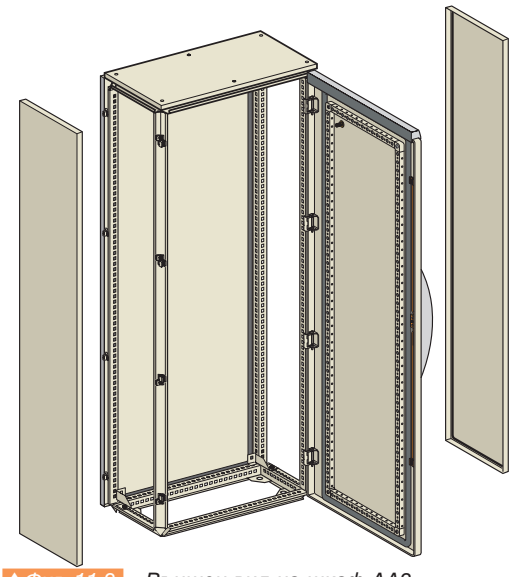
Допълнителните букви посочват допълнителна защита, например вътрешни уплътнения.

В документа Cahier Technique CT 166 *“Enclosures and levels of protection”* е представено подробно обяснение на кодовете.

Организацията, която извършва монтажа на шкафа, носи отговорност за съответствие на крайния продукт с изискванията на стандарта: в документацията, производителят на корпуси трябва да посочи разположението на обзавеждането, за да се осигури зададената степен на защита.

Пусково-наладъчната организация, която се занимава с електромонтажните работи и опроводяването, а в някои случаи с монтаж настройка на допълнителни елементи (бутони, измерителни устройства и др.) трябва също да осигури зададената степен на защита.

Компанията Schneider Electric предлага пълна номенклатура от корпуси, шкафове и компоненти, съответстващи на различна степен на защита IP *(⇨ Фиг. 11.2)*.

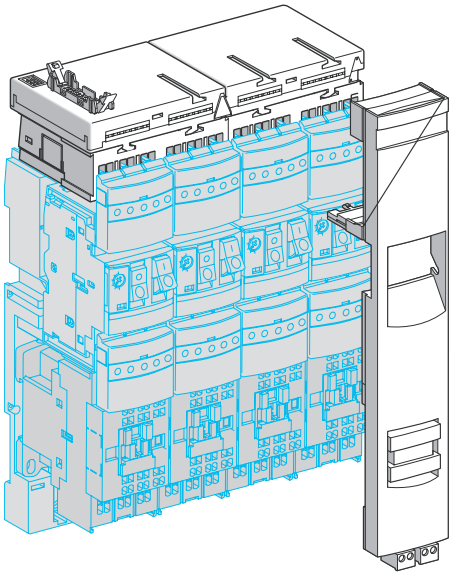


↑ *Фиг. 11.2* *Външен вид на шкаф AA3*

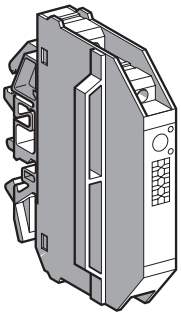
Конструкторска функция

За надеждното механично свързване на комплектуващите елементи помежду им се предлагат редица напълно адаптирани изделия. Събрани заедно дадените изделия образуват конструкцията на обзавеждането. Системите за техния монтаж осигуряват голяма гъвкавост на приложение, широк избор на варианти за инсталиране и значително намаляване на стойността на работата.

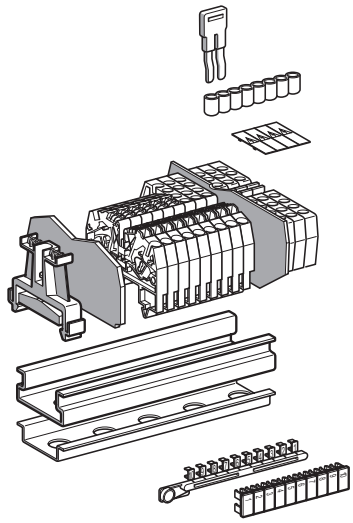
Разпределителна функция



Фиг. 11.3 *Възли пускател-двигател, използващи технологията TegoPower Telemecanique*



Фиг. 11.4 *Външен вид на интерфейс ABS2*



Фиг. 11.5 *Съединителни елементи към клеморед*

Разпределение на електроенергия

При монтажа на обзавеждането трябва да се спазват условията за безопасност, простота, бърз монтаж и опроводяване. Техническото обслужване и всяка модернизация на обзавеждането трябва да бъдат прости за изпълнение, с минимално възможно влияние върху непрекъснатостта на работния процес.

За удовлетворяване на тези критерии, са разработени разпределителни устройства, проектирани да превключват вторични вериги (виж главния каталог на Schneider Electric за повече информация).

Някои модели са разработени като елементи – компоненти в състава на обзавеждането. Те дават възможност за лесно конфигуриране, без да се изменя опроводяването. По такъв начин се изменят съответните функциите (например, може да се присъедини или отсъедини възел на пускател с двигател).

Този принцип е реализиран в технологията TegoPower *(⇨ Фиг. 11.3)*.

Комуникационен интерфейс

В каталозите на производителите са представени техническите характеристики на различни видове интерфейси и елементи на системи за управляващи сигнали:
- интерфейси за дискретни сигнали *(⇨ Фиг. 11.4)*;
- интерфейси за аналогови сигнали;
- интерфейси за първични преобразуватели на температура;
- проводникови интерфейси;
- периферни елементи към система за автоматизация;
- интерфейси за полеви шини.

Комуникационна функция

Тази функция се изпълнява от изделия, използвани за полагане на електрически проводници и комуникационно обзавеждане.

• **Клемореди** *(⇨ Фиг. 11.5)*

Тези устройства удовлетворяват условията на стандарта TEU и основните изисквания за сертификация. Те са изпълнени от цветен найлон, позволяващ използването им при температури от -30°C до +110°C.

Пожароустойчивостта на устройствата удовлетворява условията на стандарта NF C 20-455. Те се маркират със символи, положени върху ленти. Клеморедите са оразмерени за съединителни проводници с номинално сечение до 240 mm^2.

Те удовлетворяват следните изисквания:

- широк диапазон на работния ток, от няколко ампера (вериги за управление, сигнални и електронни вериги и др.) до няколко стотин ампера (за електрозахранване);
- стационарни или разглобяеми едно- или многополюсни блокове;
- винтови, болтови, притискащи, заварени или пружинни съединения;
- модули за специални функции, например патрони за стопяеми предпазители или държатели на електронни елементи, изходни контакти, проводникови съединения, работещи в режим на претоварване и др.;
- закрепване на направляващи и перфорирани пластини.

• **Кабелни накрайници**

Кабелните накрайници имат редица предимства:
- прост монтаж на електрическия проводник (медната втулка автоматично се обхваща при поставяне в клемата);
- добра устойчивост на вибрации;
- обхващане на всички жила от проводниците;
- икономия на време при монтаж;

- еднакви кабелни обозначители и маркировка за всички сечения на кабели. Всяка маркировка може да съдържа до седем маркировъчни пръстена (букви или цифри).

Кабелните обувки имат също:
- различен цвят на кабелните накрайници за всяко сечение;
- накрайници с три дължини в зависимост от модела.

Предлагат се изолирани кабелни накрайници:
в съответствие с изисквания на стандарт NF – C 63-023:
- без фиксатори на етикети за сечения от 0,25 до 6 mm^2;
- с вградени фиксатори на етикети за сечения от 0,25 до 6 mm^2;
- със сменяеми фиксатори на етикети за сечения от 4 до 50 mm^2.

В съответствие с изискваните на стандарт DIN 46228:
- цвета на кабелния накрайник е в зависимост от сечението и се отличава от френския стандарт;
- без фиксатори на етикети за сечения от 0,25 до 50 mm^2.

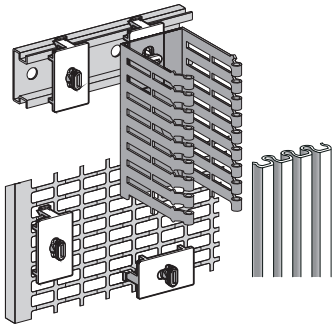
• **Кабелни скоби и защитни обвивки**

Кабелните скоби и защитните обвивки са предназначени за полагане на проводници в хоризонтална и вертикална посока в една и съща плоскост, в която са разположени устройствата. Всички електрически съединения се разполагат откъм лицевата страна, което облекчава извършването на ремонт и модернизация.

Кабелните скоби и защитни обвивки са изпълнени от поливинлхлорид (PVC). Те нямат метални части, които могат да влязат в контакт с проводниците при тяхното фиксиране.

• **Кабелни канали** *(⇨ Фиг. 11.6)*

По стените на каналите са направени прорези, а задната им повърхност е перфорирана. Те се монтират вертикално или хоризонтално върху опори с помощта на четвърт оборотни скрепителни устройства. Каналите могат да бъдат закрепени към комбинирани или т.нар. DIN рейки с ширина 35 mm и към перфорирани монтажни плочи. Каналите се изпълняват с различни размери. В тях могат да се поставят до 700 проводници със сечение 1,5 mm^2. Те се затварят с капаци, които се защипват към тях. За кабелните канали и кабелните клеми могат да се използват еднакви държатели на етикети.



Фиг. 11.6 *Външен вид на кабелен канал*

11.8 Монтаж

Елементите на системата за автоматизация и разпределителни устройства са пригодени за монтаж върху шаси или рамкова конструкция. В този раздел се дават някои определения, полезни съвети, като се обръща внимание върху предпазните мерки при извършване на монтажни дейности.

Шаси

Състои от две предварително перфорирани вертикални стойки с канали или без тях.

Устройството, в зависимост от системата на закрепване, се монтира или с помощта на клеми или с винтове към:

- хоризонтални направляващи;
- перфорирани плочи;
- твърди плочи;
- комбинация от плочи и направляващи.

В зависимост от размера на направляващите или плочите или преди всичко от масата на устройството се препоръчва да се използват:

- комбинирани или DIN рейки с ширина 35 mm;
- DIN рейки с ширина 75 mm;
- С-образни стойки за поддържане на устройства вместо хоризон-

тални направляващи;

- перфорирани плочи, закрепени със задната си страна към хоризонталната направляваща.

Шаситата обикновено се монтират в отделни шкафове или табла.

Рамка

Това е възел, който се състои от едно или няколко шасита, монтирани със страничните си или задните си страни едно към друго. Той е закрепен към пода с помощта на кръстачка или окачен към стена с горната част на стойката. Такава рамка може да бъде монтирана в шкаф и закрепена в него. Горната част на шкафа трябва да бъде обзаведена с хоризонтални шинопроводи за електроснабдяване към всяко шаси.

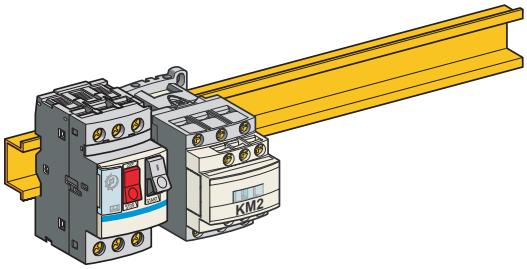
Устройства за врати и предни плочи

Някои устройства за управление и визуализация се монтират върху вратите или лицевите плочи на таблата (шкафовете). За осигуряване на ергономичен монтаж тези устройства трябва да бъдат разположени в съответствие с инструкции, които зависят от типа на устройствата (управление или визуализация) и височина на разполагането им над нивото на пода.

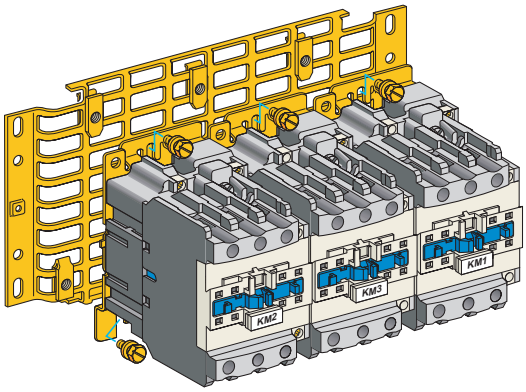
При съставяне схемата за разположение на устройствата е необходимо да се отчита техния брой:

- при малък брой елементи, разполагането е в хоризонталната посока на плочата или вратата;
- при голям брой елементи, разполагането е върху цялата площ.

Върху някои врати или предни плочи се разполагат елементи за закрепване или детайли от вътрешната страна, които ограничават монтажа. Габаритите на елементите на вратата трябва да бъдат проверени за осигуряване на необходимото разстояние до детайли, разположени върху шаситата. Трябва да се отчита още и теглото на монтираните детайли.



↑ Фиг. 11.7а *Монтаж на устройства върху DIN рейка*



↑ Фиг. 11.7б *Закрепване на устройства към перфорирана плоча*

Монтаж на устройства

При монтаж и закрепване на устройства върху шаси или рама трябва да се използва следното основно правило: винаги трябва да бъде предвидена възможност за закрепване откъм лицевата страна. Обзавеждането почти винаги се намира в кутия или шкаф. По този начин се облекчава въвеждането на всякакви изменения или модернизация на даденото обзавеждане.

На *(⇨ Фиг. 11.7а)* и *(⇨ Фиг. 11.7б)* са показани примери за монтаж на устройства.

11.9 Инструменти за монтаж на устройства

За осигуряване необходимите нива на защита и опростяване на дейностите по разполагане на устройства компанията Schneider Electric предлага програмно осигуряване и продукти. Те улесняват инсталирането на бутони и други средства от човеко-машинния интерфейс (система Tego Dial).

Програмното осигуряване помага да се отчитат ергономичните и монтажните изисквания, а комплектът от разнообразни средства за монтаж значително намалява времето за разработване и инсталиране.

Опроводяване

Процедурата за опроводяване чрез използване на монтажни схеми се осъществява чрез последователно използване на маркировката на изходните контакти на устройствата, посочени върху монтажната схема. Тя се използва при монтаж на силови схеми и схеми за управление на всяко обзавеждане независимо от неговата сложност.

Дадената процедура за монтаж на електрически съединения спестява работно време.

Използването на монтажни схеми позволява да се получи:

- бърза реализация: пести се време при проектиране;
- прегледност: нагледно изобразяване на електрически вериги;
- разбираемост: интуитивност при монтаж на електрически съединения;
- ефективна експлоатация: лесно разбиране, търсене, модификация и обслужване.

Опроводяване с помощта на монтажна схема

Независимо от това дали става дума за силова схема или схема за управление, монтажникът намира номерата на изходните клеми на устройствата, изобразени на монтажната схема и ги използва при свързване със съответните номера на клемите на обзавеждането. Примери за съединение:

- клема 2 на разединителя Q1 към клема 1 на предпазител F1;
- клема 22 на контактора KM3 към изходна клема 57 на токово реле KA1.

11.10 Стендови изпитвания

Целта на стендовите изпитвания е да се коригират грешки, допуснати при монтаж на обзавеждане и да се извърши настройка преди въвеждане в експлоатация. Трябва да се проверят:

- съответствие на инсталираната апаратура с тази, посочена на чертежа и нейният правилен монтаж;
- съответствие на реализираните електрически съединения с тези от монтажните схеми;
- съответствие на работния процес с техническото задание.

Някои проверки трябва да бъдат изпълнени върху действащо обзавеждане и затова задължително се спазват следните указания:

- стендовите изпитвания трябва да се реализират от специално обучен персонал, имащ съответната квалификация за работа с електрическо обзавеждане;
- изпълнение на задължителни мерки за осигуряване безопасност на персонала в съответствие с действащото законодателство.

Проверка за съответствие на инсталираната апаратура с тази, посочена в проекта

Това е проверка за техническите особености на обзавеждането, която включва в себе си следните точки:

- наличие на документи, съгласно договора (схема, списък на изделия, общ вид на чертежа и др.);
- съответствие на апаратурата, монтирана върху шаси, с тази в документацията;
- съответствие на разположената и монтираната апаратура с предвидените указания в документацията;
- наличие на механични повреди на апаратурата;
- маркировка на компонентите на устройствата и компонентите,

монтирани върху вратите на табла и шкафове. Осъществява се с помощта на таблици;
- съответствие на напрежението на всички устройства с номиналните стойности;
- разположение на средствата за индикация, съгласно проекта и проверка за захранване с номинално напрежение;
- съответствие на паспортните характеристики на обзавеждането с тези, посочени на схемите;
- паспортни характеристики и типове стопяеми предпазители: обикновено стопяемите предпазители се монтират от инженер, провеждащ изпитванията;
- маркировка на клемите от клемореда. Проверява се регламентираното сечение за присъединяване на външни проводници. Необходимо е да се провери още дали корпусът на клемореда надеждно изолира съседните клеми (правилно разполагане на разделителни прегради);
- спазване на необходимите разстояния между изходни контакти, устройства, корпуси и граници на безопасност;
- съответствие на характеристиките на елементите с условията на тяхното използване;
- проверка на правилата за монтаж и особените условия в договора.

Потвърждението за това, че проверката е била проведена в действителност трябва да бъде представено в специален документ или да бъде указано в схемата за монтаж и подписано от оператора.

Проверка за надеждността на съединенията и предварителна настройка

Всички съединения на елементите за управление и захранване трябва да бъдат проверени за надежден контакт преди започване на електрическите изпитвания на обзавеждането. Дадената процедура е важна тъй като лошият контакт може да стане причина за възникване на следните проблеми: необичайно нагряване, пад на напрежение или късо съединение.

Преди въвеждане на електрически двигатели в експлоатация електромонтьорът трябва да зададе стойността на тока на задействане на топлинно биметално реле чрез неговия регулиращ орган. При това трябва да се отчита действителния ток на машината, който да попада в диапазона на настройка.

Изпитване на електрическа изолация

Изолационното съпротивление, в MΩ, (1MΩ = 10^6 Ω), се измерва с помощта на мегаомметър.

Изолационното съпротивление се измерва:

- между два проводника, изолирани един от друг;
- между корпуса на машината и проводника.

При посочените по-горе измервания трябва да се изключват чувствителните измервателни уреди и вериги на обзавеждането. По аналогичен начин се проверява изолационното съпротивление на устройства за защитно изключване. Проверката се извършва от двете страни.

На *(⇨ Фиг. 11.8)* са показани стойностите на изпитвателните напрежения и изолационните съпротивления при изпитване на електрическа изолация.

Изпитване на електрическа якост

Това изпитване е предназначено за определяне електрическата якост на устройства при променливо напрежение в съответствие с номиналното напрежение на изолацията на веригата.

Номинално напрежение на веригата	Постоянно напрежение при изпитване на електрическа изолация	Изолационно съпротивление, MΩ
< 48 V	250 V	По-голямо или равно на 0.25
от 48 до 500 V	500 V	По-голямо или равно на 0.5
над 500 V	1 000 V	По-голямо или равно на 1

↑ *Фиг. 11.8* *Към изпитване на електрическа изолация*

Електрическата якост се дефинира като способност на изделието да издържа на изпитвателно напрежение, подадено между работния проводник и рамата на шасито. Изпитването е успешно, ако не е настъпил пълен пробив или пробив по повърхността.

Използваното обзавеждане е измервателен мост, генериращ променливо напрежение чиято честота може да бъде променяна в диапазона от 45 до 55 Hz. Той може да осигури високо напрежение при много слаб ток.

При използване на измервателния апарат се задава първоначално изпитвателно напрежение не по-голямо от 50% от стойността, посочена на *(⇨ Фиг. 11.9)*.

Номинално напрежение на изолацията	Изпитвателно напрежение (ефективна стойност)
≤ 60 V	1 000 V
от 61 до 300 V	2 000 V
от 301 до 660 V	2 500 V

↑ *Фиг. 11.9* *Норми при изпитване на електрическа якост*

След това плавно в продължение на няколко секунди напрежението се увеличава до указаната в таблицата стойност. Това напрежение се поддържа в продължение на 1 min.

Ако в комплекта обзавеждане има електронни елементи, изпитванията за електрическа якост не се изпълняват, ако те са включени. При това изпитванията трябва да се провеждат по време на монтаж и опроводяване, за да се избегнат експлоатационни аварии.

Проверка на силови вериги

Тази проверка е предназначена, за да се удостовери, че опроводяването на захранващите вериги съответстват на монтажната схема. Проверката се извършва при изключено обзавеждане.

В повечето случаи тя се извършва с помощта на индикаторен уред.

Проверка на верига за управление

Последователна проверка на всеки проводник

Тази проверка е предназначена, за да се удостовери, че опроводяването на веригите за управление съответства на монтажната схема. Проверката се извършва обикновено при включено обзавеждане. Тя също се използва за определяне правилната работа на устройствата.

За осигуряване на безопасна работа силовата верига и веригите за управление трябва да бъдат галванично разделени. Освен това, се препоръчва да се изключат електронни устройства, като устройства за регулиране на скорост и PLC. Така се отстранява подаването на каквото и да е напрежение, което може да доведе до тяхната частична или пълна повреда.

Проверката за опроводяване се изпълнява последователно, „проводник след проводник“. Трябва да се провери работата на всеки контакт, включително външни контакти (например контактор), като се свързват накъсо съответните клеми.

Последователната проверка на всеки проводник за обзавеждане с малка степен на сложност може да се изпълни при изключено електрозахранване с използване на контролна лампа или мегаомметър.

Крайни изпитвания

Крайните изпитвания включват имитационно моделиране на всички работни цикли на механизма или на процеса в предполагаемия ред за работа и проверка на следящите системи и безопасността.

При тези изпитвания, трябва да се осигури подаването на достатъчно електроенергия, а съединенията между компонентите и включванията се изпълняват с помощта на изпитвателни стендове, на които устройствата за външно управление се заменят с превключватели, бутони и др. Целта на крайното изпитване е да се гарантира, че обзавеждането работи в съответствие с техническите изисквани, формулирани в техническите услови за работа.

То също така е предназначено за проверка влиянието на аварирал външен елемент за управление (краен изключвател, първичен преобразувател и др.).

Програмите се зареждат в PLC и се изпитват дотолкова, доколкото е възможно чрез моделиране на сигнали на дискретните входове с помощта на контакти и на аналоговите входове с помощта на променливи сигнали. Това моделиране се използва за отстраняване на програмни грешки и за съществено намаляване на времето, необходимо за въвеждане в експлоатация на обзавеждането.

За обзавеждане с електронни регулатори на скорост моделирането трябва да включва динамично изпитване с използване на двигатели от уредбата или ако няма такива с изпитвателен двигател, за който е желателно да има съпоставими паспортни характеристики.

Препоръчва се изработването на изпитвателен протокол, в който се отбелязват изпълнените настройки (стойности) и изменения (програмни и апаратни). Посочват се още всички елементи, които не са били изпитвани или са били частично изпитвани. Този документ може да опрости съществено работата при въвеждане на обзавеждането в експлоатация.

Промените в схемите, в листингите на програмите и в списъка на обзавеждането трябва да бъдат предоставени на потребителя преди въвеждане на обзавеждането в експлоатация.

Преди натоварването на продукцията, шкафовете и таблата се освобождават от външните проводници. При необходимост, тежките детайли се заклинват за предотвратяване на деформации на рамки и шкафове при транспортиране.

Основите на шкафовете трябва да бъдат почистени грижливо за предотвратяване попадането на чужди тела (шайби, проводници и др.) в устройствата.

11.11 Въвеждане на обзавеждането в експлоатация

Всички устройства, които излизат от завода-производител, се проверяват от експерти преди натоварване и се настройват или калибрират със зададена точност.

Не се препоръчва да се правят нови настройки. Изключения правят само защитни релета и релета за време, чиято настройка трябва да се извърши на площадката в зависимост от условията на експлоатация.

11.11 Въвеждане на обзавеждането в експлоатация

Както и стендовите изпитвания, въвеждането на обзавеждане в експлоатация на място включва редица дейности, изпълнявани при включено обзавеждане. При това се спазват същите правила: контрол, осъществяван от квалифициран персонал, имащ права за тази дейност и спазване изискванията за безопасност.

Монтаж

При получаване на обзавеждане

Необходимо е да се провери дали:

- корпусът не е подложен на въздействие на удари;
- подвижните части на контакторите не са изкривени и/или разместени;
- има наличие на чужди тела във въздушната междина на магнитната верига, между контакти и клеми и др.;
- подвижните части на контактори и разединители, на защитни релета и други да работят свободно;
- ключалките (на шкафове и табла) функционират по подходящ начин;
- не е нарушена целостта на уплътненията (за защитено обзавеждане);
- управляващите и сигнални спомагателни устройства и измервателните апарати на вратите са в добро състояние;
- в комплекта доставка влизат схеми, съответстващи на доставеното обзавеждане, инструкции за въвеждане в експлоатация, ръководства за оператора и протоколи за всички стендови изпитвания.

Преди свързване на външни проводници трябва да се провери:

- напрежението и честотата на захранващия източник за силовата част и за веригите за управление;
- подходящия тип и номиналната стойност на стопяемите предпазители и защитни релета за осигуряване безопасността на потребителите.

Скрепително и контактно обзавеждане

На определен етап от монтажа се извършват следните операции:

- изчислява се сечението на съединителните проводници в съответствие с тока, консумиран от управляваните механизми. За предотвратяване пада на напрежение в тези случаи, когато дължината на проводниците и кабелите е твърде голяма или се използва твърде ниско напрежение, трябва да се увеличи сечението на проводниците и кабелите, захранващи силови вериги и вериги за управление;
- за модули с херметични корпуси, каналът за проводници трябва да бъде поставен в гумено уплътнение на корпуса. Той трябва да бъде фиксиран, за осигуряване пълна неподвижност на кабела;
- външните връзки трябва да бъдат изпълнени в съответствие със схемата;
- трябва да се спазват правилата за електрозахранване. За тази цел са предвидени маркирани клеми в таблата, шкафовете и спомагателните устройства за управления за включване на корпусите към външен заземителен контур;
- за устройства, използвани в атмосфера с висока корозионна активност и тропически условия, се препоръчва след свързване клемите да се покрият със слой защитен лак.

Настройка на реле за топлинно претоварване

С регулиращия орган се избира стойност на тока върху скалата, съот-

ветстващ на тока, консумиран от двигателя. Настройката се изпълнява чрез преместване на регулиращи орган в една или друга посока.

При пускане на двигателя по схема звезда-триъгълник, когато релето е директно свързано с наметката на машината, стойността на тока на настройка е $I/\sqrt{3}$, където **I** е работният ток на двигателя.

Топлинното биметално реле е с термокомпенсация и затова не е необходимо да се изпълнява допълнителна настройка, когато температурата на околната среда се намира в границите, посочени в техническите данни. Посочените настройки обикновено се изпълняват на стенд и се отбелязват в протоколите за изпитване.

Когато е подадено захранване и са включения всички външни силови контури и вериги за управление могат да бъдат проведени още изпитвания на обзавеждането. Те се състоят от два етапа:

Изпитване на празен ход

Това изпитване се извършва, за да се провери дали всички устройства (управляващи и спомагателни сигнални елементи, първични преобразуватели, крайни изключватели и др.) са правилно монтирани, разместени и свързани в съответствие със схемата. Подаването на енергия към всички потребители трябва да бъде преустановено преди началото на изпитването:

- чрез изваждане стопяемите вложки на предпазителите, защитаващи силовата верига, от техните основи;
- чрез подаване на захранване само към устройства за управление, като силовите устройства остават изключени.

При подаване на захранване към веригата за управление, спомагателното устройство за управление на пускането трябва да блокира включването на контактор(и), които то управлява, а при по-сложно обзавеждане – пускането в автоматичен цикъл. На този етап се препоръчва да се проверява ръчно с външни устройства (особено защитни устройства) или да се моделира тяхната работа. След това принудително трябва да се проверява всяко управляващо въздействие, включително въздействия, предизвикващи аварийни режими на работа, за да се установи ефективността на веригите за управление, следящите системи, системите за безопасност и сигналните вериги.

Изпитване под товар

В този случай се подава захранване на силовите вериги, за да се проведе общо изпитване под товар и да се провери коректността на връзките и работата на потребителя. Даденото изпитване може да бъде допълнено от серия допълнителни изпитвания. Чрез тях се проверяват системата за автоматизация, осигуряваща управлението на различни функции на уредбата.

Успешното въвеждане в експлоатация е в резултат от работата на опитен оператор, използващ пълен комплект от документи за обзавеждането (списък на документи, инструкции за въвеждане в експлоатация, ръководства за използване на устройства и др.).

Търсене и отстраняване на неизправности

Огромното разнообразие от автоматизирано обзавеждане прави невъзможно създаването на единна технология за търсене и отстраняване на неизправности, приложима към всички схеми.

За ефективното търсене и отстраняване на неизправности са необходими опит и познаване на обзавеждането, реда и начина за неговото функциониране.

Знанията, получени при анализа FMECA могат да бъдат много полезни при търсене на причините за неизправности.

11.12 Техническо обслужване

Методът за критичен анализ при търсене на откази (неизправности) FMECA се използва за изпълнение на дейностите по техническо обслужване и интервалите между тях:
- замяна на четки на електродвигател;
- почистване на филтър;
- замяна на бързо износващи се детайли;
- осигуряване на резервни части и др.

Техническо обслужване за електронни и електромагнитни устройства практически не се изисква. Трябва обаче да се обърне внимание на няколко основни въпроса.

Електромагнитна система на контактор

Ако електромагнитната верига вибрира и създава шум трябва да се провери:
- захранващото напрежение на мрежата. Електромагнитната система вибрира, когато се захранва с напрежение значително по-ниско от това, за което тя е оразмерена;
- наличие на чужди тела между подвижната и неподвижна част на електромагнита;
- състоянието на контактните повърхности на магнитопровода. Те не трябва да бъдат замърсени с боя. Челните части трябва да бъдат плоски и гладки. Ако те са замърсени трябва да се почистят със спирт или подходящ разтворител.

Бобина на контактор

Ако трябва да се смени бобината на контактора (например при изменение напрежението на веригата за управление) новата бобина трябва да бъде подбрана с действителното напрежение на веригата за управление. Бобината трябва да осигури:
- затваряне на контактора, когато нейното напрежение достигне 85% от номиналната си стойност;
- отваряне на контактора, когато напрежението падне под 65% от номиналната си стойност;
- допустимото отклонение на напрежението на бобината е 10% от неговата номинална стойност.

Бобината може да бъде повредена при:
- непълно затваряне на магнитната верига, поради механични причини или при напрежение във веригата за управление под 85% от неговата номинална стойност. При използване на променливо напрежение това намалява съпротивлението на магнитната верига. При захранване с постоянен ток се нарушава електроснабдяването на системата за управление поради отворени контакти. Освен това, не се осигурява необходимата сила за затваряне на полосите. Те се нагряват и могат да се заварят при пускане на двигателя;
- неправилно свързана схема за управление;
- захранващото напрежение е над 110 % от неговата номинална стойност.

Във всички тези случаи намотката ще се повреди, ако енергията, разсеяна от топлинното действие на тока (Джаулова топлина) надвиши стандартната стойност. За предотвратяване на такива случаи трябва номиналното напрежение на бобината да съответства на напрежението, измерено на клемите на захранващия източник.

Главни контакти на контактор

Информацията за управляваната мощност и категорията на използване (например, изключване на работещ двигател) помага

да се определи електрическата износоустойчивост на контактите в отделния контактор или да се избере контактор в зависимост от очакваните технологични операции.

Контактен блок

Тези контакти не се нуждаят от техническо обслужване. Например, разглежда се контактор, управляващ двигател на компресор. Категорията на използване е AC-3, честота на включване на двигателя е 6 h^{-1}, той работи 24 часа в денонощие, т.е. 2 500 000 часа или 17 360 дни или около 50 години без техническо обслужване.

Често комутиращите контакти могат да се износят.

Само с помощта на редовни проверки за силата на натиск или контрол с помощта на калибриращи пластини може да се гарантира, че степента на износване е определена точно.

Силата на натиск не трябва да се регулира по време на работа. Ако тя се намира в границите от 20% до 50% от началната стойност трябва да се извърши замяна на контактите.

След това е необходимо да се изпълнят следните операции:
- контактите трябва да бъдат регулирани в съответствие с първоначалната сила натиск;
- препоръчва се почистване на дъгогасящите камери;
- необходимо е да се провери въртящия момент при затягане на винтово съединение.

Спомагателни контакти на контактор

Тези контакти не се нуждаят от техническо обслужване и настройка. Изключение правят контактите с времезакъснение, което трябва да се проверява.

Топлинно биметално реле

То не изисква техническо обслужване. Необходимо е да се настройва само тока на задействането му в зависимост от работния ток на машината.

Електрически кутии, табла и шкафове

Необходимо е периодично да се смазват пантите и ключалките. Трябва да се проверява ефективността на уплътнителните устройства (уплътнения, щуцери, кабелни муфи и др.) в херметизираните корпуси и шкафове. Филтрите трябва да се почистват с помощта на прахосмукачка. Не трябва да се използва за почистване сгъстен въздух.

Радиатори на електронни устройства

Устройствата, в които се използват електронни силови елементи, имат радиатори най-често с принудителна вентилация.

В зависимост от околната среда и запрашеността на атмосферата ребрата периодично трябва да се почистват от замърсяване.

ЗАБРАНЕНИ ОПЕРАЦИИ

- изпиляване и смазване на контакти;
- изменения в детайл. Замяна с неподходящ резервен детайл;
- елиминиране на защитно реле. Трябва да се открие причината за аварийно изключване;
- замяна на стопяем предпазител преди да се отстрани причината, която е предизвикала задействането му;
- отваряне на електрическо табло или шкаф без причина и оставянето му в това състояние особено в запрашена атмосфера;
- използване на неподходящи разтворители.

12

Екодизайн

За опазване на околната среда е необходимо да се отчитат редица важни изисквания, като избор на материали на етап проектиране на изделието, консумираната електроенергия по време на работа, възможност за утилизация при завършване срок на служба

12.1 Общи положения 306

12.2 Концепции и основни директиви 308

12.3 Стандарти 309

12.4 Екодизайн 309

12.5 Жизнен цикъл 310

12.6 Основни правила за екодизайна 310

12.7 Заключение 314

12.8 Приложения 314

12. Екодизайн

Компанията Schneider Electric работи в съответствие с екологичните изисквания. По отношение на предлаганата продукция и услуги това означава екопроектиране при всеки нов проект или модернизация на вече съществуващ по такъв начин, че да се намали въздействието на продуктите в продължение на жизнения им цикъл върху природата.

За постигане на тази цел посочената проблематика се разглежда в даденото Ръководство така, че:

- *да представи политиката на компанията Schneider Electric в сферата на екологията, чиято главна цел е да се стимулира грижливо отношение към всички природни ресурси, непрекъснато и активно да се полагат усилия за защита на околната среда в името на общото благо;*
- *да предложи кратък преглед на основните европейски норми, които непрекъснато се усъвършенстват и налагат все по-строги изисквания;*
- *да се осигури на проектантите методология, която да им помогне при проектиране на продукти и услуги от гледна точка на екодизайна;*
- *да помогне на разработчиците при проектиране с отчитане на екодизайн чрез използване на софтуерния продукт EIME, с който компанията Schneider Electric разполага.*

12.1 Общи положения

Терминът екодизайн (екологично проектиране) означава създаване на продукти (стоки и услуги) с отчитане на екологичния фактор.

Даденото обстоятелство допълва традиционните условия – изисквания на клиента, контрол върху разходите, техническа реализация и др. *(⇨ Фиг. 12.1)*.

Тази политика засяга различни участници в стопанската дейност – доставчици, производители, дистрибутори, големи и малки купувачи – всеки, който желае да предложи или да избере продукция на аналогично ниво, но екологически по-безопасна.

Екологичното проектиране се отнася до т.нар. превантивна политика, защото то предхожда процеса на вземане на решения. Екодизайнът е основан на подхода към околна среда, отчитащ редица критерии (вода, въздух, почва, шум, отпадъци, енергия, суровини и др.) и обхваща всички етапи от жизнения цикъл на продукта: добиване на суровина, производство, разпространение, използване, утилизация след окончателни срок на служба.

Характерен признак на екологичното проектиране е, че той има две страни – критериалност и многообхватност.

Методите за изследване могат да бъдат представени като подробни или опростени, в зависимост от степента, с която те оценяват въздействието на продукта върху околната среда в продължение на жизнения му цикъл.

В даденото Ръководство се предлага методология за екологично проектиране, която може да бъде използвана при всяка нова разработка на изделия и услуги, както и за нови варианти на вече съществуващи изделия и услуги.

↑ *Фиг. 12.1* *Екологични параметри*

■ Увод

Политиката на компанията Schneider Electric се основава на стриктно подчиняване на екологичните изисквания. По отношение на изделия и услуги това означава, че екодизайнът трябва да бъде част от всяка нова разработка или всеки нов вариант на вече съществуващи изделия или услуги. Така се намалява влиянието на продукцията в продължение на нейния срок на служба върху околната среда.

За постигане на посочената цел това Ръководство трябва:

- да представи екологичната политика на компанията Schneider Electric, чиято главна цел е да се стимулира грижливо отношение към всички природни ресурси, постоянна и отговорна работа, насочена към подобряване състоянието на околната среда;

- да очертае главните Европейски регулации, които ще бъдат използвани в най-близко време, така че да се планират навреме необходимите действия;
- да осигури на проектантите методология, която да им помогне при разработване на екологически безопасни изделия и услуги;
- да разгледа софтуерният продукт EIME, предоставен на разработчиците от компанията Schneider Electric, за реализация на техните еко-проекти.

Екологична политика на Schneider Electric

Компанията Schneider Electric е екологична и, в по-широк смисъл, социално отговорна компания, работеща на основата на дългосрочни решения и получаваща подкрепа от сътрудници, клиенти, доставчици и акционери.

Компанията Schneider Electric се стреми да бъде социално отговорна компания във всички свои действия. Това означава, в частност, съответствие с действащите и потенциални положения на екологична политика, основана на следните принципи:

- **Основни европейски директиви**
  - приемане на необходими мерки с цел формиране на грижливо отношение към околната среда като неделима част от общата култура на компанията Schneider Electric и естествен подход към нашата работа и производство;
  - стимулиране опазването на околната среда в компанията Schneider Electric чрез повишаване на осведомеността, обучението и предоставянето на информация в съответствие с принципите на екодизайна;
  - осигуряване на необходимата информация на клиенти, доставчици и партньори.
- **Устойчиво, благоприятно за околната среда, промишлено развитие**
  - чрез намаляване въздействието на изделията и услугите върху околната среда в течение на жизнения им цикъл;
  - чрез разработване на нови благоприятни за околната среда изделия и услуги и производствени технологии с особено внимание върху перспективното планиране;
  - чрез използване на нови методи, помагащи за опазване на околните ресурси и контролиращи електропотреблението на продукцията;
  - чрез разработване на продукция с възможност за последваща преработка на отпадъци;
  - чрез съответствие с действащи и планирани нови нормативни документи.
- **Сертификация ISO 14001 за всички предприятия на компанията**
  - чрез приемане на система за екологично управление, основана на международния стандарт **ISO 14001**;
  - чрез формиране на концепция, съответстваща на имиджа на компанията Schneider Electric в съответствие с действащите правила и норми и планирани нови нормативни документи;
  - чрез изключване или намаляване на отпадъците и усъвършенстване на тяхната преработка;
  - чрез постоянно усъвършенстване на използваните технологични процеси с цел намаляване на тяхното въздействие върху околната среда.

12.2 Концепции и основни директиви

Основни термини

□ От 1987 г. **принципът за устойчиво развитие** е безспорен ориентир по отношение защита на околната среда. Той може да бъде описан по следния начин:

- развитие, удовлетворяващо изискванията на обществото в момента, без ограничаване потребностите на бъдещите поколения.

□ **6-та Програма на Европейския съюз за защита на околната среда** е разчетена за следващите 10 години и е разработена за осигуряване на устойчиво развитие. Тя е основана на принципа на екологична безопасност, принципа за отстраняване на замърсяване в мястото на неговото получаване, принципа за приоритет на превантивни мерки и принципа за материална отговорност на виновника за замърсяване (Амстердамският договор - Treaty of Amsterdam).

□ Главна цел на **единната стокова политика IPP (Integrated Produc Policy)** е:

- по отношение принципа устойчиво развитие – стимулиране на доставки от екологично безопасни стоки и услуги (екологично проектиране, сведения за срока на служба) и търсене (осведоменост, връзка, доставка на екологично безопасни суровини и услуги).

Основни директиви*

В момента, в Европейския Съюз действат следните директиви, използващи посочените принципи:

□ **Директива за екодизайн на енергопотребяващи продукти (EuP Directive 2009/125/EC Директива 2009/125/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 21 октомври 2009 г. за създаване на рамка за определяне на изискванията за екодизайн към продукти, свързани с енергопотреблението)** – тя е основана на принципа IPP и формулира като основна цел стандартизирането на разработки за електрическо и електронно обзавеждане, за осигуряване на тяхното свободно движение и намаляване на влиянието им върху околната среда в продължение на жизнения им цикъл. Тя осигурява по-ефективно използване на ресурсите и защитава околната среда като отчита необходимостта от устойчиво развитие;

□ **Директива 2002/96/EC WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipment) за отпадъци от електрическо и електронно обзавеждане** – тя регламентира намаляване отпадъците при рециклиране на електрическо и електронно обзавеждане и във връзка с това задължава производителя на това обзавеждане да използва повторно и преработва обзавеждането след неговия жизнен цикъл (от 70% до 80% по маса);

□ **Директива 2011/65/EU RoHS II (Restriction of Hazardous Substanes) за ограничения в използването на някои опасни вещества в електротехническото и електронното оборудване** – тя ограничава използването на определени материали, които са опасни за околната среда и особено за здравето на човека. Към тях се отнасят тежките метали: олово (**Pb**), живак (**Hg**), кадмий (**Cd**), 6 валентен хром (**Cr6**), а също и средства срещу разпространение на огън – полибромдифенил (**PBB**) и етер на полибромдифенил (**PBDE**).

Необходимо е също така да се избягва използването на много други вещества, които не са посочени в тази Директива. Европейският съд все още не е решил въпроса относно поливинилхлорида (PVC), чието използване и преработка се контролира само от някои местни нормативни актове.

** При изработване на българския превод на Ръководството, Директивите, посочени в оригинала на Ръководството като предстоящи, вече са приети в Европейския съюз. Затова преводаческият екип разглежда вече утвърдените директиви.*

12. Екодизайн

12.3 Стандарти
12.4 Екодизайн

12.3 Стандарти

В допълнение към Европейските директиви са разработени и редица стандарти, регламентиращи включването на екологични въпроси при разработване на продукти. Към тях се отнасят:

■ Стандарти ISO, NF и EN

- ISO 140xx: комплект от стандарти в областта на опазване на околната среда;
- ISO TC 61: Пластмаса – екологични аспекти;
- Ръководство ISO 64: прилагане на екологични аспекти в стандартите за продукти;
- NF FD X30 310: прилагане на екологични аспекти при разработване на продукти;
- EN с номера от 13428 до 13432: опаковка – екологични аспекти.

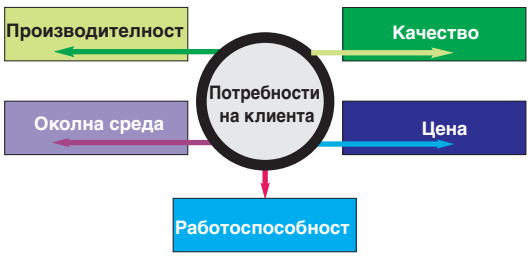
Посоченият непълен списък дава определена представа за правилата на включване на екологични въпроси при разработване на продукти. Разработчиците трябва да ги отчитат, като се съобразяват и с някои допълнителни стандарти и директиви като:

- Директива LVD 2006/95/EC (Low Voltage Directive– Директива за ниско напрежение);
- БДС EN 60947-2:2006/A2:2013 Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 2: Автоматични прекъсвачи;
- БДС EN 60947-4-1:2010/A1:2012 Комутационни апарати за ниско напрежение. Част 4-1: Контактори и пускатели за двигатели. Електромеханични контактори и пускатели за двигатели.

Забележка: В допълнение към посочените стандарти и инструкции може да се отбележи, че съществуват национални регулации (например за акумулаторни батерии, опаковки и др.).

Schneider Electric, използва принципите за екологична отговорност и разработва нови, екологично по-безопасни продукти и услуги и технологии за производство, отговарящи на изискванията на споменатите по-горе директиви, стандарти и регулации. Компанията и в бъдеще ще използва принципите за екодизайн.

12.4 Екодизайн



↑ *Фиг. 12.2* *Баланс между критериите при проектиране*

Екологичното проектиране е важна характеристика на устойчивото развитие. Както беше отбелязано в увода то е ефективен, ориентиран към клиента подход, който може да бъде определен по следния начин:

- изделия/услуги, предназначени за най-пълно удовлетворяване изискванията на клиентите и намаляване на влиянието върху околната среда в продължение на жизнения им цикъл.

Екодизайнът е последователен динамичен процес, който може при наличие на модерен подход (технологии, маркетинг, обучение и др.) да превърне ограниченията в благоприятна възможност. Това е стратегия, която трябва да се използва от производителите.

Стратегията, която трябва да се използва както при разработване на нови продукти, така и при усъвършенстване на вече съществуващи предполага дизайнерът да включва следния критерий при търсене на решения: минимално ниво на въздействие върху околната среда в продължение на жизнения цикъл (⇨ *Фиг. 12.2)*.

Съгласно Директивата EuP изборът на оптимално решение, удовлетворяващо изискванията на клиента трябва да бъде осъществен с поддържане на разумен баланс между критериите при разработка:

- експлоатационни параметри, разходи, качество, околна среда, изисквания към технологичния процес, а също и съответствие с критериите за безопасност и хигиена на труда.

12. Екодизайн

12.5 Жизнен цикъл
12.6 Основни правила за екодизайна

12.5 Жизнен цикъл

Целта на екологичното проектиране, както се отбеляза, е разработване на изделия/услуги оказващи най-малко влияние върху околната среда в течение на жизнения им цикъл.

Дефиниция на термина „**жизнен цикъл**“:

Жизненият цикъл на продукта включва целия период на съществуване от получаване на суровина до крайното рециклиране с отчитане на всички етапи при разработването му - монтаж/разпространение, използване и рециклиране след срока на служба.

Очевидно е, че всеки жизнен цикъл на продукта оказва влияние върху околната среда и е необходимо това влияние да се намали. Това е и целта на екологичното проектиране, което трябва да се отчита на всички етапи. При усъвършенстване на екологичните характеристики на даден етап се отстранява отрицателното въздействие на продукта/услугата върху следващи етапи.

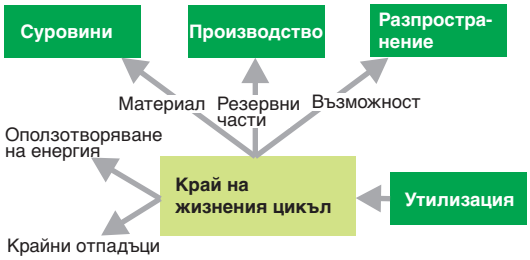
За правилния избор е необходим задълбочен анализ на жизнения цикъл (LCA). За целта се препоръчва използването на програмния продукт EIME.

Етапът на рециклиране след срока на служба може да включва значителни ограничения и затова трябва да бъде анализиран още на началния етап при разработване на продукта.

В съответствие с регулациите за рециклиране трябва да се обхванат от 70% до 80% от продукта (по маса). Повторното използване на продукта може да се реализира по следния начин:

- ремонт/възстановяване на продукта;
- повторно използване на детайли, възли;
- рециклиране на материали;
- оползотворяване на енергия.

Жизненият цикъл на продукта може да бъде представен, както е показано на *(⇨ Фиг. 12.3)*.



Фиг. 12.3 Жизнен цикъл на продукта

12.6 Основни правила за екодизайна

В съответствие с принципите за устойчиво развитие и регулациите, свързани с тях, може да се регламентират редица общи правила, помагащи на проектантите при различни изследвания в процеса на екодизайн:

- рационално и ефективно използване на природните ресурси;
- намаляване на емисиите (парников ефект, шум и др.);
- намаляване на отпадъците (при производство, след края на срока на служба);
- забрана или намаляване използването на опасни вещества;
- намаляване на енергопотреблението.

Освен това, дадените основни препоръки при изработване на екологични и по-безопасни продукти нямат за цел да заменят стандартните правила за проектиране. Те трябва да се използват като допълнение за оптимизация на действията в отговор на изискванията на клиента с отчитане на следните критерии:

- експлоатационни параметри;
- разходи;
- качество;
- околна среда;
- технологичен процес и др.

До началото на всяко изменение е необходимо да се проучи възможността за получаване на най-голяма ефективност. Това означава, че е необходимо да се отговори на следните въпроси:

-Как по най-добрият начин да се удовлетворят изискванията на клиента по отношение на изделията/услугите?

- Може ли предложението на клиента да включва предложение за предоставяне на екологично безвредни услуги?
- Може ли предложението за изделие да доведе до предложение за услуга?
- Могат ли да бъдат внедрени нови концепции?
- Могат ли някои възли да бъдат общи за няколко изделия или за асортимент от продукти?
- Трябва ли да се включват нови функции?
- Могат ли да се използват активни вещества?

След завършване на етапа за оптимизация на функциите, се изпълнява следващата стъпка: внимателно изучаване на етапите на жизнения цикъл на изделието (избор на материали, изработване, разпространяване, използване, край на срока на служба), към които може да се прилагат основните правила.

■ Избор на материали

Дизайнерът може да регулира влиянието на продукта върху околната среда чрез избора на материали. Този избор може да бъде направен с използване на критерии, насочени към осигуряване минимален разход на суровини и намаляване влиянието на използваните материали върху околната среда.

- **Намаляване на масата и обема използвани материали**
  - оптимизация на обема и масата на детайлите и изделията;
  - намаляване броя на детайлите.
- **Избор на нетоксични или слаботоксични материали при проектиране, производството, използване и утилизация (в края на срока на служба)**
- **Избор на материали от възобновяеми ресурси за съхраняване на природни невъзбновяеми ресурси**
- **Избор на енергоефективни материали при избор на суровини, обработка на материали и използване**
- **Използване на материали, получени в резултат на преработка В този случай влиянието върху околната среда се определя от вторичната преработка, а не от производството.**
- **Използване на материали, получени в резултат на преработка с цел възстановяване на продукта след края на срока на служба**

Съответствието с дадени екологични критерии не освобождава разработчика от спазване на изискванията за съответствие на избраните материали с общите изисквания към продукта по отношение на механични, електрически, ценови и технологични показатели (леене, рязане и др.).

■ Производство

Производственият процес е важна част от жизнения цикъл и трябва да бъде разглеждан при екологично проектиране. Проектните решения могат да оказват значително влияние върху технологичните процеси и следователно върху околната среда.

Затова още в началото на производствения процес трябва да се отчитат определен брой критерии за оптимизация.

- **Намаляване изхвърлянето на отпадъци в околната среда (вода, почва, въздух)**
  - избор на производствена технология, която намалява количеството на изхвърляните отпадъци в околната среда. *Например: по възможност да се избягва повърхностна обработка.*
- **Намаляване енергопотреблението на всички етапи от производство**
  - избор на енергоспестяващи технологии, методи за монтаж и инсталиране.

- **Намаляване количеството на отпадъци (при обработка, рязане, леене и др.)**

Например:
  - детайли, изработени с по-малък брой операции;
  - повторно използване на леярски форми;
  - намаляване на металните отпадъци.

- **Намаляване броя на етапите в производствения процес**

Например:
  - по-малък брой различни детайли.

- **Намаляване броя на преместванията между етапите**
  - по-малък брой премествания на детайли, възли и др. от един цех към друг цех;
  - по-малко енергия, изразходвана за транспорт;
  - използване на нови производствени технологии;
  - нови технологии с по-малка степен на влияние върху околната среда в сравнение с традиционните технологии BAT (Best Available Technique – Най-добри съществуващи технологии).

■ Разпространяване

Разпространяването на продукта е друг етап от жизнения цикъл, който може да окаже съществено влияние върху околната среда. Ето защо е необходимо да се осигури най-високо качество на опаковката и система за разпространяване от самото начало на процеса на изработване на продукта.

С тази цел, в съответствие със стандартите (EN с номера от 13428 до 13432 и Директивата, публикувана на 25/07/98), трябва да се използват следните критерии:

- **Намаляване масата и обема на опаковката**
  - намаляване обема и масата на продуктите;
  - оптимизация на функциите за опаковка.
- **Опаковка, обща за няколко продукта**
- **Избор на екологична безопасна опаковка с минимално съдържание на тежки метали (Pb, Cd, Hg и др.)**
- **Опаковка, разработена за многократно използване или преработка**
  - утилизация от 50 % до 65 % по маса;
  - избягване употребата на различни материали (картон, пенематериал и др.).
- **Оптимизация/намаляване при транспортиране: по-малка маса и обем за транспортиране**
- **Избор на средства за транспортиране, изразходващи по-малко гориво**

Съответствието с дадените критерии не трябва да намалява нивата на основните функции на опаковката, като защита и съхраняемост.

■ Използване

Използването на продукта е етап от жизнения цикъл, който може да окаже значително влияние върху околната среда особено по отношение на електропотреблението. На този етап отново съществуват редица критерии, които имат решаващо значение:

- **По-ниско ниво на електропотребление при използване на продукта**
  - енергия, разсейвана в електрически контакти (контактно съпротивление, заваръчни съединения и др.) и биметални елементи;
  - консумирана електроенергия в различни устройства за управление (електромагнити и др.);
  - отделена електроенергия в електронни компоненти и др.
- **Намаляване на изтичанията и изхвърлянията в околната среда**
  - потискане на шумови емисии;
  - по-малко количество на изтичания (например на елегаз SF6).

- **По-висока надеждност на продукта**
- **По-просто техническо обслужване и текущ ремонт**
  - по-висока надеждност на продукта;
  - връзка с клиента (предварително уведомяване и др.);
  - модулни продукти.

Друг важен момент от този етап е използването на чисто възобновяемо гориво, но влиянието на разработчика по този въпрос не е решаващо.

Край на срока на служба

Необходимо е да се отбележи, че утилизацията след срока на служба е важен елемент от екодизайна. Тя обхваща от 70 % до 80 % от масата на продукта и трябва да се включва като задължение на неговия производител. Ако този екологичен критерий е свързан с разумни разходи продуктът трябва да бъде разработван така, че да облекчава посочения процес.
Той от своя страна е свързан също с много критерии:

- **Удобство при демонтаж на продукти**
  - трябва да се избягва използването на асемблирани системи, които не подлежат на демонтаж;
  - трябва да се разработват модулни продукти.
- **Повторно използване на възли/детайли: предпочитане на модулни продукти**
- **Ремонт/възстановяване на продукти**
- **Повторно използване на материали:**
  - маркирани пластмасови части (виж техническа инструкция FT 20 050);
  - по-малък брой разнообразни материали.
- **Избор на нетоксични материали: възможност за изгаряне**
- **Лесен демонтаж на токсични продукти и/или продукти, изискващи специална технология**
- **Лесен и бърз достъп за демонтаж на акумулаторни батерии, живачни релета, електронни платки, LCD монитори и др.**
- **Елементарни устройства за осигурява на безопасност на продукти (пружини, работещи на опън и др.)**
- **Ръководство за дейности след края на срока на служба на продукта**

Това е кратък списък от дизайнерски критерии за всеки етап от жизнения цикъл на продукта. Илюстрираните примерите не разкриват всички обстоятелства, свързани с екологичното проектиране, но те трябва да се разглеждат предимно като общо ръководство в помощ на проектанта.

Освен това, разделянето на жизнения цикъл на продукта на основни етапи (избор на материали, производство, разпространяване, използване и край на срока на служба) не трябва да влияе върху крайната цел – намаляване на общото въздействие на продукта върху околната среда от началото до края на жизнения цикъл. Затова е важно, както вече се отбеляза, подобряването на екологичното въздействие на даден етап да не влияе отрицателно върху следващите етапи.

За постигане на тази цел трябва да се извършва подробен анализ на жизнения цикъл LCA чрез програмния продукт EIME (виж т.12.8).

12. Екодизайн

12.7 Заключение
12.8 Приложения

12.7 Заключение

В общата политика на компанията Schneider Electric се включва секторната част екодизайн, за да се:

- стимулира грижа за опазване на всички природни ресурси;
- подобряват постоянно и безусловно условията за чиста околна среда с цел удовлетворяване изискванията на клиенти, потребители на дадени продукти, сътрудници и обществото като цяло.

Тази устойчива прогресивна политика за развитие може да повиши производителността на труда на компанията в съвременните условия и трябва да се разглежда като благоприятна възможност. Затова екодизайнът, чиято цел е разработване на изделия/услуги с минимално ниво на въздействие върху околната среда в продължение на целия срок на служба и които продукти по най-добрия начин удовлетворяват изискванията на клиента **трябва да стане наша обща политика при разработване на всяко ново изделие/услуга и на нови варианти на вече съществуващи изделия/услуги**.

12.8 Приложения

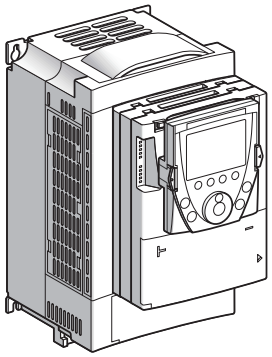
Програмно осигуряване EIME

Софтуерният продукт EIME (Environmental Information and Management Explorer - Програмно-апаратно средство, осигуряващо информация за околната среда, нейното опазване и рационално използване) е приложна програма, помагаща при проектиране на екологично безопасни продукти. Тя е разработена съвместно от компаниите Alcatel, Alstom, Legrand, Schneider Electric и Thomson Multimedia и се поддържа от тях.

Програмното осигуряване се използва за оценка въздействието на продукта върху околната среда от началото до края на неговия жизнен цикъл. То ориентира дизайнерите при избора на материали и проекти. Достъпът до него е свободен, а неговата база от данни (материали, технологии и др.) е достъпна за всички проектанти на Schneider Electric.

Основните характеристики на този софтуерен продукт са:
-помощ при избор на материали и технологии;
-информация за съответствие с нормативни документи;
-оценка на въздействие върху околна среда LCA;
-помощ при определяне на слаби места;
-сравняване на две проектни решения.

Екологичните характеристики на продукта, получени с помощта на EIME, са основа за информиране на потребителите относно въздействието на продукта върху околната среда.



↑ *Фиг. 12.4* *Външен вид на изделие Altivar 71, отличено с наградата “Eco-product for sustainable development”*

Altivar 71: пример за проектиране екологичен профил на продукт (Product Environmental Profile – PEP)

Серията от устройства Altivar 71 са разработени за контрол и регулиране скоростта на въртене на асинхронни електродвигатели *(⇨ Фиг. 12.4)*.

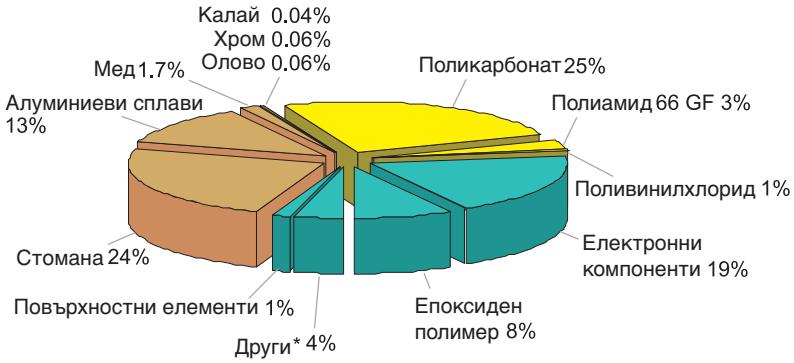
Серията включва еднофазни или трифазни продукти с номинална мощност от 0,37 до 18 kW с изходно напрежение от 200 до 500V .

Изделието, използвано за този пример е комплект Altivar 71, с номинална мощност 0,75 kW, предназначено за мрежово напрежение 500 V (виж ATV71ATV71 H075N4). Това е образец, избран от представената серия. Останалите продукти от тази серия са разработени по същата технология и с помощта на същите технологични процеси.

Анализът на въздействието на околната среда е изпълнен в съответствие със стандарта БДС EN ISO 14040:2006 Управление на околната среда. Оценка на жизнения цикъл. Принципи и общи изисквания.

Използвани материали

Масата на изделията от тази серия е от 2 680 до 9 000 g. Разглежданото устройство Altivar 71 (номинална мощност до 0,75 kW, мрежово напрежение 500V) е с маса 2 680 g без опаковка. Използваните материали са показани на *(⇨ Фиг. 12.5)*.



↑ *Фиг. 12.5* *Структура на компонентите в ATV71*
** Групата Други включва всички елементи, чието участие е под 1%, например свиваема тръба, еластомери EPDM (каучук на основата на основата на съполимери етилен, пропилен и диенов мономер) и др.*

Всички подразделения на Schneider Electric, доставчици и поддоставчици, са информирани за необходимостта от предоставяне на гаранции по отношение на материалите, използвани в серията Altivar 71 с номинална мощност от 0,37 до 18 kW. Тези материали не трябва да съдържат вещества, забранени от действащото законодателство (списъкът се предоставя при поискване).

Серията е разработена по такъв начин, че не изисква батерии или акумулатори. Предприятието, което изработва дадената серия продукти, е сертифицирано по ISO 14001 за процеса екодизайн.

Производство

Серията от разглеждани продукти, изработена в завод на компанията Schneider Electric, която въведе системата за екологичен мениджмънт, е сертифицирана по ISO 14001.

Непрекъснатият процес на усъвършенстване намалява ежегодното средно ниво на електропотребление с 5%.

Отпадъците се сортират внимателно, като се достига ниво на преработка 99%.

Разпространяване

Опаковката е разработена с отчитане намаляването на теглото и обема в съответствие с Директивата на ЕС за опаковки 94/62/ЕС. Общата ѝ маса е 1 080 g и е изработена предимно от картон с възможност за преработка на полиетиленовия пакет. Не се използват опаковъчен пенопласт или скоби.

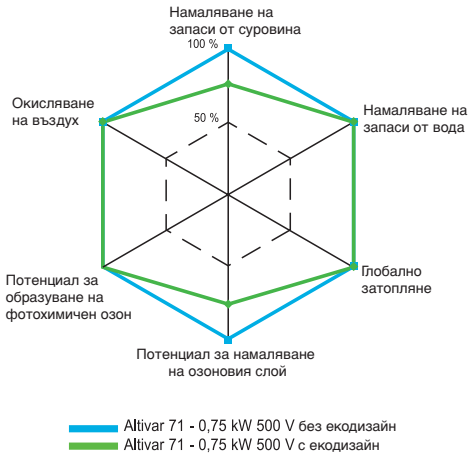
Използване

Продуктите от серията Altivar 71, с номинална мощност от 0,37 до 18 kW, не предизвикват замърсявания, изискващи специални условия за употреба (шум, изхвърляния). Нивото на електропотребление зависи от комплектацията и управлението.

Загубата на мощност е от 44 до 620 W. Например за устройство Altivar 71, с номинална мощност до 0,75 kW, номинално мрежово напрежение 500 V, загубите са 44 W, т.е. под 6% от пълната мощност на изделието.

Край на срока на служба

След края на срока на служба, компонентите на Altivar 71, с номинална мощност до 0,75 kW, номинално мрежово напрежение 500V, се демонтират за преработка на материали. Процентът на утилизация



↑ *Фиг. 12.6* *Сравняване влиянието на Altivar 71, с номинална мощност до 0,75 kW и номинално мрежово напрежение 500V с и без отчитане на екодизайн*

надхвърля 80%. Това се отнася за черните метали, медта, алуминия и маркираната пластмаса.

Отделните блокове на това изделие съдържат също електронни платки, които могат да се демонтират и насочат към специални технологични канали.

Сведения за действията след края на срока на служба са подробно изложени в съответните информационни листи за технически данни.

□ Въздействие върху околната среда

Анализът на жизнения цикъл е изпълнен с помощта на софтуерният продукт EIME ver.1.6 и версия за базата данни 5.4 *(⇨ Фиг.12.6)*.

Теоретичният срок на служба на изделието е 10 години, а захранващия модул се отнася за изискванията на Европейския пазар.

Анализира се устройство Altivar 71, с номинална мощност до 0,75 kW и номинално мрежово напрежение 500V.

Оказаното въздействие върху околната среда е анализирано на всички производствени етапи (M), включително преработка на суровина, разпространяване (D) и използване (U).

Анализът на въздействието върху околната среда е изпълнен чрез сравняване на въздействия, оказвани от продукт, разработен с отчитане на екодизайн и от продукт, разработен без отчитане на екодизайн. Продуктът, разработен с отчитане на екодизайн има по-малки маса и обем съответно 27 % и 19 % в сравнение с другия продукт.

Използваната пластмаса се утилизира на 100% благодарение на възможността за избор на материали и новата конструкция на продукта.

Посочените изменения водят до общо намаляване влиянието на продукта върху околната среда.

■ Екологичен профил на продукта (Product Environmental Profile – PEP)

□ Системен подход

Преобразувателите на честота, управляващи скоростта, помагат да се пести енергия с помощта на оптимизация работните цикли на асинхронни двигатели.

В преходни режими продуктите от серия Altivar 71, с номинална мощност от 0,37 до 18 kW и номинално мрежово напрежение 500V, могат да намалят електропотреблението на уредбата повече от два пъти.

Числените данни за оказано въздействие върху околната среда, посочени по-горе, са верни изключително за указания контекст и не могат да бъдат използвани за оценка въздействието върху околна среда от друга уредба.

□ Речник

• Намаляване на суровини запаси (Raw Material Depletion RMD)

Този показател определя разхода на суровина за срока на служба на продукта. Той се изчислява като отношение между частта на суровината, използвана всяка година към общите годишни запаси.

• Намаляване запасите от вода (Water Depletion WD)

Този показател се определя от количеството изразходвана питейна вода или вода за промишлени нужди. Измерва се в m^3.

• Потенциал за глобално затопляне (Global Warming Potential GWP)

Глобалното затопляне е ефект, предизвикан от слънчева радиация, отразена от земната повърхност и погълната от атмосферата. Ефектът се измерва в g CO_2.

• **Изтощаване на озоновия слой (Ozone Depletion OD)**
Този показател показва каква роля играят емисиите от определени газове за намаляване дебелината на озоновия слой.

Измерва се в g CFC-11.

• **Образуване на фотохимичен озон (Photochemical Ozone Creation POC)**
Този показател определя каква роля играят озонообразуващите газове за създаване на смог.

Измерва се в g етилен C_2H_4.

• **Окисляване на въздуха (Air Acidification AA)**
Киселинните вещества в атмосферата се пренасят чрез дъждове. Силно киселинните дъждове могат да унищожат горите.

Степента на окисляване се определя с използване киселинния потенциал и се изразява в mol H+.

Справочна информация

- Фундаментални закони в областта на механиката и електротехниката
- Таблици за основни величини и измерителни единици
- Измерителни единици и означения, таблици за преобразуване стойностите на величини от различни системи измерителни единици
- Режими на неутралата

C.1 Величини и измерителни единици 320

C.2 Средна стойност на номиналния ток за асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор 321

C.3 Формули в областта на електротехниката 322

C.4 Изчисляване на пускови съпротивления 324

C.5 Формули в областта на механиката 325

C.6 Основни формули 326

C.7 Типове системи за заземяване 327

C.8 Задвижвания 328

C.9 Таблици за преобразуване на стандартни измерителни единици 330

C.1 Величини и измерителни единици

Величина	Буквено означение	Измерителна единица	Означение
Ускорение (свободно падане)	g	метър в секунда на квадрат	m/s^2
Активна мощност	P	Ват	W
Ъгъл (равнинен)	α, β, γ	радиан градус (ъглов) минута (ъглова) секунда (ъглова)	rad …° …' …"
Ъглово ускорение	α	радиан в секунда на квадрат	rad/s^2
Ъглова скорост	ω	радиан в секунда	rad/s
Пълна мощност	S	волт-ампер	V.A
Площ (повърхност)	A или S	квадратен метър	m^2
Електрически капацитет	C	Фарад	F
Дълбочина	d	метър	m
Диаметър	d	метър	m
Период	T	секунда	s
Коефициент на полезно действие	η	%	*
Електричен ток	I	Ампер	A
Количество електричество	Q	Кулон или ампер-час	C или A.h
Електродвижеща сила	E	Волт	V
Енергия	W	Джаул	J
Сила	F	Нютон	N
Честота	f	Херц	Hz
Количество топлина	Q	Джаул	J
Височина	h	метър	m
Импеданс	Z	Ом	Ω
Дължина	l	метър	m
Линейно ускорение	a	метър в секунда на квадрат	m/s^2
Линейна скорост	v	метър в секунда	m/s
Маса	m	килограм	kg
Напрегнатост/ Интензитет на магнитното поле	H	ампер за метър	A/m

Величина	Буквено означение	Измерителна единица	Означение
Магнитен поток	Φ	Вебер	Wb
Магнитна индукция	B	Тесла	T
Силов момент	M	Нютон по метър	N.m
Инерционен момент	J или I	килограм по квадратен метър	$kg.m^2$
Индуктивност	M	Хенри	H
Потенциална разлика	U	Волт	V
Налягане	p	Паскал	Pa
Радиус	r	метър	m
Реактивно съпротивление	X	Ом	Ω
Реактивна мощност	Q	вар	Var
Магнитно съпротивление	R	Ампер на Вебер	A/W
Активно съпротивление	R	Ом	Ω
Специфично съпротивление	ρ	Ом по метър на милиметър	Ω.m/mm
Честота на въртене	n	оборота в секунда	tr/s
Индуктивност	L	Хенри	H
Хлъзгане	s или g	%	*
Температура по Целзий	Θ	градус Целзий	°C
Температурна разлика	$\Delta\Theta$	градус Келвин или градус Целзий	K или °C
Термодинамична температура	T	Келвин	K
Дебелина	d	метър	m
Време	t	секунда (време) минута (време) час ден	s min h d
Времеконстанта	—	секунда	s
Момент	T	Нютон по метър	N.m
Обем	V	кубичен метър	m^3
Напрежение	U	Волт	V
Тегло	G	Нютон	N
Ширина	b	метър	m
Работа	W	Джаул	J

* Няма означение

Дробни представки и техните означения

Представка	Буквено означение	Множител
деци	d	10^{-1}
санти	c	10^{-2}
мили	m	10^{-3}
микро	μ	10^{-6}
нано	n	10^{-9}
пико	p	10^{-12}
Примери:	пет нанофарада 5 nF = 5.10^{-9} F	
	два милиампера 2 mA = 2.10^{-3}A	
	осем микрометра 8 pm = 8.10^{-6}m	

Кратни представки и техните означения

Представка	Буквено означение	Множител
дека	da	10^{1}
хекто	h	10^{2}
кило	k	10^{3}
мега	M	10^{6}
гига	G	10^{9}
тера	T	10^{12}
Примери:	два мегаджаула 2 MJ = 2.10^{6} J	
	един гигават 1 GW= 10^{9} W	
	три килохерца 3 kHz= 3.10^{3} Hz	

C.2 Средна стойност на номиналния ток за асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор

			200V (б)	200 V	208 V	230 V	220-240V	380-415 V	400 V	440-480 V	500 V	550-600 V	690 V
kW (а)	kW(б)	hp (в)		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0.06		–		–	–	0.35	–	–	0.2	–	0.16	–	0.12
0.09		–		–	–	0.52	–	–	0.3	–	0.24	–	0.17
0.12		–		–	–	0.7	–	–	0.44	–	0.32	–	0.23
0.18		–		–	–	1	–	–	0.6	–	0.48	–	0.35
0.25	0.25	–	2.6	–	–	1.5	–	–	0.85	–	0.68	–	0.49
0.37	0.37	–	2.8	–	–	1.9	–	–	1.1	–	0.88	–	0.64
–	0.4	1/2		2.5	2.4	–	2.2	1.3	–	1.1	–	0.9	–
0.55	0.55	–	3.4	–	–	2.6	–	–	1.5	–	1.2	–	0.87
–		3/4		3.7	3.5	–	3.2	1.8	–	1.6	–	1.3	–
–		1		4.8	4.6	–	4.2	2.3	–	2.1	–	1.7	–
0.75	0.75	–	4.2	–	–	3.3	–	–	1.9	–	1.5	–	1.1
1.1	1.1	–	5.6	–	–	4.7	–	–	2.7	–	2.2	–	1.6
–		1-'1/2		6.9	6.6	–	6	3.3	–	3	–	2.4	–
–		1-1/2		7.8	7.5	–	6.8	4.3	–	3.4	–	2.7	–
1.5	1.5	–	7.3	–	–	6.3	–	–	3.6	–	2.9	–	2.1
2.2	2.2	–	10	–	–	8.5	–	–	4.9	–	3.9	–	2.8
–		3		11	10.6	–	9.6	6.1	–	4.8	–	3.9	–
3		–		–	–	11.3	–	–	6.5	–	5.2	–	3.8
	3.7		16.1										
4		–		–	–	15	–	–	8.5	–	6.8	–	4.9
–		5		17.5	16.7	–	15.2	9.7	–	7.6	–	6.1	–
5.5	5.5	–	24	–	–	20	–	–	11.5	–	9.2	–	6.7
–		7-1/2		25.3	24.2	–	22	14	–	11	–	9	–
–		10		32.2	30.8	–	28	18	–	14	–	11	–
7.5	7.5	–	32	–	–	27	–	–	15.5	–	12.4	–	8.9
11	11	–	45	–	–	38	–	–	22	–	17.6	–	12.8
–		15		48.3	46.2	–	42	27	–	21	–	17	–
–		20		62.1	59.4	–	54	34	–	27	–	22	–
15	15	–	61	–	–	51	–	–	29	–	23	–	17
18.5	18.5	–	74	–	–	61	–	–	35	–	28	–	21
–		25		78.2	74.8	–	68	44	–	34	–	27	
22	22	–	87	–	–	72	–	–	41	–	33	–	24
–		30		92	88	–	80	51	–	40	–	32	–
–		40		120	114	–	104	66	–	52	–	41	–
30	30	–	117	–	–	96	–	–	55	–	44	–	32
37	37	–	143	–	–	115	–	–	66	–	53	–	39
		50		150	143	–	130	83	–	65	–	52	–
–		60		177	169	–	154	103	–	77	–	62	–
45		–		–	–	140	–	–	80	–	64	–	47
55		–		–	–	169	–	–	97	–	78	–	57
–		75		221	211	–	192	128	–	96	–	77	–
–		100		285	273	–	248	165	–	124	–	99	–
75		–		–	–	230	–	–	132	–	106	–	77
90		–		–	–	278	–	–	160	–	128	–	93
–		125		359	343	–	312	208	–	156	–	125	–
110		–		–	–	340	–	–	195	–	156	–	113
–		150		414	396	–	360	240	–	180	–	144	–
132		–		–	–	400	–	–	230	–	184	–	134
–		200		552	528	–	480	320	–	240	–	192	–
160		–		–	–	487	–	–	280	–	224	–	162
–		250		–	–	–	604	403	–	302	–	242	–
200		–		–	–	609	–	–	350	–	280	–	203
–		300		–	–	–	722	482	–	361	–	289	–
250		–		–	–	748	–	–	430	–	344	–	250
–		350		–	–	–	828	560	–	414	–	336	–
–		400		–	–	–	954	636	–	477	–	382	–
315		–		–	–	940	–	–	540	–	432	–	313
–		450		–	–	–	1 030	–	–	515	–	412	–
355		–		–	–	1 061	–	–	610	–	488	–	354
–		500		–	–	–	1 180	786	–	590	–	472	–
400		–		–	–	1 200	–	–	690	–	552	–	400
500		–		–	–	1 478	–	–	850	–	680	–	493
560		–		–	–	1 652	–	–	950	–	760	–	551
630		–		–	–	1 844	–	–	1 060	–	848	–	615
710		–		–	–	2 070	–	–	1 190	–	952	–	690
800		–		–	–	2 340	–	–	1 346	–	1 076	–	780
900		–		–	–	2 640	–	–	1 518	–	1 214	–	880
1 000		–		–	–	2 910	–	–	1 673	–	1 339	–	970

а: Стойностите са в съответствие с IEC 60072-1;

б: мощност, в kW, и стойност на тока в съответствие с JIS C 4210;

в: мощност, в к.с., и стойност на тока в съответствие с UL 508 (при 60 Hz).

C.3 Формули в областта на електротехниката

Активна мощност

	постояннотокова	$P = UI$
	еднофазна променливотокова	$P = UI\cos\varphi$
	трифазна	$P = UI\sqrt{3}\cos\varphi$

където P е активната мощност, W;
U - линейното напрежение, V;
I - токът, A;
$\cos\varphi$ - факторът на мощността.

Реактивна мощност

	еднофазна	$Q = UI\sin\varphi = UI\sqrt{1-\cos^2\varphi}$
	трифазна	$Q = UI\sqrt{3}\sin\varphi = UI\sqrt{3}\sqrt{1-\cos^2\varphi}$

където Q е реактивната мощност, VAr;
U - линейното напрежение, V;
I - токът, A;
$\cos\varphi$ - факторът на мощността.

Пълна мощност

	еднофазна	$S = UI$
	трифазна	$S = UI\sqrt{3}$

където S е пълната мощност, VA;
U - линейното напрежение, V;
I - токът, A;

Фактор на мощността

$$\cos\varphi = \frac{\text{активна мощност}}{\text{пълна мощност}}$$

Коефициент на полезно действие

$$\eta = \frac{\text{полезна мощност}}{\text{потребена мощност}}$$

Ток на двигателя

еднофазен	$I = \frac{P}{U\eta\cos\varphi}$
трифазен	$I = \frac{P}{U\sqrt{3}\eta\cos\varphi}$
постояннотоков	$I = \frac{P}{U\eta}$

където P е активната мощност, W;
I - токъ, A;
U - линейното напрежение, V;
h - к.п.д. на двигателя;
$\cos\varphi$ - факорът на мощността.

Съпротивление на проводник

$$R = \rho\frac{l}{s},$$

където R е активното съпротивление на проводника, Ω;
ρ - специфичното обемно съпротивление, Ω.m;
l - дължината на прводника, m;
S - напречното сечение на проводника, m^2.

Специфично съпротивление

$$\rho_\theta = \rho(1+\alpha\Delta\theta),$$

където ρ_θ е специфичното съпротивление при температура θ, Ω.m;
ρ - специфичното съпротивление при температура θ_0, Ω.m;
$\Delta\theta$ - температурната разлика $\Delta\theta = \theta - \theta_0$, °C;
α - температурният коефициент\ на съпротивление, $°C^{-1}$.

Закон на Джаул-Ленц

$W = RI^2t$ (еднофазна верига),

където W е разсейваната енергия, J;
R - съпротивлението на електрическата верига, Ω;
I - ефективната стойност на тока, A;
t - времето, s.

Реактивно индуктивно съпротивление

$$X_L = L\omega,$$

където X_L е реактивното индуктивно съпротивление, Ω;
L - индуктивността, H;
ω - ъгловата честота $\omega = 2\pi f$, rad/s;
f - честотата, Hz.

Реактивно капацитивно съпротивление

$$X_C = \frac{1}{C\omega},$$

където X_C е капацитивното съпротивление, Ω;
C - капацитетът, F;
ω - ъгловата честота $\omega = 2\pi f$, rad/s;
f - честотата, Hz.

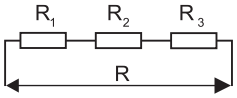
Закон на Ом

Верига само с активно съпротивление	$U = RI,$
Верига само с реактивно съпротивление	$U = XI,$
Верига с активно и реактивно съпротивление	$U = ZI,$

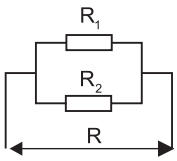
където U е напрежението на веригата, V;
I - токът, A;
R - активното съпротивление, Ω;
X - реактивното съпротивление на веригата (X_L - индуктивно или X_C - кпацитивно), Ω;
Z - импедансът на веригата, Ω.

За определяне на Z виж следващата страница.

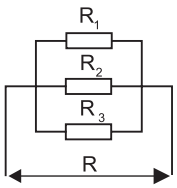
Различни видове електрически вериги с активно съпротивление



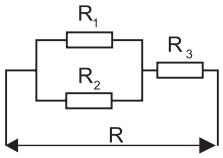
$$R = R_1 + R_2 + R_3$$



$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2}$$

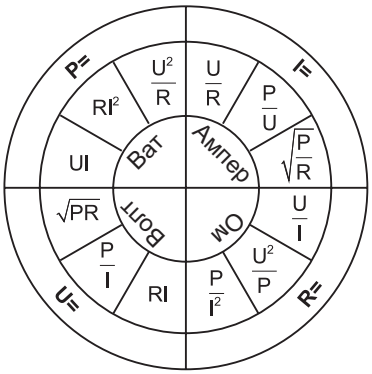


$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R_1.R_2.R_3}{R_1.R_2+R_2.R_3+R_1.R_3}$$



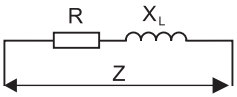
$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} + R_3 = \frac{R_1.R_2}{R_1+R_2} + R_3$$

Закон на Ом

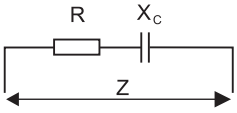


Означения:
U - напрежение, V
I - ток, A
R - съпротивление, Ω
P - мощност, W

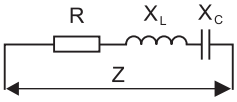
Електрически вериги с активно и реактивно съпротивление



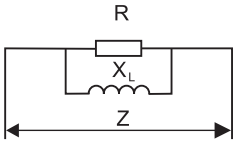
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



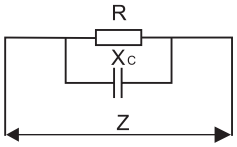
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



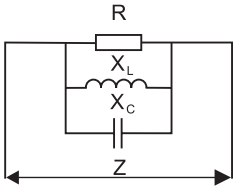
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$



$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}} = \frac{R.X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$



$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}} = \frac{R.X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$



$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}} = \frac{R.X_L.X_C}{\sqrt{X_L^2 X_C^2 + R^2(X_L - X_C)^2}}$$

C.4 Изчисляване на пускови съпротивления

За асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор

Добавъчно съпротивление в статорната намотка

Трифазен двигател

$$R = 0.055\frac{U}{I_n},$$

където R е омичното съпротивление на една фаза, Ω;
U - захранващото напрежение, V;
I_n - номиналният ток на двигателя, A.

Среден ток $I = 4{,}05\ I_n$

При поръчка на съпротивление е необходимо да се укаже: времето, за което съпротивлението е включено към веригата и броя на включванията за един час.
Обикновено се приема 12 пускания за 1 час, всяко от които с продължителност 10 s, две от които са от студено състояние.

Съпротивление за тристепенно пускане звезда-триъгълник

$$R = \frac{0.28U}{I_n},$$

където R е омичното съпротивление на една фаза, Ω;
U - захранващото напрежение, V;
I_n - номиналният ток на двигателя, A.

Среден ток $I = 1{,}5\ I_n$

При поръчка на съпротивление е необходимо да се укаже: времето, за което съпротивлението е включено към веригата и броя на включванията за един час.
Обикновено се приема 2 последователни пускания, всяко от които с продължителност 3 s, с 20 секунден интервал между тях.

Автотрансформатор

При пускане.

$U_{двиг} = k\ U_{захр}$,
$C_{двиг} = k^2 T$,
$I_{захр} = k^2\ I$,
$I_{двиг} = k\ I$,

където k е коефициентът на трансформация $U_{изх} / U_{захр}$;
T - пусковият момент на двигателя при номинално захранващо напрежение, N.m;
I - пусковият ток на двигателя при номинално захранващо напрежение, A.

При поръчка на автотрансформатор е необходимо да се укаже:
- възможността за въздушно охлаждане на автотрансформатора;
- максималният ток на двигателя при директно пускане (зададен от производителя), A;
- стойността на изходното напрежение, отнесено към захранващото напрежение, %;
- времето за включване на автотрансформатора и броят на включванията за 1 час.

Обикновено се приема включване при 0,55 Un и 0,65 Un и се позволяват 5 включвания за 1 час с продължителност 8 s. Когато липсва информация за точните праметри на двигателя се приема

$$\frac{I_d}{I_n} = 6.$$

За асинхронен двигател с навит ротор

Номинално съпротивление R_u (1)

Трифазен двигател

$$R_u = \frac{333P}{I_r^2},$$

където P е номиналната мощност, kW;
I_r - номиналният ток, A.

или

$$R_u = \frac{245P}{I_r^2},$$

където P е номиналната мощност, к.с.;
I_r - номиналният ток, A.

Стойност на съпротивлението на първата степен

$$R(1) = \frac{R_u + r}{K_{1st\ peak}} - r,$$

където R(1) е стойността на фазното съпротивление за дадената степен, Ω;
R_u - номиналното съпротивление, Ω;
r - вътрешното съпротивление на двигателя, Ω;
$K_{1st\ peak}$ - кратността на максималния ток за дадената степен.

Стойност на междинно съпротивление

$$R_{(n)} = \frac{R_{(n-1)} + r}{K_{peak}} - r,$$

където $R_{(n)}$ е стойността на фазното съпротивление за дадената степен, Ω;
$R_{(n-1)}$ - съпротивлението на предходната степен, Ω;
r - вътрешното съпротивление на двигателя, Ω;
K_{peak} - кратността на пусковия ток за дадената степен.

Максимална стойност на последната степен

$$K_{peak} = \frac{R_{(n-1)} + r}{r},$$

където K_{peak} е кратността на пусковия ток за дадената степен;
$R_{(n-1)}$ - съпротивлението на предходната степен, Ω;
r - вътрешното съпротивление на двигателя, Ω.

Други характеристики

$$I_{cp} = I_r + \frac{I_p - I_r}{3},$$

където I_{cp} е еквивалентният топлинен ток, A;
I_r - номиналният ток на двигателя, A;
I_p - пусковият ток на двигателя, A.

При поръчка на съпротивление е необходимо да се укаже: времето, за което съпротивленията са включени, броят на пусканията за 1 час и, ако е необходимо, вероятността за спиране с противовключване.

(1) Номиналното съпротивление е теоретичната стойност на допълнителното съпротивление за една фаза, което трябва да се включи, за да се получи номинален въртящ момент при застопорен ротор. Това е необходимо за определяне на пусковото съпротивление.

C.5 Формули в областта на механиката

Ъглова скорост

$$\omega = \frac{2\pi n}{60},$$

където ω е ъгловата скорост, rad/s;
n - честотата на въртене, tr/min (rpm).

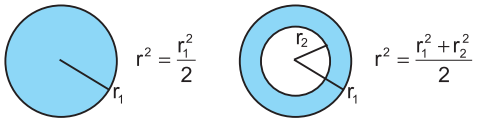
Честота на въртене без товар

Синхронна честота на въртене (без товар) на асинхронен двигател

$$\omega = \frac{2\pi f}{p} \text{ или } n = \frac{60f}{p},$$

където ω е ъгловата скорост, rad/s;
n - честотата на въртене, tr/min;
f - честотата на захранващото напрежение, Hz;
p - броят на чифтовете полюси.

Инерционен радиус



$$r^2 = \frac{r_1^2}{2} \qquad r^2 = \frac{r_1^2 + r_2^2}{2}$$

където r е инерционният радиус, m;
r_1 - външният радиус, m;
r_2 - вътрешният радиус, m.

Инерционен момент на тяло с маса m

$$J = mr^2,$$

където J е инерционният момент, kg.m²;
m - масата, kg;
r - инерционният радиус, m.

Понякога се използват формулите:

$$J = \frac{MD^2}{4} \text{ или } \frac{GD^2}{4} \text{ или } \frac{PD^2}{4}$$

Инерционен момент, отнесен към скорост ω

$$J_\omega = J_{\omega'} \frac{\omega^2}{\omega'^2},$$

където J_ω е инерционният момент, отнесен към ъглова скорост ω, kg.m²;
$J_{\omega'}$ - инерционният момент, отнесен към ъглова скорост ω', kg.m².

Номинален въртящ момент

$$T_n = \frac{P_n}{\omega_n},$$

където T_n е номиналният въртящ момент, N.m;
P_n - номиналната мощност, W;
ω_n - номиналната ъглова скорост, rad/s.

Ускоряващ въртящ момент

$$T_a = T_m - T_r$$

където T_a е ускоряващият въртящ момент, N.m;
T_m - въртящият момент на двигателя, N.m;
T_r - съпротивителният момент, N.m.

Продължителност на пусковия процес

Продължителност на пусковия процес е времето, за което двигателят се ускорява от 0 до ω_n, с постоянен ускоряващ момент T_a

$$J = mr^2 \text{ или } t = \frac{J\omega_n^2}{P_n} \frac{1}{(T_a / T_n)},$$

където t - продължителността на пускане, s;
J - общият инерционен момент при движение (на двигателя и товара), kg.m²;
ω_n - номиналната ъглова скорост, rad/s;
T_a - ускоряващият момент, N.m;
P_n - номиналната мощност на двигателя, W;
T_a/T_n - пусковият коефициент. Определя се като отношение на пусковия към номиналния момент.

В случая, когато ускоряващият момент се изменя със скоростта, се използват практически формули, в които се използват величини, еквивалентни на постоянен въртящ момент за различни приложения, за бързи приблизителни изчисления.
Например, може да се сравни ускоряващия момент на двигател с накъсосъеднен ротор и реостатно пускане с еквивалентен такъв с постоянен момент:

$$T_a = T_m \text{mini} + \frac{T_m \text{maxi} - T_m \text{mini}}{3} - T_r,$$

където T_m mini - въртящият момент на двигателя преди да се шунтира добавъчното съпротивление;
T_m maxi - въртящият момент на двигателя след шунтиране на добавъчното съпротивление;
T_r - съпротивителният момент. Приема се за постоянен.

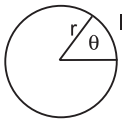
C.6 Основни формули

Международна система SI : MKS*

Величина	Означение	Измерителна единица
Дължина	m	L - метър
Маса	kg	m - килограм
Време	s	t - секунда
Големина на електричен ток	A	I - Ампер

Кинематика (линейно преместване)

Дължина	l	m
Скорост	$v = \frac{dl}{dt} = \frac{l}{t}$	m/s
Ускорение	$a = \frac{dv}{dt}$	m/s²



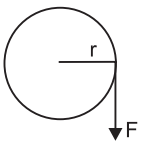
Динамика (линейно преместване)

Сила	F=m a	N (Нютон)
Движеща сила	F=m a	
Работа	W=F l	J (Джаул)
Мощност	$P = \frac{W}{t} = \frac{Fl}{t} = Fv$	W (Ват)
	$1\ \text{Ват} = \frac{1\text{Джаул}}{1\text{секунда}}$	
Енергия	$W = 1/2\ mv^2$	

Кинетичната енергия характеризира скоростта на телата.

Кинематика (кръгово движение)

Дъга	$\theta = \frac{l}{r}$	rad
Ъглова скорост	$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta}{t}$	rad/s
	$\omega = \frac{2\pi n}{60}$	n, tr/min
Скорост	$v = \frac{l}{t} = r\omega$	ω, rad/s
Ъглово ускорение	$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d\,\omega}{dt}$	rad/s²
Тангенциално ускорение	$\alpha_t = \frac{dv}{dt}$	α_t, m/s²



Динамика (кръгово движение)

Въртящ момент	T= F r	N.m или J/rad
Двигателен въртящ момент	$M_D = J\frac{d\omega}{dt}$ J= инерчен момент, kg.m²	
Работа	$W = M_D\theta$	J (Джаул)
Мощност	$P = \frac{M_D\theta}{t} = M_D\omega$	W (Ват)
	$P = M_D\frac{2\pi n}{60}$	n=tr/min
Кинетична енергия	$W_к = 1/2\ mr^2$ $W_к = \frac{J_o.\omega^2}{2}$	

Кинетичната енергия характеризира скоростта на телата.

* Международната система измерителни единици SI е изградена въз основа на системата MKS (метър, килограм, секунда). У нас е въведена през 1963 г. с БДС 3952-63. От тогава тя е задължителна за всички области на науката, образованието и практиката и замества системата CGS (сантиметър, грам, секунда).

C.7 Типове системи за заземяване

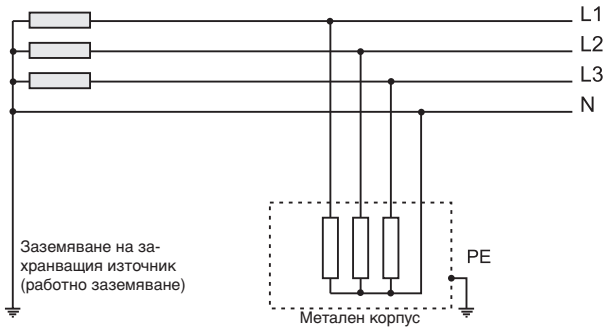


Схема TT

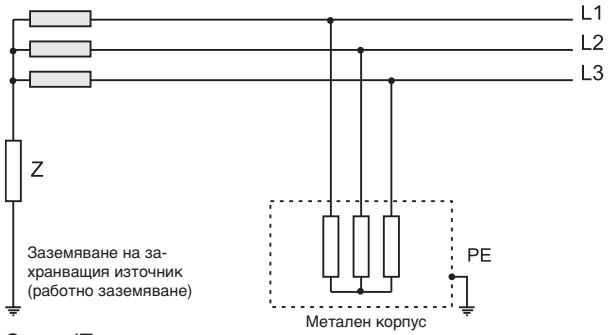


Схема IT

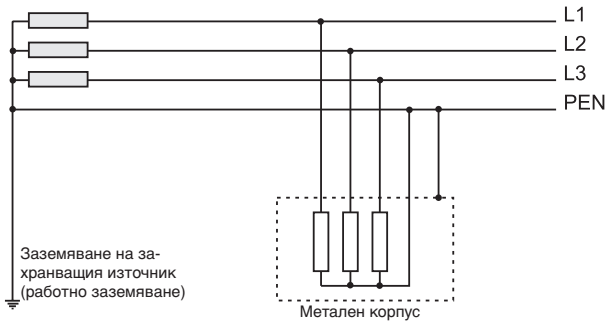


Схема TN-C

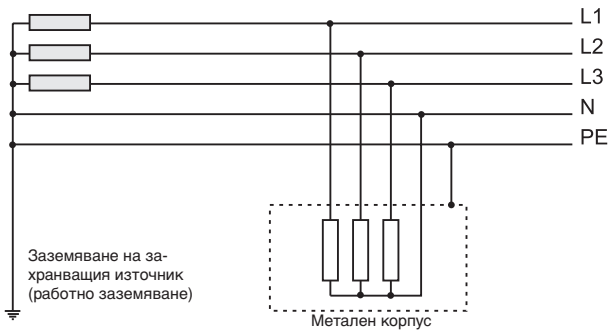


Схема TN-S

Системите стандарти БДС HD 60364 определят изискванията към електрически уредби за ниско напрежение.

Работен нулев (неутрален) проводник (N)
Проводник, който е присъединен към звездния център при трифазна система или към средната точка на системи за променлив или постоянен ток и способства за предаване на електрическа енергия. В симетрични трифазни вериги по неутралнит проводник не протича електричен ток.

Достъпна токопроводима част (корпус)
Токопроводима част на електрическо съоръжение, която е достъпна за допиране и която нормално не е под напрежение, но може да попадне под напрежение при дефект на изолация.

Земя
Токопроводимата маса на земята, чиито електрически потенциал във всяка точка условно е приет за нула.

Трифазни електрически мрежи ниско напрежение (НН)

Известни са три схеми на трифазните мрежи НН. Те имат символно означение от две букви. Първата буква показва режима на неутралата на захранващия източник на страна ниско напрежение (НН):
I – неутралата на захранващия източник е изолирана от земя или е свързана със земя чрез импеданс;
T – неутралата на захранващия източник е свързана директно със земя.
Втората буква определя заземяването на корпусите на потребителите на електрическа енергия.
S – неутралният N (Neutral) и защитният PE (Protective Earth) проводник са отделени;
C – функциите на неутралния и защитния проводник са обединени в един проводник - PEN проводник.
Комбинацията от две букви определя следните схеми на свързване

Мрежа TT
Неутралата на захранващия източник е директно свързана със земя. Достъпните токопроводими части на уредбата са свързани към заземители и са отделени електрически от неутралата.

Мрежа IT
Неутралата на захранващия източник е изолирана от земя или е свързана със земя чрез импеданс. Достъпните токопроводими части на уредбата са свързани към заземители отделно.

Мрежа TN
Неутралата на захранващия източник е директно свързана със земя. Достъпните токопроводими части на уредбата са свързани с неутралата чрез защитен проводник. Тя може да бъде:

Мрежа TN-C
Мрежа TN, в която нулевият проводник едновременно изпълнява и функцията на защитен проводник.

Мрежа TN-S
Мрежа TN, в която нулевият проводник не изпълнява функция на защитен проводник, т.е. работният нулев проводник и защитният проводник са разделени в цялата мрежа.

Мрежа TN-C-S
Комбинация от горните две. Преходът е само от **TN-C към TN-S.**

В мрежи TT, IT и TN-S за защита срещу поражение от електрически ток задължително се използват дефектнотокови защити.

C.8 Задвижвания

Една машина, куплирана към двигателя, има инерционен съпротивителен момент J (kg.m2), към който често се добавя значителния инерционен момент на двигателя. Този общ инерционен момент оказва съществено влияние върху характера на преходните процеси (пускане и спиране), но не оказва влияние върху установения режим на работа.

Въртеливо движение

Ако една машина се приведе в движение чрез понижаваща междинна предавка със скорост на въртене n_1, инерционният момент, приведен към скоростта на въртене на вала на двигателя n_2 се определя с израза:

$$J_{пр} = J_{дв}\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2.$$

Постъпателно движение

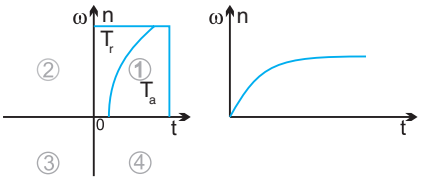
Ако механизъм с маса m, в kg, се движи с линейна скорост V, в m/s, при ъглова скорост ω, в rad/s, на задвижващия двигател инерционният момент, приведен към вала на въртене се изчислява с уравнението:

$$J_{дв} = m\frac{v^2}{\omega^2} = m\frac{v^2.3600}{4\pi^2.n^2},$$

където $\omega = \frac{2\pi n}{60}$.

Пускане

За да се пусне една машина за време t (времето от покой до скорост на въртене ω), ако се познава инерционния момент J, може да се определи необходимия ускоряващ въртящ момент T_a:



$$T_a(N.m) = J(kg.m)^2\frac{d\omega(rad/s)}{dt(s)}$$

$$T_a(N.m) = J(kg.m)^2\frac{2\pi n(tr/min)}{60t(s)}$$

Средният съпротивителен момент T_r и ускоряващият момент T_a определят средния въртящ момент на електродвигателя, необходим по време на пусковия процес T_s.

$T_s = T_r + T_a$.

В противен случай, ако ускоряващият момент T_a е постоянен, продължителността на пусковия процес се определя по:

$$t = \frac{J\omega}{T_a}.$$

На практика:

За постоянен ток

$T_d = kT_n$

където T_n е номиналният момент на електродвигателя;

k - претоварващият коефициент на електродвигателя.

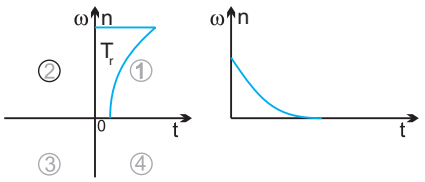
Даденият коефициент е свързан с продължителността на претоварване и температурата. Обикновено стойностите на коефициента k се намират в диапазона (1,2 ... 1,9) (виж каталога на производител на електродвигатели). В тази част токът и въртящият момент могат да бъда приблизително пропорционални.

За променлив ток

Виж претоварване по въртящ момент, претоварване по ток и работни характеристики, дадени в каталога на производителя.

Спиране

Ако при изключване на захранващото напрежение върху вала на машината няма приложен допълнителен съпротивителен момент, спирачният момент е равен на съпротивителния момент T_r.

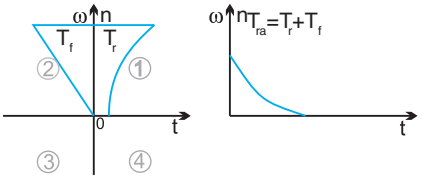


$$T_{ra} = T_r = J\frac{d\omega}{dt}$$

Спирането продължава до края на периода t и е свързан с инерционния момент чрез съотношението

$t = \frac{J}{T_r}\omega$, ако T_r е относително постоянен.

Динамично спиране

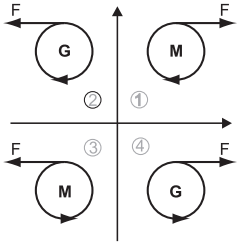


Ако времето за естествено спиране е неудвлетворително, съпротивителният момент трябва да бъде увеличен чрез използване на електрически съпротивителен момент T_{ra}. Той може да се определи по условието:

$$T_{ra}=T_r+T_f = J\frac{d\omega}{dt}$$

Спирането може да бъде реостатно. Необходимо е да се отбележи, че $T_f = k\omega$.

Режими на работа

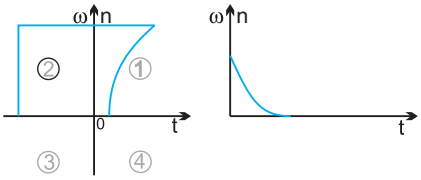


Диаграмата, показана по-горе, илюстрира 4 режими на работа (в четирите квадранта) в координатната система скорост на въртене - въртящ момент.

Посока на въртене	Режим на работа	Момент T	Скорост n	Произведение T x n	Квадрант
1-ва посока	Двигателен	+	+	+	1
	Генераторен	–	+	–	2
2-ра посока	Двигателен	–	–	+	3
	Генераторен	+	–	–	4

По подразбиране положителната стойност на напрежението води до това, че електродвигателят се върти в направление на часовниковата стрелка (1-ви квадрант), ако напрежението съответства на полярността на котвата и на възбудителната намотка.

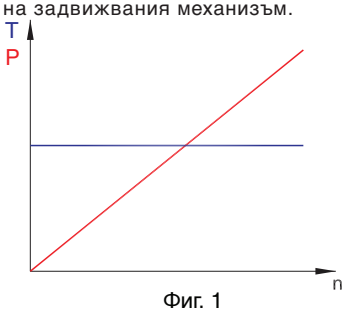
Рекуперативно спиране



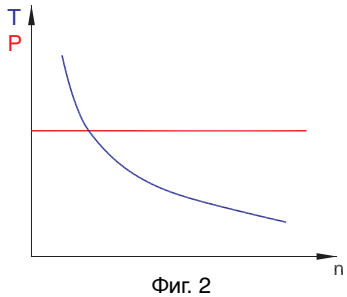
Спирането може да се осъществи рекуперативно (отрицателното ускорение осигурява преобразуването на кинетичната енергия на двигателя в електрическа енергия) чрез използване на реверсивен преобразувател на честота.
Чрез ограничаване на тока, спирачният момент е постоянен до пълното спиране на двигателя. Типоразмерът на двигателя, който трябва да се използва за конкретен механизъм, определя не само параметрите на установения режим, но и преходните процеси: чести и бързи пускания, многократни скокообразни изменения на натоварването, удари и др.

Въртящ момент и мощност

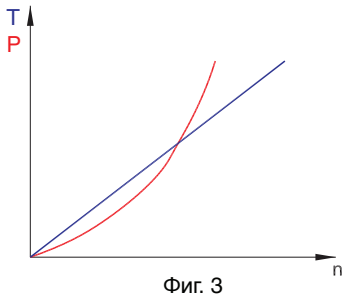
За правилния избор на системата двигател - преобразувател е важно да се познава механичната характеристика момент-скорост на задвижвания механизъм.



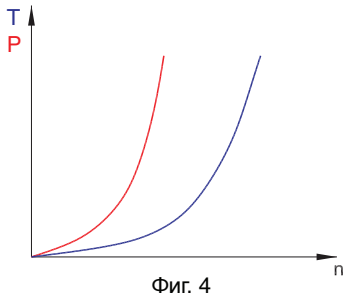
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

На практика всички машини може да се класифицират на 4 основни категории:

- постоянен момент (фиг. 1);
- постоянна мощност (фиг. 2);
- момента се увеличава линейно със скорост T = kn, мощността P се изменя с квадрата на скоростта (фиг. 3),
- момент, нарастващ с квадрата на скоростта $T = kn^2$, мощността се изменя пропорционално на скоростта на трета степен (фиг. 4).

Някои машини могат да имат работни характеристики, представляващи комбинация от тези 4 основни категории.

C.9 Таблици за преобразуване на стандартни измерителни единици

Дължина	Измерителна единица	m	in (инч)	ft (фут)	yd (ярд)	
	1 метър (m)	1	39,37	3,281	1,094	
	1 инч (in. ou")	0,0254	1	0,0833	0,02778	
	1 фут (ft ou ')	0,3048	12	1	0,3333	
	1 ярд (yd)	0,9144	36	3	1	
Площ	Измерителна единица	m^2	in^2	ft^2	yd^2	
	1 квадратен метър (m^2)	1	1550	10,764	1,196	
	1 квадратен инч (sq.in.) (in^2)	6,4510	1	$6,944\ 10^{-3}$	$7,716\ 10^{-4}$	
	1 квадратен фут (sq.ft) (ft^2)	0,0929	144	1	0,111	
	1 квадратен ярд (sq.yd) (yd^2)	0,8361	1296	9	1	
Обем	Измерителна единица	m^3	dm^3	in^3	ft^3	yd^3
	1 кубичен метър (m^3)	1	1000	61024	35,3147	1,3079
	1 кубичен дециметър(dm^3) (litre)	0,001	1	61,024	0,0353	0,0013
	1 кубичен инч (cu.in.) (in^3)	$1,63910^{-5}$	0,0164	1	5,78710-4	2,14310-5
	1 кубичен инч (cu.ft) (ft^3)	0,0283	28,32	1728	1	0,0370
	1 кубучен ярд (cu.yd) (yd^3)	0,7645	764,5	46656	27	1
Маса	Измерителна единица	kg	oz	lb		
	1 килограм (kg)	1	35,27	2,205		
	1 унция (oz)	0,028	1	0,0625		
	1 фунт (lb)	0,454	16	1		
Налягане	Измерителна единица	Pa	MPa	bar	psi	
	1 Паскал (Pa) или Нютон за m^2 (N/m^2)	1	10^{-6}	10^{-5}	$1.45\ 10^{-4}$	
	1 мегапаскал (MPa) или 1 Нютон за mm^2 (N/mm^2)	10^{6}	1	10	145,04	
	1 бар (bar)	10^{5}	0,1	1	14,504	
	1 фунт на квадратен инч (1 lbf/in^2) (psi)	6895	$6,895\ 10^{-3}$	0,06895	1	
Ъглова скорост	Измерителна единица	rad/s	tr/min			
	1 радиан в секунда (rad/s)	1	9,549			
	1 оборот в минута (tr/min)	0,105	1			
Линейна скорост	Измерителна единица	m/s	km/h	m/min		
	1 метър в секунда (m/s)	1	3,6	60		
	1 километър в час (km/h)	0,2778	1	16,66		
	1 метър в минута (m/min)	0,01667	0,06	1		
Мощност	Измерителна единица	W	ch	HP	ft-lbf/s	
	1 Ват (W)	1	$1,36\ 10^{-3}$	$1,341\ 10^{-3}$	0,7376	
	1 конска сила (метрична конска сила HP) (ch)	736	1	0,9863	542,5	
	1 конска сила (HP)	745,7	1,014	1	550	
	1 фунт в секуна (lbf/s)	1,356	$1,843\ 10^{-3}$	$1,818\ 10^{-3}$	1	
Сила	Измерителна единица	N	kgf	lbf	pdl	
	1 Нютон (N)	1	0,102	0,225	7,233	
	1 килограм-сила (kgf)	9,81	1	2,205	70,93	
	1 фунт сила (lbf)	4,448	0,453	1	32,17	
	1 паундел (pdl)	0,138	0,0141	0,0311	1	
Енергия - Работа -	Измерителна единица	J	cal	kWh	B.T.U.	
Топлина	1 Джаул (J)	1	0,24	$2,78\ 10^{-7}$	$9,48\ 10^{-4}$	
	1 Калория (cal)	4,1855	1	$1,163\ 10^{-6}$	$3,967\ 10^{-3}$	
	1 киловатчас (kWh)	$3,6\ 10^{6}$	$8,60\ 10^{5}$	1	3412	
	1 Британска топлинна единица (B.T.U)	1055	252	2,9310-4	1	
Инерционен	Измерителна единица	$kg.m^2$	$lb.ft^2$	$113.in^2$	$oz.in^2$	
момент	1 килограм по квадратен метър	1	23,73	3417	54675	
	1 фунт по квадратен фут ($1b.ft^2$)	0,042	1	144	2304	
	1 фунт по квадратен инч (1b.in^2)	$2,92610^{-4}$	$6,944\ 10^{-3}$	1	16	
	1 унция по квадратен инч ($oz.in^2$)	$1,829\ 10^{-5}$	$4,34\ 10^{-4}$	0,0625	1	