Въведение

Съществуват сериозни спорове за ефекта на новите информационни и комуникационни технологии (ИКТ) върху икономическите резултати и конкурентноспособността като цяло и в частност върху производителността, ефективността и иновациите. При търсене на обяснение за ускорението на производителността и икономическия растеж наблюдавано в много индустриализирани страни, много икономисти считат развитието, приложението и използването на ИКТ като решаващ фактор. Спореше се, че ИКТ представляват нова универсална технология с потенциал да трансформира икономическите процеси в „нова икономика", която генерира устойчиво нарасване на икономическия растеж чрез процеси на технологическо развитие и иновации. Ето защо, на фирмено ниво очакванията са за по-висока ефективност, по-ниски разходи и достъп до по-големи и нови пазари, докато правителствата виждат приложението на ИКТ в генерирането на по-висока национална производителност, създаване на работни места и конкурентноспособност.

Тази книга предлага основен анализ в областта на автоматиката и иновациите и се опитва да обясни техния организационен ефект върху малките и средни предприятия (МСП), индустрия, в която МСП проявяват по-висока от средната иновационна активност. Освен това, тя се опитва да изясни кои са главните пречки пред МСП по отношение на реализирането на техния иновационен потенциал и тяхната способност да създават работни места (намален достъп до външно финансиране, липса на по-широка търговска мрежа, недостатъчна интернационализация, и т.н.)

Освен това, както за първи път бе изтъкнато в Нова теория на растежа (Romer, Paul M., 1986), възможността за непрекъсната иновация е станала ключов фактор в световната конкуренция между богатите региони, за да усвоят допълнителните производствени фактори и нови процеси с добавена стойност, които са необходими, за да може икономиката да върви по пътя на устойчивото развитие. В много общества, обаче, съществува дълбоко убеждение, че висок и устойчиво нарастващ стандарт на живот трябва да се базира на възможно най-високия процент на заетост, не само да гарантира пълното използване на икономически ресурси, но и също да осигури широко участие в общественото богатство, без да се налага да прибягва до плащания. Това становище е ясно изразено, например, в такива важни документи като Лисабонската стратегия на Европейската комисия и съответно нейната Социална програма.

Въведение

Изглежда че МСП са идеалното средство за постигането на двете цели – устойчиво икономическо развитие базирано на иновации и създаване на работни места – без компромиси, като се има предвид, високата гъвкавост, а също и сравнително трудоемките начини на производство в МСП.

Въпросът, обаче, до колко реалистични са тези очаквания изобщо не е решен. Независимо от опита с различни програми за насърчаване на МСП, все още се спори, кои конкретни мерки са наистина подходящи да гарантират честна конкуренция чрез компенсиране специфичните недостатъци на фирмите заради размера им, като например, ограничения достъп на МСП до обществените ресурси.

Внедряване на ИКТ, икономически резултати и интернационализация на МСП

Понастоящем съществува силна необходимост да се събират повече данни разкриващи използването на ИКТ и техния ефект върху МСП, необходимост от по-щателен анализ на това как инвестирането в ИКТ и използването им влияе на иновациите и необходимостта от по-добро разбиране на това как това съчетание се пренася върху увеличение на производителността и повишаване на конкурентноспособността. Съобразно с това, формулираме следните въпроси за изследване:

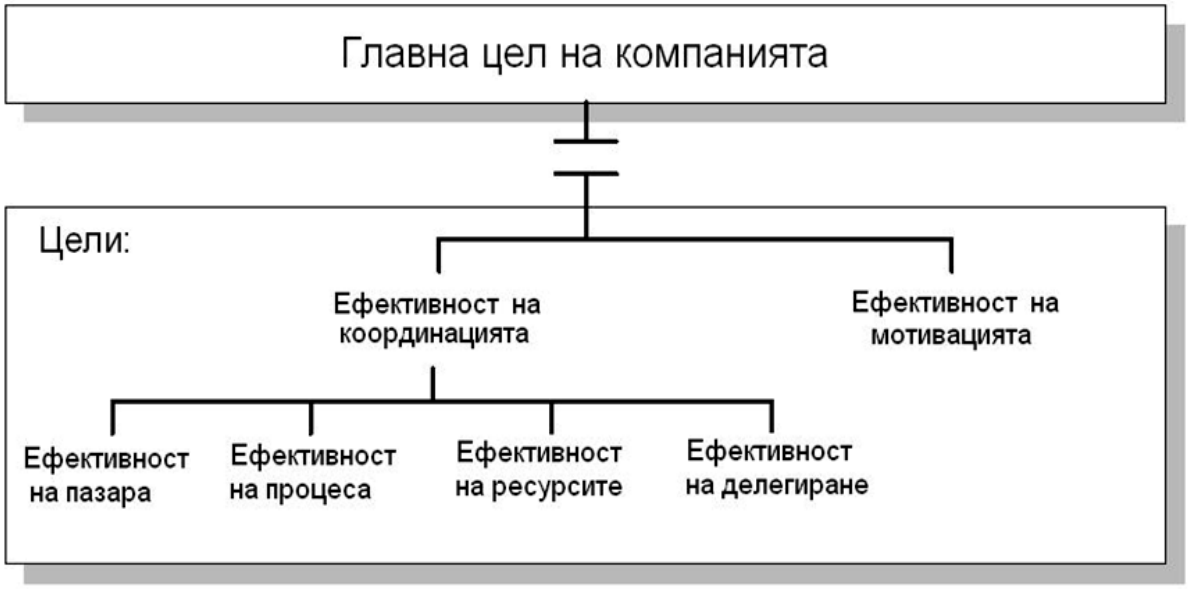
- Какъв е приносът от внедряване на ИКТ към икономическите резултати на МСП?
- Какъв е приносът от внедряване на ИКТ към иновациите в МСП?
- Кои са възможностите, пречките и ограниченията за използване на ИКТ?

Възможно е, чрез статистически анализ, да се направи сравнение на резултати от различни изследвания проведени в Европа и Съединените щати и да се установи дали има някакви особености на внедряването на ИКТ и различните въздействия от него. Освен че осигурява надеждни данни и анализ на използването на ИКТ и последиците от това, проучването формулира поредица от препоръки, които могат да насочват вземането на решения на фирмено и правителствено равнище. Как да се определят МСП в процесите на интернационализация или дали те функционират само като доставчици в глобалните вериги, доминирани от огромни международни предприятия, е отворен въпрос. Без съмнение, настоящата вълна на интернационализация ускорява разпространението на иновациите в индустрията. Все пак не е ясно дали МСП се движат от глобализацията или дали те са движещата сила в този процес.

Тази книга предлага няколко методики от различни емпирични проучвания, за да обогати текущата дискусия, фокусирайки върху иновациите и интернационализацията в МСП. В нашето проучване включихме пред-

приятия, които или имат по-малко от 250 работници, или имат оборот по-малко от 50млн. евро.

Критерии за ефективност

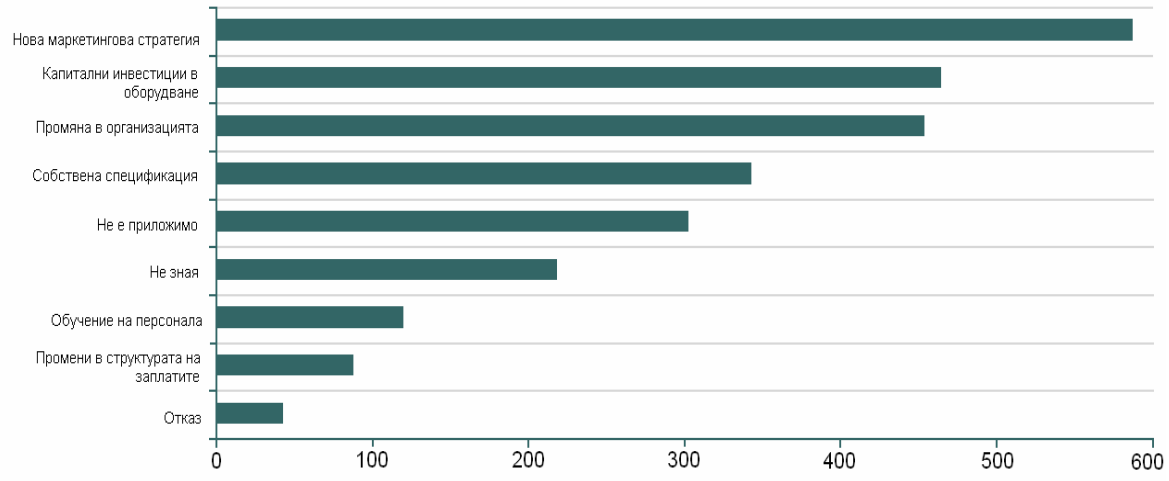


ИКТ имат нарастващо значение във всички изследвани страни. Почти всички изследвани фирми имат достъп до Интернет (99% от всички фирми). Около 98% от всички предприятия използват e-mail, а 44 % използват Intranet снабдяване. Локалните мрежи (Local area networks) са също доста популярни (74%). Естеството на достъп, обаче и използването му е много различно при различните фирми, както е обобщено във фигурата по-долу. Предимно не много модерни ИКТ бързо се разпространяват в региона, а не най-новите поколения. Този факт много зависи от наличната техническа инфраструктура в отделните страни, която се оказа, че е много различна. Независимо от това, може би обратно на очакванията, компаниите не смятат, че техническата инфраструктура (определена като надеждност на мрежата, гъвкавост на мрежата и гама от налични услуги или географско покритие) нарушава или пречи на техните дейности. Около 70% от изследваните компании заявяват, че цените на телекомуникациите не спъват използването на ИКТ. Освен това, компаниите използват ИКТ да обслужват клиенти и пазари. Около половината от компаниите в проучването определят висок приоритет на две взаимно свързани бизнес области: снабдяване и изкупуване, и маркетинг и продажби. Фирмите активно използват компютърни мрежи за тези дейности и почти всички

използват Интернет, за да купуват и продават стоки и услуги. Интернет е популярно средство за обслужване на клиенти, за осигуряване на информация за продукти и услуги, за контакти със заводи, а често и обслужване на клиентите. Дейностите свързани с пазара и клиентите са автоматизирани в половината фирми. Изглежда, че това е основната движеща сила за автоматизация и използване на ИКТ в други бизнес области като снабдяване и изкупуване, финанси (особено работа с фактури), доставки и управление на запасите.

От това изследване става ясно, че използването на ИКТ вече има въздействие върху икономическите резултати сред фирмите в страните в преход. Това се отразява в данните за въздействието на ИКТ върху икономическите резултати, където е очевидно, че ИКТ съществено допринасят за производителността, рентабилността и растежа. Освен това, фактът, че 30% от фирмите заявяват, че самото използване на ИКТ генерира повишение на инвестициите в ИКТ показва, че използването на ИКТ до известна степен е самоиздържащ се процес, който изисква натрупване на инвестиции. Обаче, докато използването на ИКТ води до подобряване на икономическите резултати на фирмите, важно е да се отбележи, че използването на ИКТ не се превръща автоматично в икономически ефект, а изисква редица допълнителни фактори. Ето защо, едно от най-забележителните открития се отнася до факторите оформящи използването на ИКТ и влиянието върху икономическите резултати. Фигурата по-долу представя факторите, които допринасят за положителното въздействие на ИКТ върху МСП.

Фактори подсилващи положителния ефект на ИКТ в МСП



Нова маркетингова стратегия е особено подходяща за прехвърляне внедряването и използването на ИКТ към подобрение на рентабилността. Това е главно, защото използването на ИКТ заедно с нови маркетингови инициативи позволява на фирмите да заздравят своите позиции в съществуващите пазари или да навлязат в други пазари и така да подобрят рентабилността. ИКТ и инвестирането в оборудване е особено важно за намаляване експлоатационните разходи и увеличаване на приходите. Може би това не е изненадващо, тъй като се смята, че ИКТ дават възможност за нови и по-ефективни производствени процеси, които на свой ред изискват инвестирането в ново оборудване. Въздействието на ИКТ върху производствените процеси не тръгва първоначално от самите ИКТ. ИКТ са по-скоро средство, чрез което нови и по-ефективни производствени процеси могат да се осъществят, когато се комбинират с ново оборудване.

Организационните промени са особено важни за постигане по-голяма производителност на труда, по-ниски експлоатационни разходи и по-високи доходи. Близката връзка между тези измерения на подобрените икономически резултати от ИКТ и организационната промяна, дефинирана в това изследване, съответства на заключенията от други изследвания на влиянието на ИКТ върху производителността на фирмата. Често се спори, че ефективното използване на ИКТ изисква по-хоризонтални организационни структури с по-високо ниво на отговорност за цялостната координация на работата възложена на отделния работник/служител. То също изисква прилагането на по-ясни функционални описания на задачите. Всичко това често изисква пълна промяна на организационната структура на фирмата, където се обръща внимание на всички аспекти на организационното развитие. Това становище се подкрепя и от изследването на казуси, проведено като част от този проект, което изтъкна значението на промените в организационната структура, като осигурява всеки работник да има чувство за отговорност към своята работа.

Тези констатации трябва да се видят и в светлината на по-широк преходен процес, който формира контекста, в който работи фирмата. Затова е важно да се отбележи, че фирмите преминават през период на бърза модернизация, като наблягат на подобряване на производствения процес и гъвкава организация, която може да отговори на потребностите на пазара, като част от трансформациите на социално-икономическия строй към пазарна икономика. Това отчасти може да обясни защо ИКТ се комбинират с други фактори, като нови пазарни стратегии и организационна промяна, за подобряване на икономическите резултати.

Освен това, струва си да се отбележи, че размерът на фирмата има значение, когато ИКТ и коефициентът на рентабилност допринасят за поло-

жителния ефект (главно заедно с други фактори), който е в диапазона между 67% и 61% за големи фирми и между 55% и 53% за микро и малки предприятия. Микро и малките предприятия имат сравнително по-добри резултати при увеличение на приходите, отколкото за намаление на разходите. При увеличение на приходите разликата между малки и големи предприятия е 19%, докато при намаление на разходите е 16%.

Въвеждането, използването и въздействието на ИКТ се определя не само от характеристиката на конкретната фирма, но и от естеството на стоките и услугите, които се произвеждат и продават. По-точно, явява се силна корелация между 'информационната интензивност' на продукта и способността на фирмата да използва ИКТ, за да подобри производителността. Това включва характеристика и на продукта и на операцията/сделката. С други думи, не естеството на материалния или нематериалния продукт определя доколко може да се използват ИКТ, за да подобрят производителността, а доколко процесите на снабдяване, производство и продажби са информационно богати или информационно бедни.

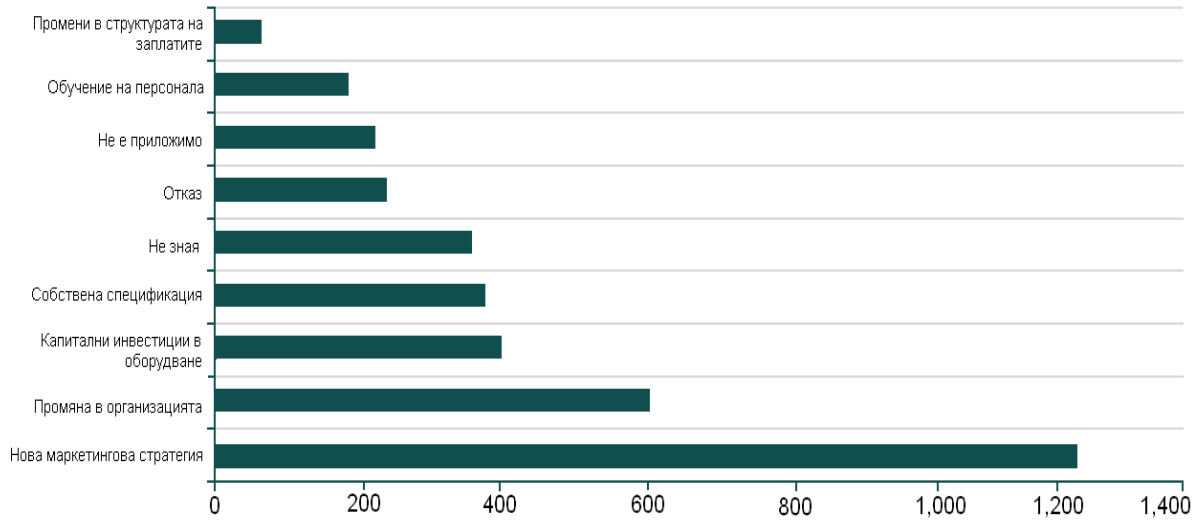
Тези констатации, обаче, трябва да се интерпретират с голяма предпазливост. Нашите регионални извадки са представителни за географския район, който изследваме. Бяха избрани сектори, които са важни за икономиката на тези райони. Като следствие, индустриалният състав на нашета извадка значително се различава според страната, като оставя малко място за щателен сравнителен анализ. Може да изглежда парадоксално, че извадките, които са до голяма степен представителни за регионалните икономики, не могат да бъдат сравнявани, но както бе показано в това изследване, степента на внедряване и потенциалните ефекти от използването на ИКТ върху производителността на фирмата значително се различават според сектора, а разликите в секторния състав на икономиката на различните региони може следователно да определи резултатите по региони. Доказателство за това беше получено чрез сравняване на различните регионални извадки. Бяха открити много разлики, но повечето от тях не могат да бъдат обяснени без да се вземе предвид случайното влияние върху дадена регионална извадка от несравними сектори. Правилният начин да се правят заключения за разликите между регионите и страните е да се действа чрез триангулация, т.е. да се открият остатъчните разлики чрез сравняване еднакви сектори или индустрии в различни страни. За жалост, когато се приложи строго, този подход дава само сравнително малка извадка за три сектора (храни, ИКТ и търговия на дребно). Може да се окаже, например, че степента на въвеждане на ИКТ в дадена страна е по-високо по абсолютни данни, но скоростта на въвеждане на ИКТ напоследък е била по-висока в друга страна.

Ключови констатации за ИКТ и икономическите резултати свързани със сектора

Сектор	Принос на ИКТ за икономическите резултати
Финанси	Висок
Хранителна промишленост	Нисък
Мебели	Нисък
Тежки машини/ съоръжения	Висок
ИКТ услуги	Висок
Търговия на едро и дребно	Среден

Освен определянето на непосредственото въздействие на ИКТ върху икономическите резултати на МСП, възможно е да се определи как фирмите използват ИКТ, за да подобрят бъдещата си производителност, именно чрез иновации. ИКТ са само второстепенен помощник на иновациите; те стават силни само в комбинация с няколко други допълнителни фактори.

Фактори, които допринасят за иновациите



В повечето изследвани сектори, ИКТ допринасят повече за иновация на процеса, отколкото за обновяване на продукта и отношенията. Използването на ИКТ е повече за промени в производствените процеси в рамките на организацията, отколкото за разработката на нови продукти или съдействие за отношенията особено със снабдителите. Беше открито, че сравнително по-малко фирми съобщават намаление на разходите като резултат от ИКТ. Освен това, приносът на ИКТ за обновяване на продукта е по-висок в европейската извадка. Дори още по-значителен бе приносът на ИКТ към обновление на отношенията, особено приносът на ИКТ за увеличение лоялността на клиентите и утвърждаване преференциалните отношения със снабдителите. Сравнението потвърждава, че МСП могат бързо да модернизират своите организационни структури. Влиянието от използване на ИКТ върху вътрешната организация вероятно е по-странично във фирми, които вече имат рационална вътрешна организация и вече са добре адаптирани към пазарната икономика. По-лесно е също за фирми, които структурно се модернизират, за да интегрират ИКТ в работата на своите организации.

Това също води до заключението, обаче, че използването на ИКТ още не е достатъчно зряло. За да се жънат всички ползи от използването на ИКТ, се изисква добра организация на външните и вътрешните операционни процеси. Нашите констатации показват, че за европейските МСП е по-трудно да навлязат в този етап. Няколко форми на обновяване на продукта под въздействие на ИКТ, особено за нематериални продукти, са зависими от, или ще се изплатят значително, когато външните и вътрешни процеси са взаимно интегрирани. Нашите констатации показват, че много, ако не повечето европейски компании все още не са достигнали този етап. Обаче, след време те може би ще се възползват от това, че тук също са ‘втори’.

Пречки и стимули в използването на ИКТ

За пълния анализ на ключовите стимули, бариери и пречки на въвеждане и използване на ИКТ във фирмите, фирмите трябваше да коментират няколко контекстуални фактори. Някои от тези фактори са специфични за фирмите и се отнасят за стратегията, културата и позицията на фирмата към използването на ИКТ. Те са насочени към въпроса как се разгръщат вътрешните ресурси, за да стимулират и впрегнат използването на ИКТ в рамките на фирмата. Втора, отделна група контекстуални фактори се отнася до позицията на фирмата в рамките на веригата на предлагане, връзките нагоре и надолу с доставчици и клиенти и как се справя с въпроса за инсорсинг и аутсорсинг. Друга група фактори засяга физическия, икономическия и стратегически аспекти, които заедно доопределят пазарната среда, в която фирмите трябва да работят.

Фирмите трябваше да оценят съществуващите стратегически правила и разпоредби, а също и стратегическите инструменти във връзка с инвестициите, навлизането и използването на ИКТ във фирмата. За мнозинството фирми, фирменото ноухау, умения и обучение бяха достатъчни за поддържане на навлизането и ефективното използване на ИКТ. Обаче, една от пет фирми заяви, че не разполага с достатъчно вътрешно ноухау за подпомагане навлизането на нови ИКТ. Подобни отговори бяха дадени и на въпроса дали наличните умения и обучение на персонала са достатъчни да поддържат ефективно използване на ИКТ. Две трети от всички фирми нямаха проблем с оправдаване инвестиционните разходи за ИКТ, докато за почти една пета от фирмите, инвестиционните разходи за ИКТ не могат лесно да бъдат оправдани. Дори повече фирми – 73% от общия брой, заявиха, че тяхното ръководство може да се определи като активно за насърчаване на ИКТ.

Интересен въпрос е дали фирмите усещат, че използването на ИКТ прави избора на доставчици по-лесен или по-труден за тях. Преобладаващото мнозинство показа, че всъщност използването на ИКТ, го е направил по-лесен. Все пак 37% от фирмите отговориха ‘не зная’ или ‘не се отнася до нас’ (37%). 39% от всички фирми отговориха, че използването на ИКТ е насърчило аутсорсинг на дейностите, а 37% заявиха, че използването на ИКТ е насърчило инсорсинг на дейностите. И отново, 50% от фирмите отговориха, че не знаят, а 53% че инсорсинг или аутсорсинг не се отнася до тях (разпределено доста равномерно между двете категории).

Като извадим категориите ‘не се отнася до нас’, ‘не зная’ и ‘отказ’, 84% отговориха, че използването на ИКТ е насърчило аутсорсинг на дейностите.

Навлизането на инвестиции и използването на ИКТ от МСП може потенциално да бъде възпрепятствано от фактори свързани с качеството и цените на използване на съществуващата телекомуникационна инфраструктура. За повечето участници, такива инфраструктурни фактори не играят важна роля. 70% от всички участници заявиха, че цените на телекомуникациите по никакъв начин не пречат на използването на ИКТ, а само 19% казаха, че пречат. По същия начин, други технически инфраструктурни показатели, като надеждност на мрежата, гъвкавост на мрежата и броят на (налични) услуги или географското покритие не се считат като пречки за използването на ИКТ от болшинството фирми. За 17% от фирмите, надеждността на мрежата е проблем. Само 8% от фирмите заявяват, че географското покритие е недостатъчно, докато гъвкавостта на мрежата и услугите се явяват като проблем за 11% от изследваните МСП. Когато трябваше да определят най-важната информационна технология за тяхната фирма, 23% от участниците казаха e-mail, а 28 % казаха достъп до Интернет, проценти, които са по-високи от тези за мобилните (20%) и стационарните (22%) телефони. Що се отнася до цените на телекомуникациите, изследваните фирми имат положително отношение.

Обаче, цените на телекомуникациите във всички страни спаднаха значително през последните години. Това е особено важи за Източна Европа, където бяха положени сериозни усилия за либерализиране на телекомуникационния пазар. Освен това, важно е да се подчертае, че бяха изследвани водещи фирми по отношение на въвеждането и използването на ИКТ. Цените, които не се смятат като съществени препятствия за навлизането на ИКТ в тези фирми, могат да бъдат важна бариера за други фирми. Позицията на литовските фирми е обратна по отношение на надеждност на мрежата – те са фирмите с най-висока удовлетвореност. При другите страни, нивото на удовлетвореност е същото за цените.

Автоматизация

Автоматизацията е въвеждането на системи за управление и ИКТ, за да се намали необходимостта от човешки труд в производството на стоки и услуги. При индустриализацията, автоматизацията е една стъпка след механизацията. Докато механизацията осигурява машини на човешките оператори, които да им помагат в тежките условия на труд, автоматизацията силно намалява необходимостта от изисквания към човешките сетива и ум. Автоматизацията играе нарастващо важна роля в световната икономика и във всекидневния живот.

Автоматизацията е имала забележително влияние в много индустрии след навлизане в производството (където бе началото). Вездесъщите едно време телефонни оператори бяха заменени с автоматизирани телефонни станции и телефонни секретари. Медицински процеси, като началния скрийнинг в електрокардиографията или радиографията и лабораторните анализи на човешки гени, серуми, клетки и тъкани се извършват с много по-голяма скорост и точност от автоматизирани системи. Банкоматите намаляват необходимостта да се посещава банката, за да се получат пари и да се извършват транзакции. Изобщо, автоматизацията е причина световната икономика да премине от индустриални работни места към работни места в сферата на услугите през 20-ти и 21-ви век.

Сега инженерите могат да имат цифрово управление на автоматизирани устройства. Резултатът е бързо разширяващ се асортимент от приложения и човешки дейности. Компютъризирани технологии сега служат за основа на математически и организационни инструменти използвани за създаването на сложни системи. Примери за компютъризирани технологии са проектиране с помощта на компютър (CAD software) и производство с помощта на компютър (CAM software). Усъвършенстваното проектиране, анализ и производство на продукти на базата на компютърните технологии е благоприятно за индустрията. Информационните технологии заедно с промишленото оборудване и процеси могат да помогнат в проектирането, осъществяването и мониторинга на системите за управление. Един пример за индустриална система за управление е програмируемият логически контролер (PLC)(ПЛК). ПЛК (PLC) са специализирани компютри, които често се използват да синхронизират потока на входна информация предоставена от

(физически) сензори и събития с потока от изходна информация към задвижващи устройства и събития.

Интерфейсите човек-машина (HMI) или интерфейсите компютър-човек, обикновено се използват да комуникират с ПЛК или други компютри. Обслужващият персонал, който наблюдава и управлява чрез интерфейсите човек-машина, може да бъде назован с различни имена. В индустриалния процес и производствена среда, те се наричат оператори или нещо подобно. В котелни помещения и в отдели на централни комунални услуги те се наричат инженери по станция.

Съществуват различни видове инструменти за автоматизация:

- ANN – Изкуствена невронна мрежа;
- DCS – Разпределени системи за управление;
- HMI – Интерфейс човек-машина;
- SCADA – Надзорен контрол и събиране на данни;
- PLC – Програмируем логически контролер;
- PAC – Програмируем контролер за автоматизация;
- Контролно-измервателни уреди;
- Контрол на движението;
- Роботика.

Много човешки роли в индустриалните процеси понастоящем са извън обхвата на автоматизацията. Разпознаването на изображения на ниво човек, разпознаването на езици и способността да говори са извън възможностите на съвременните механични и компютърни системи. Задачи, изискващи субективна оценка или синтез на сложни сензорни данни, като миризми и звуци, а също и сложни задачи, като стратегическо планиране, изискват квалифицирани специалисти. В много случаи, използването на хора е по-ефективно отколкото механичните подходи, дори където автоматизацията на индустриалните задачи е възможна.

Мехатрониката е синергична комбинация от машинно инженерство, електронно инженерство, компютърно инженерство, автоматично управление, комплексно проектиране, с цел да се проектират и произвеждат полезни продукти. Мехатрониката е мултидисциплинарно инженерство за проектиране на системи, т.е., тя отрича разделянето на инженерството на отделни дисциплини.

Друга дефиниция е: „подход, който има за цел синергичната интеграция на механика, електроника, теория на управлението и компютърна техника в рамките на проектирането и производство на

продукти, за да подобри и/или оптимизира функционалността” (Van der Meer, H. 2007). Ето защо, това е клон от инженерството, който обединява идеите на механичното и електронно инженерство в едно цяло и, в частност, покрива тези области на инженерството, които се отнасят до нарастващата интеграция на механично, електронно и софтуерно инженерство в един производствен процес.

Иновации и трансфер на технологии

Йозеф Шумпетер често се споменава като първия икономист, който е привлякъл вниманието върху значението на иновациите, като дефинира пет типа иновации - като се започне с въвеждането на нов продукт и се стигне до промени в индустриалната организация. Справочник Осло изясни дефиницията с две по технически дефиниции, но все още не е лесно точно да се дефинира ‘иновация’. През 1999 г. в своето обръщение, което заостря вниманието на основни въпроси, Mills даде някои прости дефиниции:

1. Наука: как да разбираш нещата;
2. Технология: как да правиш нещата;
3. Мениджмънт: как да бъдат правени нещата;
4. Създаване: довеждаш до съществуване;
5. Изобретение: измисляне на нещо ново или нов начин да се правят нещата;
6. Иновация: превръщане на идея в доход.

Дейвид Арчибалд счита, че иновацията е наука и обяснява какво означават иновацията и творчеството чрез тези прости формули:

1. Творчеството = Идея + Действие

Арчибалд иска да каже, че ‘идеята’ е само началото и за да създадеш нещо наистина, трябва да предприемеш действия започвайки от идеята. Съответно, трябва да направиш нещо, за да превърнеш идеята в реалност и да създадеш нещо ново.

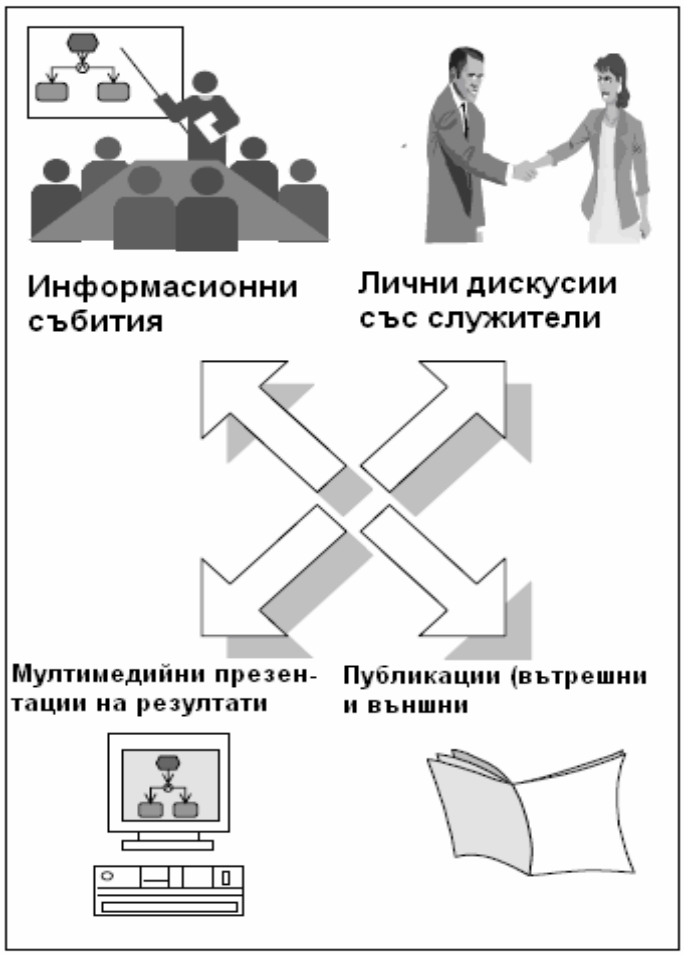
2. Иновация = Творчество +Производителност

На практика последователността е: имаш идея, изпитваш я или правиш прототип, изработваш завършено изделие и то да влезе в употреба. При художниците това отговаря на: получаваш вдъхновение, правиш скица, рисуваш на платно и накрая показваш творбата. За много бизнеси крайната цел е идеята да донесе печалба. В този случай, иновацията трябва да идва от идеи, които водят до продажби.

3. Доходна иновация= Иновация + Маркетинг

Хората, които следват предложенията на Schumpter, считат че иновацията е резултат от трансфер на технологии или от разработване на нови бизнес концепции. Тя може да бъде технологична, организационна или презентационна. Сега съществува добро разбиране на връзките между изследователската работа и иновациите, като изследователската лаборатория е началната точка. Този модел понякога се нарича ‘линеен модел’ на иновация. Сега хората започнаха да търсят нови форми на иновация, които са по-малко зависими от изследвания и се говори за второ и трето поколение иновационна политика или понякога за мрежов модел на иновация, но във всеки случай трябва да се поддържа пряката връзка иновация-изследвания. Според дефиницията дадена от Лондонската агенция за развитие, иновацията е успешна експлоатация на нови идеи и е жизнена съставка на конкурентноспособната производителност и обществен приход в рамките на бизнеси и организации. Става ясно, че иновации има, когато бизнеса предлага нови продукти или услуги на пазара или възприема нови начини за правене на продукти или услуги. Иновационният процес е комбинация от различни дейности, започващи с изследвания, но включващи проектиране, изследване на пазара, разработка на технология и може да включва също организационно преструктуриране, развитие на персонала, и т.н. Иновацията означава творчество и динамика, които ще донесат полза на компанията и ще доведат до по-висок стандарт на живот. Обаче, като заключение, трябва да се има предвид, че измерването на иновацията е много трудно.

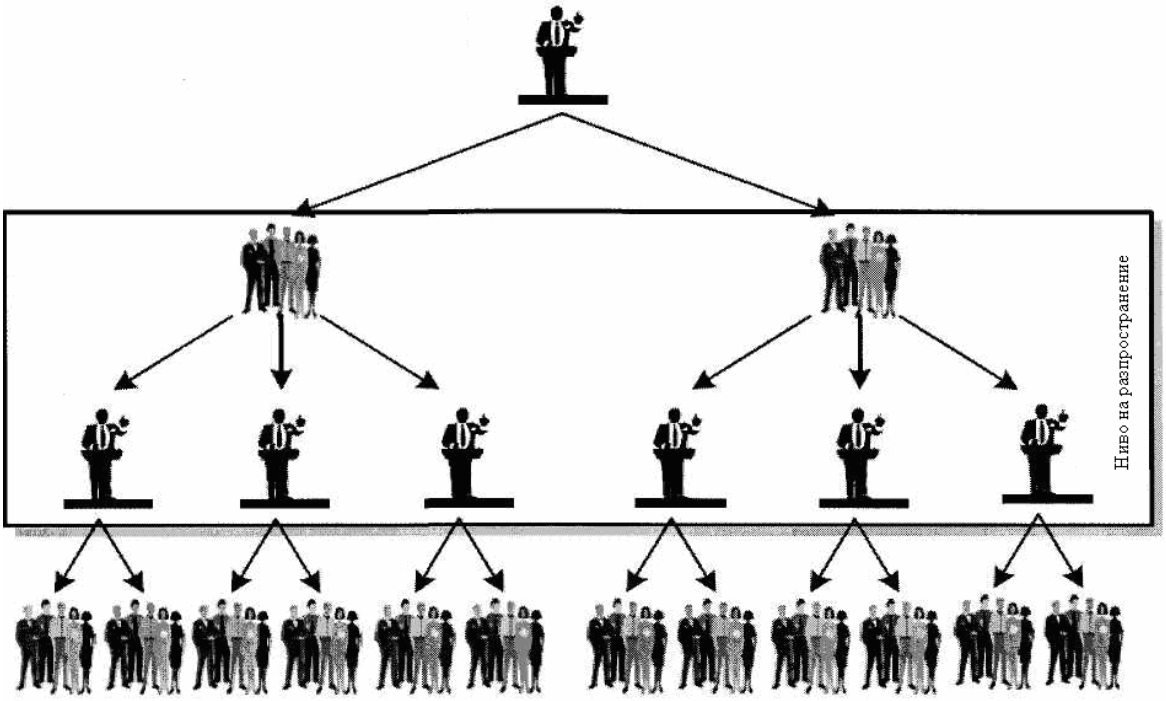
Различни видове комуникации



Трансферът на технологии е процес, чрез който съществуващите знания и способности развити с обществено финансиране на научноизследователска и развойна дейност се използват да удовлетворят обществени и частни потребности. Обменът на знания и съоръжения между обществените институции и частни организации спомага за подобряване на производителността, създава нови индустрии, подобрява стандарта на живот и обществените услуги. Трансферът на технологии от обществени изследователски институции може да се осъществи или чрез естествени механизми като научни публикации, обучение на студенти или следдипломна квалификация на инженери, които вече работят в индустрията или чрез специфични мерки. Специфичните механизми винаги се базират на политиката за Интелектуална собственост на обществената

институция и трябва да включват, по време на дискусии с частни партньори, специалисти, тъй като ще бъдат разглеждани и договорени специфични въпроси като: оценка на себестойността, патенти, лицензи, споразумение за конфиденциалност, и т.н.

Модел за разпространение



Литературен обзор и планиране на изследванията

В икономическата теория е прието, че големината на една фирма има и предимства и недостатъци (Thurik, 1996; You, 1995). Очевидно предимство на големите предприятия е обикновено по-висок доход спрямо размера, но по-високите разходи за вътрешна координация определено представляват недостатък. От друга страна, от гледна точка на гъвкавост, по-малките предприятия са в по-изгодно положение, доколкото това компенсира вероятните недостатъци от не систематично поведение на ръководството. Как тези основни фактори влияят, първо, на иновационния потенциал и второ, на прилагането на иновации?

Иновационен потенциал съобразно големината на фирмата

В средата на 20ти век, J.A. Schumpeter и J.K. Galbraith публикуваха приемлива хипотеза, че поради своя по-голям достъп до финансови ресурси, големите фирми, а не малките начинаещи фирми, ще притежават по-голям иновационен потенциал в новия етап на капитализма. ('Schumpeter mark II' или Schumpeter-Galbraith-Hypothesis). За разлика от тази хипотеза, напоследък бяха публикувани различни аргументи, че дори днес МСП могат да играят важна роля в регионалните и националните процеси на иновация (виж Dodgson и Rothwell, 1994). Три такива аргументи се явяват най-убедителни в светлината на последните изследвания: по-малкото значение на консервативните практики, по-малкото значение на зависимостта от установени линии в техническото развитие и по-малкото значение на проблема ръководител-изпълнител.

Pavitt et al. (1987) спорят, че МСП са по-малко обвързани с консервативни практики и затова, тяхното ръководство притежава по-силна субективна воля да развиват и използват иновации. Разбира се, това не може да се обобщава и може да се отнася само до много специфична подгрупа МСП (Smallbone et al., 2003). Независимо от това, изглежда правдоподобно, преките и къси канали на комуникация не само да допринасят в много такива предприятия за висока способност за приспособяване към променящата се бизнес среда, но също и да допринасят за по-голяма гъвкавост на вътрешния процес на обучение и така към по-голяма склонност към иновации. Фактът, че по-големите фирми имат по-бърз достъп до техническите новости, не означава непременно, че те ще бъдат възприети. Тъй като иновациите често заплашват равновесието на

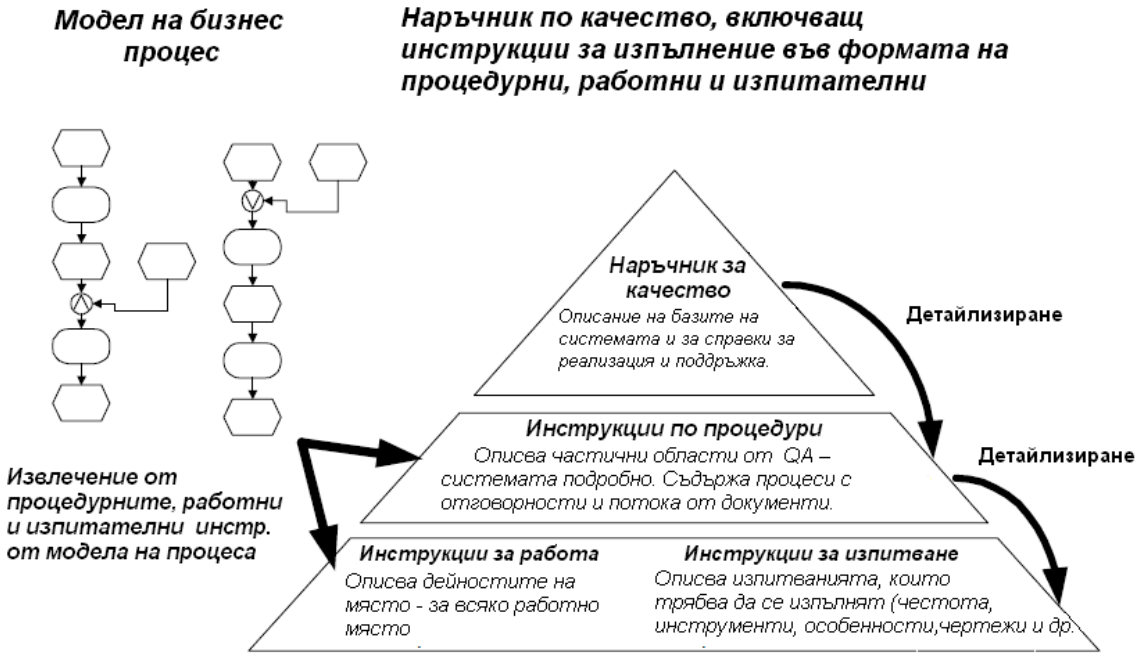
пазара и често изискват скъпа промяна на технологии, „на фирмено ниво, много малки предприятия са по-гъвкави от големите фирми, тъй като при тях е по-малко вероятно да се ‘заключват в’ съществуващи заводски, технологични или организационни структури”. Основен мотив за иновация на фирмено ниво е перспективата да се генерира възвръщане на инвестициите в иновацията. В рамките на проблема ръководител-изпълнител, Acs et al. (1997) го определят като бариера за иновации в по-големите фирми, тъй като такива иновации облагодетелстват фирмите, а не конкретния изобретател-служител. В това отношение, предимството на МСП може да се види в съюза между собственика, управителя и изобретателя. Това дава основание да се смята за приемливо, че основните иновации (радикални, а не допълнителни промени) по-вероятно произтичат от МСП, а не от големи предприятия.

Какво ни казват емпиричните изследвания за тези предположения? Повечето изследвания всъщност подкрепят по-старата хипотеза на Schumpeter-Galbraith. Например, изследване в Люксембург показва, че честотата на иновациите нараства с големината на фирмата. Освен това, в извадка от италиански предприятия с повече от 20 работници в обработващите индустрии, Италианското статистическо бюро установи, че 46% от малките предприятия (<49 работника) провеждат някаква иновационна дейност, докато при средните предприятия това са 69% (250-499 работника) и 82% от големите предприятия (500+ работника) (Gassmann, O. 2006).

Изследвания в Обединеното Кралство (Tether, 2000; Tether and Massini, 1998; Tether et al., 1997) също подкрепят теорията за по-незначителната роля на малките предприятия в иновационните процеси. Изследване на Buesa и Molero (2010), обаче, получава различни резултати. В тяхното проучване на испански предприятия в Информационна и комуникационна технология (Information and Communication Technology), се оказва, че малките предприятия отделят по-голям дял от своите разходи за научноизследователска и развойна дейност от по-големите фирми в същата област – така, ако приемем модел на черна кутия за иновационния процес (колкото повече едно предприятие харчи за научноизследователска и развойна дейност, толкова по-висок е резултатът от иновациите), малките предприятия са по-иновативни от големите.

Това може да ни насочи към аспект, който е пренебрегван в общите заключения за склонността към иновации според големината на фирмата: специфичните особености на индустрията като възраст и степен на интернационализация.

Извлечение от инструкции за изпълнение на модели на процеси



Изглежда, че съществува положителна корелация между интензивността на научноизследователската и развойна дейност на една индустрия и степента на интернационализация на нейните МСП (PWC, 2001). Ефектът може да се пренесе в двете посоки: интеграцията на едно МСП като доставчик в световна верига неизбежно изисква въвеждането на стандартите на продукта (и в повечето случаи и стандартите за технологията) на доминиращото предприятие, за да се увеличи до максимум ефективността на системата (Kaplinsky, 2000). Това не само означава разпространение на иновацията по цялата верига, но също изисква полагане на усилия от участниците във веригата в научноизследователската и развойна дейност да адаптират иновациите към техните производствени процеси. От друга страна, собствената научноизследователската и развойна дейност на МСП осигурява врата към международните пазари.

Малките предприятия в ‘младите’ индустрии, като ИТ, също са особено иновативни. Причината може би е специфичното разделение на труда между различните по големина предприятия в някои сектори според възрастта на продуктите. Докато стартиращите предприятия в ИКТ сектора въвеждат най-много нови продукти и услуги, цялостният успех на големите фирми не е заплашен в случай на търговски провал на едно нововъведение. Обаче, в случай на успех, малкото предприятие може да се слее с голямото

предприятие и така се осигуряват необходимите ресурси, за да се развива това нововъведение по-нататък.. (Gambardella and Torrisi, 1998). Секторът на биотехнологиите също може да се даде за пример в това отношение: малките нови предприятия често въвеждат продукти, докато по-нататъшното развитие и търговска експлоатация често се осъществява от доказани, големи фармацевтични предприятия (KfW, 2004).

Специфично влияние на иновациите върху заетостта според големината на фирмата

Може да се приеме, че влиянието на иновациите върху заетостта зависят от техния вид (Peters, 2006). Ако се постигне по-висок пазарен дял благодарение на нов продукт, може да се увеличат разходите за труд и капитал и фирмата ще постигне по-висока добавена стойност. Заместването на продукт, който сега се продава на пазара от нов може също да задейства този ефект, ако конкурентноспособността на фирмата се увеличи (иновации създаващи работни места). Технологичните иновации и организационните иновации, от друга страна обикновено имат за цел да намалят разходите като намалят разходите за труд, но да се получи същото производство (иновации спестяващи работна ръка).

Области на иновации в МСП

Иновационна област *	*Процент (%)*
Технически продукти	84
Производствени процеси	21
Организационни структури	16
Други области	14
Не-технически продукти	–

Тъй като въвеждането на нов продукт на практика е възможно само в комбинация с нов производствен процес, системното разделяне на различните ефекти от различните форми на иновации върху заетостта на практика е трудно. Независимо от това, Greenan и Guellec (2000) показват, че индустриите във Франция, където технологичните иновации преобладаваха през периода на изследването, пострадаха от загуба на работни места, докато индустрии, в които преобладаваха иновации на продукти, постигнаха увеличение на работните места. Изглежда че влиянието на иновациите върху работните места зависи също от техническото ниво на една индустрия. Blechinger и Pfeiffer (1999),

използвайки данни от производствения сектор на страните от Организацията за икономическо сътрудничество и развитие (OECD) между 1970 и 1991г., показаха, че увеличение на производителността на труда върви ръка за ръка с намаление на работните места (с изключение на Япония, където въпреки увеличение на продуктивността над средното, беше наблюдавано увеличение на заетостта) – докато при индустриите на високите и средно високите технологии бе регистрирано увеличение на работните места (виж също Lettmayr et al., 1997).

Съществуват няколко изследвания на специфично влияние на инова-циите върху заетостта според големината на фирмата. Например, Cesaratto et al. (1997) анализираха данни от италиански МСП. Предприятията с иновации имаха годишно увеличение на работните места с of 0.28% през изследвания период 1990–1992 г. Предприятия без иновации намалиха работните места в този период с 0.45% за година. Този резултат се подкрепя също от сведения за положителен непряк ефект на заетостта върху иновациите в МСП. Трябва да се отбележи обаче, че гореспоменатите разлики са свързани само с броя на наетите лица, а не с броя на часовете положен труд. Единствените изключения са МСП в диапазона 20–199 служители. За тази група предприятия, бе наблюдавана положителна корелация между броя на служителите и броя на изработените часове и иновационните дейности в едно предприятие. Тези резултати бяха потвърдени от изследване на МСП в диапазона от 6 до 249 работници в италиански производствен сектор за периода 1998–1999 г. (Sheikh и Osterholzer,2001). Иновативните МСП увеличиха работните места над средното за МСП. От друга страна, МСП, които намалиха своята научноизследователската и развойна дейност, намалиха и работната си сила. Положителна корелация между иновациите и работните места в италианските МСП се потвърждава и от Evangelista and Savona (2002).

Разходи за научноизследователската и развойна дейност в проценти от оборота в МСП

	n	*Средно*	*SD*
Предприятия от извадката с активна научно-изследователска и развойна дейност	32	5.6	6.4
Фирми с постоянна научно-изследователска и развойна дейност	16	6.0	5.3
Фирми с непостоянна научно-изследователска и развойна дейност	16	5.2	7.6

Изследването на Blechinger et al. (1997), базирано на извадка от МСП, също показва силна положителна корелация между иновациите (и на

процеси и на продукти) и търсенето на работна ръка, като най-голямото увеличение на търсене на работна ръка бе наблюдавано в подгрупа от иновативни малки предприятия в диапазона 10 – 199 работници.

Причината за това може да бъде, че малките предприятия могат да увеличат работните места на големи стъпки съобразно с наличната работна сила (което създава непосредствен риск от излишък от работници), докато един допълнителен служител представлява сравнително малко увеличение за по-голямо предприятие. По отношение на специфични индустрии, други две изследвания представляват интерес. Изследването на Lettmayr et al. (1997) върху извадка от малки занаятчийски бизнеси с до 250 работници, показва значително положително съотношение между иновациите и работните места във всички видове подгрупи според големината. Въпреки че ефектът е различен в различните индустрии, увеличението на работните места в МСП с иновации винаги е значително над средното за дадена индустрия. Tether и Massini (1998) показаха в изследване на малка извадка от британски МСП, които бяха получили награди за технически постижения, отрицателно съотношение между размера на предприятието и увеличението на работните места за периода от 1989 до 1991г.

Кооперране на научноизследователската дейност на МСП

Брой на фирмите	*Кооперране на изследов. работа*		*Общо*
	Да	*Не*	
Постоянна научноизследователска и развойна дейност	9	7	16
Непостоянна научноизследователска и развойна дейност	8	15	23
Общо	17	22	39

Съвсем различни и доста песимистични резултати за ефекта на иновациите върху броя на работните места са представени в изследването на Veugelers' (1999) за МСП; според това изследване иновациите не са допринесли за увеличаване броя на заетите. Положително съотношение между иновациите и оборота, а не между иновациите и заетостта е представено от Klomp и Leeuwen (2000) за извадка от предприятия от преработващата промишленост. Така, наличните резултати от емпиричните изследвания не са еднообразни. Следователно, емпиричните проучвания трябва да се тълкуват само с оглед на съответната индустрия и в техния национален контекст.

Данъчна политика и финансови стимули

Нито данъчни мерки, нито (пряка) финансова подкрепа за научно-изследователската и развойна дейност бяха възприети като достатъчни да поощрят фирмите да се ангажират в използването на ИКТ. 42% от всички предприятия дори заявиха, че съществуващите данъчни мерки ги обезсърчават да се ангажират с използване на ИКТ. Само за 10% от всички фирми, общественото финансово подпомагане бе достатъчно да стимулира използването на ИКТ. Значително мнозинство от МСП твърдят, че облагането с данъци спъва въвеждането на ИКТ. Болшинството МСП потвърждават, че общественото финансово подпомагане е било недостатъчно да подкрепи научноизследователската и развойна дейност, разпространението и навлизането на ИКТ. Тези констатации са в съгласие с други нива на задоволство от намесата на правителството в регулирането на ИКТ, а и в други неща. В този смисъл те разкриват отношението н правителството към ИКТ.

Обаче, може да се установи друго съотношение, именно между брутния вътрешен продукт (БВП) на глава от населението и наличните обществени фондове за подпомагане на индустриалните стратегии, като така се разкриват (наследени) материални граници на активиране на ИКТ стратегии. Съответно, за новите държави-членки на Европейския съюз (ЕС) в изследването, насочването на някои от структурните фондове на ЕС към иновации и стимулиране на ИКТ ще бъде много подходящо в светлината на предишния опит на ЕС-15. Използването на международни кредити също може да бъде една възможност, въпреки че много от тях се считат за прекалено скъпи в светлината на финансовите възможности на страните на този етап.

Около 44% от МСП отговориха, че сегашната образователна система осигурява достатъчно обучени кадри, които да се включат в използването на ИКТ, а 28% заявиха, че системата осигурява недостатъчно обучени кадри. В сравнение с уменията и обучението на сегашния фирмен персонал (за 69% от всички фирми е достатъчен да осигури навлизането на ИКТ), новите хора на трудовия пазар трябва да преминат през допълнително обучение. Във всички страни образователната система се оценява положително, защото подготвя добре за използване на ИКТ от значително но умерено мнозинство МСП. Цифрите за образованието се отклоняват от традиционната форма по отношение на ролята на правителството за поощряване на ИКТ. По очевидни причини, стратегиите за ИКТ не са единственият фактор, който влияе на този резултат. Той зависи и от общото

ниво на качество на образованието. Преди всичко, скоростта на реакция на образователната система в изследваните страни е все още недостатъчна да отговори на динамиката и изискванията на бизнеса. Това е резултат, отчасти, от слабата връзка между бизнеса и образованието и средите на изследователите. Задължение на правителството е да създаде среда, която стимулира тази връзка и така прави образователната система по адаптивна и гъвкава за изискванията на предприятията. За 38% от всички предприятия, осигуряването на онлайн електронни услуги от правителството направи използването на ИКТ по-привлекателно. Но повече фирми не знаеха, или заявиха, че онлайн услугите на правителството не се отнасят до тях (общо 49%). Странно, почти 13% от фирмите заявиха, че онлайн електронните услуги на правителството прави използването на ИКТ по-малко привлекателно. Националните разлики в оценката на електронните услуги на правителството е стимулиращ фактор за навлизане на ИКТ в икономиката и съответстват на другите усилия на правителството за стимулиране на ИКТ. Обаче, общите нива на оценка са значително по-ниски от нивата за други фактори, което показва, че осигуряването на онлайн услуги е сравнително слаб стимул за навлизането на ИКТ услугите в бизнеса. Частни програми, които повишават осведомеността относно ползата от ИКТ във фирмите и частни демонстрационни програми допринесоха повече за използването на ИКТ от обществени програми. Почти 21% от всички фирми заявиха, че програмите за подобрение на осведомеността и демонстрационните програми са недостатъчни. С други думи, биха могли да се подобрят.

Иновации и вертикална интеграция на МСП

Брой на фирмите	*<25%*	*25–50%*	*51–75%*	*75+%*	*Общо*
Дял от доставката на части, който идва от 3 - ма главни бизнес партньори					
Постоянна научноизследователска и развойна дейност	12	3	–	–	15
Непостоянна научноизследователска и развойна дейност	13	2	4	1	20
Никаква научноизследователска и развойна дейност	6	2	–	1	9
Общо	31	7	4	2	44
Дял от продажбите към 3 - ма главни бизнес партньори					
Постоянна научноизследователска и развойна дейност	10	4	–	1	15
Непостоянна научноизследователска и развойна дейност	12	4	6	1	23
Никаква научноизследователска и развойна дейност	4	4	–	1	9
Общо	26	12	6	3	47

Променяща се среда: възможности и предизвикателства

Световната икономика претърпя редица дълбоки промени през последното десетилетие. Те са отразени в понятия като ‘новата икономика’, ‘общество на знанието’, ‘информационно общество’, ‘икономика на знанието’. Някои от очакванията създадени в процеса рухнаха, когато бизнес цикълът се обърна, оценките на акциите – не само във високотехнологичния сектор, а много по-широко – се сринаха по света, когато потокът от преки чуждестранни инвестиции пресъхна, а многостранните търговски преговори станаха неизгодни.

Световната икономика не стана свидетел на някакво общо укрепване на дългосрочно нарастване на производителността дори на върха на ерата на ‘новата икономика’ в края на 90те години на 20ти век. Доколкото можем да измерим, нарастването на производителността през 90те години бе по-ниско от 80те, което бе по-ниско от 70те, и т.н. От друга страна, съществуват редица текущи разработки, ефекта на които не се подава лесно на количествена оценка, като бързото подобрение на качеството в много индустрии и разширение на сегментите в сектора на услугите, където производителността трудно може да бъде измерена. В действителност, свързани с икономиката на знанието, увеличаващите се затруднения за измерване икономическия растеж и благосъстояние, маскират ускореното появяване на нови детерминанти на икономическите показатели, на конкурентноспособността на нациите и на благоденствието на хората по целия свят. Основната промяна, която се извършва сега, е свързана със сриването на цените на разпространение и използване на информация (Casalino N., 2008). Това води до масивна експанзия на наличието на кодирани данни. Съществува потенциал за нови технологии и знания как да се осигурява достъп то пазари, партньори, доставчици, и т.н., които да се разпространяват по целия свят, до всяка точка на земята, по начин непознат досега. Като следствие, международната търговия има склонност към продукти с високо съдържание на умения и технологии. Подобни наблюдения лесно се правят на ниво индустрия и фирма, където области наситени с умения и технологии са във възход.

Съществуват много добри възможности свързани с появата на икономиката на знанието – и за страни, и за компании. МСП , особено, имат възможност да използват новите информационни и комуникационни техно-

логии, за да разширят своите международни контакти с клиенти и партньори. Обаче, способността за използване на новите възможности не е даденост, тъй като са необходими нови умения, а също и организационни промени. Трябва да се усвоят нови средства за установяване доверие по Интернет. Повече от всичко друго, фирмите и хората по света трябва да могат да се обновяват, т.е., да разработват и реализират нови, търговско жизнеспособни идеи. С появяването на нови детерминанти на икономическия растеж, силно се фокусира ролята на иновациите. Науката и техниката предлагат големи нови възможности за иновации чрез осигуряване на недостъпни досега източници на знания. Едновременно с това, иноватори, предприемачи и търговци трябва да могат да се свързват и с потребители и с източниците на капитал, които да активират техния растеж – нови идеи трябва да се развиват заедно с възникването на нови потребности от страна на реални клиенти и подкрепени с финансови и бизнес услуги, да се осигури търговската реализация на тези идеи. Широка гама от фактори, включително макро и микроикономически условия имат въздействие върху търсенето и предлагането на иновации. Правата на интелектуална собственост, структурата на финансовия пазар, човешкият капитал и инвестиции са някои от факторите, определящи скоростта на иновации по целия свят и страните трябва да са осигурени с достатъчно развити условия на всички нива, ако искат да се възползват от облагите на икономиката на знанието.

В Европейския съюз, през последните десет години все повече се фокусира върху поощряване на иновацията като двигател на националната и европейска конкурентноспособност. През ноември, 1996г., Европейската комисия прие Първи план за действие за иновации в Европа, след дебата стимулиран от Зелената глава за иновациите излязла през декември, 1995г. Планът за действие дава общата рамка за действие на европейско и държавно ниво за подкрепа на иновационния процес. Формулирани са ограничен брой приоритетни мерки насочени към три области на действие: изграждане на иновационна култура, установяване на рамка, която да ръководи иновациите и насочване на изследователската работа към иновации на национално и местно ниво.

От този план за действие бяха съставени програми, които стимулират иновациите в и между страните-членки, първоначално в рамките на Рамковите програми на ЕС за изследвания и техническо развитие. Например, текущата Рамкова програма Framework Programme (FP7) е насочена към създаване на вътрешен пазар за наука и техника, за да се подпомага научния прогрес, конкурентноспособността и иновациите чрез

насърчаване на по-добро сътрудничество и координация между подходящи участници на всички нива.

Лисабонската среща на високо равнище през 2000 г. повтори становището на европейските държавни глави, че икономическият растеж зависи от разбирането, че много от настоящите и бъдещите предизвикателства за индустрията и обществото вече не могат да бъдат решавани само на национално ниво и е необходимо усилията в научните изследвания в Европа да бъдат по-добре координирани, за да се осигури бъдещата конкурентноспособност на европейския район. Надеждите и очакванията относно европейската конкурентноспособност са се засилили. Нарастващата тежест на иновациите и знанията като двигатели на конкурентноспособността и растежа в Европа оказва натиск върху много от новите държави-членки на ЕС и страните, които са кандидати, включително всички други страни, които не са считани за водещи в създаването на наука или че имат висок капацитет за иновации.

Както ще бъде показано в тази книга, по няколко причини ЕС е изправен пред особено тежък път в тази насока. След финансовата криза, ЕС продължава да провежда масивна икономическа стабилизационна програма. Борейки се срещу широко разпространените схващания за политическа корупция и липса на прозрачност, ЕС предприема широки крачки към подобряване и поддържане на политическата и икономическа стабилност и да реагира на постоянно нарастващите изисквания на икономиката на знанието. Чрез няколко стратегически и насочващи теми, а също и няколко амбициозни програми, ЕС можа да докаже своята решителност и започна да обръща течението на общественото мнение. Но напред все още съществуват пречки.

Тази книга показва, че днес ЕС се намира в критично положение. Той може да посрещне предизвикателствата и да се възползва от възможностите, които възникват в глобализираната икономика на знанието и така да осигури непрекъснато повишение на благосъстоянието на своите народи. Обратно, ако необходимите водещи условия не се осигурят, ЕС се изправя пред риска да изостане и така сериозно да застраши напредъка, който е постигнал досега. Това ще се случи, когато неговите съседи, партньори и конкуренти в Европа, Азия и Латинска Америка бързо усъвършенстват механизмите, за да пожънат успехите на икономиката на знанието. Забавяне или неуспех при установяване на подходящи рамкови условия за икономика на знанието нито ще помогне на перспективите на ЕС да бъде самостоятелен, нито ще улесни неговата интеграция.

Следвайки тази линия на доводи, предизвикателствата, пред които е изправен ЕС по отношение на своите главни икономически и политически

основи, се появяват по време, когато стабилността в тези райони става много важна предпоставка за стимулиране на инвестициите и поощряване на иновациите. Ръководителите на ЕС трябва да продължат своите усилия за стабилизиране на политическата и икономическата макросреда, за да вдъхнат увереност и да поощрят инвестициите. Все пак, това е само първата стъпка; ЕС трябва също да успее да се справи с няколко предизвикателства на микрониво. В съвременния свят съществуват малко ‘независими променливи’ или ‘автономни играчи’ . По-скоро, конкурентното предимство на една страна зависи от множество взаимно зависими фактори – като немаловажен фактор е способността на ръководителите да действат в проблемни области координирано и в сътрудничество. Така, способността на ЕС да се справя с предизвикателствата при установяване стабилна политическа и икономическа среда, създаване на подходящи рамкови условия, за да внуши увереност в бизнес средата и стимулиране на иновациите в икономиката, зависят от съгласуваните усилия на много действащи лица, които работят в сектори или области по системен, всеобхватен и прозрачен начин.

От функционална ориентация към технологична ориентация

През последните десетилетия компаниите се бяха съсредоточили върху ефективното изпълнение на конкретни функции, което доведе до локална оптимизация и усъвършенстване на функционалните области. Технологичните и организационни разработки, например, предизвикаха значително нарастване на производителността и качеството в областите: счетоводство, логистика и производство чрез използването на нови информационни и комуникационни технологии като: стандартизиран софтуер, кол центрове, Интернет и Интранет, а също и чрез изпълнение на организационни концепции като аутсорсинг на функционални области. Локалната оптимизация, обаче, изтика взаимоотношенията на експлоатационните функции на заден план.

За жалост, разходите по координиране между отделните области в компанията се увеличават с автономията на функционалните области. Използването на съвременни информационни и комуникационни технологии не премахва този структурен проблем. Вътрешната електронна комуникация в компанията само намалява симптомите, т.е. продължителността на координационните процеси. Идеята за технологично ориентирани фирми изобщо не е нова. Още от края на 80те години на 20-ти век се заговори за „преструктуриране на бизнес процеси" и „управление на бизнес процеси". Nordsieck започна тази тема от началото на 30-те години и продължи до 1972г.: "[делението на задачите на компанията The division of corporate tasks] изисква във всеки случай, ясно деление на процесите. Делението трябва да бъде съобразено с целите, развитието на процесите и, особено, с ритъма на задачите." "[...] Експлоатацията е наистина перманентен процес, непрекъсната верига от изпълнения [...]. Истинската структура на експлоатацията е като тази на река. Тя непрекъснато създава и разпределя нови продукти и услуги на базата на еднакви задания, или задания, които се различават само в някои детайли. [...] Въпросът, имайки предвид това обобщено мислене, е как да разделим задачите на една компания на естествените фази на технологичния процес?" Независимо от отдавнашното обсъждане на тази тема в академичната литература, компаниите започнаха да практикуват технологичната ориентация през 80те години, след като Gaitanides, Scheer, Porter, Davenport, а също и Hammer и Champy бяха публикували своите подходи.

Вече съществуват няколко концепции за организацията на процесите (Casalino N., 2008). Те разглеждат теоретичните основи на тази организационна форма, но не показват как концепциите да се превърнат във фирмена практика. Следващият цитат от Hammer и Champy и практическото превръщане на тяхната концепция за Бизнес преструктуриране илюстрира това наблюдение: „Ето защо, ние не даваме подробно как компаниите трябва да превърнат Бизнес преструктуриране в практика." От друга страна, публикациите на (предимно) американски автори са изпълнени с много практически примери, които, обаче, не съставят част от цялостна концепция. Тази книга се опитва да запълни този пропуск като представи общите, концептуални принципи за въвеждане на технологична ориентация във формата на модел на процес. Освен това, тази книга се базира на пълно изследване на казуси, което улеснява практическото боравене и превръщане в практика. Бизнес процесите на една компания са централна точка на технологично ориентиран план на компанията.

Докато организационната структура дели компанията на отделни системи (например, отдели, подразделения, звена) с техните поставени задачи, бизнес процесът се занимава с изпълнението на тези задачи, а също и с координацията на техните аспекти (кой какво прави, как и с какво). Елементарните компоненти на една задача са тези дейности, които образуват основните части на (работния) процес. Дейност и/или функция е работна стъпка, която трябва да се изпълни, за да се осигури услуга. Процесът е напълно затворена, навременна и логическа последователност от дейности, които трябва да действат върху бизнес обект. Такъв бизнес обект може да бъде, например, една фактура, поръчка за покупка или образец.

Бизнес процесът е специален процес, който се насочва от бизнес целта на компанията и от бизнес средата. Съществени особености на бизнес процеса са интерфейси с бизнес партньорите на компанията (например, клиенти, доставчици). Примери за бизнес процеси са обработката на поръчки в една фабрика, маршрутен бизнес на търговец на дребно или отпускане на кредит от банка. Porter представи своя модел на верига на ценностите през 1980г. и раздели дейностите в компанията на главни и спомагателни. Главните дейности създават стойност с пряка връзка с произведения продукт; ето защо те допринасят за икономическите резултати на компанията, т.е. дейностите в областта на доставки, операции (производство), маркетинг и продажби, логистика и обслужване на клиентите. Спомагателните услуги нямат пряка връзка с произведените продукти и услуги; обаче, без тези спомагателни услуги никоя от дейностите създаващи стойност не могат да се изпълнят. Примери за

спомагателни дейности са управление на човешките ресурси, счетоводство и обработка на данни. Следователно, основен процес е процес, чийто дейности са директно свързани с продукта на компанията и следователно допринасят за създаването на стойност в компанията.

За разлика от основния процес, спомагателният процес е процес, чиито дейности не създават стойност от гледна точка на клиента, но са необходими, за да се изпълни основният процес. Границите между основните и спомагателните процеси са плаващи, тъй като един и същ процес може да бъде и основен и спомагателен, в зависимост от различния контекст и различните предприятия. Терминът ‘спомагателен процес’ в никакъв случай не означава маловажен. Напротив, спомагателните процеси са важни изисквания за изпълнение на основните процеси, само че те нямат пряк контакт с произведените продукти и/или услуги. Без спомагателните процеси, изпълнението на основните процеси би било невъзможно. По тази причина, те се наричат и улесняващи процеси. Освен това, спомагателните процеси могат да се превърнат в основни процеси. Компаниите за търговия на дребно, например, не изпълняват логистични задачи в основния процес на централно регулиране, а се концентрират в регулационни дейности, които представляват спомагателни процеси в типичен складов бизнес.

Важна страна на технологично насочен начин на мислене е хоризонтално кооперирането на всички участници, т.е. да работят в съгласие с процеса на клиента. Най-успешните компании често имат най-висока степен на интеграция на хора включени в процеса. Модерни фирмени стратегии приемат, че бъдещите компании ще бъдат структурирани в ‘мрежи’ и те онагледяват виртуални предприятия с разпръснати децентрализирани отделни дейности. Тези предприятия са по-гъвкави и по-способни за обучение от традиционните компании. Те позволяват творческо участие на много служители в компанията и извън нея и мотивират и генерират повече иновации и по-добри изпълнения.

Сегашният сложен свят трябва да се управлява по начин различен от управлението вчера. Организации и бизнес процеси в мрежи, които покриват множество области, изискват ‘мрежово управление’. Процесите трябва да се управляват от отчасти свързани работни групи, което изисква свързана обратна връзка между групите. Отговорността за процеса трябва да бъде част от самия процес, тези, които отговарят за една функция в рамките на процеса, си сътрудничат тясно със собствениците на процеса, т.е. тези, които са отговорни за целия процес, като двете страни поемат обща отговорност. Отделните работни стъпки са допълнително свързани чрез интердисциплинарно сътрудничество, което позволява ограничение на външния контрол и следователно намалява непреките разходи.

Управлението на процесите/технологиите изисква нова и по-добра форма на фирмено управление. Ориентацията се насочва изключително към клиента, а не към контролиращия. Свързващата същност е ‘процесът на клиента’. Ефективността на процеса се измерва от самия клиент, а не от контрольори в компанията. Хората участващи в процеса са мотивирани от допълнителна отговорност, автономност в действията и повече успехи. Всички участници в процеса, обаче, трябва да бъдат информирани за развитието и целта на процеса. Ето защо, става все по-важно да се предават стратегическите насоки, виждания и работни цели на всички служители чрез подходящи комуникации и обучение. Бизнес културата трябва да сложи начало на интегрален процес за намиране на предназначението, в който да се включат всички участващи звена в компанията. Страхът от новото създава пречки и трябва да се отстрани. Пречките могат да блокират много сили и затова всякакви задръствания трябва да се откриват и отстраняват.

Освен това, на всички корпоративни нива трябва да се практикува Управление на промените – от най-висшето ръководство до най-ниското оперативно ниво в йерархията на компанията. Съвременното общество изисква не само отлична работа, но и способност постоянно да може да се адаптира към нови условия. Само компаниите с висока степен на гъвкавост ще оцелеят в дългосрочен план. Това изисква да се знае какво и към какво трябва да се адаптира. Неструктурирани процеси едва ли могат да бъдат адаптирани, защото се губи контрол върху ‘страничните ефекти’. Ясно структурирани процеси показват своите взаимни зависимости с други процеси и следователно могат да се променят по отделни секции без да се загуби цялостния контекст.

Компаниите често се концентрират върху основните си компетенции и прехвърлят части от собствената си верига на стойности на кооперативни партньори. Това, обаче, изисква най-висока степен на интеграция и координация. Тези задачи също трябва да се овладеят, по принцип, в добре структурирани технологични вериги, с отговорност за процесите, която виртуално покрива цялата компания. Необходимо е да се интегрират базите данни, които допринасят за овладяване на процесите, особено интерфейсите на процесите. Системи за предложения и/или управление на идеи са вече установени функции в много компании.

Опитът на ръководителите показва, че е много трудно да се активира иновационният потенциал на служителите използвайки тези механизми. Вземането на решение, което отнема много време и съпротивлението на отговорни личности блокират ценен иновационен потенциал. Освен това, желанието на служителите да продължават да притежават една функция

или процес е липса на знание в съотношението причина-ефект в компанията, което е една от главните причини за това отношение. Операционните цели, взаимната зависимост на процесите и свързаният процес или разходите свързани с резултата, не са признати, или дори по-лошо, не са достатъчно обучени за тяхното определяне.

Структурираните процеси позволяват подробно определяне до функционално ниво и правят връзките между отделните работни стъпки прозрачни. Това позволява на работниците да разберат процеса, той да има смисъл за тях и още по-важно, да подобрят областта за която отговарят с добри идеи. По този начин, иновационният потенциал в цялата компания може да се освободи. Тъй като изискванията на технологично ориентираната организация се различава от тази в традиционното предприятие, което е структурирано по функции, технологичната ориентация има определени последствия за управлението. Очевидните промени в ориентацията са свързани с организацията на компанията, техническата инфраструктура и задачите на ръководството. Относно организацията на компанията, технологичната ориентация води до увеличение на компетенциите към по-ниски нива на йерархия и съответно ‘по-голяма свобода на вземане на решения’, но също с по-големи ‘области на отговорност’ на отделните служители. Чрез комбинация от функционално разделени, но технологично свързани задачи, работниците получават вътрешна представа за области предшестващи и следващи тяхната дейност. Това преобразуване на естеството и обхвата на ролята на работника трябва да се подкрепя от ръководството чрез създаване на водещи принципи, а също и чрез стимулиране на отделните работници да поемат по-голяма отговорност. Освен това, необходими са механизми на прехвърляне, които да променят съществуващата функционална бизнес структура. Това изисква организационно чувство за партньорство и колективизъм, а също и възможност за успех и власт за провеждане на мерките.

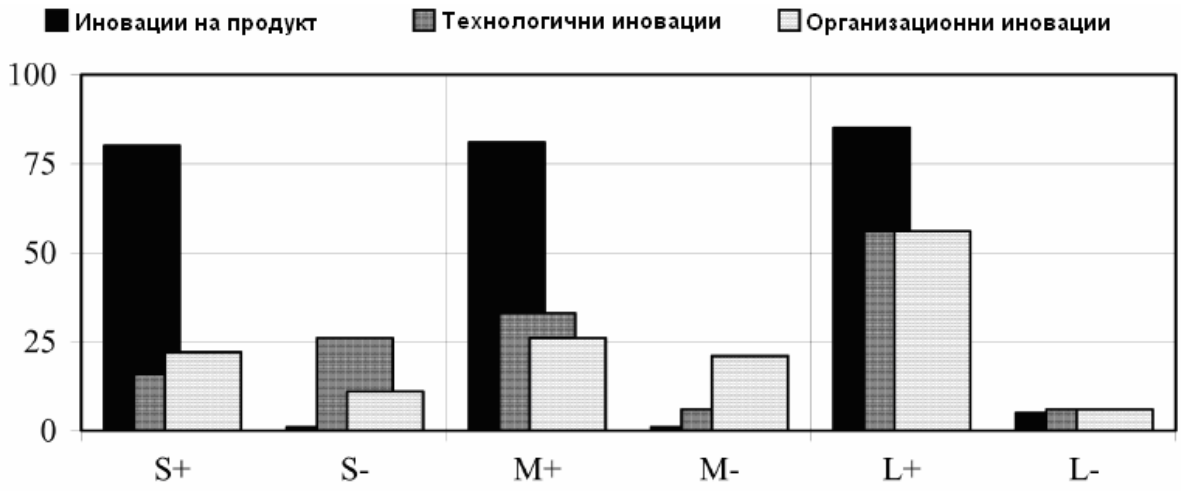
Обаче, технологичната ориентация не е предизвикателство са управлението само по отношение на организацията, но се налагат и технологични промени. Съществуващата информационна система трябва да се оцени и да се види дали е подходяща за обслужване на процесите и дали трябва да се адаптира или дори да се подмени. Технологичната ориентация е предпоставка за използване на технологичния потенциал, който във функционално ориентирана компания трудно се преобразува или изобщо не може да се преобразува. Това означава, че технологии като системите за управление на работния поток, например, могат да се използват изгодно само когато тяхното въвеждане е придружено от организационни действия. Търсенето

на гъвкавост в смисъл на бързо адаптиране към променящите се пазарни структури и изисквания на клиентите, търсенето на разширен асортимент от продукти, търсенето на ефективни услуги в компанията, често е катализатор за проекти за реорганизация. Измерването на наистина реализираните подобрения на потенциала чрез традиционни контролни инструменти в повечето случаи е възможно с ограничения. Ето защо, трябва да се прилагат нови методи за оценка на компаниите, за да се прецени напредъка и да се изчислят постигнатите подобрения.

Иновационни инструменти и заетост

Приблизително половината от МСП в проучването съобщиха за връзка между заетостта и иновациите. Предприятията, които съобщават, че заетостта е свързана с иновациите, бяха помолени за оценка на насоката на тази промяна и да се разграничат ефектите според три вида иновации и три различни интервали от време: краткотраен положителен, краткотраен отрицателен, среден положителен, среден отрицателен, дълготраен положителен, дълготраен отрицателен.

Както можеше да се очаква, иновациите на продукти в МСП бяха оценени като причиняващи увеличение на заетостта. Интересно е да се отбележи, че иновацията на процесите и дори организационните иновации по-скоро увеличават работните места отколкото да ги намаляват в продължителен период от време. Така хипотезата, че иновациите обикновено водят до изместване на работната ръка трябва да се отхвърли за МСП.



Забележка: Ординатата показва дял от иновативни МСП, в които има промяна на броя на работните места дължаща се на иновации. Отговорилите разграничават ефекта като: S+=краткотраен положителен, S-=краткотраен отрицателен, M+=среден положителен, M-=среден отрицателен, L+=дълготраен положителен, L-=дълготраен отрицателен.

Целите са важни за планирането, управлението и одита на проектите. Тези цели трябва да са разяснени на всички участници, за да могат те да вземат целенасочени решения. Целта на проекта включва съставни цели,

като разработка на продукт, реализация на IT-инфраструктура или създаване на корпоративен технологичен модел. След това трябва да се дефинират формалните параметри от гледна точка на разходи и графици. Докато формалните параметри в повечето случаи са еднакви (намаление на разходите, спазване на графиците), съставните цели се различават значително. Процесите по моделиране на процеса служат за прилагане и/или по-нататъшно развитие на управлението на процеса при строго разчетените проекти. На най-високо ново, целите могат да се разделят на организационни и свързани с ИКТ. Типични приложения на модели на процеси в рамките на управлението на организацията са документирането на съществуващи и планирани процеси, сравнителен анализ на технологиите и да отговаря на изискването за сертификация. Предназначението на информационната система е да документра изискванията на системата (спецификациите), да конкретизира интегралните Системи на предприятието, а също и да уточни работните потоци и да създаде симулационни модели. Вземайки предвид големината на възможните цели за моделиране, става ясно, че един модел не може да изрази всички тези цели. Ето защо, моделите трябва да се вземат като основа, защото системите за управление на работните потоци са по-подробни от моделите за описание на организацията. Първите изискват структура на данните, докато вторите са занимават с други области (персонал, технологични разходи). Ето защо, целта на моделиране на проекта трябва да се изясни от самото начало.

На базата на целите на проекта, сроковете и разходите трябва да се планират и определят като стандартни стойности. Графикът трябва да включва желания краен срок на проекта. Подробен план трябва да включва отделни стандартни дати, които са изчислени на базата на индивидуални дейности в плана на проекта и на наличните ресурси. Чрез подробно планиране на отделните събития, крайният срок може да бъде спазен и/или фалшифициран. Когато се планира проекта, най-важно е цялостното разглеждане на срокове и ресурси, иначе не могат да се зададат никакви реалистични стандарти за крайната цел на проекта.

Специален проблем при моделиране на проекта е дали навреме разполагате с експерти. Една възможност е да освободите тези експерти изцяло от техните оперативни задачи и да им възложите само да моделират проекта. За жалост, в повечето случаи тези експерти са крайно необходими за изпълнението на оперативните си задачи. Трудността при балансиране наличните експерти между оперативните задачи и дейностите по проекта трябва да се вземе предвид в плана на проекта и несигурни фактори в графика трябва да се компенсират с резервни дни. Особено, в случай на

конфликти между отделните периоди, участниците в проекта се нуждаят от директива от ръководството, за да знаят кое да предпочетат: проекта или операционните задачи.

Обикновено, планирането на разходите е много несигурна процедура. Видовете разходи в проекта трябва да се определят и да се планират отделно. Особено, когато се планират разходите за персонала, трябва да се разполага с достатъчно човешки ресурси, за да се спази графика. Освен това, ускоряването на завършването на проекта трябва да се съобрази с допълнителните разходи за допълнителен персонал.

Ръководителят на проекта има за задача да създаде план на проекта, който включва задачите за изпълнение, планираното времетраене на тези задачи и крайните им срокове. Освен това, необходимо е да се определят приблизителните количества необходими ресурси. Стратегическите параметри трябва да се синхронизират с графика на проекта. Ако е необходимо, екипът на проекта трябва да се разшири, за да се спазят определените срокове. Обикновено, моделирането на проекта съдържа фази – което, разбира се, важи за почти всички проекти. Предмет на моделиране (‘какво’ да се моделира, напр., цялото предприятие или само част от него, като логистиката), перспективите (‘с каква цел’ да се моделира, напр., получаване на сертификат, избор на програмен продукт, организационно преструктуриране) и методи и инструменти на моделиране (‘как’ да се моделира) се определят във фазата на предварителното проучване. В тази фаза се съставя речник във формата не технически модел, който ще се попълва непрекъснато в следващите фази на проекта. Освен това, трябва да се определи каква степен на детайлизиране е достатъчна за целта на моделиране.

Началната точка на подхода отгоре-надолу в моделиране на процес е изведена от стратегията на компанията. В тази точка се създава рамка на бизнес процеса, която включва главните функции на предприятието на най-високо ниво. Тази рамка на бизнес процеса ще бъде основата, която осигурява придвижването през моделите и тяхното извличане. В рамките на актуално моделиране се събират състоянията на текущите процеси и се моделират както в момента съществуват. Актуалното моделиране служи не само за регистриране на настоящето положение, но и за запознаване на екипа на проекта и членовете на бизнес отделите, които са включени (или ще бъдат включени) в разширения състав на проекта, с методите и инструментите на моделиране. Навременния анализ ще открие недостатъците и ще позволи описание на потенциалните подобрения. Моделирането на бъдещето използва потенциала за усъвършенстване на процесите, което трябва да се отчете в актуалния анализ. Ще се разработят

и моделират нови процеси. Ако е необходими, ще се изпълнят множество стъпки, за да се премине от настоящето състояние към бъдещето състояние или ще се разграничи модела на бъдещето (това което е възможно при ограниченията, които не могат да се елиминират за кратко време) от идеалния модел.

Важна стъпка в технологично ориентираната организация е извеждане на организационната структура от технологичните модели на бъдещето. Логическо технологично ориентирано преструктуриране също включва преустройство на организационната структура. Тази фаза има определен променлив ефект, тъй като изисква възлагането на задачи на организационни звена, а това прехвърля власт и влияние. Фазата по реализацията превръща теоретичните подобрения на процес в истински процеси. Това означава, че при организационен проект, промяната в процесите често води до промяна в организацията. При проект за автоматизация на процеси, е необходимо прилагане на система за управление на работния поток. При проект за разработване на софтуерът и внедряването му (ако е разработен индивидуално) се изисква адаптиране на софтуера и неговото приложение (в Информационна система на предприятие). Дори ако главният проект за преструктуриране е завършен, грижата за процеса остава. Усъвършенстването на процеса в управлението на непрекъснат процес трябва да се счита също за процес, което става неразделна задача от оперативното управление и което трябва за дълго време да поддържа конкурентното положение.

Както при всеки друг проект, временната организационна форма на проекта за моделиране на процеси трябва да се пресича с ‘основната’ организация на предприятието. Уменията (познаването на експлоатационните операции, необходимите задачи, истинския процес и възможните подобрения) и методическото ноухау (познаване техниката на моделиране и прилагането и в проектите) трябва да се обединят в такъв проект. Освен това, могат да се поканят външни консултантски компании или научни институти да помагат при приложение на методите и при изпълнение на проектите.

Управлението назначава ръководител на проекта. Добре е да се избере човек от организационния отдел, тъй като това ще елиминира възможен конфликт, ако се окаже, че ръководителят на проекта представя собствените си интереси в проекта. Ролята на ръководителя на проекта в проекта за моделиране на процеси е изключително разнообразна. Резултатите от проекта ще имат пряко влияние върху бъдещите процеси на участниците в проекта, особено ако проектът включва реорганизация.

В това отношение, ръководителят на проекта трябва да познава участниците. Ако те искат да избегнат застой – всичко да остане както си е – те не трябва да се боят от съпротива от страна на част от отделните групи – нито трябва да вземат решения против желанието на определени групи. За да противодействат на дефанзивното отношение на тези групи, което може да доведе дори до пълен бойкот на новите процедури, трябва да се проведе голяма обяснителна работа, за да се убедят тези групи в ползата от проекта и да се спечели тяхното одобрение. Включването на тези групи в работата на проекта е абсолютно необходимо. Ръководителят на проекта трябва да действа в полза на интеграцията, а не на поляризацията и да се поддържа единно мнение.

Ръководителят на проекта докладва на управителния комитет, а последният използва тези доклади, за да взема решения. Управителният комитет на проекта (УКП) е съставен от членове на борда на директорите и от служители, които по-късно ще са собственици на проекта. Важно е ранното включване на представители на комисията за персонала в УКП, за да пази техните интереси. УКП провежда периодични събрания, проверява напредъка на проекта на базата на определените графици, решава дали да спре или да продължи проекта и взема подходящи за проекта решения.

Контролирането на проекта трябва да се установи като независима функция в управлението на проекта. Контролирането на проекта изпълнява контролна функция и прави проверки по време на проекта, за да осигури постижението на определените цели. Задача на контрола е и да не допуска дейности, които не са насочени към постигане целите на проекта. Ефектът от работата по проекта ще доведе до намеса във всекидневната работа и текущите процедури във фирмата и затова често причинява открито или скрито съпротивление. Хората отговорни за работата трябва да са убедени в целите на проекта и изгодите, които ще донесе. Контролирането на проекта е важен свързващ елемент с управлението, със собствениците на проекта и с експлоатационните функции на компанията. Освен това, то има помирителна функция за другите текущи проекти в организацията, за да противодейства на излишни разработки. Непрекъснато сравнение на целите на проекта е жизнено важно, особено при проекти с голямо въздействие или при дългосрочни проекти. По този начин, ефективността на проекта се проверява непрекъснато и ако е необходимо, могат да се вземат поправителни мерки.

Изпълнението може да се контролира само след завършване на задача от проекта. При модели на процеси, възможно е само да се установи дали моделите са синтактично правилни според техниката на моделиране или дали е постигната желаната степен на детайлизиране след като моделът е

изцяло представен. Технологичните подобрения, особено, могат да се измерят само при ‘ефективна експлоатация’. Поради сравнително късното практическо изпитване на технологичните усъвършенствания, трябва да се предявят специални изисквания към контролирането на проекта в ранна фаза на проекта за моделиране. Създадената рамка за бизнес процес на техниките на моделиране трябва да се провери рано, тъй като те влияят съществено на качеството на моделите, които ще се създават. Практическите и висококачествени модели изискват подробна, непрекъсната и професионално проведена дискусия и съгласие между потребителите във фазата на създаване, а също и в дискусии за тяхното онагледяване как да се оптимизират технологичните потоци. Липсата на съгласие или отклонение от поставените цели и стандарти, налага да се постигне споразумение преди да се продължи работата. Може също да са необходими поправки, работа до късно, използване на допълнителни специалисти или дори основна реорганизация на проекта.

Идеите и концепциите вложени в проекта трябва да са съвместими със стратегическите цели на компанията, особено с организационната стратегия или организационните принципи на предприятието. Освен това, нарастващата интеграция с веригите от стойности на клиенти и доставчици изисква внимание към свързаните интерфейси. Контролът на разходите и времето се извършва чрез периодично сравняване на планираните номинални параметри с действителните параметри. За да бъдат параметрите валидни за контрол, те трябва да са напълно приети предварително от участниците. С процедурата ‘обратна връзка – връзка напред’ , всякакви отклонения от параметрите трябва да бъдат върнати в съответствие с определените цели.

Сравнението на параметрите може да се осигури от софтуер за управление на проекта. Тези инструменти са ефикасни и при планирането на крайни срокове, на преки и непреки разходи по проекта, използване на необходими ресурси, въвеждане и проследяване на други данни свързани с проекта, а също и определяне и онагледяване отклоненията между номиналните и действителни стойности. Методическата цялост се постига чрез описване съществените стъпки от проекта в технологията на моделиране , която е в съответствие с моделите на процеса. Използването на същия инструмент за моделиране ще позволи разклоняване от отделните стъпки на проекта направо към моделите на процеса. Би било полезно ако тези модели на процеса могат да се пренесат в софтуера за управление на проекта за описание на проекта без съществена ръчна намеса. Тогава софтуера за управление на проекта ще може да изпълнява по-ясно диференцирани оценки (напр., изчисление на мрежата, натоварване на ресурсите).

Иновационни процеси и измерване на успеха

Съществуват много различни теории и модели използвани за концептуализация на иновациите в организациите. При сложността на иновационния процес и трудната преценка колко ще струва една иновация и дали ще действа добре не съществува само ‘един единствен най-добър избор’ за една организация, за да стимулира иновациите. Това особено важи за МСП, които рядко демонстрират перспективен подход към иновациите. Gray (2006) е определил този подход като ‘по-органичен и дори произволен’, а MacDonald и колеги (2007) го наричат ‘случаен’. Ето защо, да се защитава подхода за ‘най-добра практика’ би било заблуждаващо, тъй като процесите на иновации са много различни при малки и големи фирми. В големите фирми по-голям брой хора участват в иновациите. Те имат специализирани функции и отговорности, които се променят във времето. По-вероятно е те да включат познати процедури – формални или неформални. В малките фирми, обаче, решенията свързани с отчитане на възможностите, разпределяне на ресурсите и координиране на функционалните дейности е по-вероятно да отразяват компетенцията и поведението на ръководителите.

Независимо от тази сложност, можем да определим три основни променливи, които представляват строителния блок на иновациите в различен контекст:

- създаване на наука и нови идеи, което е познато като познавателен компонент на изследването;
- превръщане на знанията в продукти, системи, процеси и услуги – това е организационният компонент;
- непрекъснато привеждане в съответствие на гореизброените с потребностите и търсенето на пазара – икономически компонент, наречен експлоатация. Според March (1991), експлоатацията е свързана с ефективно приложение на съвременните знания. Експлоатацията подкрепя ‘подобряването, установяването, производството и разработването на съществуващия опит’ (Holmqvist, 2003).

За да разберат по-добре тези три стълба на иновациите, Barnett и Story (2000) изследваха разказите на 55 управителя от пет МСП с много

иновации, които описват иновационните процеси в техните фирми. Появиха се три равностойни теми:

1. Най-доминиращата тема беше за пътищата, които техните организации търсили, за да стигнат до решение как да осигурят по-дългосрочен хоризонт, а те представлявали творчески подходи за очертаване отношението на клиента. Например, инженери, които работят заедно с крайните потребители при разработката на продукти; голям акционер на фирмата, който е и главен клиент;силна връзка с един голям клиент. Това подчертава значението на пазарния център, което ще бъде разгледано в следващия раздел.
2. И успехът и неуспехът са части от дългосрочното развитие на МСП и те дават уникални възможности за знания. Разбира се, някои проекти бяха подновени след мъдър поглед в миналото. Ето защо се препоръчва дългосрочна ориентация.
3. Въпросите за човешките ресурси бяха приоритетни, особено развитие и обучение на служителите. Тази констатация контрастира с друго проучване, което установява, че МСП не инвестират в обучение и развитие. Но именно успешните иновативни МСП са инвестирали. Стратегическото значение на инициативите за развитие на човешките ресурси не беше само оперативен отговор на съществуващите екологични проблеми, а показа начин на мислене, което надхвърля настоящите непредвидени разходи и гледа и към по-широки географски хоризонти (международна експанзия) и към по-продължителни във времето хоризонти (оцеляване в по-далечното бъдеще и полагане основите за следващото поколение потенциални служители).

Като се има предвид ‘случайния’ характер на иновационния процес, измерването на изпълнението ще бъде много несигурно. Но McAdam и Keogh (2004) са формулирали няколко общи правила:

- измерването на изпълнението трябва да произтича от стратегията на компанията;
- целта на всяко измерване на изпълнението трябва да бъде определена;
- методите за събиране на данни трябва да са ясни;
- всички заинтересовани трябва да участват в подбора на мерки;
- мерките трябва да могат да се променят в зависимост от организационната и екологична динамика.

Стратегическо управление на иновациите

По традиция, стратегическото вземане на решения се считаше като задължение на висшето ръководство. Но сега се признава, че иновациите, като средство за постигане на устойчиво предимство в конкуренцията са тема на цялата организация. Като се има предвид големината на МСП, особено когато се сравняват с техни по-големи колеги, иновациите трябва да присъстват на всички нива на организацията.

Няколко изследвания показват, че малки фирми, които използват стратегия имат по-добри резултати, отколкото фирми без стратегия (Kargar и Parnell, 1996; Naffziger и Mueller, 1999). Други показват, че ‘стратегически’ малки фирми имат значителна способност за разрастване, разширение, иновация и предлагане на нови продукти на пазара (Joyce et al., 1996), и да постигат по-голяма доходност (Roper, 1997). МСП се изправят пред проблеми, когато формулират своите иновационни стратегии, някои от които са: пречките възникващи заради ограничените им ресурси и диапазона на техническа компетентност; влиянието на техните собственици/ръководители върху вземането на решения; зависимост от малък брой клиенти и доставчици; фокусиране върху ефективността на текущите операции (Badger et al., 2001). Ето защо, висящият въпрос е: как могат МСП да се справят с тези проблеми? След преглед на богатите изследвания за организациите и иновациите, изплуваха две важни променливи:

- една организация трябва да се превърне в организация на знанието;
- трябва да съществува постоянен пазарен фокус.

В МСП пазарната ориентация и ориентацията към знанието е по-неформална, по-неструктурирана и по-непоследователна (Gibb, 1997; Peterson, 1988, Anderson и Boocock, 2002; Meziou, 1991).

Създаване организация на знанието

Според Baker и Sinkula (1999), ориентацията към знания е ‘механизъм, който пряко влияе на способността на една фирма да ревизира старите си разбирания за пазара и как трябва да се организира фирмата, за да е обърната към пазара’. МСП имат естествено предимство, защото е по-лесно да се създаде среда на знанието в по-малки организации. Обучението в организацията се проявява като обучение на работното място, което е стил на обучение на по-ниско ниво включващо използване на съществуващи знания за повишение експлоатационната ефективност в МСП (Badger et al., 2001; Chaston et al., 2001). За да се разшири, една организация на знанието трябва да притежава:

1. обвързаност с обучението: доколко една организация цени това, което стимулира културата на знания, като вярва, че обучението е ключ към усъвършенстване и конкурентно предимство;
2. общо становище: цялата организация е фокусирана върху знанието, или насока на обучение, която е видна на всички нива на организацията;
3. непредубеденост: готовност да оценява критично оперативната програма на организацията и да приема нови идеи чрез постоянна преценка на качеството на взетите решения и дейностите и разбиранията за пазара;
4. обмен на знания в организацията: колективни вярвания или поведенчески програми свързани с разпространение на знания сред различните звена в организацията, като се изработват механизми за споделяне на уроци научени в дейности на организацията от един отдел на друг (звено на звено, екип на екип).

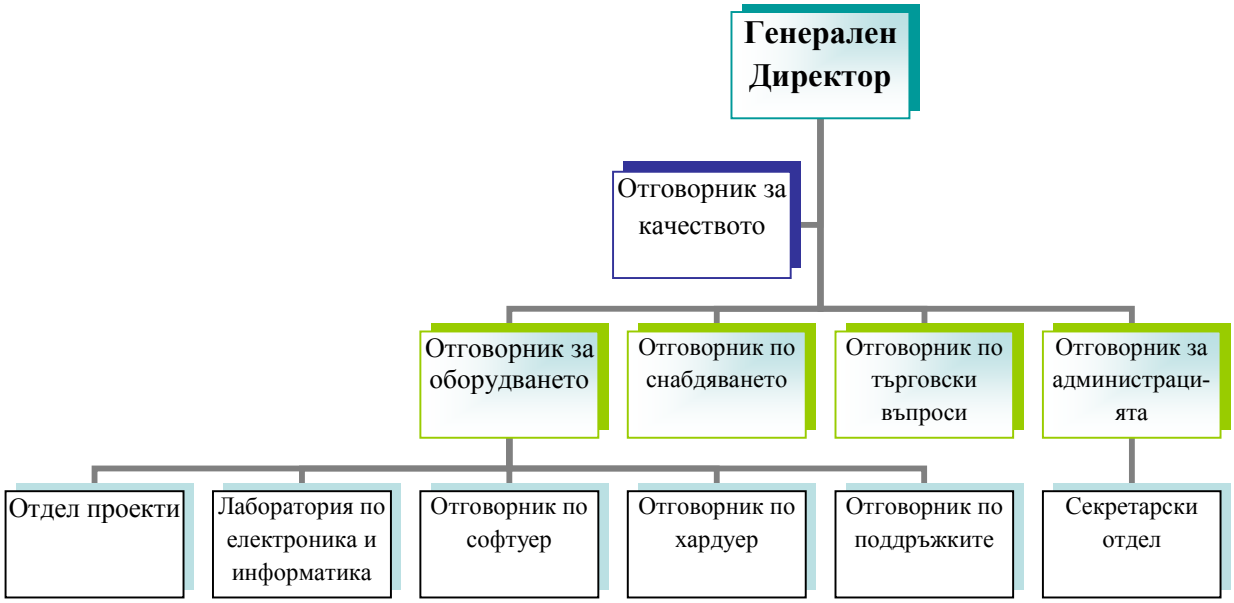
По-плоски организационни структури, съвместни екипи с кръстосани функции, които обменят информация, упълномощени роли и адаптивна култура се срещат по-често в малките организации. Ако тези променливи не са вече въведени, те са лесни за усвояване. Ръководителите, които се занимават с превръщане на научните и технически знания в продукти, системи и услуги трябва да са осведомени за специфичните тенденции в техните индустрии.

Организационна структура и човешки ресурси на фирми, които използват индустриална автоматизация

Новата гъвкава производствена система включва много промени в организационната диаграма на фирмата. Растящата употреба на автоматизацията често създава проблем поради липсата на обучен персонал. Много малко работници могат активно да практикуват новите технологии. Този недостиг от технически квалифицирани работници оправдава необходимостта от прилагане на академично обучение, за да се обучи работната сила, за да може да се изправи пред всички проблеми, които преди не е можела да реши. Организационната структура на фирми с гъвкава автоматизация трябва да се ориентира към по-високи нива на кооперирание по отношение на традиционните фирми. Тази структура трябва да бъде модерна и ефикасна, а персоналът трябва да е изключително квалифициран. Необходимо е, например, да се наемат електронни и електротехнически специалисти (да проверят процедурите по планиране) и служители, които да отговарят за проследяване на всеки отделен случай на клиент. От тези работници се изисква да имат технически умения и опит, защото трябва винаги да могат да определят точно потребностите на клиентите. И, разбира се, този квалифициран персонал трябва да прави това като използва най-добрата техника налична на пазара в момента (програмируеми логически контролери, ЦПУ, цифрови уреди за управление, индустриални PC, бариери за защита, и др.).

Бизнес структурата трябва да интегрира и обработва данни и информация идваща от различни източници. Различните бизнес функции трябва така да са оформени, че резултатите от тази информация да са достъпни. Необходимо е да се подобри компетентността, за да се осигури адаптирана автоматизация. Разгледайте пример на организационна диаграма на компания, която осъществява индустриална автоматизация чрез технически подобрения.

Диаграма на бизнес организация, която въвежда индустриална автоматизация



Забелязва се, че постовете, които са разпределени, не са често срещани в обикновените фирми. Ние подробно анализираме специалната компетентност, която е необходима. Отговорника по планирането трябва да има понятие за пространство, ниво на планиране, ниво на компонентите, които използва (всички сензори и задвижващи механизми).

Техническият отговорник трябва да може да работи според технологичния план. Той също трябва да се грижи за управлението на специфични фази на производството и трябва да провери съответствието на резултатите със стандартите. Техническия персонал трябва да може да използва главните програмни езици и приложения, да развива способност да работи в екип и за дадена цел, използвайки различни методологии, например, управление на проект. Ръководните длъжности са разположени в технически офиси и центрове за научноизследователска и развойна дейност.

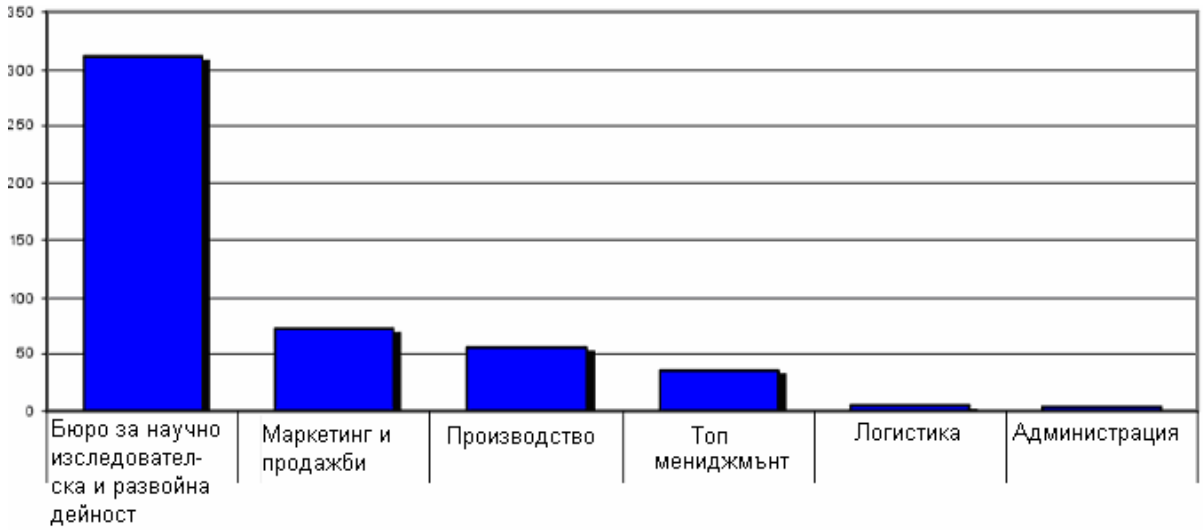
Техническия отговорник заедно с административния, развиват дейности по експериментални изследвания, използвайки всички необходими знания за изпълнение на дейностите, или чрез серия от директни контакти с

научни структури, университетски катедри, където се разработват научни проекти.

Инженерът изпитател е човекът, който знае кой производствен елемент трябва да се автоматизира. В повечето случаи тази фигура съвпада с отговорника по планирането на завода. Той ръководи група от експерти, които определят обектите за автоматизация.

Електротехническият проектант има за задача да определи структурата на електрическата система, която ще използват карите през производственото изпитване.

Профили на звена



(Source: Observatory ANIPLA, 2008)

Специалистът по експлоатационните условия определя топологията, положението и техническите спецификации на различните сензори и задвижващи механизми, които проверяват и наблюдават изпитването.

Проектантът на автоматичните устройства за управление по традиция е експерт и по измерванията и покрива необходимите компетенции на специалист по експлоатационните условия (‘ниската лента’ обикновено остава електрическа). Те определят архитектурата на системата за управление, спецификацията и пишат софтуера за управление.

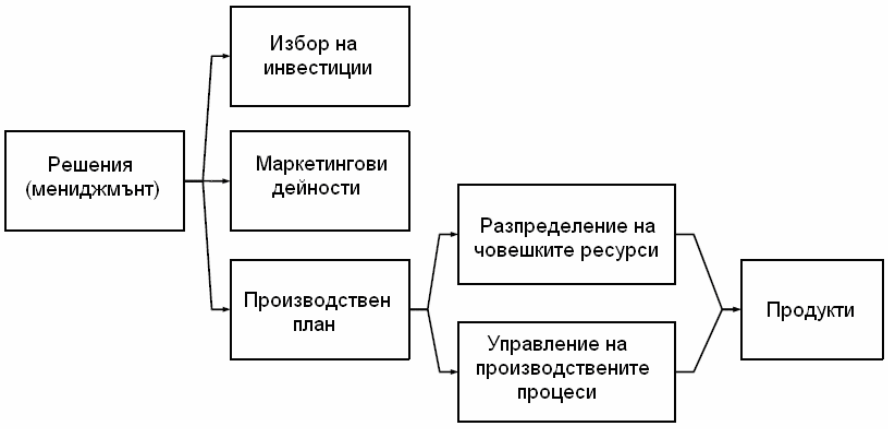
Отговорникът по поддръжката е друга фигура, чиято роля става все по-значима. През 1989г. в Италия беше приета Директива за безопасност 98/37/CE от DPR 459/96, която неотдавна бе ревизирана от Директива 2006/42/CE. Във всички тези документи се изтъква значението на безопасността и засягат всички аспекти на експлоатация, регулиране и поддръжка с цел да се гарантира, че всички операции не излагат хората на риск.

Отговорникът по поддръжка на автоматизацията трябва да знае как да различава корективна поддръжка от подобрена поддръжка. При първата се възстановява положението преди аварията.

Ролята на управлението е да подобри качеството на продуктите, гъвкавостта, да съкрати времето за производство, да установи правилата и да подобри използването на наличните ресурси. Това е възможно чрез подходящ избор на инвестиции, добър маркетинг и, естествено, чрез регулиран производствен план.

Тази последна фаза може да се изпълни чрез подходящо разпределение на човешките ресурси и контрол на производствените изпитвания, когато се прилага автоматизация. Що се отнася до контрола на производствените изпитвания, главният проблем е бързото морално остаряване на продуктите на фирмата. Решението е да се използват гъвкави производствени системи, които автоматично разработват различни продукти.

Роля на автоматизацията (контрол на изпитванията)



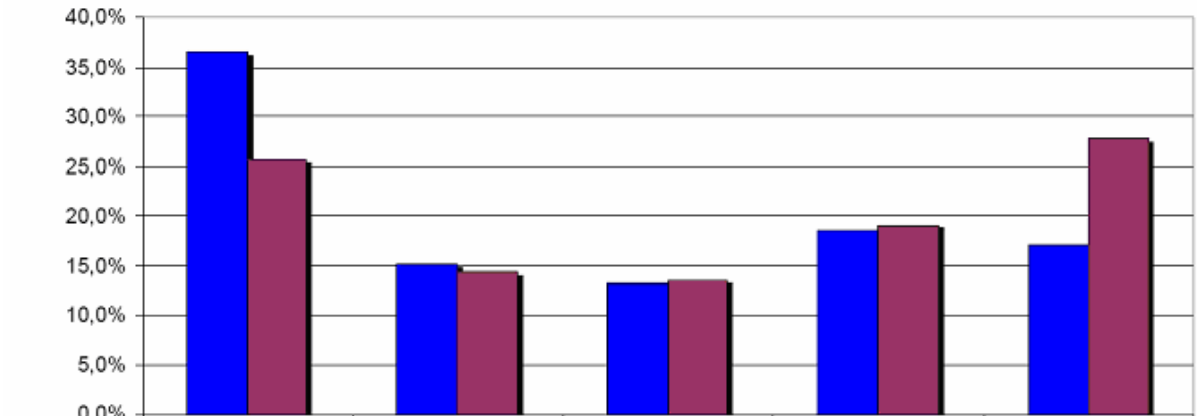
Източник: Giancarlo Ferrari Trecate, Industrial Automation, Department of Computer science, University of Pavia

С развитието на автоматизацията, отношението между човек и устройство се развива и се базира на дейностите: планиране, регулиране, планиране и контрол (управление). With the development of automation, the relationship between man and device develops and is based on activities of planning, regulation, planning and control.

Разпространението на автоматизацията дава нови възможности за фирмата. Преодолява се разбирането за традиционната организация, набляга се на взаимозависимостта между организацията на работната ръка и технологията. В един производствен проект, различните бизнес функции трябва да включват следното: технология на производството, организация на работата, комплектоване на работната сила, контрол на работния поток и управление на качеството.

Всъщност, можем да видим в статистиката предоставена от ANIPLA, че персоналът на фирмите, които произвеждат използвайки автоматизация, е високо квалифициран.

Разпределение на персонала по профили във фирмите



	до 20 души	до 50 души	до 100 души	до 500 души	повече от 500 души
без висше образование	36,4%	15,0%	13,0%	18,6%	17,0%
с висше образование	25,5%	14,3%	13,4%	19,0%	27,7%

Ето защо, можем да разграничим три вида необходими квалификации, за да се разбират и използват инструментите на индустриалната автоматизация.

Методологични квалификации

Предишните цифри се отнасят до технически компетенции, свързани с автоматизацията, но не с технологиите и съставят основата за планиране и избора и правилното използване на самите технологии. Понякога ги наричат ‘базови предмети’. Например, метрология, механика (анализ и планиране на системи за механична реализация), електроинженерство, компютърни науки (за разработка на софтуер); телекомуникации, оперативно изследване и, естествено, автоматика.

Технологични квалификации

Методологичните квалификации се реализират в решения приложени чрез технологиите, ето защо технологичните квалификации са необходими за хората, които работят в индустриалната автоматизация. Изследванията проведени от ANIPLA показват, че хората, които работят в индустриалната автоматизация обикновено имат висше инженерно образование. Разпределението показва, че преобладава електронното инженерство. Естествено, това не е изненадващо, защото преобладаващата техника в автоматичните системи е електроника, а също и факта, че автоматиката обикновено се включва в учебния план на електронното инженерство.

Познания за изпитвания

Автоматизацията изисква знания за изпитванията при автоматизиране. Опитът показва, че автоматизацията на производствено изпитване често ни кара да намерим формални и общи описания на същия процес.

Техническа сложност

Техническата сложност не трябва да бъде много пред научното разбиране, тъй като ще ограничи търговската жизнеспособност на иновацията, защото е прекалено сложна за крайния потребител.

Интеграция на системите

Техническите постижения значително намаляват цените на алтернативните технически конфигурации, а също откриването на предизвикателни възможности за много сложни системи, станали възможни чрез дигитализация. МСП трябва да са добре осведомени за специфичните ИКТ тенденции и за новите методи на измерване и управление.

Методи и подходи за управление на несигурността

Набляга се на този въпрос, тъй като е най-уместен за управление на човешкия капитал при иновации. Справянето с дейностите свързани с иновациите е трудно, защото самата иновация е ‘промяна на играта’. Освен уменията на техническия персонал, комуникационните умения, особено способността за общуване през организационни, дисциплинарни и професионални бариери са безценни. На практика, становищата в компанията отгоре-надолу могат да бъдат лош съветник за иновационните стратегии, ето защо се насърчават непрекъсната обратна връзка от пазара, минал опит и експериментиране. Техническият персонал често преценява лично дали една иновация ще успее, докато ръководството често разчита на системите от правила за оценка на потенциалната ефикасност. И двата подхода са грешни, но заедно могат да дадат по-холистична перспектива за една иновация, която се формира от специалистите в организацията, а не само отгоре-надолу. Обаче, в края на краищата, и двете изтъкват значението на пазарния фокус.

Пазарен фокус

Пазарен фокус или ориентация може да се опише като прилагане на маркетинг концепция чрез провеждане на пазарно проучване, разпространение на информацията и реакция (прилагане на пазарна стратегия). Това е:

- получаване и използване на информация от клиентите;
- разработка на стратегически план на базата на тази информация;
- прилагане на плана, за да се задоволят потребностите на клиентите.

Frost (2001) заявява, че ‘мястото на техническата иновация не е само в границите на обновяващата се организация, но и извън нея’.

МСП по-неохотно от големите фирми приемат пазарната концепция при формулиране на своите стратегии (Meziou, 1991). Всъщност, повечето малки фирми не провеждат проучване на пазара и нямат дългосрочно планиране на пазара. (Peterson, 1988; Meziou, 1991; Blankson и Stokes, 2002). В литературата за МСП се твърди, че пазарната ориентация дава потенциално конкурентно предимство на малките фирми пред големите, защото МСП:

- са по-близо до клиентите и могат да изпълняват техните желания и задоволяват потребностите им бързо и по-гъвкаво;
- могат да придвижват информацията от клиентите бързо с по-малко изкривяване, защото имат по-малко организационни стъпала и бюрокрация;
- могат да прилагат своя маркетинг план бързо, защото процесът не е сложен и затова по-бърз.

Пазарен фокус може да се осъществи чрез здрава връзка между техническия и маркетинг отдели. Изключително важно е техническият персонал, който разработва продуктите и персоналът, който са занимава със събиране на пазарна информация да работят заедно за иновационния процес. Ако не работят заедно като един екип, между тях трябва да има непрекъсната комуникация, като се включва и производственият отдел. Интеграцията с кръстосани функции също помага да се изгради специфичен капитал от знания на фирмата и така МСП става организация на знанието.

Събирането на пазарна информация е скъпо. Ако надхвърля ресурсите на организацията, постоянен диалог с потенциални бъдещи потребители на иновацията допринася за търговската жизнеспособност на крайния продукт и може да помогне при бъдещи технически трудности. Той също помага да се установят критерии за разпределение на ресурсите, които да отговарят на нивото на техническите и пазарни възможности.

Препоръчва се също, иновационният процес да се провежда във фирмата, но търсенето на външни технологии и съвет се насърчава. Поддържането на интелектуална собственост е дори още по-съществено за МСП. Препоръчва се разработката на продукта да става в организацията, но трябва да се консултират с външни специалисти по време на процеса, за да получат важна, предварителна обратна връзка. При ограничените ресурси на МСП сравнени с по-големи организации, ‘заемането’ на техника, за да се подпомогне процеса също може да е много изгодно.

Не е възможно една организация да се обнови успешно, ако ръководството на организацията не се включи в процеса. Хората, които са преки участници в иновацията, трябва да знаят, че имат подкрепа от ръководството. Иновацията изисква толерантност към неопределеността и това бреме трябва да се поеме от ръководството на МСП.

Много изследователи (напр. Slater и Narver, 1995; Baker и Sinkula, 1999; Farrell, 2000), смятат, че пазарната ориентация повишава производителността само когато е комбинирана с ориентация към знанието. Обаче, ориентацията към знанието, т.е. обвързването с обучението, общо становище, непредубеденост и обмен на знания в организацията, благоприятства за формирането на ценности, които повишават знанията и координират адаптивното поведение идващо от пазарната ориентация към по-висока степен на обучение, което води до разработка на много успешни продукти, услуги и технологии и проучване на нови пазари (Farrell, 2000; Slater и Narver, 1995).

Пазарната ориентация има непряк ефект върху производителността на фирмата чрез ориентацията към знанието и обновяването на фирмата. Съществуващите изследвания показват, че обновяването на фирмата има положително влияние върху производителността в МСП. Когато фирмите често изпробват нови идеи, търсят нови методи за работа, разработват нови продукти/услуги, и се стараят да бъдат творци в своята работа, те стават по-печеливши; усвояват по-голям пазарен дял и имат по-висок темп на растеж. Събирането на информация за клиентите, разработване и прилагане на маркетинг план, желание за предизвикателство към стойности, вярвания и мнения има положително влияние върху обновяването на фирмите (т.е. пробване на нови идеи, търсене на нови методи на производство, разработка и пускане на пазара на нови продукти/услуги и да бъдат творци).

Резултати от образованието, качество на образованието и обучение през целия живот

Типичното МСП често е изолирано и това е главната причина защо МСП провеждат своята научноизследователската и развойна дейност сами и търсят свои ресурси за развитие. Неизбежно, тези ресурси са ограничени и понякога недостатъчни. Освен това, Macdonald (2007) твърди, че ръководителите на МСП са по-малко убедени, че обучението води до иновации отколкото хората, които осигуряват образование и обучение.

Обучението и развитието в МСП се описва като реактивно и нередовно, а също и краткотрайно и почти изключително насочено към решаване на непосредствени проблеми свързани за работата, а не развитие на персонала (Curran et al., 1996; Hill и Stewart, 2000). Metcalf et al (1994) определят като една от главните причини, че в МСП има по-малко възможности за повишение, такива фирми предпочитат да наемат хора с необходимите умения, отколкото да развиват талантите във фирмата. Възможно е това да е вредно за дълголетието на организацията, която жертва силата и последователността на своята култура, за да постигне краткосрочни цели.

Липсата на внимание към обучението и развитието е също проблематично, като се има предвид, че недостатъчните умения, които пречат на успешните иновации в МСП са определени от Freel (1999) като технически умения на работното място, управленска компетентност и лоши маркетинг умения. Тези недостатъчни умения пречат на фирмата да се превърне в организация на знанието. Според Cohen и Levinthal (1990) една организация ‘се нуждае от предварителни знания, за да асимилира и използва нови знания’. Те използват термина ‘абсорбционна способност’ на фирмата.

Абсорбционната способност е функция на съществуващите ресурси на организацията, на съществуващите проявени и непроявени знания, вътрешни практики, управленска компетентност и култура. В предприемаческите МСП, много е вероятно това да се отрази до голяма степен в развитието, опита и мотивацията на собственика/управителя и ръководството. Zahra и George (2002) развиват по-нататък концепцията за абсорбционната способност, за да включат организационните практики и процеси, чрез които фирмите работят и управляват знанията. Те формулират четири отделни области, където знанията трябва да се управляват в успешните фирми:

1. придобиване;
2. усвояване;
3. преобразуване;
4. използване.

Придобиването и усвояването на знания се считат като потенциална абсорбционна способност, докато преобразуването и използването на знания представляват реализирана абсорбционна способност (Zahra и George, 2002).

Gray (2006) смята, че придобиването и усвояването на знания от МСП е присъщо за по-високи образователни нива и ясни цели за растеж. Степента на функционални знания в една фирма е свързана с нивото и уместността на училищното и висше обучение, квалификацията и реакцията на фирмите към необходимата способност във функционалните области. Спорно е това да се свързва с нивата на образование, източниците на придобиване на знания (колеж, университет, консултант, колеги и др.) и опит. Обаче, придобиването на знания от опит е много важно и може да се свързва и с по-високите нива на образование (Rubichi V., 2010).

В никакъв случай това не означава, че МСП трябва да наемат хора само с висше образование; разбира се, информацията за иновации идва от различни източници, а не от една единствена ‘база знания’. Тя се пренася по различни пътища, а пренасянето е интерактивен процес, който включва обмен на информация, а не само еднопосочен поток от тези, които знаят към тези, които не знаят (Lybaert, 1998; Macdonald, 1998). Училищното и университетско образование може да подпомага обучението, но не е необходимо изискване.

Фактите сочат, че образователните институции често вървят след динамиката на промените, които са характерни за средата на МСП, като липсват конкретни познания за пречките пред иновациите, които срещат МСП (Cooper, 2000). Macdonald и колеги (2007) приемат, че една от главните пречки за иновации в МСП е, че ръководителите на МСП често нямат време и енергия да насочат своето внимание към нищо друго, освен краткосрочното оцеляване. Такива ръководители на МСП са късогледи в конкурентната среда. Обаче, хората, които се занимават с образование и обучение са много по-добре запознати с тази външна среда и могат да представят важни аспекти на служителите в МСП. Докато изгодите от училищното и университетско образование и обучение не са нито непосредствени, нито лесно измерими, те могат да са значителни и в края на краищата от тях да се възползват самите МСП. Това зависи от това доколко МСП е възприело идеята за организация на знанието.

Като приемем, че ограничените ресурси на МСП спъват формалното обучение, разгръщането на информация, научноизследователската и развойна дейност, модела за управление на знанията, който се основава на обмена на знания и превръщане на скрити знания притежавани от всички служители в активни, също може да е приложим в малките фирми. Обединяването на опита и знанията на отговорните служители (включително собственика/управителя) и популяризиране ефективните практики разработени във фирмата, за да се обменят и съчетаят знанията и да създадат нови знания – това е иновативният процес, който лежи в основата на управлението на знанията. МСП имат предимство в това отношение, защото за малките фирми е характерна постоянната и открита комуникация, която е душата на управлението на знанията.

МСП се изправят пред предизвикателствата на обучението през целия живот:

- да поддържа ресурсите, практиките и способностите на фирмата на съвременно ниво;
- да повишава предприемаческата и управленческата компетентност на собственика/управителя;
- да придобива нови знания при което се повдигат въпроси относно източниците на информация (формални/неформални, образование/опит), вътрешната абсорбционна способност за интерпретиране и поглъщане на нова информация като приложими знания и използване на новите знания;
- създаване на нови знания, което също повдига много интересни и предизвикателни въпроси относно иновациите, творчеството и стратегията.

Приложенията на ИКТ могат да играят ключова роля в този процес. Чрез осигуряване на бърз и лесен достъп до външни източници на знания и нови по-интензивни комуникационни канали с партниращи организации, ИКТ може да заличи традиционните ограничения за иновации в МСП, като координира тяхната гъвкавост и отзивчивост. ИКТ помагат на МСП да участват в полезни мрежи или да осъществяват търговски и индустриални връзки без да е необходим непосредствен контакт. Въвеждането и използването на ИКТ е свързано с размера на фирмата, като по-големи и мащабни фирми използват много повече приложения и функции на ИКТ отколкото други фирми (Gray, 2003). Това предполага, че абсорбционната способност

също е здраво свързана с достъп до ресурси във фирмата, а също и до външни специалисти.

По-малките МСП се противопоставят не само на обучение, но и на други форми на по-широко участие. Практиките засягащи човешките ресурси в много МСП не спомагат за създаването и обмен на знания. Обикновено, МСП се ангажират в по-малко дейности за развитие на управлението от по-големите фирми. Ръководителите в МСП много по-рядко официално оценяват или обсъждат необходимостта от обучение.

Заключението е, че управленческите и технически квалификации могат да се научат, развият и поддържат, особено там, където нивата на знанията и компетентността в организацията не се ограничават до собственика/ управителя, а включват и работници и други ръководители. Ето защо, предизвикателството е да се вдъхновят собствениците и мениджъри на МСП да подкрепят непрекъснатото развитие на служителите и да изследват нови начини за осигуряване управленчески, технически и производствени знания и умения, които са леснодостъпни за заети мениджъри и ключови работници. Това в никакъв случай не са нови предизвикателства, подобряване базата умения на служителите чрез електронно обучение и обучение с помощта на компютър са привлекателни възможности. Като се има това предвид, МСП трябва да предоставят възможност на мениджърите да се учат от опита, като използват своите знания, умения и ценности на работното място и ги приложат на практика.

Предизвикателството обучение през целия живот не е само едно улеснение на процеса на учене в МСП, но също осигурява в мрежовата среда ученето да се провежда на всички нива на организацията и между всички заинтересовани. За да насърчи това, Handy препоръчва четири ключови ценности:

- любознателност (да се намери правилния отговор);
- снизхождение (да се поощрява експеримента);
- доверие (да се избягва губене на време за проверка на работата);
- колективност (да се развие организация на знанието като свързващо звено).

МСП не трябва да се блазнят да развиват формални бюрократични системи за обучение и развитие. Това ще пожертва необходимото предимство за гъвкавост, което имат малките фирми. Ето защо, МСП трябва да поемат отговорността да вградят гореизброените ценности в уникалните

практики на организацията, адаптирайки принципите да подхождат на контекста.

Научни кариери, изследователска и развойна дейност и работни места във високите технологии

Проучването на кариери в МСП е ограничено. Съществуващите изследвания показват, че хората в МСП високо ценят израстването в кариерата и първоначално това се смяташе за една от най-важните причини за голямото текучество в хай-тек МСП (Parden, 1982; Garden, 1988). Смята се, че малките нови компании са привлекателни, защото високите длъжности са само на няколко стъпки от началното ниво на професионалните позиции (Turbin and Rosse, 1998). Обаче, МСП привличат и хора с предприемачески интереси, които често напускат компанията, за да основат своя. В това се състои предизвикателството да задържат персонала.

За да се разбере мотивацията на хората от хай-тек индустрии за кариера, изследването се фокусира върху разликата между различни кариерни ориентации на хора с хай-тек длъжности, изследвайки степента до която такива служители предпочитат управленска кариера спрямо техническа и/или работа в проект. Според Turbin and Rosse (1988), “напредъка в кариерата в индустрията на високите технологии често се приравнява с управлението. Техническите специалисти имат ограничени възможности за напредък чрез увеличена отговорност и надзор над другите”. Това е създало явлението ‘двойната кариерна стълба’.

Идеята за двойната кариерна стълба е, че талантливи технически специалисти не трябва да си мислят, че е необходимо да приемат ръководни длъжности, за да напреднат в кариерата си, а че те могат да напреднат чрез превъзходство в тяхната техническа работа. Затова рано в кариерата на служителя се стига до точка на разклонение и човекът избира (или е избран) или управленската стълба, която съдържа повече вземане на решения и контрол, или техническата стълба, която предлага интересна или предиз-викателна работа. Титлите са различни във всяка стълба, но би трябвало заплащането и предпоставките да бъдат еднакви. Разбира се, управленската стълба се издига до ръководни постове, докато техническата стълба спира много по-надолу. Това прави управленската стълба много по-желана за амбициозни млади служители.

На теория, хората могат да се придвижват между управленската и техническата стълба. Всъщност, това е добра кариерна стратегия, защото дава на служителя управленски опит и му позволява да остане технически

компетентен. Обаче, скачането между стълбите е трудно и не се прави от много служители, особено в големи организации. Тези, които поемат пътя на ръководител често се дистанцират от своите първоначални технически компетенции защото са затрупани от задълженията си на ръководител. И обратно, тези, които избират техническата кариера често са изолирани, тъй като тяхната кариера става все по-тясно специализирана.

За щастие, такива явления са по-малко вероятни в МСП, защото обикновено те имат по-плоски организационни структури с по-голяма автономия и гъвкавост на длъжностите. Компаниите на високите технологии са много гъвкави и лесно се приспособяват към своите длъжностни характеристики и организационни процедури, поради ограничението, че имат по-ограничени ресурси от по-големите индустриални организации. Разбира се, ако те желаят или могат да задоволят конкретни потребности, включително кариерни амбиции, служителите трябва да имат разумно очакване, че тяхната кариерна ориентация ще бъде изпълнена. Така, закостенялостта забелязана в по-големи и по-бюрократични компании и придружаващото я неудовлетворение (Bailyn, 1980), може да е по-малко в по-малките хай-тек компании. Управленска кариера в МСП на практика не представлява отделяне от интересните технически проблеми до такава степен, както може да бъде в други по-големи организации. Затова, компромисът за технически ориентиран специалист, който се премества на ръководна длъжност може да е по-малък в МСП. Но с разрастването на МСП, това е предизвикателство, с което те трябва да се справят успешно.

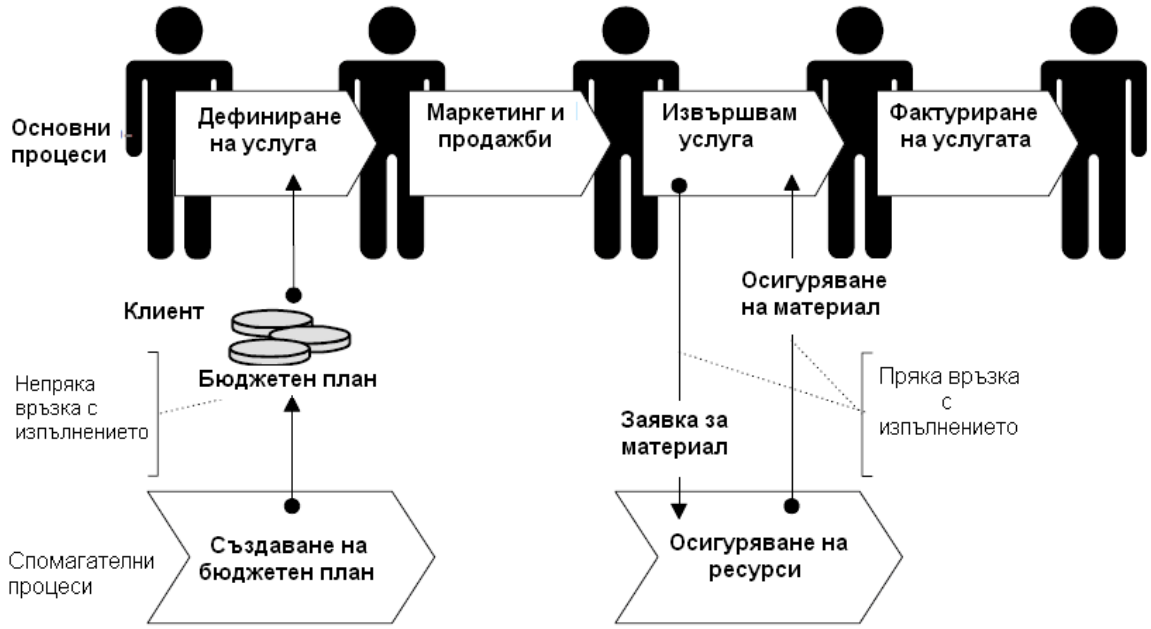
Като мост между двете стълби е ориентацията към проекти. Тук хората са мотивирани да работят по специфични проекти, които съчетават способността да упражняват контрол с властта да вземат решения, но също и да упражняват своите способности в творчески и интересни задачи Това може да изглежда като панацеа на предизвикателствата на двойната кариерна стълба. Allen и Katz (2009) твърдят, че инженери и учени предпочитат кариери при разработване на проект пред управленски и технически, защото задоволяват желанието си и за управленска и за техническа роля. Но ориентацията към кариера за разработване на проект има своите недостатъци. Тъй като се намира между двете сфери тя не винаги осигурява същите възможности за напредък в кариерата, защото има един от недостатъците на техническата стълба. Тъй като проектите са временни, постовете в йерархията на организацията не са гарантирани. Освен това, може да се явят възможности за техническо развитие, защото по време на работа по проект се работи заедно с друг високо специализиран технически

персонал, който няма бремето на управлението. До каква степен кариерата по време на работа по проект благоприятства техническото или управленското развитие много зависи от ситуацията, но в края на краищата, целта е да се намери удовлетворяващо равновесие. За разлика от Allen и Katz, Bailyn (1980) твърди, че предпочитанията са до голяма степен равномерно разпределени между трите ориентации.

Подпомагане развитието на иновативни МСП

Думата ‘обучение’ е съзнателно вмъкната в процеса на развитие, както бе заявено по-горе; обучението е една от двете ключови съставки на успешната иновация. Говорихме накратко как да създадем организация на знанието за иновация. Тук ще говорим по-подробно как може да се приспособи за МСП и по-специално как предприемаческото обучение може да доведе до обучение в организацията. Съществуват няколко явни разлики при обучението и развитието в МСП. Често се смята, че МСП имат по-голяма предприемаческа култура, особено когато предприемачът-собственик често участва в ежедневната работа на организацията.

Връзка между основния процес и спомагателните процеси

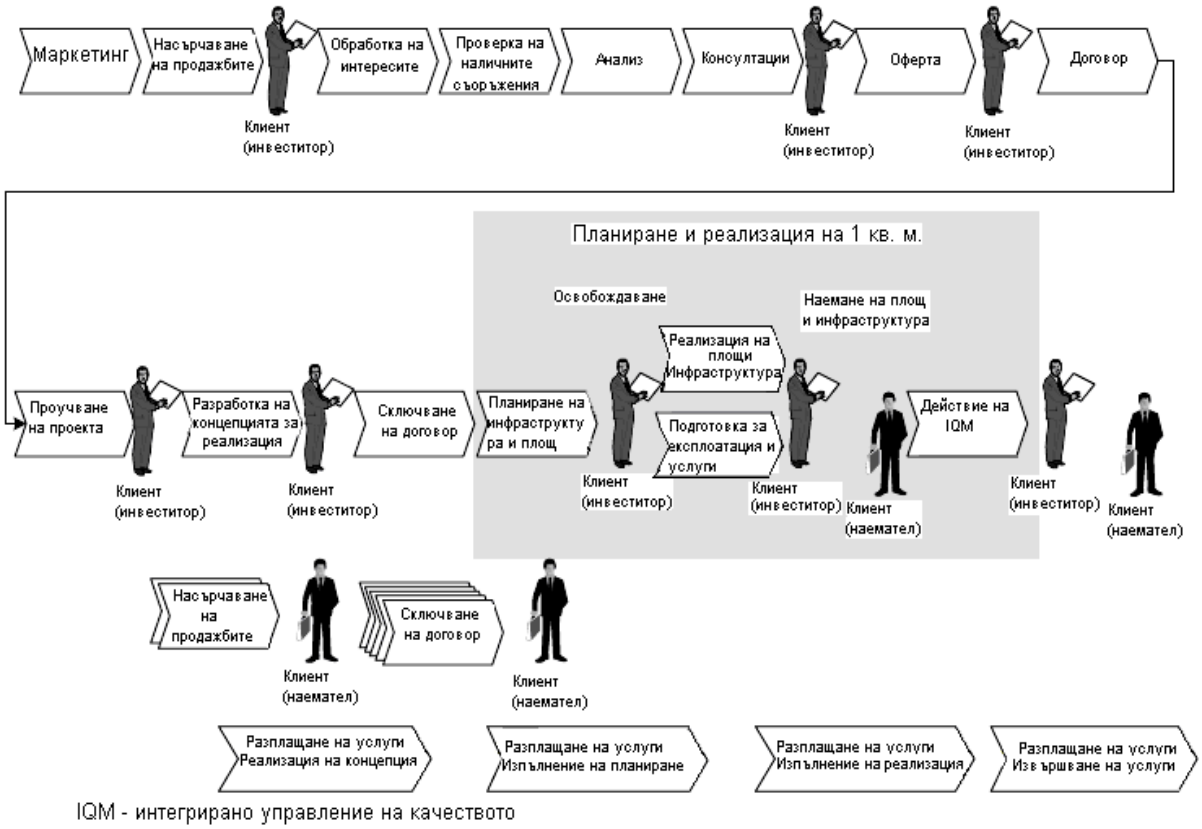


Стратегическите цели на собствениците и съответната култура създадена в малките фирми са решаващи. Ако те са насочени към постигане на устойчиво нарастване на продажбите и печалбите, тогава развитието и използването на иновации ще следва от стремежа да се конкурират успешно с

други подобни фирми. Schumpeter гледа на това желание за победа като главния двигател към иновации и той предполага, че повечето предприемачи накрая ще стигнат до точка на лично и материално удовлетворение, когато се обърнат към други цели и станат мениджъри, а не предприемачи.

Deakins и Freel (1998) използват понятието предприемаческа компетентност, за да опишат предприемаческите блокове от знания. Те включват ранно използване на мрежа, усвояване на опита и възможностите, отражение на минали стратегии, признаване на грешки, достъп до ресурси и привличане на външни хора да се включат в 'предприемаческия екип'. При подобен подход на изследване на процеса на обучение в малки организации (по-малко от 50 служители) бяха определени пет ключови характеристики: адаптивност, планиране, информация и знания, развитие на човешките ресурси и растеж (Penn et al., 1998).

Осигуряване на инвестиционния обект без разпределение на основните процеси



IQM - интегрирано управление на качеството

Една от най-влиятелните концепции за организационно обучение определя четири процеса свързани с обучението: придобиване на знания, разпространение на информация, интерпретация на информацията и организационна памет (Huber, 1991). Придобиването на знания може да се осъществи по няколко начина като:

- придобиване концептуални и технически знания чрез познавателно обучение;
- обучение ориентирано към експеримента/действието за усвояване на нови умения и способности ‘на работното място’ чрез практика и изпитване-грешка;
- обучение чрез споделяне на опит с колеги.

За да се разберат начините на обучение в организациите, трябва вниманието да е насочено към съществуващите системи на обработка на информация (Huber, 1991), системи, които структурират дейностите (Argyris и Schön, 1978; Gherardi, 2000), и системи, които подкрепят взаимодействието и диалога в организациите (Brown и Duguid, 1991; Coopey и Burgoyne, 2000). Тези три елемента не са непременно отделни, но може да им се дадат различни приоритети и това да доведе до различни резултати. С други думи, начините на обучение осигуряват различни пътища за постигане на организационно обучение. Обаче, трябва да се подчертае, че обучението изисква интерпретация и внедряване на тези знания в организационните системи, т.е. разпространение на знанията чрез пренасянето им от индивидуално на колективно ниво.

ИКТ обучение в МСП

Общоприето е, че кризите в организациите стимулират обучението (Cope, 2003; Fiol и Lyles, 1985; Starbuck et al., 1978; Weick, 1995; Wijnhoven, 2001). Промяната в средата и особено конкуренцията, предизвиква организационното статукво (Cope, 2003; Fiol и Lyles, 1985; Hedberg, 1981) и стимулира търсенето на нова информация (Crossan et al., 1999; Huber, 1991; March, 1991). За да се учим ефективно от такова външно събитие, необходим е анализ на събитието, а контекстът, който провокира обучението включва и характера на обучението и източниците на нова информация. Управленското тълкуване на сигнали от средата и техният следващ стратегически избор влияе значително на организационните структури и възможности за обучение (Child, 1972, 1997). В МСП се отразява как собственик-мениджърите реагират на 'критични събития'. Важно е също как последвалото обучение се съчетава със съществуващите системи, дейности и диалог във фирмата. Затова е важно да се определят вътрешните ценности и предпоставки, на които се основават управленските разумни дейности.

МСП по-добре се обновяват, когато участват в мрежи и клъстери от подобни МСП чрез мрежи и управление на външни формирования, които разработват нови продукти и услуги. Ето защо, създаването на мрежи за обучение е важна стъпка в растежа на МСП (Mitra, 2000). Съществените възможности на МСП са тяхната способност да учат, да създават достатъчно вътрешни знания и да координират своите компетенции с други фирми, ресурси и институции извън тях. Поради липса на размер и ресурси, МСП често нямат сили да влияят на своята среда. Обаче, чрез развитието на клъстери, силите могат да се обединят, за да координират тези способности и да се получи по-голямо въздействие. Управлението на бизнес процесите е необходимост за всяка организация. Още от ранните трудове на Адам Смит, това предизвикателство привлече интереса на организациите и на академичния свят. Но чак след фундаменталния принос на Майкъл Хамър бе създадена цялата нова парадигма за управление на процесите. Предложеният радикален фокус върху бизнес процесите доведе до нови организационни структури и решения свързани с ИКТ.

От организационна гледна точка бяха проектирани нови области и отговорности. Класическото обогатяване на работните места и разширяване на работата се прилага в бизнес процеси. Като последица, бяха въведени

собственици на процеси, мениджъри на процеси и наскоро дори главни служители по процесите, като подход към признаване изискванията на организациите ориентирани към процесите. Разработките свързани с ИТ включват навлизане на системи за управление на работния поток, които автоматизират изпълнението на бизнес процеси. Нещо повече, в световен мащаб се поставя акцент върху прилагане на Корпоративни системи и често е продиктувано от намерението да се осигури интегрирано приложение на бизнес процесите в една организация. Обаче, много от тези подходи на базата на ИТ към управление на процеси не успяха, защото преобладаваха избраните сложни софтуерни решения, а не се концентрираха върху предизвикателството на истинско съчетаване между бизнес и ИКТ. Научният напредък във всички тези области е значителен.

Независимо от това, до сега, публикации, които превеждат сложните научни постижения в информация, която служи на практиката, са все още изключения. От една страна, повечето литература по въпроса само излага предимствата на управлението на бизнес процесите без достатъчно да описва начини за оперативно прилагане на този подход. От друга страна, много предизвикателства на практически проекти за управление на процеси, като разглеждане на стотици модели на процеси или ефективното разпространение на резултати от проекти, все още не се обсъждат изчерпателно от академична гледна точка.

Целта на тази книга е да запълни тази празнина като представи подробен модел на процедурите с висока практическа приложимост. Главна характеристика на този модел е фокусирането върху моделиране на бизнес процеси. Тази книга разглежда главните фази на проекта, които обхващат целите на управление на процеси, управление на проекти, създаване на специфични за компанията насоки за моделиране, моделиране на настоящето и на бъдещето, преустройство ориентирано към процесите на организационната йерархия, управление на прилагането на процесите и на промяната. Последната книга разглежда специфични области на приложение като сравнителен анализ, управление на знанията или корпоративни системи.

Общото правило на което се подчинява тази книга е ‘Практически указания колкото е възможно повече, теория колкото е необходима’. Ние колективно работим в тази област повече от четири години. Подкрепата на тази организация ни позволява да докладваме не само успехите, но и ограниченията и грешките на този проект. Членовете на този проект имаха желание активно да участват като съавтори в някои глави на тази книга.

Заключение

Вътрешният контрол в рамките на проекта намалява до минимум загубите от триене, намалява разходите и засилва ориентирането към целите. В практическата работа по проекта, обаче, обикновено се оказва, че планираните цели не могат да бъдат напълно постигнати въпреки всички сложни организационни и управленски действия. Причините, освен грешките в планирането, са липса на разбиране или липса на опит за въздействието, което се получава от промените от проекта и което влияе на действителните процеси. Съмненията за проекта са смесени с личния страх от промяна. Обикновено, ръководството на проекта трябва да се занимава с голям брой изненадващи по-малки или по-големи вмешателства, които трудно се контролират. Често, проекти, които се застъпват страдат от обещания от оперативните отдели/катедри за осигуряване на експерти. Причината се крие в лошото планиране на участващия отдел/катедра и липсващото ‘обвързващо задължение’ за всяко индивидуално участие в проекта. Ако в компанията предстоят проекти, които ще се застъпят и те изискват кооперирание на потребителските отдели, тогава необходимите натрупани ресурси трябва да се изчислят отделно в центъра за планиране на разходите на компанията, иначе логическата последователност ще изостава от сроковете и ще има отклонения от планираните разходи. Една добра организация на проект трябва винаги да е готова или да се адаптира към включване на необходимия си персонал в съответствие с променения капацитет предложен от отделите или да променя дейностите си по проекта, за да избегне смущаване на напредъка на проекта поради липса на капацитет. Възможни са следните адаптации:

- преразпределение на планирани дейности и придвижване на задачи без определен срок в бъдещето (например, завършване на модели на процеси);
- временно ангажиране на други вътрешни или външни участници в проекта (допълнително ‘включване’ и липсващо специално ноухау ще доведе до увеличение на разходите);
- подобрено рационално решаване на задачите (напр., въздържане при провеждане на срещите по проекта);
- намалени изисквания при решаване на задачите (напр., само селективна проверка на качеството на моделите на процеса, които са създадени от опитни експерти).

Дейностите по проекта, които са обвързани с ресурсите, трябва да се определят по такъв начин, че да е ясно дали могат или не могат да се преместват. Разумно е да се направи строг график за тези подвижни задачи. На практика често се наблюдава подход за отказ от срещи по проекта, за да се печели капацитет. Тези срещи, обаче, служат за обмен на необходимото ноухау в решаващи фази. Те не трябва да се пропускат, ако е възможно, но да се провеждат ефективно и да участват само служителите, които са абсолютно необходими.

Съществена особеност на контролирането на проекта е наблюдаването на важните моменти и на тези дейности, които са свързани с решаващите моменти, Задачи, които не са решаващи, се нуждаят от приемлива синхронизация, а също и ефективно боравене с предварително разпределени резерви от време. Резервите от време трябва да се определят, ако е възможно, и не трябва да се използват за конкретни действия без координация. Доклади за работата по проекта на кратки интервали, заедно със система за ранно предупреждение, ще помогне да се идентифицират препятствията и да се предприемат противодействия навреме. Ако планираните разходи за проекта се надхвърлят в някой момент при изпълнението на проекта, тогава останалите разходи трябва да се прегледат и да се намалят, където е възможно, за да се запазят общите разходи както са планирани. Трябва да се предприемат мерки за намаляване на разходите, например, чрез използване на по-ефективни ресурси или пропускане на части от задачи по проекта.

Контролирането на проекта има за задача да гарантира цялостната изпълнимост чрез постоянна процедура ‘Спри-или-продължавай’. Оказа се разпространена практика, при моделиране на проекти, част от дейностите по моделиране да се възложат на външни подизпълнители. Тези подизпълнители трябва да са преминали през подходящо базово обучение. Разходите за персонал за тези задачи по моделиране на проекта могат да се намалят значително чрез създаване на ‘интелигентен резервен офис’.

Обаче, контролирането на иновациите не трябва да се концентрира изцяло върху разходите. Допълнителни възможности за подобрения, които се явяват по време на проекта трябва да се преценят за потенциален успех и изпълнимост. Това включва, например, разпознаване на преди неизвестни недостатъци чрез подробно моделиране на процеса, чието отстраняване ще е от голямо значение за компанията. Такива допълнителни подобрения оправдават по-високите разходи по проекта, когато общият коефициент на полезност е положителен. По принцип, контролирането на проекта има за задача да оцени резултатите от проекта от икономическа гледна точка. Наднормените разходи не трябва да са пречка, освен ако не провалят изцяло

финансовия бюджет. Във финансовия план на проекта трябва да се осигуряват финансови резерви за тези допълнителни дейности, но те трябва да се отпускат само при добро развитие на проекта и само ако мениджърите приемат, че допълнителните дейности дават добри резултати. Задачата за контролиране на проекта трябва да се изпълнява в рамките на организацията на проекта, като се имат предвид стандартните контролни функции на компанията.

Някои отговори на въпросите за взаимните връзки между иновациите, въздействието на ИКТ върху организацията, интернационализацията и промените на броя на работните места в МСП са ясни. Трябва особено да се акцентира, че МСП в индустриите на ЕС демонстрират по-висока от средната активност в иновациите отколкото в самите индустрии. От една страна това показва, че индустрии, които преди са считани за слаби, с ниски технологии и трудоемки, са се променили под влияние на глобализацията в съвременната индустрия, която – независимо от големината на фирмата – се справя успешно с новите технически постижения и динамичната глобална конкуренция. Според анализираните данни, такива промени не са имали положителен ефект върху броя на работните места в миналото. Напротив, данните от нашите проучвания показаха, че иновациите в МСП увеличават броя на работните места. Така нашето проучване потвърждава хипотезата, че МСП са и ‘иновативни средства’ и ‘източник на работни (D’Atri A., De Marco M., Casalino, 2008).

От индустриална политика подкрепяща МСП не може да се очаква компромис между тези две цели на икономическа политика. Обаче, под въпрос е дали този вид индустриална политика е винаги по-дълбоко вкоренена в концепцията на ЕС за икономическа политика, която произхожда от системата на идеален свободен пазар. Независимо от това, следва да се спомене, че според нашите резултати, двата вида въздействия на публичното финансиране са възможни. От друга страна, някои стимулиращи инструменти не са подходящи за МСП в тази индустрия, явиха се провали в стратегията, алфа грешки (дали са подпомогнати или не, подкрепените компании се обновяват над средното ниво и създават работни места) и бета грешки (неподкрепените предприятия могат да допринесат над средното ниво за постигане целите на политиката, ако бъдат подкрепени). Освен това, проучването показва, че иновациите и интернационализацията вървят ръка за ръка. Изглежда, че не може да се формулира причинна връзка между тези два фактора; иновативните предприятия все повече се нуждаят от международни пазари, а по същия начин международните пазари изискват иновативни предприятия. Въпреки това, предвид степента на интеграция на ЕС в световната икономика,

фирмите на вътрешния пазар също са изправени пред силна конкуренция за лидерската позиция в технологиите.

Относно бариерите пред МСП по отношение на реализация на своя иновативен потенциал и способността си да създават заетост, оказва се, че (според твърденията на фирмите) липсата на достъп до външно финансиране играе важна роля (Rubichi V., 2010). Заедно с липсата на търговска мрежа и езикови умения, финансирането е пречка за интернационализация. Намирането на рисков капитал може да е възможност, но не е разпространено в МСП на ЕС нито по отношение на търсенето, нито по отношение на предлагането, което предполага, че диагнозата ще е пазарен неуспех.

Речник на термини по иновации

benchmarking – сравнителен анализ – измерване на резултатите спрямо най-добрите практики като средство за определяне целите за подобрение – прилага се от фирми на бизнес процеси (напр., в техния сектор), или от национални или регионални автори на стратегии (напр., във връзка с подпомагане създаването на фирми базирани върху нови технологии)

best practice – добри практики – методите и постиженията на признатите лидери в дадена област **business angel** – бизнес ангел – определен тип не-формален инвеститор, обикновено успешен предприемач, който има желание да инвестира във високо рискови, бързо развиващи се фирми в много ранен етап и добавя стойност чрез предоставяне на практически биз-нес съвети

cluster – клъстер/група – групиране на големи компании, малки и средни предприятия, университети, големи държавни изследователски институти, които работят в определен сектор или регион – с цел да се стимулират иновативните дейности чрез интензивно взаимодействие.

commercialisation – комерсиализация – процес чрез който резултатите от изследователски проекти се превръщат в продаваеми продукти или услуги или от изобретателите, или от трета страна.

community patent – патент на общността – достъпен патент, предлагащ гаранция за защита на правата върху интелектуалната собственост в рамките на ЕС – дългогодишни предложения за такъв патент остават блокирани от някои държави-членки.

entrepreneurial innovation – предприемаческа иновация – пазарно ориентиран подход към иновационната политика, който е насочен не само към доставчици и непосредствени потребители на нови знания, но също и косвени ползватели, крайни потребители и посредници

entrepreneurship training – обучение по предприемачество – курсове, специално за изследователи и студенти, предназначени да ги подготвят да могат да комерсиализират новите знания чрез създаване на свои собствени отделни съпътстващи (спин-оф) компании.

European patent – европейски патент – механизъм за защита на правата върху интелектуалната собственост в няколко подписали държави въз

основа на единна молба до Европейско патентно ведомство (ЕПВ) – има същата правна сила като национален патент във всяка от тези държави, затова защитата не е една и съща

exploitation – експлоатация – виж комерсиализация

governance (of innovation) – управление (на иновации) – въпроси свързани с участието на заинтересовани страни – учени, промишленост, потребители и държавни органи – в процеса на проектиране, прилагане и оценка на иновационната политика

incubation – инкубатор – доставка на услуги 'на едно гише' в подкрепа на бизнеса на нови фирми, често свързан с университет или големи обществени изследователски институти – традиционно пакетът включва евтин офис, но напоследък виртуалният инкубатор става все по-популярен

indicators – индикатори/показатели – количествено определяеми фактори, които служат като показатели за поведение, представляващи интерес за стратези или други лица: заявките за патенти за високи технологии на един милион души население е индикатор/показател за нейния иновативен кап-цитет

industrial liaison office (ILO) – бюро за връзка с промишлеността (БВП) – структура в рамките на университет или голяма обществена изследователска институция, която взаимодейства с индустриални потребители на интелектуална собственост, например, чрез договаряне споразумения за лицензиране – БВП също са в добра позиция за подкрепа на съпътстващи компании (спин-оф), тъй като те имат близки връзки с изследователската дейност и бизнеса

informal investors – неформални инвеститори – често са единственият наличен източник на финансиране на нови хай-тек компании – те включват приятелите и семейството на предприемача и бизнес ангели

innovation – иновация – превръщане на нови знания в икономически и социални блага – сега се признава, че се извършва като резултат от сложни продължителни взаимодействия между много играчи в иновационната система

innovation expenditure – иновационни разходи – дефинирани от Общест-вено проучване на иновациите като бизнес разходи за всички иновационни дейности: научноизследователска и развойна дейност в компанията, научноизследователска и развойна дейност като оутсорсинг, машини и

оборудване свързани с иновация на продукта и процеса, придобиване на патенти и лицензи, индустриално проектиране, обучение и маркетинг на иновациите

innovation finance – **иновационно финансиране –** всички източници на финансиране на разположение на високотехнологични стартиращи компании в началния им стадий на развитие – включва средства начален капитал, неформални инвеститори, банки и фондове на рисков капитал

Innovation Relay Centre (IRC) network – мрежа от иновационни центрове – европейска мрежа от местни агенции за технологично посредничество, специализирани да подкрепят международния трансфер на технологии

innovation system – иновационна система – местна, регионална или локална среда за иновативна дейност – освен компании тя включва научно-изследователска база, финансиране на иновациите, услуги и схеми за подкрепа на бизнеса и мрежите чрез които тези компоненти си взаимодействат

innovative firm / company – **иновативна фирма/компания –** дефинирана от Обществено проучване на иновации като фирма, която е въвела нови или подобрени продукти, процеси или услуги през последните три години

intangible assets – **нематериални активи –** част от реалната стойност на компанията, състояща се от нейния персонал и неговите умения, знания и творчески способности – основни източници на богатство и стойност в икономика базирана на знания (виж също и tacit knowledge)

intellectual property (IP) – **интелектуална собственост (ИС) –** оригинални изобретения и патентовани знания на компания или личност

intellectual property rights (IPR) – права върху интелектуална собственост (ПВИС) – дефинирани права за ексклузивното използване на интелектуална собственост дадени от национално или над-национално ведомство – най-често патенти, търговски марки и промишлен дизайн

initial public offering (IPO) – първоначално публично предлагане – ‘флотация’ на компания чрез открита продажба на нейните акции на борсата – традиционен начин за изход на ранни инвеститори като бизнес ангели и фондовете за рисков капитал

knowledge base – база знания – натрупаните знания от които зависи прогреса на определен индустриален сектор – включва не само систематизирани знания, но също и непроявени знания и знания вложени в завод и оборудване

large public research institutions (LPRI) – големи обществени изследователски институции – институти с държавно финансиране, обикновено са специализирани в дадена научна област – заедно с университетите, те са главните компоненти на изследователската база на регионална или национална иновационна система

lifelong learning – обучение през целия живот – непрекъснато образование, включително и курсове в компанията – важно средство за ускоряване усвояването на нови технологии

"linear model" of innovation – 'линеен модел' на иновация – прекалено опростено (и силно дискредитирано) разбиране за иновациите – механични трансфери на специфични технологии от изследователската база към промишлеността – сега е заменен от 'системен модел' на иновации

mobility – мобилност – в контекста на иновациите мобилност означава временно прехвърляне на квалифициран персонал между индустрията и изследователската база, между регионите и между научните дисциплини

new technology - based firms (NTBF) – фирми базирани на нови технологии – нови съпътстващи (спин-оф) фирми и други високотехнологични стартиращи компании

open coordination – отворена координация – метод за разпространение на добрите практики в областта на изграждане на политика на национално ниво, за да се доближат до целите на ЕС, на базата на сравнителен анализ, определяне на цели и партньорска проверка

peer review – партньорска проверка – обмен на инструменти, методи и опит между създателите на политики на базата на информация за относително изпълнение

research and development (R&D) – научноизследователска и развойна дейност – системна творческа дейност насочена към повишаване запаса от знания и тяхното приложение – включва фундаментални изследвания, приложни изследвания и развойна дейност

research base- научноизследователска база – университетите и големите държавни изследователски институции в региона или в страната – академичните научни и технологични ресурси от които промишлеността получава нови знания

seed capital – **начален капитал –** фондовете начален капитал инвестират сравнително малки суми в стартиращи фирми на най-ранен етап, често да финансират предпроектни и пазарни проучвания – много университети и големи компании са създали специализирани фондове начален капитал, за да стимулират допълнителна (спин-оф) дейност

small and medium-sized enterprises (SME) – малки и средни предприятия (МСП) - МСП се дефинира от Европейския съюз като самостоятелна компания с по-малко от 250 служители и или годишният оборот да не превишава 40 милиона или балансовият отчет да не превишава 27 милиона

spin-off/spin-out – спин-оф/спин-аут – нова компания, създадена да комерсиализира знанията и уменията на университет или корпоративен изследователски екип

start-up – стартираща компания – новооснована компания

supply chain – верига за доставки – състои се от голяма компания, нейните първични и вторични доставчици и изпълнители – иновациите се разпространяват сравнително лесно във веригите за доставки (виж също клъстер)

"systemic model" of innovation – ‘системен модел’ на иновация – ново разбиране за иновация – взема се предвид зависимостта от сложни взаимодействия между много хора, организации и фактори на средата – научноизследователската и развойна дейност вече не се счита за ‘източник’ на иновации, а само като един от важните фактори

tacit knowledge – непроявени знания – знания, които все още не са систематизирани, но остават въплътени в учените, собствениците/мениджъри на компании и ключови служители (виж също нематериални разходи)

technology audit – технологичен одит – официален метод за оценка на технологичните активи и изисквания на компанията

technology-based firm – фирма базирана на технология – това са фирми, които работят не само в хай-тек сектора, но и потребители на технологии в традиционни производствени сектори и услуги

technology brokerage – технологично посредничество – професионална услуга предлагана от иновационни центрове, които съчетават на национално или международно ниво технологични активи в една компания или изследователски център с технологичните изисквания на друга

technology foresight – технологична прогноза – процеса на оценяване бъдещите потребности и възможности за икономиката на един регион или страна, в светлината на технологичните и пазарни тенденции

technology transfer – трансфер на технологии – пренос на технологии или ноу-хау между организации чрез договори за лицензиране или маркетинг, споразумения за съвместни разработки, обучение или обмен на персонал

technology valley – технологична долина – мащабен кластър, обикновено подкрепян от инициатива на регионално или национално ниво, в който, критична масова или индустриална и изследователска дейност в дадена област води до само-издържащо се икономическо развитие водено от иновации – Силиконовата долина е класическият случай

university-industry interface – интерфейс университет-индустрия – отвореното и непрекъснато взаимодействие между индустрията и изследователската база сега се признава за решаващ елемент на иновационната система – университетите прибавят разпространението на знания към своята традиционна мисия за образование и научноизследователска дейност (виж също бюро за връзка с промишлеността)

utility model – ютилити модел – регистрирано право за технически изобретения, което дава право на собственика да забрани на трети страни да експлоатират изобретението – по-гъвкаво и по-облекчено от патент, но важи за по-кратък период

venture capital – рисков капитал – рискова инвестиция с висока възвръщаемост – фондовете с рисков капитал са от съществено значение като средство за финансиране бързия растеж на фирми базиращи се на нови технологии

Библиография

Butler, J. (1999) “A practical model for technology and innovation management”, Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, PICMET 99, Vol. 1, 1999, p103-105.

Cardinal, L.B., Alessandri, T.M. and Turner, S.F. (2001) “Knowledge modifiability, resources, and science-based innovation”, Journal of Knowledge Management, Vol. 5, No. 2, 2001, p195-204.

Carneiro, A. (2000) “How does knowledge management influence innovation and competitiveness?”, Journal of Knowledge Management, Vol. 4, No. 2, March, 2000, p87-98.

Casalino N., Armenia S., Medaglia C., Rori S. (2010) “A new system dynamics model to improve internal and external efficiency in the paper digitization of Italian Public Administrations”, proceedings European Academy of Management (EURAM 2010), May 19-22, Università di Tor Vergata, Roma.

Casalino, N., Draoli M. (2009) “Governance and Organizational Aspects of an Experimental Groupware in the Italian Public Administration to Support Multi-Institutional Partnerships”, chapter of the book “Information Systems: People, Organizations, Institutions, and Technologies”, D’Atri A., De Marco M. Eds., ItAIS, Physica-Verlag Springer, Heidelberg, Germany, pp. 81-89, ISBN 978-3-7908-2148-2.

Casalino N. (2009) “An Innovative Model of Trans-national Learning Environment for European Senior Civil Servants - Organizational Aspects and Governance”, proceedings 11th International Conference on Enterprise Information Systems - ICEIS 2009, May 6-10 2009, Milan, Italia, Cordero J., Filipe J. Eds., INSTICC, pp. 148-153, ISBN 978-989-8111-88-3.

Casalino N., Armenia S., Canini D. (2008) “A system dynamics approach to the paper dematerialization process in the Italian public administration”, chapter of the book “The Interdisciplinary Aspects of Information Systems Studies”, D’Atri A., De Marco M., Casalino N. Eds., ItAIS, Physica-Verlag Springer, Heidelberg, Germany, 399-408, ISBN 978-3-7908-2009-6.

Casalino N., D’Atri A. (2007) “Online training for investment in securities. An European network for the improvement of SMEs and professionals financial

culture" Proceedings of CATE 2007 conference - Globalization of Education Through Advanced Technology, October 8 – 10, 2007, Beijing, China, ISBN 978-0-88986-699-7.

Casalino N., D'Atri A., Manev L. (2007) "A quality management training system on ISO standards for enhancing competitiveness of SMEs", Proc. 9th International Conference on Enterprise Information Systems - ICEIS 2007, June 12-16 2007, Funchal, Madeira - Portogallo, Cardoso J., Cordero J., Filipe J. Eds., INSTICC, pp. 229-235, ISBN 978-972-8865-92-4.

Casalino N., D'Atri A., Garro A., Rullo P., Saccà D., Ursino D. (2006), "An XML-based multi-agent system to support an adaptive cultural heritage learning", Proceedings of "International Conference on Mobile Communications and Learning – MCL 2006", April 23 – 27 2006, Mauritius, IEEE Press.

Casalino N., D'Atri A., Fadda C. (2005), "Organisational impact and exploitation of the results of an Italian research project for e-health and medical training", Proceedings of "ECIS 2005 – European Conference on Information Systems", May 26-28 2005, Regensburg, Germany, ISBN 3-937195-09-2.

Casalino N., D'Atri A. (2005), "E-learning vs IS education & research. The LUISS University experience", Proceedings of "International Conference on Methods and Technologies for Learning - ICMTL 2005", March 9-11 2005, Palermo, vol. WIT Press editor, 97-103, ISBN 1-84564-155-8, ISSN 1746-4463 (print), ISSN 1743-3517 (online).

Casalino N., D'Atri A. (2005), "Quality, usability and economical aspects in a medical web-based training service", Proceedings of "The 4th IASTED International Conference on web-based education - WBE 2005", February 21-23 2005, Grindelwald, Swiss, ACTA Press, Vol. 461-2005, Zurich, pp. 304-310, ISBN 0-88986-480-2, ISSN 1482-7905.

Casalino N., Di Persio F. (2004) "Integrating medical services, training and education: the Hermes project platform", in ATL - Advanced Technology for Learning Journal, ACTA Press Anaheim - Calgary - Zurich, Vol. 1, Issue 2, 71-80, ISSN 1710-2251.

Casalino N., Vituzzi A. (2003) "Testing the usability of an e-learning web-platform by the heuristic evaluation: the Nettuno on-line university", Proceedings Fifth International Conference AIDEA Giovani, Information, Markets and Firms, July 3-4 2003, Università Cattolica di Milano.

Chesbrough, H. (2003) "Open Innovation: How Companies Actually Do It," Harvard Business Review, 81, 7 (July): 12-14.

Библиография

Chesbrough, H. (2003) “Open Platform Innovation: Creating Value from Internal and External Innovation,” Intel Technology Journal, 7, 3 (August): 5-9.

Chesbrough, H. (2003) “The New Business Logic of Open Innovation,” Strategy & Innovation, 1, 2 (July-August): 11-15.

Chesbrough, H. (2003) “Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology”, Boston, Harvard Business School Press.

Chesbrough, H. (2004) “Managing Open Innovation: Chess and Poker,” Research-Technology Management, 47, 1 (January): 23-26.

Chesbrough, H. (2006) “New Puzzles and New Findings,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 15-34.

Chesbrough, H. (2006) “Open Innovation: A New Paradigm for Understanding Industrial Innovation,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 1-12.

Chesbrough, H. (2006) Open Business Models: How to Thrive in the New Innovation Landscape, Boston: Harvard Business School Press, 2006

Chesbrough, H. and Adrienne K. C. (2006) “Beyond high tech: early adopters of open innovation in other industries,” R&D Management, 36, 3 (June): 229-236. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00428.x

Chesbrough, H. W. (2003) “The Era of Open Innovation.” Sloan Management Review, 44, 3 (Spring): 35-41.

Chesbrough, H. W. (2007) “The market for innovation: implications for corporate strategy.” California Management Review, 49, 3 (Spring): 45–66.

Chesbrough, H. W. “Open innovation: the new imperative for creating and profiting, Chesbrough, H., Wim V. and Joel W., eds. (2006) Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press.

Christensen, Jens Frøslev (2006) “Whither Core Competency for the Large Corporation in an Open Innovation World?,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 35-61.

Christensen, Jens Frøslev, Michael Holm Olesen and Jonas Sorth Kjær (2005). “The Industrial Dynamics of Open Innovation — Evidence from the transformation of consumer electronics.” Research Policy, 34, 10 (December): 1533-1549. DOI: 10.1016/j.respol.2005.07.002

Библиография

Conceicao, P., Heitor, M.V., Gibson, D.V. and Shariq, S.S. (1998) "The Emerging Importance of Knowledge for Development: Implications for Technology Policy and Innovation, Technological Forecasting and Social Change 58, 1998, p181–202.

Cooke, Philip (2005) "Regionally asymmetric knowledge capabilities and open innovation: Exploring 'Globalisation 2'—A new model of industry organisation," Research Policy, 34, 8 (October): 1128-1149. DOI: 10.1016/j.respol.2004.12.005

Cooke, Philip (2006) "Regional Knowledge Capabilities and Open Innovation: Regional Innovation Systems and Clusters in the Asymmetric Knowledge Economy," In Stefano Breschi & Franco Malerba (eds.), Clusters, Networks & Innovation, Oxford: Oxford University Press.

Coombs, R. and Hull, R. (1998) "Knowledge management practices and path-dependency in innovation", Research Policy, Vol. 27, No. 3, July, 1998, p237-253.

Couger, J.D. (1996) "Creativity and Innovation in Information Systems Organizations, Boyd and Fraser Publishing.

D'Atri, A., De Marco, M., Casalino, N. (Editors), The interdisciplinary Aspects of Information Systems Studies, ISBN: 978-3908-2010-2, Springer, Heidelberg, Germany, 2008

Davenport, T.H. (1993) "Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology, Harvard Business School Press, Boston.

Davis, R.M. (2006) "How to make open innovation work in your company," PDMA Visions, January .

Dittrich, Koen and Geert Duysters (2007) "Networking as a Means to Strategy Change: The Case of Open Innovation in Mobile Telephony," Journal of Product Innovation Management, 24, 6 (November), 510-521. DOI: 10.1111/j.1540-5885.2007.00268.x

Dodgson, Mark, David Gann and Ammon Salter (2006) "The role of technology in the shift towards open innovation: the case of Procter & Gamble," R&D Management, 36, 3 (June): 333-346. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00429.x

Fabrizio, Kira (2006) "The Use of University Research in Firm Innovation," in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 134-160, firms to fail. Boston: Harvard Business School Press, 1997.

Библиография

Freeman, T. (1999) “Assessing the innovation capacity of the consortium: an evaluation of the CAM-I cost management systems program”, Journal of Knowledge Management, Vol. 3, No. 1, 1999, p61-65, from technology. Boston: Harvard Business School Press, 2003.

Gassmann, Oliver (2006) “Opening up the innovation process: towards an agenda,” R&D Management, 36, 3 (June): 223-226. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00437.x

Gassmann, Oliver and Ellen Enkel “Constituents of Open Innovation: Three Core Process Archetypes,” R&D Management.

Gemünden, Hans Georg, Sören Salomo and Katharina Hölzle (2007) “Role Models for Radical Innovations in Times of Open Innovation,” Creativity and Innovation Management, 16, 4 (December), 408-421. DOI: 10.1111/j.1467-8691.2007.00451.x

Gilbert, M. and Cordey-Hayes, M. (1996) “Understanding the process of knowledge transfer to achieve successful technological innovation, Technovation, Vol.16, Issue 6, June, 1996, p301-(+12).

Gobeli, D.H. and Brown, D.J. (1997) “Adding creativity to the House of Quality: product innovation versus product development, Proceedings of the Portland International Conference on Management and Technology, 1997, p186.

Graham, Stuart J.H. and David Mowery (2006) “The Use of Intellectual Property in Software: Implications for Open Innovation,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 184-201.

Grunder, O., Baptiste, P. and Barakat, O. (1995) “An approach to model and evaluate innovation and concurrent engineering projects, Proceedings of the INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 95, Vol. 1, p155-163.

Harryson, S. (1998) “Japanese Technology and Innovation Management”, From Know-How to Know-Who, 1998.

Hienerth, Christoph (2006) “The commercialization of user innovations: the development of the rodeo kayak industry,” R&D Management, 36, 3 (June): 273-294. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00430.x

Iansiti, M. “Technology integration: making critical choices in a dynamic world, innovative organizations”, San Diego: Academic Press, 1994.

Библиография

Jin, Z. (1999) “Organizational innovation and virtual institutes”, Journal of Knowledge Management, Vol. 3, No. 1, 1999, p75-83.

Johannessen, J.A., Olsen, B. and Olaisen, J. (1999) “Aspects of innovation theory based on knowledge-management”, International Journal of Information Management, Vol. 19, No. 2, April, 1999, p121-139.

Jones, O. and Craven, M. (2000) “The Routine(s) of Knowledge Creation j in Mature Companies”, KMAC 2000, Aston University, 16-18th July, 2000.

Kaplan, S.M. (1999) “Discontinuous innovation and the growth paradox, Strategy and Leadership, March-April, 1999, p16-21.

Kessler, E.H. and Chakrabarti, A.K. (1997) “Methods for improving the quality of new product innovations, Proceedings of the Portland International Conference on Management and Technology, PICMET 1997, p405-408.

Kia, A. (1996) “Knowledge Innovation Assessment Software”, Entovation, USA.

Lo Storto, C., Corti, E. and Zollo, G. (1999) “The Use of Fuzzy Cognitive Maps to Study the Innovation Processes in Small Firms, Proceedings of the Portland International Conference on Management & Technology, PICMET, 1999.

Kirschbaum, Robert (2005) “Open Innovation in Practice,” Research-Technology Management, 48, 4 (July-August): 24-28.

Laursen, Keld., and Ammon J. Salter (2006) “Open for Innovation: The role of openness in explaining innovation performance among UK manufacturing firms.” Strategic Management Journal, 27, 2 (February): 131-150. DOI: 10.1002/smj.507

Leonard, D. (1995) “Wellsprings of knowledge: Building & sustaining the sources of innovation”, Havard Business Press, 1995.

Lettl, Christopher, Cornelius Herstatt and Hans Georg Gemuenden (2006) “Users’ contributions to radical innovation: evidence from four cases in the field of medical equipment technology,” R&D Management, 36, 3 (June): 251-272. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00431.x

Lewis, David W. (2006) “Disruptive innovation and the academic library”. Available at: Lewis, David W. The innovator’s dilemma: disruptive change and academic libraries, Library Administration and Management. 2004 April 18(2):68-74.

Библиография

Lichtenthaler, Ulrich and Holger Ernst (2007) “External technology commercialization in large firms: results of a quantitative benchmarking study,” Magazine Articles.

Malhotra, Yogesh (2001) “Knowledge Management and Business Model Innovation, Idea Group Publishing, Hershey, 2001.

Marshall, T., Pretorius, L., Langenhoven, H.P. and Strauss, A. (1999) “Towards an Innovative Management Information System to Assist in the Strategic Management of Consulting Engineering Firms in a Transitional South African Environment”, Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, PICMET, 1999.

Martinsons, M.G. (1998) “Hong Kong government policy and information technology innovation: the invisible hand, the helping hand, and the hand-over to China, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 45, No. 4, November, 1998, p366-380.

Maula, Markku, Thomas Keil and Jukka-Pekka Salmenkaita (2006) “Open innovation in systemic innovation contexts,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 241-257.

McElroy, M.W. (2000) “Using Knowledge Management to sustain innovation, Knowledge Management Review, Vol. 3, Issue 4, September-October, 2000, p34-37.

Meyers, D.L. and Hood, J. (1994) “Harmonizing control and accountability with empowerment and innovation, International Journal of Government Auditing, Vol. 21, Issue 1, January 1994.

Motro, A., D’Atri, A., Gafni, E. (2006) “How Deep Should It Be? On the Optimality of Hierarchical Architectures”, in Next generation Information Technologies and Systems, Proceedings of NGITS 06, Shefayim, Israel, July 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4032, pp. 260-273. ISSN 0302-9743, ISBN: 978-3-540-35472-7. Springer.

Nault, B.R., Wolfe, R.A. and Dexter, A.S. (1997) “Support strategies to foster adoption of organizational innovations, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 44, No. 4, November, 1997, p378-389.

Nayak, A. (1999) “User centered approach for the design of knowledge discovery systems used in technology innovation management, Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, PICMET, 1999.

Библиография

Nochur, K.S. (1999) “Managing Knowledge for Technological Innovation, Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, PICMET, 1999.

O’Connor, Gina Colarelli (2006) “Open, Radical Innovation: Toward an Integrated Model in Large Established Firms,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 62-81.

Perez-Bustamante, G. (1999) “Knowledge Management in agile innovation organisations, Journal of Knowledge Management, Vol. 3, No. 1, 1999, p6-17.

Perkmann, Markus and Kathryn Walsh (2007) “University–industry relationships and open innovation: Towards a research agenda,” International Journal of Management Reviews, 9, 4, (December), 259-280. DOI: 10.1111/j.1468-2370.2007.00225.x

Peters, L.S. (1999) “Inter-firm knowledge management and technology development in Radical Innovation, Technology and Innovation Management, PCIMET, 1999, p179-185.

Piller, Frank T. and Dominik Walcher (2006) “Toolkits for idea competitions: a novel method to integrate users in new product development,” R&D Management, 36, 3 (June): 307-318. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00432.x

Piquito, N.P., Pretorius, L. and Strauss, A. (1999) “Financial product innovation: a strategically competitive system engineering approach to financial engineering, Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, 1999, Vol. 1, p395.

Prügl, Reinhard and Martin Schreier (2006) “Learning from leading-edge customers at The Sims: opening up the innovation process using toolkits,” R&D Management, 36, 3 (June): 237-250. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00433.x

Ram, S. (1990) “Screening financial innovations: An expert system approach”, IEEE Expert, August, 1990, p20-28, research libraries. San Diego: Academic Press, 1997.

Simard, Caroline and Joel West (2006) “Knowledge networks and the geographic locus of innovation,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 220-240.

Библиография

Simcoe, Tim (2006) “Open Standards and Intellectual Property Rights,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 161-183.

Sullivan, P.H. (1998) “Profiting for Intellectual Capital: Extracting Value from Innovation”, John Wiley, 1998.

Thompsen, J., Ibarra, R. and Center, J. (1997) “Extending critical knowledge areas: learn, innovate, propagate”, Proceedings of the Portland International Conference on Management and Technology, PICMET 97, p737.

Utterback, James M. “Mastering the dynamics of innovation: how companies can seize”, R&D Management, 36, 3 (June): 347-363. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00434.x

Van der Meer, Han (2007) “Open Innovation – The Dutch Treat: Challenges in Thinking in Business Models,” Creativity and Innovation Management, 16, 2 (June), 192-202. DOI: 10.1111/j.1467-8691.2007.00433.x

Vanhaverbeke, Wim (2006) “The Inter-organizational Context of Open Innovation,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 205-219.

Vanhaverbeke, Wim and Myriam Cloodt (2006) “Open Innovation in Value Networks,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 258-281.

Von Hippel, Eric and Georg von Krogh (2006) “Free revealing and the private-collective model for innovation incentives”, R&D Management, 36, 3 (June): 295-306. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00435.x

Walls, J.G. and Hofmann, H.F. (1997) “Customer specification management: A case study in knowledge management process innovation”, Proceedings of the 1997 Annual Meeting of the Decision Sciences Institute, Vol. 2, 1997, Decision Science Institute, Atlanta, GA, USA, p772-775.

Ward, A. (1996) “Measuring the product innovation process”, Engineering Management Journal, October, 1996, p242-246.

West, Joel (2006) “Does Appropriability Enable or Retard Open Innovation?” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 109-133.

Библиография

West, Joel and Karim Lakhani (2008) “Getting Clear About the Role of Communities in Open Innovation,” Industry and Innovation, 15, 3 (May).

West, Joel and Scott Gallagher (2006) “Challenges of open innovation: the paradox of firm investment in open-source software,” R&D Management, 36, 3 (June): 319-331. DOI: 10.1111/j.1467-9310.2006.00436.x

West, Joel and Scott Gallagher (2006) “Patterns of Open Innovation in Open Source Software,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 82-106.

West, Joel, Wim Vanhaverbeke and Henry Chesbrough (2006) “Open Innovation: A Research Agenda,” in Henry Chesbrough, Wim Vanhaverbeke, and Joel West, eds., Open Innovation: Researching a New Paradigm. Oxford: Oxford University Press, pp. 285-307.

Yamasaki, H. and Baba, J. (1996) “New wave of managing innovation”, Proceedings of the International Conference of Engineering and Technology Management, IEMC 96, p761-765.

Yan, G. and Paradi, J.C. (1999) “Success criteria for financial institutions in electronic commerce”, Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, 1999.

УЧЕБНА ПРОГРАМА

по СРЕДСТВА ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНОВАЦИИ НА БАЗАТА НА ИКТ
(за работещи в малки и средни предприятия)

А. Теоретично обучение

Номер	Тема	Часове за подготовка
1.	Внедряване на ИКТ, икономически резултати и интернационализация на МСП. Пречки и стимули в използването на ИКТ.	2
2.	Автоматизация. Иновации и трансфер на технологии.	1
3.	Данъчна политика и финансови стимули. Променяща се среда: възможности и предизвикателства.	2
4.	От функционална ориентация към технологична ориентация. Иновационни инструменти и заетост. Иновационни процеси и измерване на успеха.	2
5.	Стратегическо управление на иновациите. Създаване организация на знанието.	1
6.	Организационна структура и човешки ресурси на фирми, които използват индустриална автоматизация.	1
7.	Резултати от образованието, качество на образованието и обучение през целия живот.	2
8.	Научни кариери, изследователска и развойна дейност и работни места във високите технологии.	2
9.	Подпомагане развитието на иновативни МСП.	1
10.	ИКТ обучение в МСП.	1

Б. Упражнения

Номер	Тема	Часове за изпълнение
1.	Внедряване на ИКТ, икономически резултати и интернационализация на МСП. Пречки и стимули в използването на ИКТ.	2
2.	Автоматизация. Иновации и трансфер на технологии.	2
3.	Стратегическо управление на иновациите. Създаване организация на знанието.	2

ВЪВЕДЕНИЕ

Развитието на индустриалната автоматизация е свързано с разработването на автоматизирани системи за управление на различни технологични процеси и машини. За получаване на информация за състоянието на управляваните обекти служат сензорите. Поради това те са елементи от системите за управление, преобразуващи контролираната величина (температура, налягане, влажност, поток и др.) в сигнал, удобен за измерване, съхраняване и обработка.

Предназначението на книгата “Сензори в индустриалната автоматизация” е да предостави базови знания на работещи в малки и средни предприятия в областта на използваните за изграждане на системите за автоматизация сензори. Материалът в книгата е разпределен в десет глави.

В първа глава е разгледана класификацията на сензорите и изискванията към тях. Представени са основните принципи на функционирането им. Обект на разглеждане във втора глава са температурните сензори. Описани са термоелектрическите и терморезистивните преобразуватели. Разгледани са термисторите, термодиодите, термотранзисторите и интегралните температурни сензори. В трета глава са описани сензори за сила и механични напрежения. Представени са тензорезистивните, пиезоелектрическите и магнитоеластичните преобразуватели. Четвърта глава разглежда сензорите за налягане. Представени са различни типове сензори за налягане – взаимно-индуктивни, капацитивни, пиезоелектрически, тензорезистивни и оптични. Сензорите за положение, преместване, скорост и ускорение са разгледани в пета глава. Описани са контактните, потенциометрични, индуктивни, взаимноиндуктивни, капацитивни, оптични, индукционни и пиезоелектрически преобразуватели. Представена е конструкцията на сензорите. В шеста глава са разгледани сензорите за поток. Описани са ротационните, на основата на измерване на налягане, ултразвуковите, магнито-индуктивните, калориметричните и вихровите сензори за поток. В седма глава са представени сензорите за влажност. Дадени са основните определения за влажност и класификация на сензорите. Разгледани са различните типове сензори в съответствие с класификацията. Сензорите за регистриране на обекти са представени в осма глава. Разгледани са контактните сензори, сензори за близост и оптични сензори. В девета глава са представени газовите сензори. Направена е класификация и са разгледани различните типове газовите сензори като основно внимание е отделено на металоокисните. В десета глава са разгледани интерфейсите, които се използват в сензорите. Представени са основните цифрови интерфейси за жична и безжична

комуникация. За проверка на нивото на усвояване на материала от обучаваните са представени контролни въпроси по отделните глави.

Книгата може да се използва като учебник в обучението по програми за повишаване на квалификацията и преквалификация на работещи в малки и средни предприятия. За усвояване на материала, обучаваните в тази област трябва да имат базови знания по математика и физика. Тя може да бъде използвана и от студенти и специалисти при обучение в области, свързани с приложението на сензорите в индустриалните системи за управление.

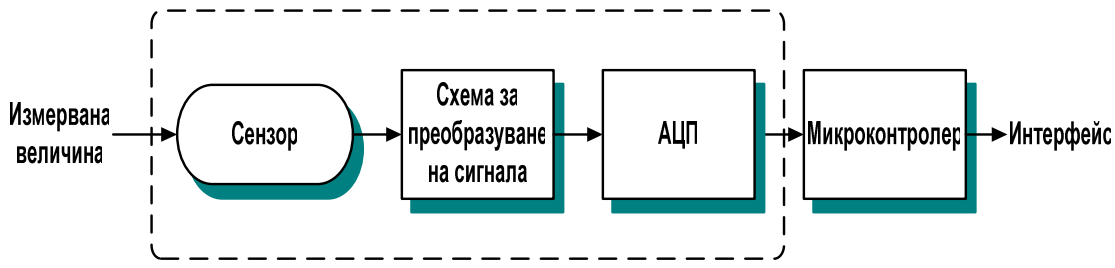
КЛАСИФИКАЦИЯ НА СЕНЗОРИТЕ

1.1. Сензори

Прогресът в техниката на обработка на информацията и бързото развитие на микропроцесорите и компютърните технологии определят и интензивността в развитието на сензорите. Компютърните технологии са в основата на съвременните измервателни и управляващи системи. Тъй като възможностите на тези системи се увеличават, ролята на сензорите, явяващи се първично звено във възприемането на информацията от обекта на измерване съществено нараства. Сензорите се превръщат във важен фактор на автоматизацията и робототехниката и придобиват все по-голямо значение като конструктивни елементи на системите.

Най-общо сензорите представляват устройства, които преобразуват физическите или химични величини в удобни за използване електрически сигнали. Дефиницията, която се дава от International Electrotechnical Committee (IEC) за сензор е [1]: “Сензорът е първична част от измервателната верига, която преобразува входната променлива в подходящ за измерване сигнал”.

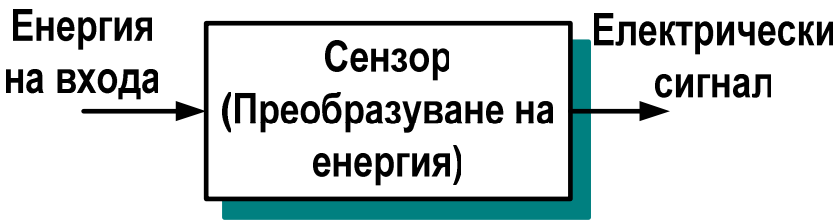
Сензорът е включен в сензорната система и той е първият елемент, служещ за въвеждане на измерваната информация. Обобщената блокова схема на сензорната система е представена на фиг.1.1.



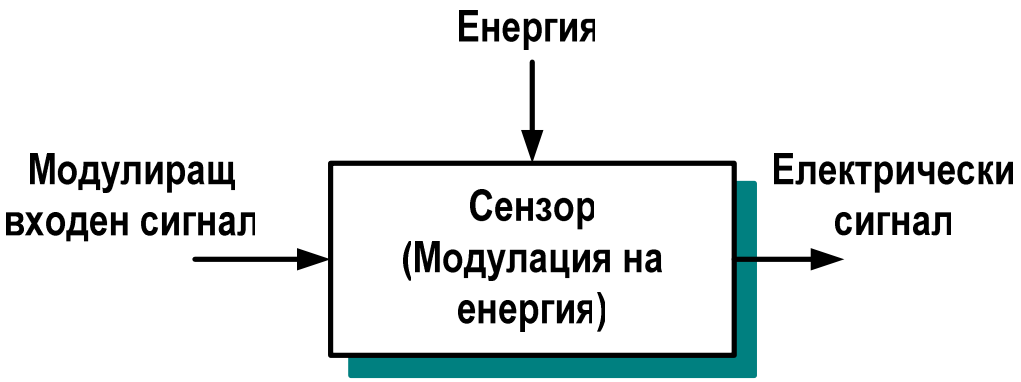
Фиг.1.1. Обобщена блокова схема на сензорна система

Обикновено сигналът, постъпващ от сензора, е малък по амплитуда като е смесен със смущаващи сигнали и шумове. Освен това може да възникне необходимост от линеаризирането му. Формирането на сигнала с оптимални характеристики за следваща обработка се осъществява с помощта на схема за нормализиране на сигналите, която може да включва усилвател, филтър и други аналогови схеми. В някои случаи част от тези схеми са в непосредствена близост до сензорния елемент. Формираният аналогов синал след това се преобразува в цифров и се предава към микроконтролера.

Характеристиките на сензорната система до голяма степен се определят от сензора. Той преобразува една форма на енергия в друга. Съществуват два основни типа сензори: активни и пасивни. Активният сензор непосредствено преобразува една форма на енергия в друга без да се нуждае от външен източник на енергия или възбуждане (фиг.1.2.,а)



а



б

Фиг.1.2. Активен (а) и пасивен (б) сензор

Пасивният сензор не може непосредствено да преобразува енергия, но той управлява енергията или възбуждането, които постъпват от друг източник (фиг.1.2б).

За реализация на функциите на сензора се използват различни физически ефекти и принципи на действие. Сензорът може да контактува с измерваната величина или да е безконтактен. Многообразието от използваните принципи на действие и ефекти постоянно се разширява, а действащите при това процеси се усъвършенстват.

Към сензорите се поставят определени изисквания. Те биват основни, отнасящи се до всички типове сензори и специални, отнасящи се до конкретен тип сензори. Основните изисквания, изпълнявани по различен начин в зависимост от принципа на действие и конструкцията на сензора са:

- висока чувствителност;
- линейност;
- висока точност;
- отсъствие на хистерезис;
- възпроизводимост;
- висока скорост на реакция;
- селективност;
- взаимозаменяемост;
- широк диапазон на измерване;
- широк диапазон на работните температури;
- стабилност към смущаващи въздействия (шумоустойчивост);
- лесна възможност за корекция (простота на калибровка);
- висока надеждност;
- дълъг срок на работа;
- устойчивост към стареене;
- устойчивост към въздействие на околната среда (топлина, вибрации, вода, прах и др.);
- безопасност (сензорът да не може да причини вреда);
- невисока цена;

- малки габаритни размери, малко тегло и здравина.

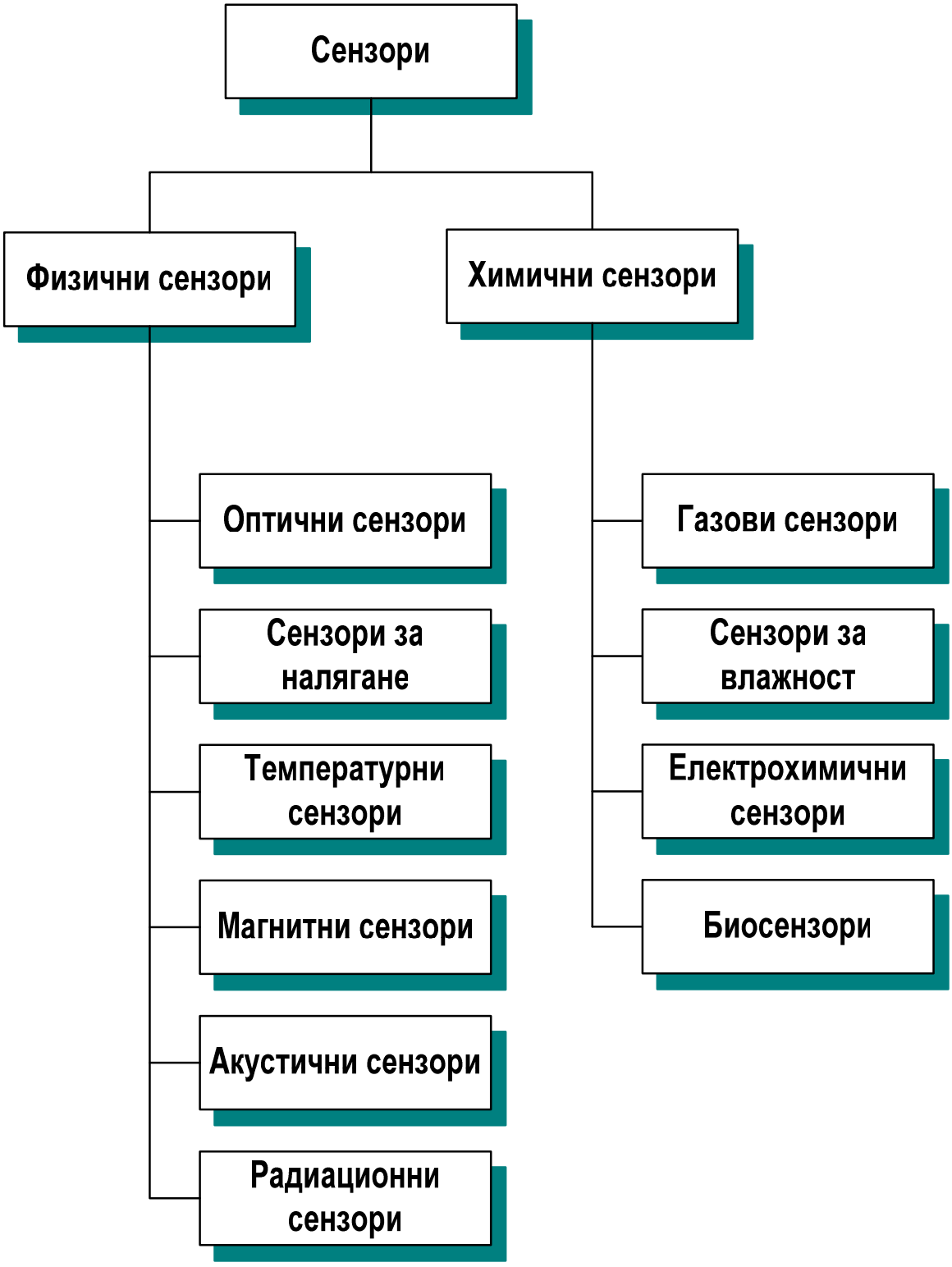
1.2. Класификационни принципи

Сензорите могат да се класифицират от гледна точка на принципите на преобразуване (физическите или химическите ефекти, на основата на които те функционират), предназначението, вида на изходните сигнали, материалите и технологията на изготвянето им. Класификацията на сензорите в зависимост от принципа на функциониране е показана на фиг.1.3. Те се разделят на физични и химични.

Физичните сензори включват сензорите, в които вследствие на проявата на физични ефекти като пиезоелектрически, магнитострикционни, йонизационни, термоелектрически, фотоелектрически, магнитоелектрически и др. измененията на измерваната величина се преобразуват в електрически сигнал.

Химичните сензори, включват сензорите, в които вследствие на химическа адсорбция, електрохимични реакции и др. изменения на измерваната величина се преобразуват в електрически сигнал.

Има сензори, които не могат да се отнесат твърдо към единия или другия тип.



Фиг.1.3. Класификацията на сензорите в зависимост от принципа на функционирането им

Използваните принципи на функциониране на сензорите и **възможните приложения** на някои от тях са показани в табл.1.1.

Таблица 1.1. Принципи на функциониране на сензорите

Тип на сензора	Принцип на функциониране	Измервана неелектрическа величина
Тензорезистор Термистор (NTC, PTC) Полупроводников сензор	Изменение на съпротивлението	Сила, маса, налягане, ускорение, разширение, ниво, температура, влажност, газ
Капацитивен сензор	Изменение на капацитета	Сила, маса, налягане, ускорение, ниво, влажност
Индуктивен сензор	Изменение на индуктивността	Сила, маса, налягане, ускорение, брой обороти, въртящ момент, магнитно поле
Сензор на Хол	Ефект на Хол	Ъгъл, брой обороти, сила, магнитно поле
Пиезоелектрически сензор Ултразвуков сензор	Пиезоелектрически ефект	Налягане, сила, ускорение, разстояние
Пироелектрички сензор	Пироелектрически ефект	Дим, огън, топлинно разпределение
Оптоелектронни сензори	Оптоелектронни ефекти	Излъчване, ъгъл, брой обороти, преместване, въртящ момент

Според предназначението си сензорите се разделят на:

- сензори за налягане и сила;
- сензори за ниво;
- сензори за скорост;
- сензори за ускорение;
- сензори за вибрации;
- сензори за магнитно поле;
- сензори за вакуум;
- сензори за преместване;
- сензори за разход;
- сензори за температура;
- сензори за радиоактивни излъчвания;
- сензори за влажност;
- сензори за газове;
- биосензори и др.

В зависимост от типа на изходния сигнал сензорите се разделят на:

- аналогови сензори – преобразуват измерваните неелектрически величини в аналогов електрически сигнал;

- цифрови сензори – преобразуват измерваните неелектрически величини в цифров изходен сигнал (пряко или косвено преобразуване);

- псевдоцифрови сензори – преобразуват измерваните величини в честота или интервал от време (пряко или косвено преобразуване);

- ключови сензори – реагират при достигане на зададена прагова стойност (гранична стойност) на измерваната величина като установяват изходния сигнал в ниско или високо ниво.

Всички материали при въздействие на външни фактори притежават съответна характерна ответна реакция. Тези от тях, които са най-много чувствителни към външни въздействия, т.е. притежават функционални свойства, се използват **в чувствителни елементи на сензори**.

От гледана точка на използваните материали, сензорите се разделят на следните групи:

- в зависимост от типа на използвания материал
  - метални;
  - керамични;

- полимерни;
- композиционни.

- от физическите свойства на материала
  - проводникови;
  - полупроводникови;
  - диелектрични;
  - магнитни.

- от кристалната структура на материала;
  - кристални;
  - поликристални;
  - аморфни.

В зависимост от технологията на изготвяне, сензорите се разделят на:
- интегрални сензори;
- тънкослойни сензори;
- дебелослойни сензори;
- керамични сензори.

1.3. Въпроси за самопроверка

1. Активният (генераторният) сензор:
   а) не може непосредствено да преобразува енергия;
   б) непосредствено преобразува една форма на енергия в друга;
   в) не се нуждае от външен източник на енергия или възбуждане;
   г) управлява енергията или възбуждането, които постъпват от друг източник.

2. Към основните изисквания към отделните сензори се отнасят:
   а) висока чувствителност;
   б) висока грешка;
   в) наличие на хистерезис;
   г) възпроизводимост;
   д) широк диапазон на измерване;
   е) тесен диапазон на работните температури;

3. Според принципа на функциониране, сензорите се разделят на:
   а) физични;
   б) ключови;
   в) химични;
   г) псевдоцифрови.

4. В зависимост от физичните свойства на материала, сензорите се разделят на:
   а) проводникови;
   б) полупроводникови;
   в) композиционни.
   г) диелектрични;
   д) кристални.

5. В зависимост от технологията на изготвяне, сензорите се разделят на:
   а) интегрални сензори;
   б) тънкослойни сензори;
   в) аморфни;
   г) дебелослойни сензори.

СЕНЗОРИ ЗА ТЕМПЕРАТУРА

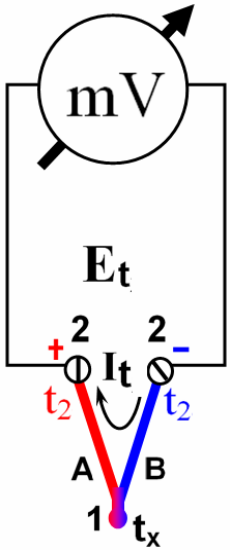
Основата на термочувствителните измервателни преобразуватели са топлинните процеси: нагряване, охлаждане, топлообмен и др. Най-голямо приложение са намерили следните типове преобразуватели на температура:

- термоелектрически преобразуватели;
- терморезистивни преобразуватели;
- термодиоди, термотранзистори и интегрални температурни сензори.

Тези преобразуватели намират приложение не само за температурни измервания, но и за измерване на редица други величини, свързани с топлинни процеси, например преместване и размери, скорост и разход на газови и течни среди, влажност, химически анализ на газове и др.

2.1. Термоелектрически преобразуватели

Към тях се отнасят термодвойките (фиг.2.1). Те се състоят от два разнородни проводника А и В, наречени термоелектроди, заварени в една обща точка – гореща точка. Прието е заварените краища да се наричат топли, а свободните – студени (неработни).



1 – гореща точка; 2 – студени краища

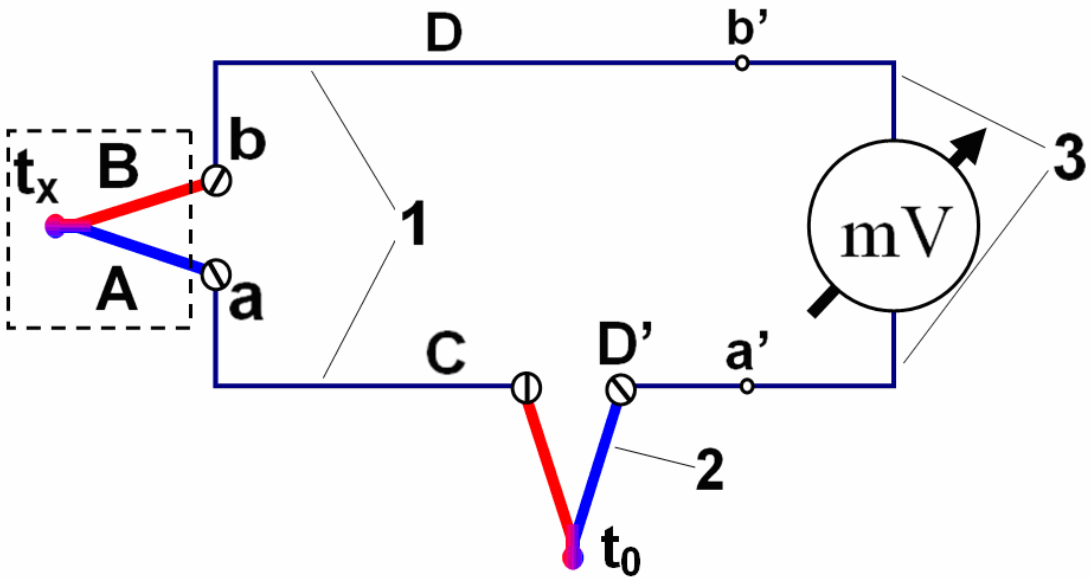
Фиг.2.1. Термодвойка

Ако горещата точка се постави при температура $t_1 = t_x$, а студените краища се намират при температура t_2 , като $t_1 > t_2$, то между двата свободни края възниква термоелектродвижещо напрежение (т.е.д.н.) E_t, което е функция на разликата от двете температури, т.е.

$$E_t = f(t_1 - t_2) \qquad (2.1)$$

Този ефект се нарича термоелектрически ефект. Като се поддържа t_2=*const*, се получава възможност за измерване на температури, т.е. $E_t = f_1(t_1)$. Най-простото принципно свързване за измерване на температура е показано на фиг.2.1.

При измерване на температури и други неелектрически величии в практиката обикновено не може да се приложи тази проста схема. Тъй като разстоянията до обекта на измерване са големи, а термоелектродите са от скъпи материали и не е икономично да бъдат дълги, то в такива случаи се използват междинно свързващи проводници – удължителни проводници (електроди) C и D (фиг.2.2)



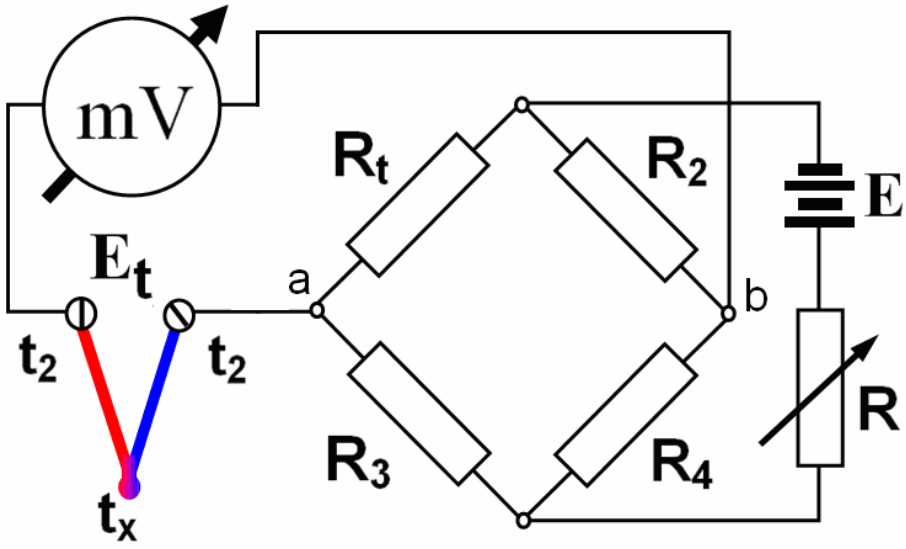
Фиг.2.2. Схема на свързване на термодвойка с удължителни проводници

За да не предизвикват тези електроди допълнителна грешка при изменението на околната температура, то те трябва да са термоидентични с електродите A и B (A с C и B с D и D'). Термоидентични се наричат тези метали, които в контакт един с друг не образуват термодвойка от 0 до 100°C.

Основната част от грешките при измерване с термодвойки се обуславя от непостоянството на температурата на студените краища. В лабораторни условия студените краища се термостатират като се поставят в топящ се лед или в термостат. В производствени условия студените краища могат да се термостатират или като се поставят достатъчно дълбоко в земята, или като се поместят в масивна кутия с добра топлоизолация.

В схемата от фиг.2.2 проводниците C и D' образуват компенсираща термодвойка. Ако нейната гореща точка се термостатира при температура t_0 , се избягва влиянието на промяната на температурата на новите студени краища a' и b'.

Голямо приложение за компенсиране на допълнителната грешка от промяната на температурата на студените краища намира схемата от фиг.2.3.



Фиг.2.3. Схема на свързване на термодвойка с компенсация на температурата на студените краища посредством мост с термочувствителен резистор

Последователно на термодвойката е свързана мостова схема. В едното й рамо е включен термочувствителен резистор R_t (най-често – термистор), поставен при еднакви условия със студените краища. Мостът е уравновесен при температура $t_2 = t_0$, при която е градуирана термодвойката. При изменение на тази температура термо-е.д.н. E_t се изменя с ΔE_{t_0} . Едновременно с това се изменя и R_t , при което равновесието на моста се нарушава. Той е оразмерен така, че между точките *a* и *b* да се получи напрежение

$$U_k = -\Delta E_{t_0} . \quad (2.2)$$

По такъв начин се получава автоматична компенсация, т.е.

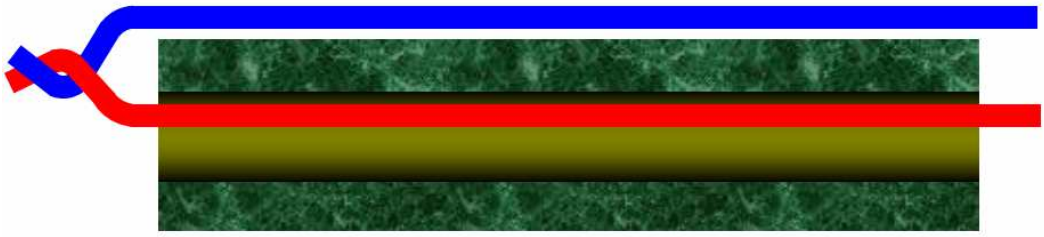
$$U = E_t \pm \Delta E_{t_0} \pm U_k = E_t \ , \quad (2.3)$$

където U е показанието на миливолтметъра.

За предпазване от химически агресивни среди, термодвойките се поставят в защитни арматури. Арматурата трябва да бъде газонепроницаема, механично здрава и с голяма топлопроводност. При нагряване материалът на арматурата не трябва да отделя газове или пари, вредни за термоелектродите. Арматурите за термодвойките от благородни метали са кварцови или керамични тръбички, а при други – тръбички от специални стомани.

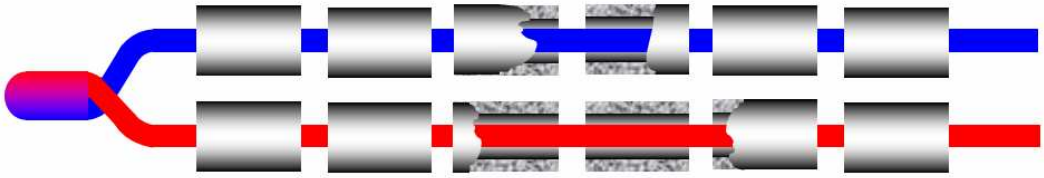
На фиг.2.4 схематично са представени термодвойки и различни начини на изолиране на проводниците им.

а – с усукани и заварени краища и неизолирани проводници



б – с проводници в пластмасова тръбичка

в – с изолирани проводници



г – с долепени и заварени краища и керамични изолатори

Фиг.2.4. Различни начини на изолация на проводниците на термодвойките

Термодвойките имат нелинейна функция на преобразуване, която в общия случай има следния вид

$$E_t = At + Bt^2 + Ct^3. \qquad (2.4)$$

Тук $t = t_1 - t_2$ е температурната разлика между топлите и студените краища; A, B и C са константи, които зависят от материала на термоелектродите.

В практиката за промишлените термодвойки се дават таблични данни за т.е.д.н. E_t през 1°C при t_2=t_0 = 0°C.

Недостатък на термодвойките при измерване на променливи температури е голямата им топлинна инертност – от десетки секунди до 10 минути.

В табл.2.1 е приведена информация за някои от най-използваните типове термодвойки.

Таблица 2.1. Информация за най-често използваните типове термодвойки

Тип	Материал на термоелектродите	Работен диапазон, °C
T	мед – константан (сплав мед-никел)	-200...370°C
J	желязо – константан	0...760°C
E	хромел (сплав никел-хром) – константан	-200...900°C
K	хромел – алумел (сплав никел-манган-алуминий-силиций)	-200...1260°C
R и S	платинородий (сплав платина и родий) – платина	0...1480°C
B	платинородий (30%) – плтинородий (6%)	870...1700°C

Термодвойките *тип T* са устойчиви към корозия, затова могат да се използват за работа във влажна атмосфера. Приложими са за измерване на отрицателни температури. При работа в агресивна въздушна среда тяхната горна граница на работния диапазон е ограничен до 370°C, което е свързано с окисляване на медния електрод. В други условия на околната среда тези термодвойки могат да се използват и при по-високи температури.

Термодвойките *тип J* са подходящи за работа във вакуум, а също в различни среди – инертни, окислителни и редукционни. Работният им температурен диапазон е в интервала 0...760°C. При температура 540°C започва бърз процес на окисляване на железните термоелементи. Ако е необходимо термодвойките да работят дълго време в условията на високи температури, за тяхното изготвяне е нужно да се използват проводници с голямо напречно сечение. Този тип термодвойки не се препоръчва да се използват под 0°C поради тяхната крехкост и появата на ръжда. В този температурен диапазон по-добре работят термодвойките тип T.

Термодвойките *тип E* се препоръчва да се използват в температурния диапазон -200...900°C в окислителни или инертни атмосфери. Не трябва да се използват в редукционна атмосфера или във вакуум. Термодвойките тип E могат да се използват за измерване на отрицателни температури тъй като не се поддават на корозия при работа в атмосфера с повишено съдържание на влага. Те формират най-голямо сред известните типове термодвойки т.е.д.н., затова се явяват най-често използваните.

Термодвойките *тип K* се използват за работа в окислителна и напълно инертна среда за измерване на температури в диапазона -200...1260°C. Благодарение на устойчивостта си към окисляване, често се използват при температури над 540°C. Но термодвойките от този тип не трябва да се използват в редукционни и серни атмосфери, а също – във вакуум.

Термодвойките *тип R и S* са предназначени за непрекъсната работа в окислителна и инертна среда в температурния диапазон 0…1480°C.

Термодвойките *тип B* са подходящи за непрекъсната работа в окислителна и инертна атмосфера в температурния диапазон 870...1700°C. Могат да се използват за кратковременни измервания във вакуум. Такива термодвойки не се препоръчва да се използват в редукционна среда, съдържаща пари на метали и неметали. Не трябва да се поставят в метални защитни корпуси.

2.2. Терморезистивни преобразуватели

Терморезистивните преобразуватели са термозависими проводници или полупроводници. При измерване през тях протича ток като те се намират в топлообмен с околната среда. Съпротивлението на терморезистора зависи от температурата и се определя от топлинното му равновесие със средата. Топлообменът може да бъде двустранен – от средата към резистора и обратно. Така че температурата и съпротивлението на терморезистора при топлинно равновесие зависят не само от тока и околната температура, но и от редица други фактори, като геометричните размери и формата на преобразувателя, основата и арматурата, физическите свойства, скоростта и температурата на околния флуид и др. Тези фактори определят възможността терморезистивните преобразуватели да се използват за измерване на различни величини.

Основните изисквания към материалите за терморезисторите са:

- да имат голям температурен коефициент на съпротивление (ТКС) - α;
- да са температурно устойчиви;
- да имат голямо специфично електрическо съпротивление. Последното е важно за получаване на малогабаритни преобразуватели.

2.2.1. Метални терморезистори

Проводниковите терморезистори са предимно от чисти метали, понеже сплавите имат по-нисък ТКС. Освен това температурната зависимост на съпротивлението при чистите метали е добре известна и уредите с тях могат да работят със стандартна градуировка. Практическо приложение имат металите мед, платина и никел.

Медни терморезистори. За терморезистори се използва електролитна мед. Тя допуска нагряване до 180°C. При по-високи температури започва да се окислява. Съпротивлението ѝ зависи линейно от температурата от 20 до 180°C в съответствие с уравнението

$$R_t = R_0(1+\alpha t), \qquad (2.5)$$

където R_0 е съпротивлението при начална температура 0°C (273K), а α – ТКС (α = 4.3x10^{-3}, 1/°C от 0 до 100°C).

Недостатък на медта е малкото специфично съпротивление – за електролитна мед ρ =1.75x10^{-8} Ω m.

Платинени терморезистори. Платината е химически устойчива и има добра пластичност. Позволява да се изтеглят много тънки проводници – до 1.25μm. Тя допуска нагряване до 1475°C без опасност от окисляване и разт-

пяне. По тези показатели в много случаи тя е незаменима. Неин недостатък е нелинейната зависимост на съпротивлението ѝ от температурата. Тази зависимост за интервала от 0 до 660°C се определя с израза

$$R_t = R_0\left(1 + At + Bt^2\right), \qquad (2.6)$$

а за интервала от -180 до 0°C – с израза

$$R_t = R_0\left[1 + At + Bt^2 + C(t-100)^3\right], \qquad (2.7)$$

където R_0 е съпротивлението при 0°C, а A, B и C са константи.

За температури, по-високи от 660°C и по-ниски от -180°C, зависимостта $R_t = f(t)$ се задава в таблици.

Никелови терморезистори. Никелът при добра изолация от въздействието на средата може да се използува като терморезистор до около 280°C, тъй като при по-висока температура зависимостта $R_t = f(t)$ е неоднозначна. В интервала от 0 до 100°C тази зависимост е линейна ($\alpha \approx 6\text{x}10^{-3}$ 1/°C) и се изразява с (2.5). Електрическите свойства на никела зависят от примесите и термичната обработка. Основните предимства на този материал е голямото специфично електрическо съпротивление – ρ = (7.5 ... 8.5) x 10^{-8} Ωm и големият ТКС. Това позволява да се реализират терморезистори с малки размери.

2.2.2. Термистори

Термисторите са полупроводникови резистивни преобразуватели с голям ТКС в широк температурен диапазон. Практически се изпълняват в точкова, плоска или цилиндрична форма. При всички случаи се поставят метални изводи (електроди).

ТКС α за всеки полупроводников материал представлява отношение на скоростта на изменение на съпротивлението по отношение на температурата към съпротивлението при зададена температура. Математически това се изразява като

$$\alpha = \frac{1}{R}\frac{dR}{dT}. \qquad (2.8)$$

В зависимост от знака на ТКС, се различават два типа термистори: с отрицателен ТКС, чието съпротивление намалява с увеличаване на температурата и с положителен ТКС, чието съпротивление се увеличава с увеличаването на температурата. Термисторите от двата типа се изготвят от полупроводникови материали като диапазонът на изменение на ТКС е от -6,5 до +70%/°C.

Термисторите с отрицателен ТКС (*NTC-термисторите*) се изготвят от смес на окиси на такива метали като Mn, Ni, Co, Cu и Fe.

Зависимостта на съпротивлението от температурата е нелинейна и може да се представи с израза

$$R_T = A\exp(B/T)\ , \qquad (2.9)$$

където T е абсолютната температура (в К), а A и B са константи като $A=R_\infty$ е равна на съпротивлението на термистора при безкрайно висока температура ($1/T=0$), а B е така наречената константа на материала с размерност К.

Стойностите на константата B са обикновено в интервала 3000...5000К. Константата B може да се представи като

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}\ , \qquad (2.10)$$

където R_1 и R_2 е съпротивлението на термистора при темепратури съответно T_1 и T_2 .

Термисторите имат отрицателен температурен коефициент

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}, \qquad (2.11)$$

който силно зависи от температурата и е 8 ... 10 пъти по-голям от този на металите.

Тези термистори имат и значително по-голямо специфично електрическо съпротивление. Това позволява да се произвеждат термистори с малки размери, които имат и по-малка инертност. Изменяйки състава на материала и размерите на термисторите, може да се получи съпротивление от 1 до $10^6\Omega$ при стайна температура и ТКС от -2 до -6,5%/°С. От друга страна, термисторите имат нелинейни характеристики $R_T = f(T)$, които не са напълно идентични за термистори от един и същи тип. Това затруднява взаимозаменяемостта им. Чувствителни са към влажността и за предпазване от нейното влияние се покриват с лакова изолация.

Термисторите с положителен ТКС (позисторите – PTC-термисторите) могат да се разделят на две принципно различни групи в зависимост от типа и свойствата на използвания полупроводников материал.

Към първата група се отнасят термистори от обикновен полупроводник (обикновено силиций) във форма на неголяма пластинка с два извода на противоположните страни. Използването на тези елементи е основано на

това, че легираните кристали на силиция както от *n*, така и от *p* тип имат положителен ТКС при температури от криогенните до 150°С и по-високи. При това ТКС при стайна температура е приблизително равен на 0,8%/°С.

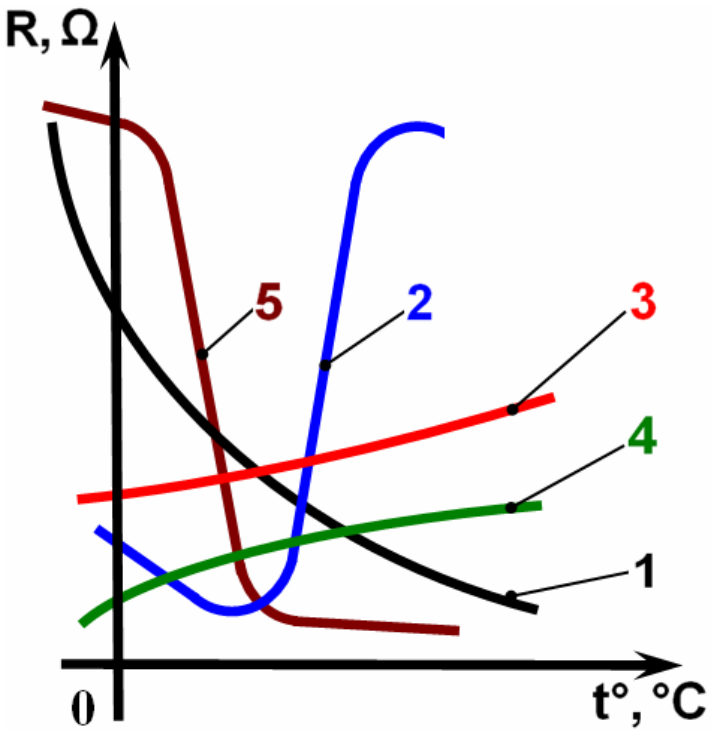
Към втората група се отнасят терморезистори с голям положителен ТКС (до 70%/°С), но в по-ограничен температурен диапазон. Като материал за такива елементи може да се използва поликристален полупроводников бариев титанат с голямо изменение на ТКС при температури, близки до температурата на фазовия преход изолатор-метал, съответстваща на температурата на точката на Кюри.

На фиг.2.5 са приведени характеристиките на изменение на съпротивлението от температурата на различни типове термистори и платинен терморезистор.

Тези термистори, които се характеризират с особено голям ТКС в областта на критичната температура (температурата на Кюри), в редица работи са получили названието *критезистори (CTR–термистори)*. В зависимост от материала, съпротивлението в критическата температурна област може както да се увеличава, така и да намалява (например на основата на $BaTiO_3$ – крива 2 и на основата на VO_2 – крива 5 от фиг.2.5).

Работният температурен диапазон на съвременните термистори е разширен до 75-1275К, което дава възможност да намират изключително широко приложение.

За извършването на прецизни измервания се използват термистори с отрицателен ТКС.

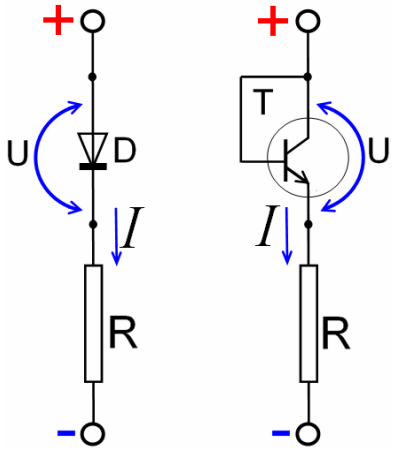


1 – термистор с отрицателен ТКС; 2 – термистор с голям положителен ТКС; 3 – силициев термистор с положителен ТКС; 4 – платинен терморезистор; 5 – термистор с отрицателен ТКС и силно изменение на съпротивлението в определен диапазон

Фиг.2.5. Характеристики на различни типове термистори и платинен терморезистор

2.3. Термодиоди, термотранзистори и интегрални температурни сензори

Те са полупроводникови елементи, използвани за измерване на температура обикновено в диапазона -80°…150°C. При тях се използва зависимостта на съпротивлението на p-n прехода от температурата. Диодите се използват в право свързване, а транзисторите – също в право свързване, но в диодна схема (фиг.2.7).



Фиг.2.7. Термодиод и термотранзистор

Чувствителността им спрямо температурата е

$$S_T \approx \frac{dU}{dT}\ ,\ \text{V/°C}\ . \qquad (2.12)$$

Тя е непостоянна, тъй като зависимостта $U = f(T)$ е нелинейна. Средната чувствителност е добра и е от порядъка на 2,5 mV/°C

Чувствителността зависи от обратния ток на p-n прехода. Диодите и транзисторите се различават силно по обратния ток, което означава, че трудно може да има взаимозаменяемост между тях.

Предимство е ниската им цена.

В значителна степен влиянието на обратните токове се премахва и се получава по-добра линейност, ако се използват два транзистора в един корпус (фиг.2.8).

През p-n преходите протичат токове I_1 и I_2. Важно е тези транзистори да имат равни обратни токове. Схемата е диференциална и изходното напрежение е $U = U_1 - U_2$. Чувствителността на тази схема е много по-малка в сравнение с тази на един транзистор, но характеристиката $U = f(T)$ е много по-линейна:

$$S_T \approx \frac{dU}{dT} = \frac{d(U_1 - U_2)}{dT} \qquad (2.13)$$

$$U_1 = \frac{k\,T}{q} \ln \frac{I_1}{I_0} \qquad (2.14)$$

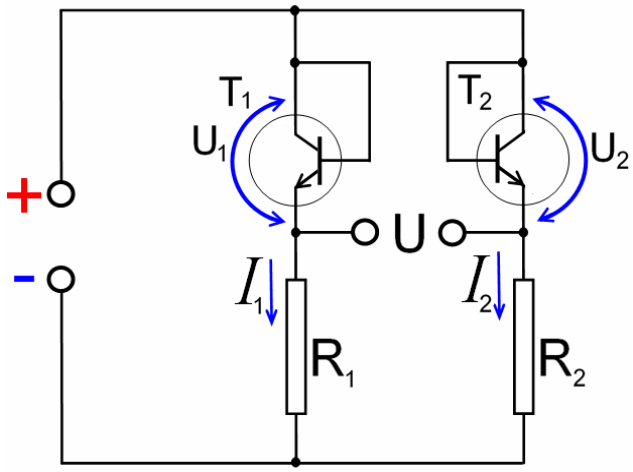
$$U_2 = \frac{k\,T}{q} \ln \frac{I_2}{I_0}\ , \qquad (2.15)$$

където I_0 са обратните токове на транзисторите, които приемаме за равни;

T – температурата в Келвини;

k – константа на Болцман;

q – заряд на електрона



Фиг.2.8. Двойка термотранзистори в един корпус

$$U = U_1 - U_2 = \frac{kT}{q}\left(\ln\frac{I_1}{I_0} - \ln\frac{I_2}{I_0}\right) = \frac{kT}{q}\left(\ln I_1 - \ln I_0 - \ln I_2 + \ln I_0\ \right) = \frac{kT}{q}\ln\frac{I_1}{I_2} \qquad (2.16)$$

$$U = 86{,}56\,T \ln n, \qquad (2.17)$$

където $n = \frac{I_1}{I_2}$.

$$S_T \approx \frac{dU}{dT} = 86{,}56 \ln n. \qquad (2.18)$$

При $n = 2$, $U \approx 60\,T\ \mu\text{V}$.

Тази двойка транзистори могат да се направят върху един кристал като интегрална схема. Тогава параметрите на интегралните транзистори ще са по-добри и характеристиката на получения преобразувател ще бъде почти

линейна. Като пример може да се посочи интегрална схема AD390, която дава линейна зависимост. Изходният сигнал е във вид на ток. Работният диапазон е -55…150°C като чувствителността е $S_T = 1 \mu A / K$.

2.4. Въпроси за самопроверка

1. Термодвойките се отнасят към групата на:
   а) металните терморезистори (RTDs);
   б) термоелектрическите преобразуватели;
   в) термисторите;
   г) термодиодите.

1. Кои от следните комбинации на метали и сплави се използват за изготвяне на термодвойки:
   а) мед – константан;
   б) хромел – алумел;
   в) платина – сребро;
   г) платинородий – платина.

2. Основната част от грешките при измерване с термодвойки се обуславя от:
   а) влиянието на магнитни полета;
   б) непостоянството на относителната влажност;
   в) непостоянството на температурата на студените краища.

3. За изготвянето на метални терморезистори (RTDs) се използват следните метали:
   а) платина;
   б) желязо;
   в) мед;
   г) цинк;
   д) никел.

4. Термисторите могат да бъдат:
   а) PTC
   б) термотранзистори
   в) CTR (критезистори)
   г) NTC

СЕНЗОРИ ЗА СИЛА И МЕХАНИЧНИ НАПРЕЖЕНИЯ

3.1. Тензорезистивни преобразуватели

Тензорезисторите са проводникови или полупроводникови преобразуватели, чието действие се основава на явлението тензоефект.

Тензоефектът се състои в промяна на активното съпротивление на преобразувателя поради изменение на геометричните му размери и специфичното му съпротивление при механичната му деформация в еластичната област. Получената по този начин промяна на съпротивлението се характеризира с относително малки стойности. Количествена характеристика на тензоефекта представлява коефициентът на относителна тензочувствителност k, който се определя с израза

$$k = \frac{\varepsilon_R}{\varepsilon_l} = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}, \qquad (3.1)$$

където $\varepsilon_R = \Delta R/R$ е относителното изменение на съпротивлението на тензорезистора, а – $\varepsilon_l = \Delta l/l$ относителното изменение на неговата дължина. За голяма част от проводниковите тензорезистори k има стойности от 1.9 до 2.5.

Тензорезисторите се разделят на
- проводникови (нишковидни);
- тънкослойни (фолиеви);
- полупроводникови.

3.1.1. Проводникови тензорезистори

На фиг.3.1 е показан видът на най-разпространените проводникови тензопреобразуватели.

За проводник се използват сплави като манганин, константан и др. сплави, които имат малък температурен коефициент на съпротивление (ТКС) и голямо специфично съпротивление.

Дължината A на полагането на проводника се нарича база, а B – широчина на преобразувателя.

Тензорезисторът се залепя с лепило върху изследвания детайл, чиято деформация ще се измерва. Направлението на дължината му трябва да е успо-

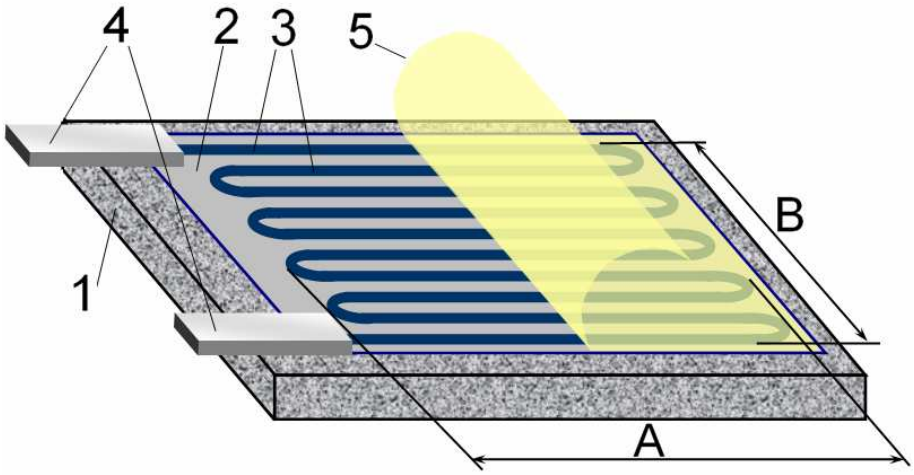
редно на направлението, в което действат механичните напрежения.

При известен коефициент k на тензорезистора и измервайки изменението на съпротивлението ΔR на тензопреобразувателя, може да се определи относителното изменение на дължината му

$$\varepsilon_l = \frac{\varepsilon_R}{k} = \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{1}{k} \quad , \tag{3.2}$$

а също механичното напрежение на опън или натиск

$$\sigma = E\varepsilon_l = \frac{E}{k} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad . \tag{3.3}$$



1 –изследван детайл; 2 – основа (тънка изолационна хартиена или пластмасова подложка, често здрава пергаментна хартия или лак – Δ =40...50μm); 3 – проводник (d=0,01...0,03mm); 4 – изводи от калайдисан меден проводник (d=0,1...0,3mm); 5 – покривен слой – кондензаторна хартия или лак (Δ =10...15μm).

Фиг.3.1. Проводников тензорезистор

При измерване на сила F тя се определя като

$$F = \sigma s, \tag{3.4}$$

където s е напречното сечение на детайла (обекта).

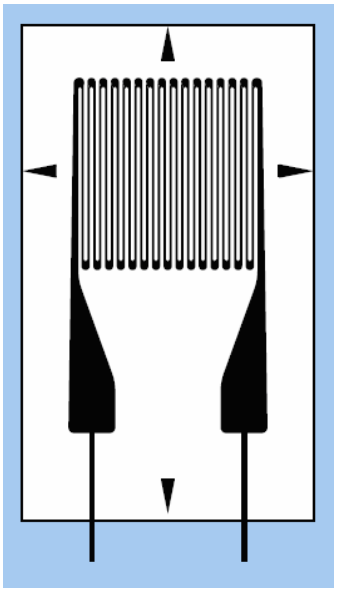
Трябва да се отбележи, че поради невъзможността от използването на даден тензорезистор върху повече от един обект се използва стойността на k, определена чрез статистическо й усредняване за дадена партида образци като градуировката се прави върху 8-10% от образците в партидата.

Недостатък на този вид тензопреобразуватели е значителната им напречна чувствителност. За проводниковите тензорезистори отношението на надлъжната и напречната чувствителност се определя от отношението *b*/*A*.

Този недостатък може да бъде отстранен в значителна степен при проводников тензорезистор с медни мостчета, разположени в напречните участъци.

3.1.2. Тънкослойни (фолиеви) тензорезистори

Голямо приложение в практиката са намерили и тънкослойните (фолиеви) тензорезистори (фиг.3.2).



Фиг.3.2. Тънкослоен (фолиев) тензорезистор

Те се изработват по фотохимичен път като металното фолио се покрива с фоточувствителен слой, върху който се фотографира формата на преобразувателя. Тяхно предимство е по-голямата ширина на проводника в напречните участъци, водещо до намаляване на съпротивлението в тези участъци и оттам – на напречната чувствителност.

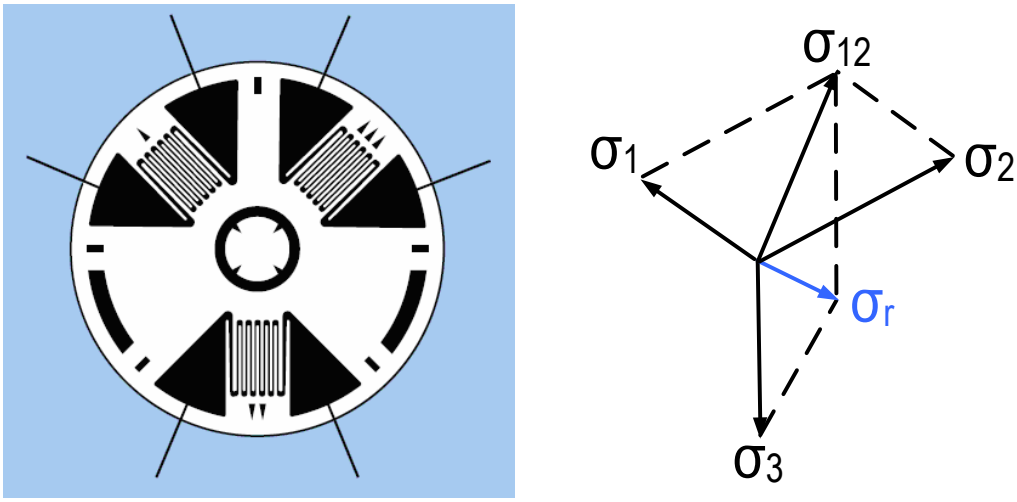
3.1.3. Полупроводникови тензорезистори

Полупроводниковите тензорезистори се изготвят аналогично на фолиевите. Тяхното приложение се разширява като се използват полупроводникови тензопреобразуватели, изготвени от германий, силиций, галиев арсенид и др. полупроводникови материали. Те имат обикновено 50-60 пъти по-голяма тензочувствителност от металните тензорезистори при много малка база (2,5mm). Техният коефициент на тензочувствителност е силно зависим от температурата, а характеристиката $\varepsilon_R = f(\varepsilon_l)$ е нелинейна.

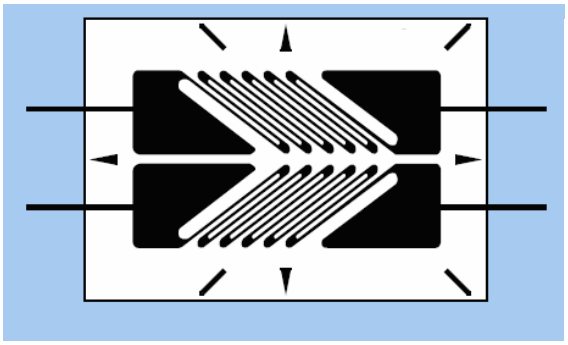
На базата на фолиевите или полупроводниковите тензорезистори се правят различни конфигурации на тензорезистори и комбинации от тях.

На фиг.3.3 е показан преобразувател с 3 тензорезистора, които са разположени на 120° един спрямо друг. Те образуват розетка, чрез която може да се определи равнодействащото резултантно механично напрежение в дадена тясна област (точка), подложена на сложни механични напрежения.

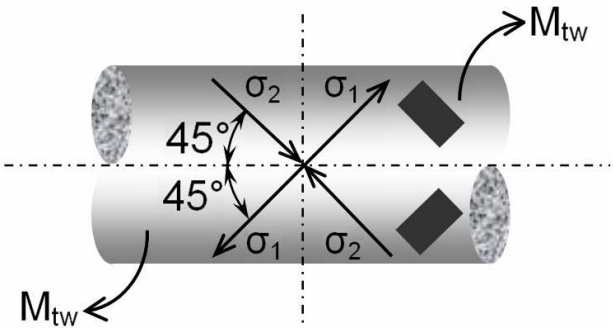
На фиг.3.4 е показан преобразувател, състоящ се от два тензорезистора, разположени под ъгъл 90°. Те се използват главно за определяне на механични напрежения във валове на въртящи се машини, в които се създава въртящ момент (фиг.3.5).



Фиг.3.3. Розетка от три тензорезистора, разположени на 120° един спрямо друг и определяне на резултатното механично напрежение σ_r



Фиг.3.4. Розетка от два тензорезистора, разположени под ъгъл 90°



Фиг.3.5. Използване на тензорезисторна розетка за определяне на механични напрежения във валове на въртящи се машини

3.2. Пиезоелектрически преобразуватели

Действието на тези преобразуватели се основава на явлението пиезоефект, който се проявява в някои диелектрични материали. Ако пластинка, изрязана от кристала на такъв материал, се натовари механично, тя се поляризира и на повърхността й възникват електрически заряди, пропорционално на приложената сила. Поляризацията и зарядите изчезват при премахване на натоварването. Това явление се нарича прав пиезоелектричен ефект.

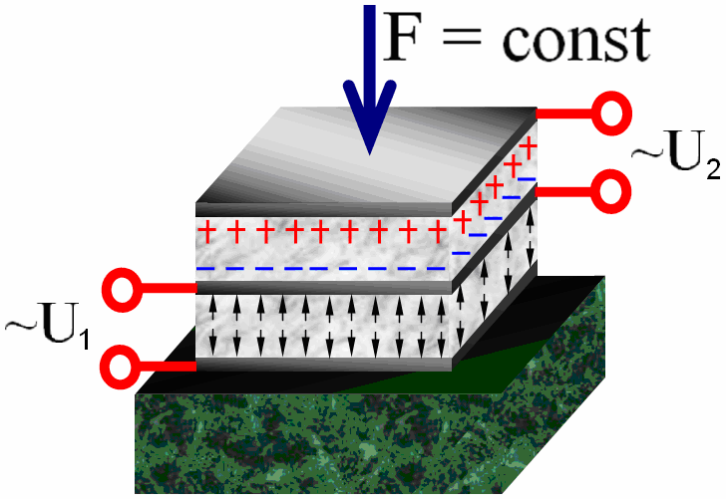
Когато такава пластинка се постави в електрическо поле, в нея възниква механично напрежение или се изменят геометричните й размери. Това явление се нарича обратен пиезоефект.

Типичен представител и най-използван пиезоелектрик е кварцът с ненарушена кристална решетка. Приложение като пиезоелектрик намира и сегнетовата сол, а от керамичните материали – изкуствено поляризираният бариев титанат, оловно-циркониевият титанат и др.

Пиезоелектрическите преобразуватели са преобразуватели от генераторен тип. При въздействието на външна сила се генерират електрически заряди.

Когато преобразувателят се използва за измерване на сила, възникналият заряд и напрежение ще се запазят същите само, ако измервателната верига има безкрайно голямо съпротивление, което е практически невъзможно.

Обикновено минималните честоти, при които работят пиезопреобразувателите, са (1 ... 0,5) Hz. За измерване на статични сили се използват така наречените пиезотрансформатори (фиг.3.6).



Фиг.3.6. Пиезотрансформатор

Два пиезопреобразувателя се поставят в стълб един върху друг. В случая към долния се прилага променливо напрежение U_1. В съответствие с обратния пиезоефект долният кристал изменя геометричните си размери в такт с честотата, т.е. пораждат се колебания и той се превръща в излъчвател. При това горният преобразувател, който е натоварен със статична сила, възприема тези колебания и в съответствие с правия пиезоефект по неговите стени се получават електрически заряди. Потенциалната разлика U_2 между изходните електроди ще бъде пропорционална на приложената сила. За тази сила се съди или по стойността на U_2 или по фазовата разлика между U_1 и U_2.

На практика най-често пиезотрансформаторите се изготвят като един пиезопреобразувател с три електрода.

3.3. Магнитоеластични преобразуватели

Магнитоеластичните преобразуватели се основават на магнитоеластичния ефект, който се състои в изменение на магнитната проницаемост на феромагнитните материали при възникване в тях на механични напрежения, предизвикани от външни сили.

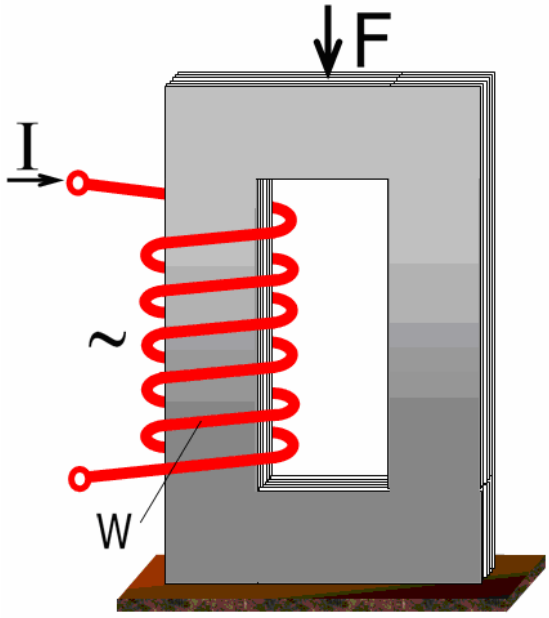
Съществува и обратният ефект, наречен магнитострикционен, който се състои в промяна на геометричните размери на феромагнитните материали при внасянето им в магнитно поле. Ако при това феромагнитното тяло увеличава размерите си, то е налице положителна магнитострикция $+\lambda$, ако

намалява – отрицателна магнитострикция $-\lambda$. Положителна магнитострикция имат желязото и повечето сплави на негова основа, отрицателна – никалът и др.

С помощта на магнитоелестичния ефект могат да се измерват сили, механични напрежения и моменти. На основата на магнитострикционния ефект се изготвят излъчватели на ултразвукови вълни.

3.3.1. Магнитоеластични преобразуватели от индуктивен тип

Магнитоеластичен преобразувател от индуктивен тип е показан на фиг.3.7.



Фиг.3.7. Магнитоеластичен преобразувател от индуктивен тип

При въздействие на сила F върху магнитопровода, в него възникват механични деформации и механични напрежения σ, което води до промяна на магнитната проницаемост μ, предизвикващо промяна на магнитното съпротивление R_μ . При промяна на R_μ се променя индуктивността L на бобината, което води до изменение на импеданса z

$$R_\mu = \frac{1}{\mu}\frac{l}{s};\quad L = \frac{W^2}{R_\mu}\ ;\ z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}\ . \qquad (3.5)$$

Тъй като $R << \omega L$, то $z \approx \omega L = \omega W^2 \mu \frac{l}{s}$, където W е броят на навивките

на бобината, l е дължината на магнитопровода, s – площта на напречното му сечение.

Следователно

$$z = f(\mu). \tag{3.6}$$

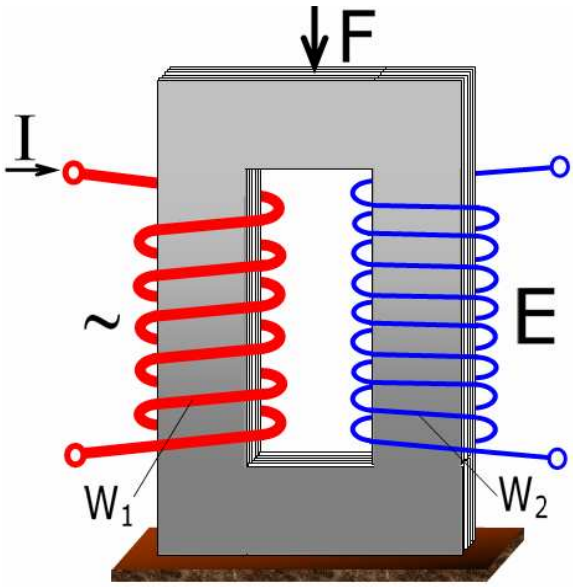
За преобразувателя от фиг.3.7 при положителна магнитострикция ще бъде изпълнено

$$z = z_н - \Delta z = \omega W^2 (\mu_н - \Delta\mu)\frac{l}{s}, \tag{3.7}$$

където $z_н$ е началният импеданс на бобината при F=0.

3.3.2. Магнитоеластични преобразуватели от взаимноиндуктивен тип

Всеки магнитоеластичен преобразувател от индуктивен (дроселен) тип може да се преобразува в такъв от взаимноиндуктивен (трансформаторен) тип при добавяне на измервателна бобина върху магнитопровода (фиг.3.8).



Фиг.3.8. Магнитоеластичен преобразувател от взаимноиндуктивен тип

При този тип преобразуватели

$$M = \frac{W_1 W_2}{R_\mu}. \tag{3.8}$$

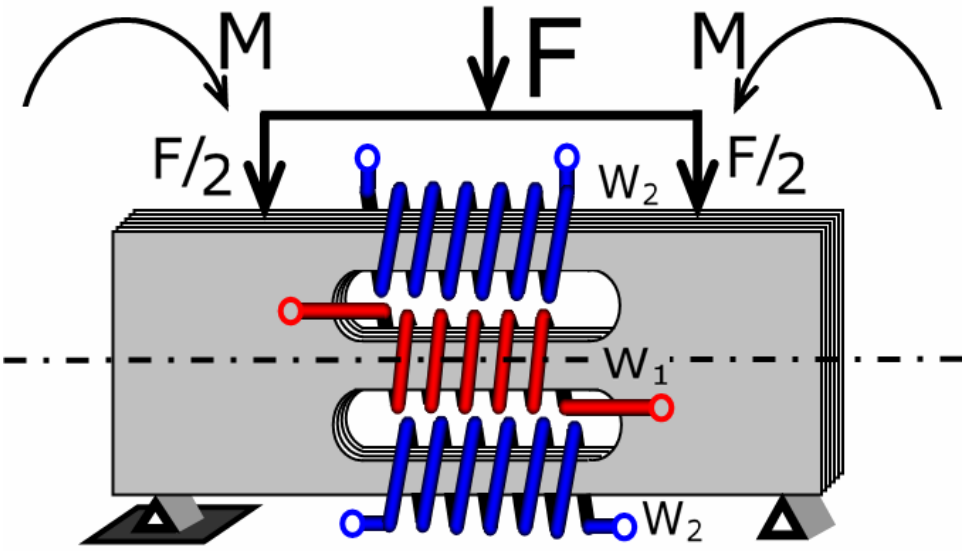
$$E = \omega W_1 W_2 I \mu \frac{s}{l} \ , \qquad (3.9)$$

където I е намагнитващият ток.

За взаимноиндуктивния магнитоеластичен преобразувател от фиг.3.8 при положителна магнитострикция ще бъде изпълнено

$$E = E_н - \Delta E = \omega M I = \omega W_1 W_2 I \left(\mu_н - \Delta\mu\right)\frac{s}{l} \ . \qquad (3.10)$$

Разглежданите преобразуватели могат да бъдат от единичен и диференциален тип. На фиг.3.9 е представен диференциален магнитоеластичен трансформаторен преобразувател с огъване на магнитопровода.



Фиг.3.9. Диференциален магнитоеластичен трансформаторен преобразувател с огъване на магнитопровода

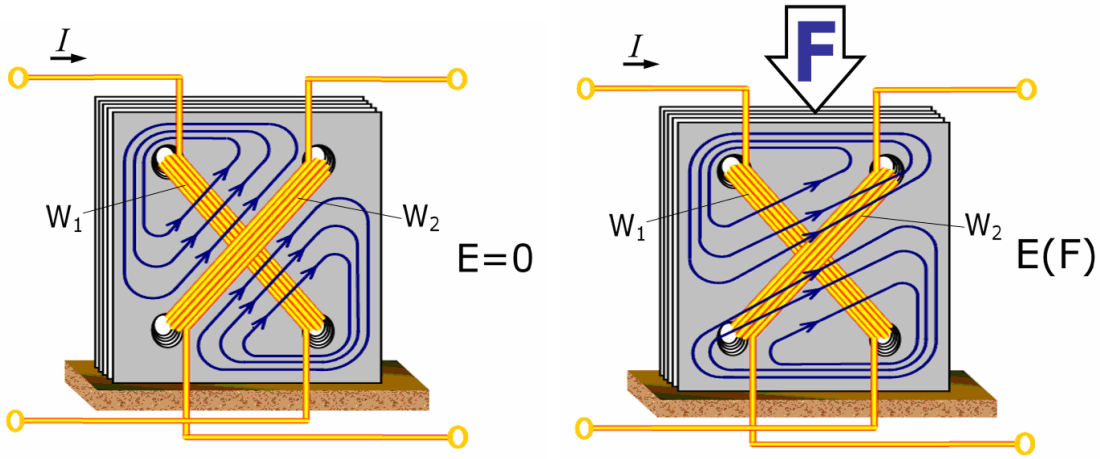
Представлява греда от феромагнитен материал, поставена върху две опори. Върху средната колона е разположена намагнитващата намотка W_1, а върху другите две са разположени две секции $W_2^{'}$ и $W_2^{''}$ на измервателната намотка.

3.3.3. Магнитоанизотропни преобразуватели

Към магнитоеластичните преобразуватели се отнасят и така наречените магнитоанизотропни преобразуватели. Основават се на магнитната анизотропия на феромагнитните материали при възникване в тях на механични напрежения, създадени от външни сили.

Магнитната анизотропия е разлика в магнитната проницаемост на материала в различните геометрични направления.

Преобразувателят е представен на фиг.3.10. Той е от трансформаторен тип.



а б

Фиг.3.10. Магнитоанизотропен преобразувател

Магнитопроводът е изготвен от листов материал. В него са пробити 4 отвора, които са разположени във върховете на квадрат. Намагнитващата W_1 и измервателната W_2 намотки са разположени под прав ъгъл една спрямо друга, което изключва индуктивна връзка помежду им.

Когато измервателният преобразувател не е натоварен (F=0 – фиг.3.12а), магнитна анизотропия в материала няма. При това магнитният поток, създаден от намагнитващата намотка, е по линии, които не пресичат измервателната намотка W_2 и в нея не се индуктира е.д.н.

При прилагане на сила F (фиг.3.12б) в магнитопровода се създават механични напрежения – в случая това са напрежения на натиск. В материала възниква магнитна анизотропия като в направлението, успоредно на приложената сила, при положителна магнитострикция, магнитната проницаемост намалява, а в перпендикулярно на силата направления – се увеличава. Това води до изкривяване на линиите на магнитното поле. Част от линиите на това поле ще обхванат измервателната намотка и в нея ще се индуктира е.д.н.

$$E = f(F)\,, \tag{3.15}$$

което ще е пропорционално на тази сила.

3.4. Въпроси за самопроверка

1. При тензоефекта поради изменение на геометричните размери и специфичното съпротивление на преобразувателя при механичната му деформация в еластичната област се променя:
   а) изходното му напрежение;
   б) активното му съпротивление;
   в) термоелектродвижещото напрежение;
   г) изходният му капацитет.

2. Тензорезисторите могат да бъдат:
   а) тънкослойни (фолиеви);
   б) медни;
   в) полупроводникови;
   г) проводникови (нишковидни);
   д) платинени.

3. Тензорезисторите могат да се използват за измерване на:
   а) сили;
   б) температура;
   в) механични напрежения;
   г) електрически напрежения.

4. Пиезоелектрическите преобразуватели се използват непосредствено за измерване на:
   а) статични сили;
   б) динамични сили;
   в) светлинен поток;
   г) температура.

5. Магнитоеластичните преобразуватели могат да бъдат:
   а) от взаимноиндуктивен тип;
   б) магнитоанизотропни;
   в) от капацитивен тип;
   г) от индуктивен тип;
   д) пиезотрансформаторни.

СЕНЗОРИ ЗА НАЛЯГАНЕ

Физичното понятие налягане се определя като ефект, който се предизвиква, когато сила бъде приложена върху определена площ. Налягането се описва със зависимостта

$$P = \frac{F}{S}, \tag{4.1}$$

където с P се означава налягането, с F – силата, а с S – площта на повърхността, върху която действа силата.

За основна единица за измерване на налягане в SI е Pa (Pascal). Големината на един Pa се определя като един N (Newton) на m^2 (квадратен метър) – $Pa = \frac{N}{m^2}$. Освен в паскали Pa, налягането в практиката често се измерва и в други единици като: psi (pounds per square inch), atm (athmosphere), bar, милиметър живачен стълб – често означаван и като torr.

Съответствието на отделните единици спрямо приетата в SI единица Pa е показано в табл.4.1.

Таблица 4.1. Съответствие между различните единици за налягане

Единица	Съответствие в Pa
1 psi	6894.757
1 bar	100000
1 atm	101325
1 torr	133.322

Като понятия при измерването на налягане могат да се въведат:

- атмосферно налягане – това е налягането на атмосферата върху земната повърхност. Налягането на атмосферата при морското равнище се приема да бъде 101.325 kPa. С увеличаване на надморската височина това налягане намалява.
- Налягане от 0 Pa се приема като абсолютен вакуум (total vacuum).

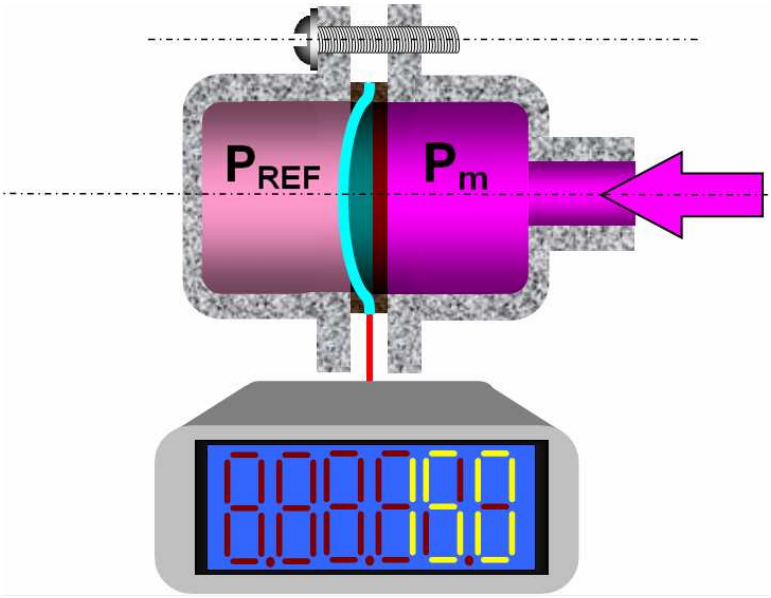
- Налягания между атмосферното и абсолютния вакуум представляват вакуум.

4.1. Видове сензори за налягане според метода на измерване

В практиката основно се измерва налягането на течности и газове. За целта са разработени множество сензори, най-общо отчитащи налягането посредством няколко основни метода.

4.1.1. С абсолютно измерване

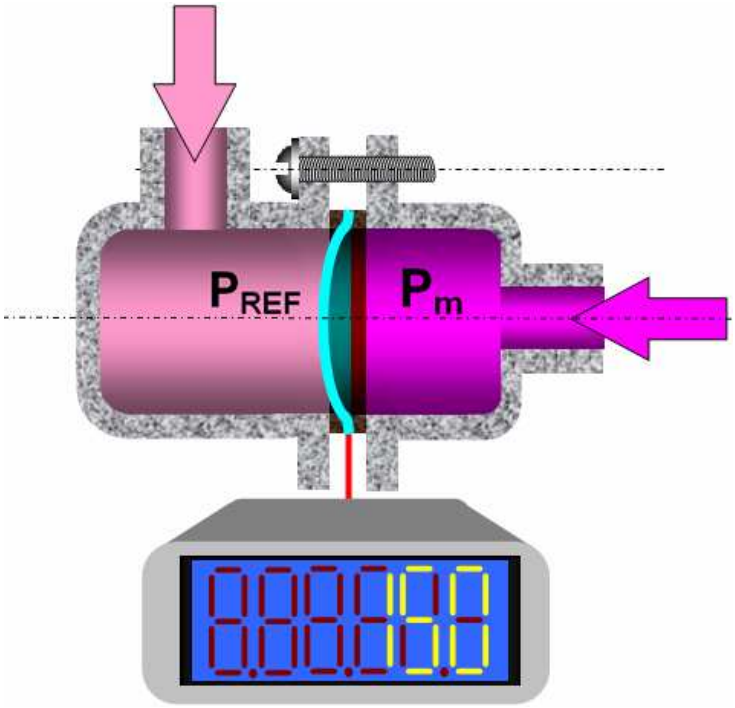
При този вид сензори (фиг. 4.1) налягането се определя спрямо вакуум.



Фиг. 4.1. Абсолютно измерване на налягането

4.1.2. Калибрирани сензори

Този тип сензори измерват налягането спрямо атмосферното (фиг.4.2).

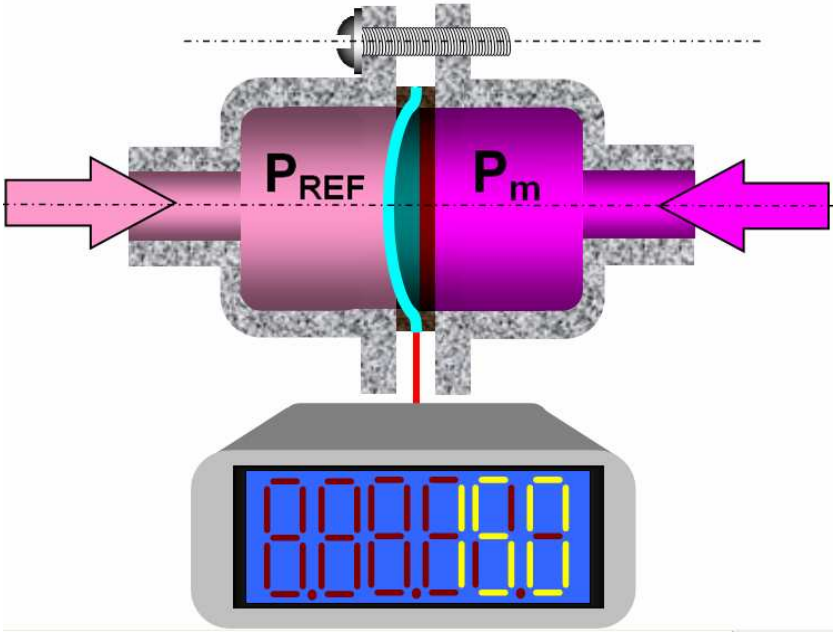


Фиг. 4.2. Калибрирано измерване на налягането

Като опорно налягане се използва атмосферното налягане. Разновидност на този тип сензори са тези, които определят налягането спрямо атмосферното налягане на морското ниво.

4.1.3. С диференциално измерване

Този тип сензори (фиг.4.3) измерват налягането спрямо дадено опорно налягане. Тези сензори имат принцип на работа, подобен на калибрираните (gauge) сензори, но опорното налягане се различава от атмосферното и при измерването със сензора се измерва разликата между приложеното и опорното налягане.



Фиг. 4.3. Диференциално измерване на налягането

4.2. Видове сензори според принципа им на действие

За отчитане на налягането са разработени множество манометри с различна механична конструкция или на базата на преместване на течност в тръбичка вследствие на налягането. За целите на автоматизацията интерес представляват сензорите за налягане с електрически сигнал на изхода, който може да се свърже към различно оборудване за мониторинг и контрол.

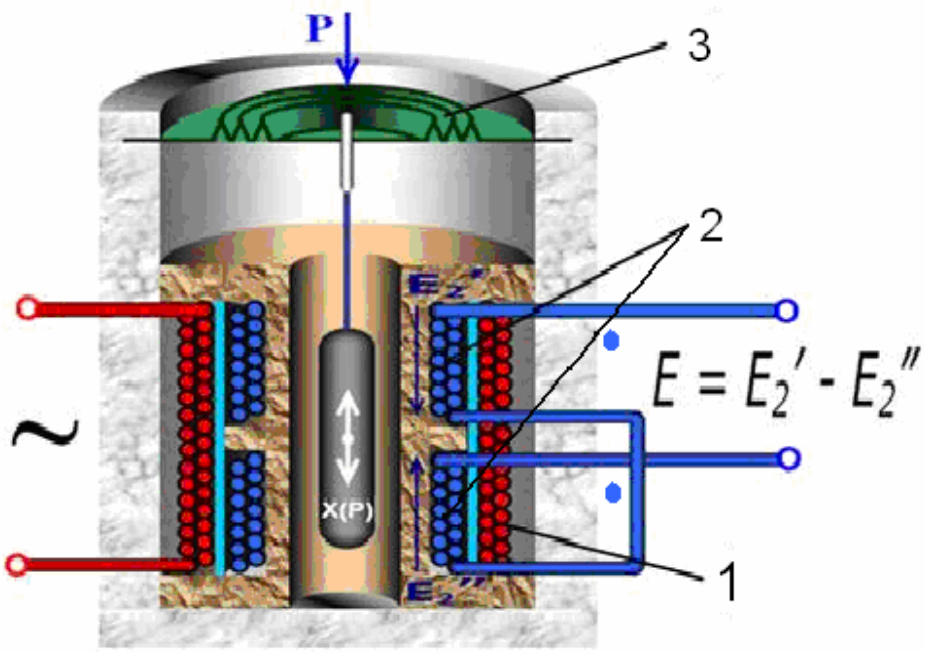
Най-често използваните сензори за налягане включват в конструкцията си диафрагма (или мембрана). Мембраната представлява пластина, която под действие на налягането се огъва и степента на огъване зависи от големината на приложеното налягане.

По-долу са разгледани, някои от най-разпространените конструкции на такива сензори, намиращи приложение в практиката.

4.2.1. Взаимноиндуктивни сензори

Конструкцията на този тип сензори включва диференциален трансформатор, чиято сърцевина е свързана с мембраната на сензора (фиг. 4.4). Под действието на налягането мембраната се огъва, вследствие на което сърцевината на диференциалния трансформатор се премества. Двете вторични намотки на трансформатора са свързани в противофаза. Първичната

намотка се захранва със синусоидално напрежение. Когато сърцевината е в магнитния център на трансформатора, генерираният на изхода сигнал има нулева стойност. При преместване на сърцевината, амплитудата на изходния сигнал се изменя в зависимост от преместването. Посоката на преместването може да се определи от фазовия ъгъл между входния и изходния сигнал.

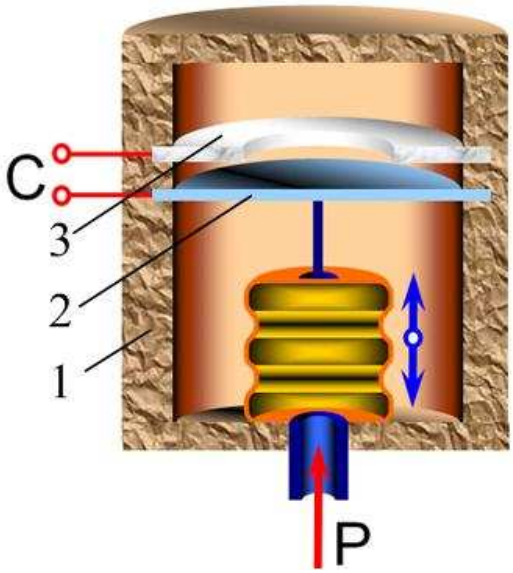


1– първична бобина; 2 – вторични бобини; 3 – мембрана

Фиг.4.4. Взаимоиндуктивен сензор за налягане

4.2.2. Капацитивни сензори

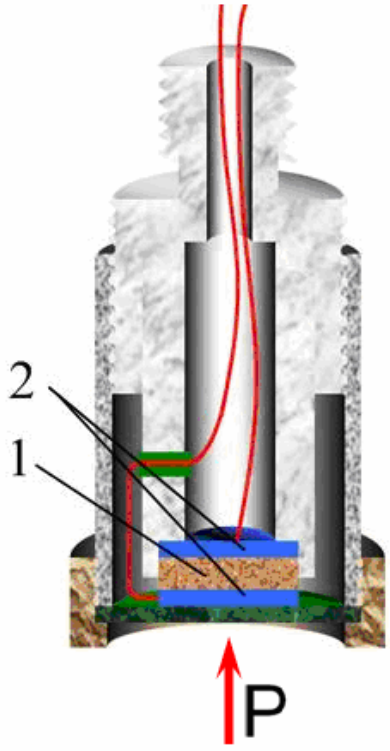
Под действие на налягането се деформира мембрана, която играе ролята на едната плоча на кондензатора (фиг.4.5). При преместването й се променя капацитета на кондензатора. Посредством подходяща електронна схема промяната на капацитета лесно може да бъде преобразувана в промяна на изходния сигнал на сензора.



1– тяло на сензора; 2 – мембрана; 3 – електроди

Фиг.4.5. Капацитивен сензор за налягане

4.2.3. Пиезоелектрически сензори



1 – пиезоелемент; 2 – електроди

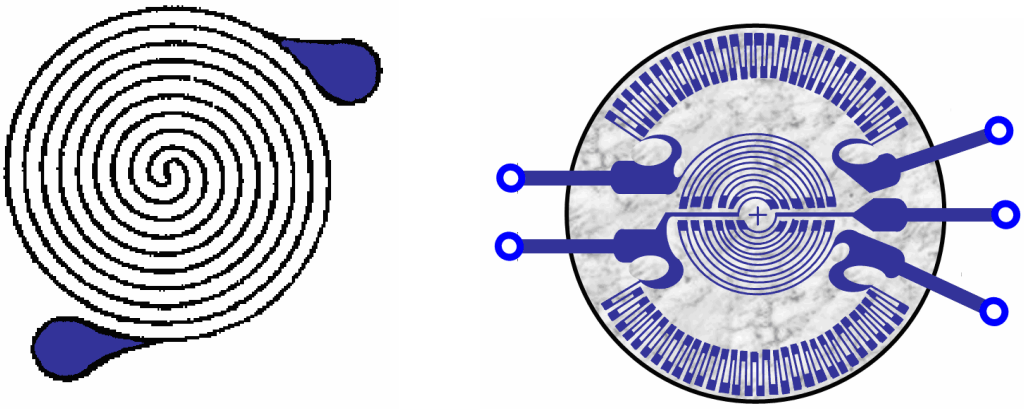
Фиг.4.6. Пиезоелектрически сензор за налягане

При този тип сензори се използва пиезоелектрическият ефект на един или няколко пиезокристали, свързани към мембраната на сензора (фиг.4.6). При деформация на мембраната пиезокристалът генерира заряд, който зависи от приложеното върху мембраната налягане.

Този тип сензори са подходящи за измерване на динамично променящо се налягане.

4.2.4. Тензорезистивни сензори

Този тип сензори са едни от най-често използваните, като са разработени голям брой конструкции, използващи тензорезистори. Тензорезисторите се изготвят с подходяща форма (фиг.4.7) и се разполагат върху деформируемата мембрана.



а б

Фиг.4.7. Тензорезистори, използвани за измерване на налягане

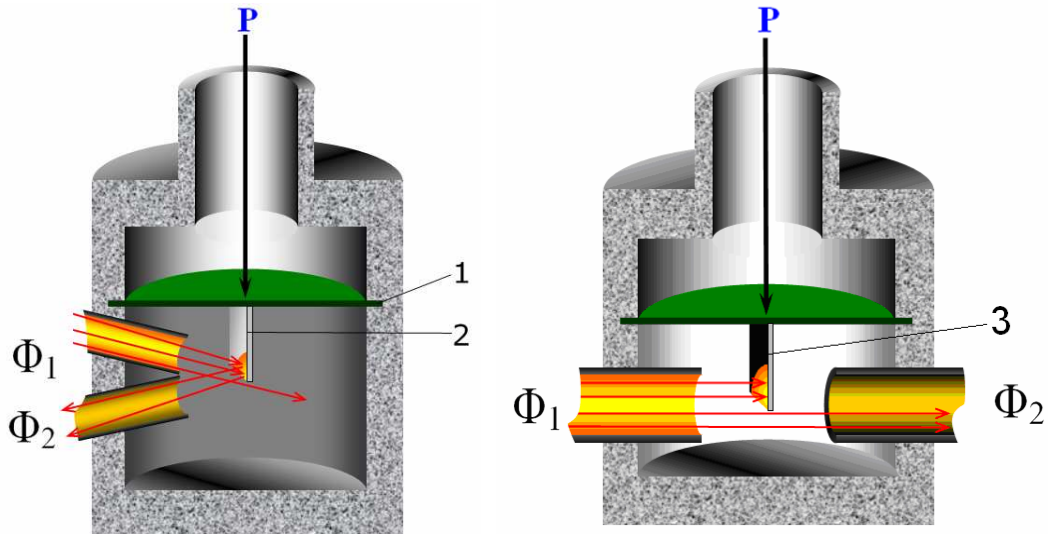
Вследствие на налягането мембраната променя формата си, вследствие на което се променя и формата на тензорезисторите. При това те изменят съпротивлението си. Промяната на съпротивлението лесно може да се преобразува в изходен сигнал, който съответства на приложеното върху сензора налягане. Тензорезистивният елемент от фиг.4.7 б се състои от 4 тензорезистора, образуващи четирите рамена на мост за постоянен ток.

4.2.5. Оптични сензори

Оптичните сензори могат да работят на принципа на отразяването или на пропускането на светлината (фиг.4.8).

При първия тип сензори (фиг.4.8а) върху мембраната се поставя отразяващ елемент, който в зависимост от приложеното налягане и огъването на мембраната отразява определено количество от постъпващата светлина обратно към приемника. При сензорите с пропускане на

светлината (фиг.4.8б), прикачената неподвижно към мембраната преграда при повишаване на налягането намалява количеството светлина, която постъпва в приемника.



а б

1 – мембрана; 2 – рефлекторен елемент; 3 – преграда

Фиг.4.8. Оптични сензори за налягане

4.3. Въпроси за самопроверка

1. В каква единица се измерва налягането в система SI?
   а) kg
   б) pa
   в) psi
   г) N

2. Какви стойности на налягането се определят като вакуум?
   а) по-малки от 101.325kPa
   б) по-големи от 101.325kPa
   в) над 200kPa
   г) от 300kPa до 350kPa

3. Какво представлява абсолютното измерване на налягане?
   а) налягането се определя спрямо вакуум
   б) налягането се определя спрямо атмосферното
   в) налягането се измерва спрямо 500kPa

4. Каква е разликата между калибрираното (gauge) и диференциалното измерване на налягане ?
   а) няма разлика
   б) при калибрираното измерване налягането се определя спрямо атмосферното
   в) и двете измерват спрямо вакуум
   г) диференциалното налягане се определя като разлика между две налягания

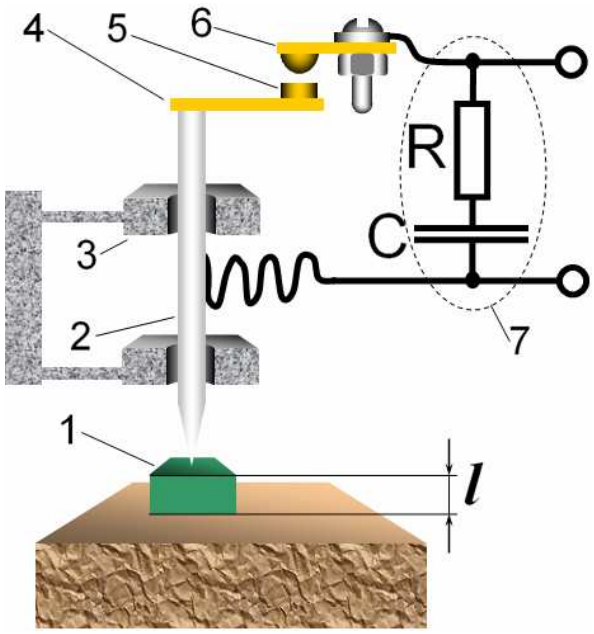
5. При сензорите за налягане се използва диафрагма, която:
   а) се огъва вследствие на приложеното налягане
   б) не се използва диафрагма в конструкцията на тези сензори
   в) служи за електрическа изолация
   г) намира приложение само при тензорезистивните сензори за налягане

СЕНЗОРИ ЗА ПОЛОЖЕНИЕ, ПРЕМЕСТВАНЕ, СКОРОСТ И УСКОРЕНИЕ

5.1. Контактни преобразуватели

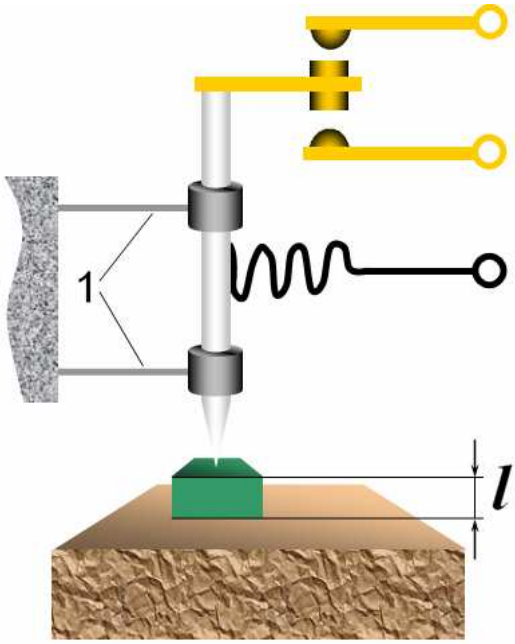
Контактните преобразуватели (контактрони) са преобразуватели, в които линейното или ъглово преместване (размери) се преобразуват в затворено или отворено състояние на контактите, управляващи дадена електрическа верига.

Реализират се еднообхватни (фиг.5.1), двуобхватни (фиг.5.2) и многообхватни (фиг.5.3) контактни преобразуватели.



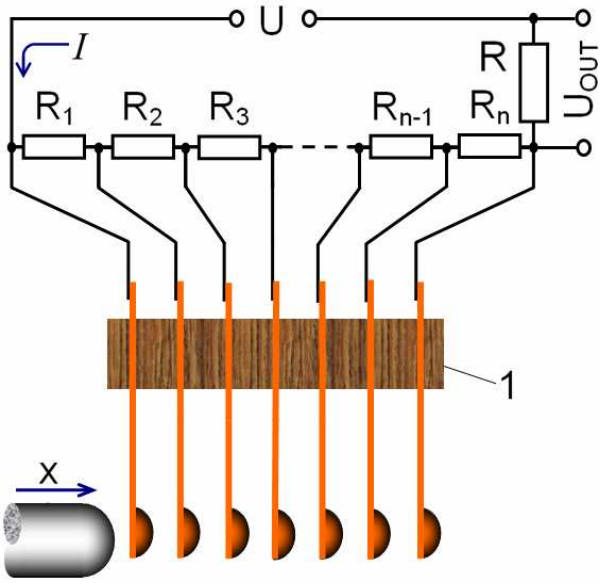
1 – контролиран детайл; 2 – вал; 3 – цилиндрични направляващи;
4 – контактен електрод; 5 – плосък (цилиндричен) контакт;
6 – неподвижен контакт; 7 – искрогасяща група

Фиг.5.1. Еднообхватен контактен преобразувател



1 – плоски пружини

Фиг.5.2. Двуобхватен контактен преобразувател



1 – изолация

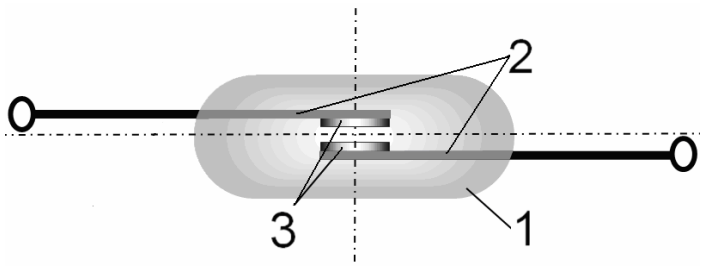
Фиг.5.3. Многообхватен контактен преобразувател

$$U_{out} = \frac{U}{\sum_{i=1}^{n} R_i + R} \cdot R \qquad (5.1)$$

Контактите са от сребро, мед, платина, родий, волфрам, молибден и др. Искрогасящата група служи за предотвратяване на появата на искра и дъга.

Магнитоуправляеми контакти

Представляват разновидност на контактните преобразуватели (фиг.5.4). Наричат се още херкони (херметически затворени контакти) или рийд контакти.



1 – стъклен корпус (ампула);
2 – електродни пластини от магнитомек материал (напр. пермалой);
3 – контакти (платина, злато, сребро и др.)

Фиг.5.4. Магнитоуправляем контактен преорбазувател (херкон)

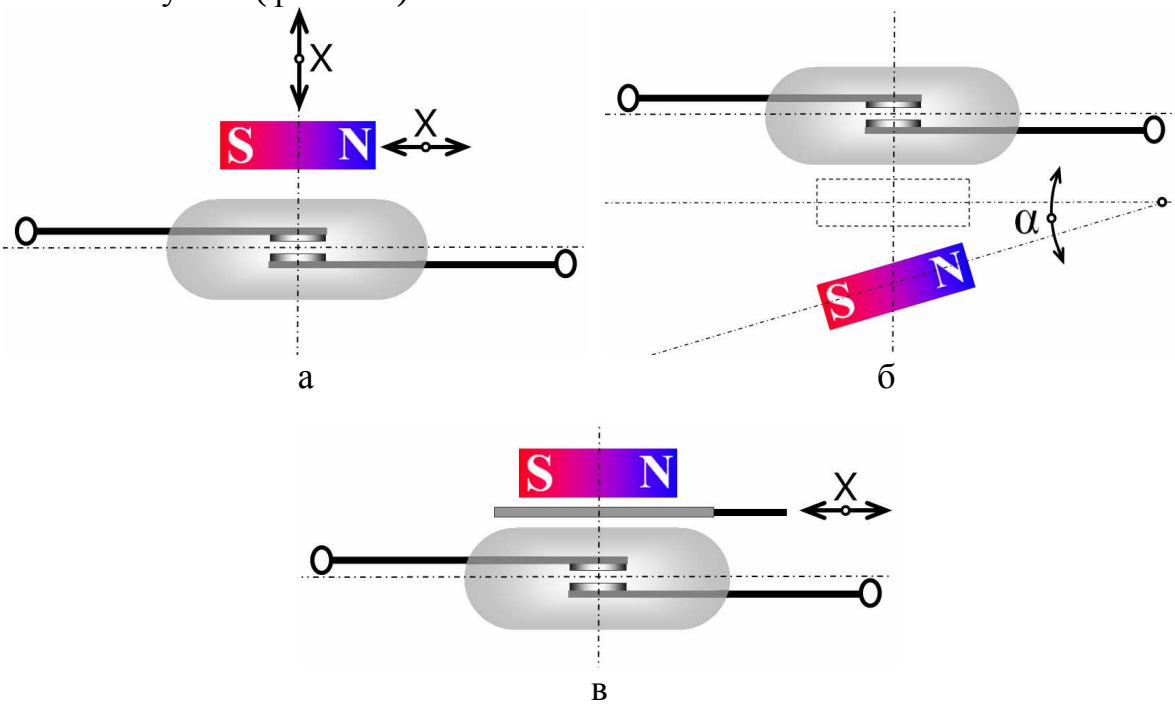
Стъклената ампула е с диаметър около 3mm и дължина около 20mm. Тя е пълна или с инертен газ (азот, аргон или водород) или е херметизирана. В нея са пресовани електродните пластини. Те са изготвени са от магнитомек материал (най-често – пермалой). Магнитното поле се затваря през тях и през въздушната междина между контактите. Контактните повърхности са нанесени върху електродните пластини по фотохимичен път. Материали за контактното покритие са сребро, злато, платина, платинородий или техни сплави. Електродите играят ролята на магнитопроводи, контакти и пружини.

Контактите са изолирани от въздуха и поради това не могат да се окисляват, няма искрене и са изолирани от прах.

Управлението на контактите се извършва чрез външно магнитно поле,

създадено от постоянен магнит. Изменението на магнитното поле се осъществява по два начина:

- чрез преместване или завъртане на постоянен магнит, създаващ магнитното поле (фиг.5.5а, б);
- чрез преместване на екран, поставен между постоянния магнит и ампулата (фиг.5.5в).



Фиг.5.5. Управление на контактите на херкона: а) чрез преместване на постоянен магнит; б) чрез завъртане на постоянен магнит; в) чрез преместване на екран, поставен между постоянния магнит и ампулата

Като предимства на мегнитоуправляемите контакти могат да се посочат малките габарити, ниската цена, добрата защитеност от окисляване и прах, голямият брой превключвания – 10^6...10^9, доброто бързодействие – 0,2...0,5μs и др

5.2. Потенциометрични преобразуватели

5.2.1. Потенциометрични преобразуватели с механични контакти

Потенциометърът е резистор с постоянно съпротивление R_p, по който се премества плъзгач, създаващ електрически контакт. Този плъзгач механично се свързва с изследвания обект (например – детайл), чието преместване той трябва да предава.

Съпротивлението R между плъзгача и единия край на резистора се явява функция от:

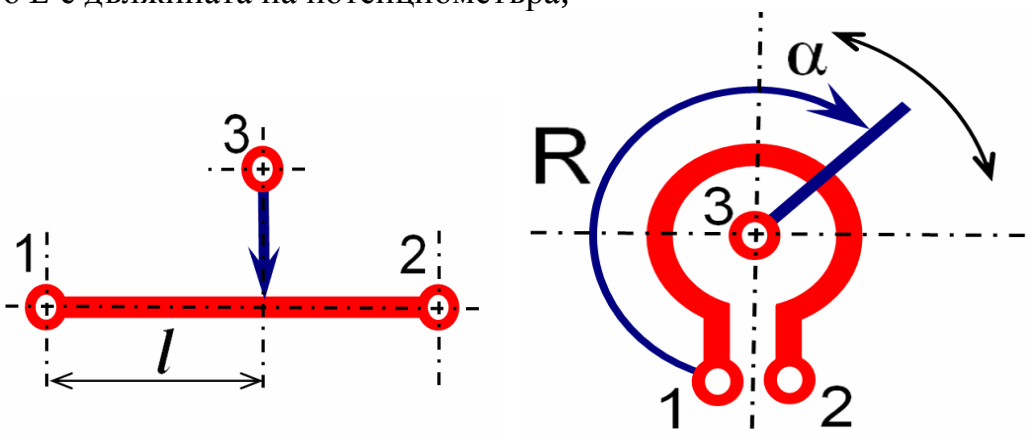
- положението на плъзгача;
- конструкцията на резистора.

Ако резисторът има еднородна конструкция, то потенциометърът е линеен, тъй като съществува правопропорционална зависимост между съпротивлението R и положението на плъзгача. В този случай в зависимост от траекторията на преместването на плъзгача, се различават:

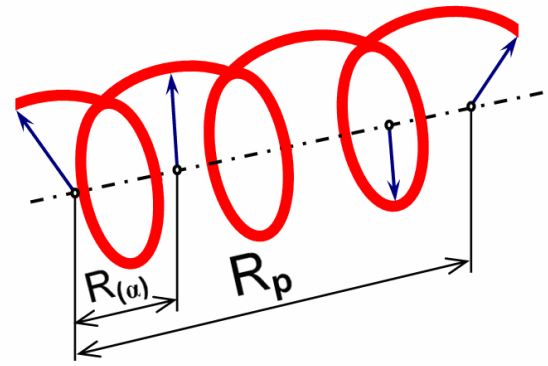
- потенциометри за линейно преместване (фиг.5.6 а)

$$R(l)=(l/L)R_p \qquad (5.2)$$

където L е дължината на потенциометъра;



а б



в

Фиг.5.6. Потенциометри: а) за линейно преместване;
б) кръгови потенциометри; в) многооборотни потенциометри

- потенциометри за ъглово преместване

$$R(\alpha)=(\alpha/\alpha_m)R_p, \qquad (5.3)$$

където α_m е максималното ъглово преместване.

Към тази подгрупа се отнасят:

= кръговите потенциометри ($\alpha_m < 360°$) (фиг.5.6 б)

= многооборотните потенциометри ($\alpha_m > 360°$) (фиг.5.6 в).

Резисторът в потенциометричните преобразуватели може да бъде или проводник, или проводяща лента.

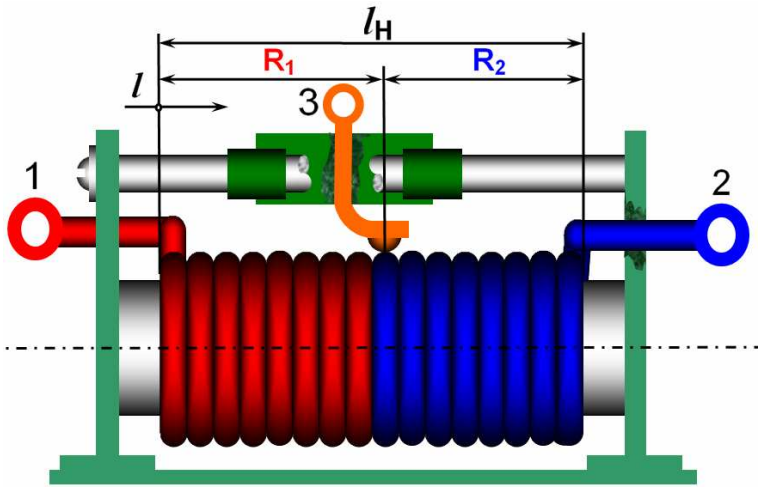
Когато в тези преобразуватели се използва тънък калибриран проводник с плъзгач, те се наричат още *реохордни преобразуватели (реохорди)*.

Когато проводникът е навит върху основа (каркас), то те се наричат *реостатни*.

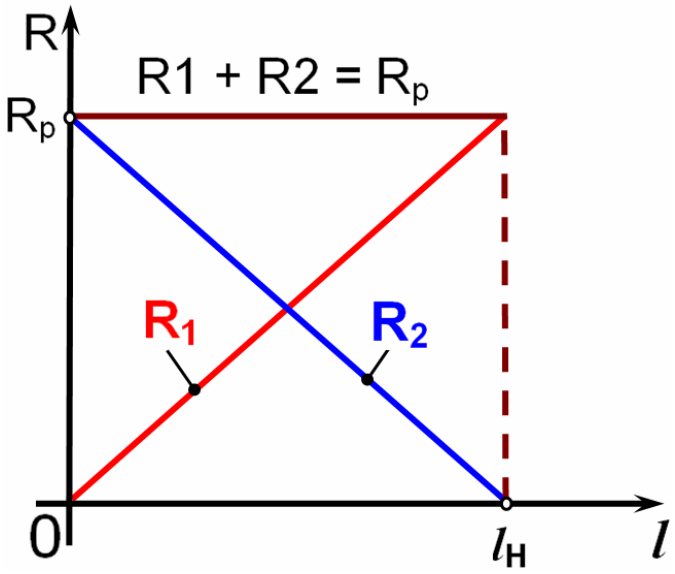
Реостатните преобразуватели са реостати със специално изпълнение и предназначение, чиито плъзгач се премества под действието на входната величина – линейно или ъглово преместване или друга величина (сила, налягане и др.), предварително преобразувана в линейна или ъглова. Следователно функцията на преобразуване на тези преобразуватели е

$$R = f(X), \qquad (5.4)$$

където X е линейното или ъгловото преместване.



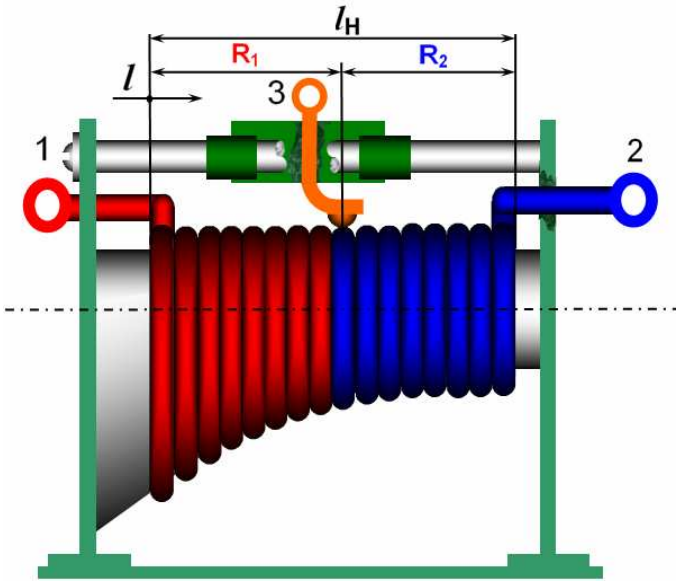
а



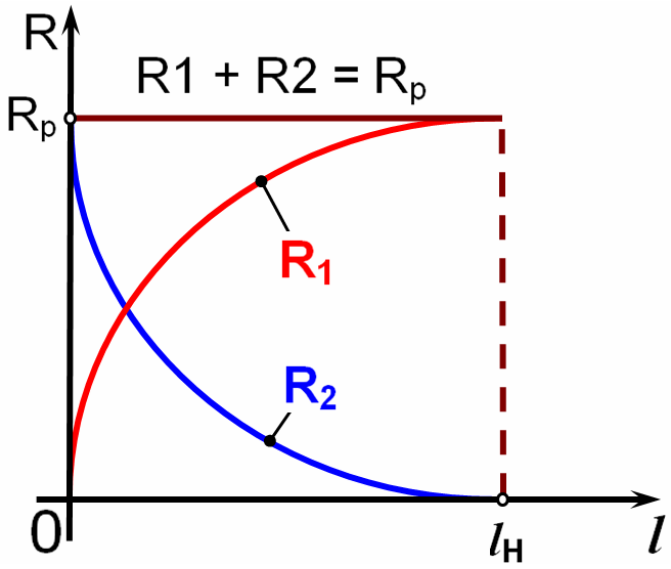
б

Фиг.5.7. Линеен реостат: а) конструкция; б) характерситики

Най-често се използват линейни реостати, при които съпротивителният проводник е навит с равномерна стъпка върху каркас с еднакво сечение по цялата дължина (фиг.5.7 а). От плъзгача са изведени два извода като се получават две изходни съпротивления R_1 и R_2. На фиг.5.7 б са показани графиките на изменението на тези съпротивления. Зависимостите $R_1 = f_1(l)$ и $R_2 = f_2(l)$ са линейни, а R_p е общото съпротивление на реостата.



а



б

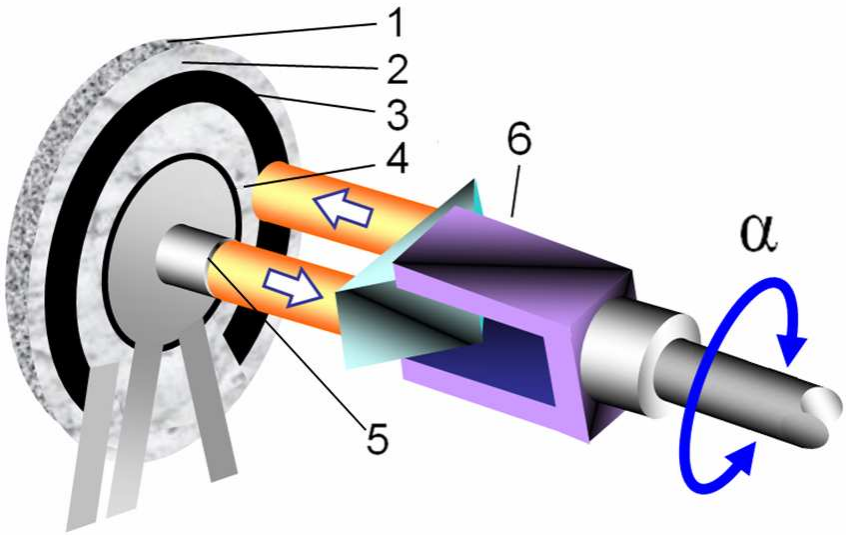
Фиг.5.8. Функционален реостат: а) конструкция; б) характеристики

Изготвят се и функционални реостати, чиято функция на преобразуване е умишлено нелинейна. Това може да се постигне чрез подходяща форма на каркаса (фиг.5.8), чрез определена стъпка на навивките или чрез шунтиране на части от линеен реостат с резистори.

5.2.2. Потенциометрични преобразуватели без механични контакти

Основават се на различни ефекти. Техни основни предимства са отсъствието на триене и на износване на контактните повърхнини. Това са безконтактни преобразуватели.

- Потенциометри с фотоефект (ъглов потенциометър с оптична връзка)



1 – неподвижен диск; 2 – пръстен от проводим материал (контактна зона); 3 – фоточувствителен пръстен (зона); 4 – съпротивителна зона (измервателна зона); 5 – светодиод. Излъчва светлинен сноп; 6 – въртящ се елемент, върху който са разположени две огледала, сключващи ъгъл 90°

Фиг.5.9. Ъглов потенциометър с оптична връзка

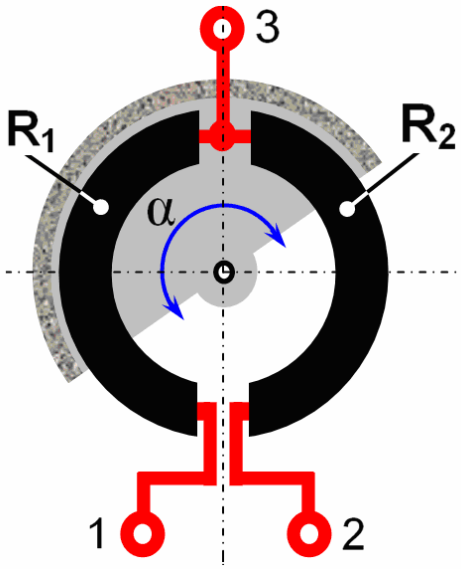
При тях под действието на светлината рязко намалява съпротивлението на фоточувствителния слой (фиг.5.9).

Мястото, където е попаднал светлинният лъч върху фоточувствителната зона, става проводимо и по този начин се получава контакт върху зоната 4 и зоната 2. По този начин светлинният лъч играе ролята на плъзгач.

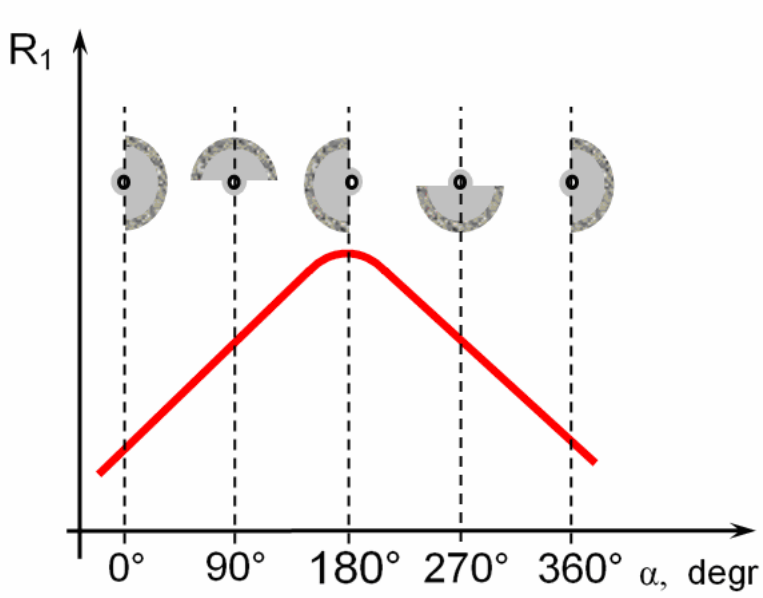
- Магнитни потенциометри

В тях се използват магниторезистори. Това са резистори, чието съпротивление се изменя под действието на магнитното поле. Когато такъв резистор се намира в магнитно поле, неговото съпротивление рязко се увеличава.

Конструкция на магнитен потенциометър, включващ камера с форма на полудиск, в която влизат с два магнитни резистора R_1 и R_2, е представена на фиг.5.10.



Фиг.5.10. Магнитен потенциометър



0 ° – дискът обхваща R_2 и съпротивлението R_1 има минимална стойност;

90 °– съпротивлението има средна стойност като $R_1=R_2$;

180 °– R_1 има максимална стойност;

270 °– отново съпротивлението приема средна стойност и $R_1=R_2$;

360 °– отново съпротивлението R_1 има минимална стойност

Фиг.5.11. Изменение на съпротивлението R_1 на магнитния потенциометър в зависимост от ъгловото отклонение α

По горната и долната повърхност на този диск са разположени полюсите на магнита, който създава магнитно поле, пресичащо магниторезисторите. Точка 3 е обща за тях. При завъртане на диска R_1 и R_2 се изменят разнопосочно. Колкото по-голяма част от магниторезистора е покрита от магнитното поле, толкова съпротивлението му е по-голямо. На фиг.5.11 е показано изменението на съпротивлението R_1 в зависимост от ъгловото отклонение α .

5.3. Индуктивни и взаимноиндуктивни преобразуватели

Индуктивните преобразуватели представляват индуктивна бобина, разположена върху магнитопровод с въздушна междина като параметрите на бобината се изменят под действие на входната величина, която обикновено е линейно или ъглово преместване или друга, превърната в преместване, величина.

При въздействието на входната величина X се изменят параметрите на въздушната междина (дължината ѝ δ или нейната площ s), а оттам – магнитното съпротивление на тази междина и на цялата затворена магнитна верига на бобината. Вследствие на това се изменят индуктивността и пълното електрическо съпротивление на бобината.

Общото магнитно съпротивление е

$$R_\mu = R_\delta + R_M , \tag{5.5}$$

където R_δ е магнитното съпротивление на въздушната междина, R_M – магнитното съпротивление на магнитопровода на бобината (обикновено от листова стомана).

Тъй като общото магнитно съпротивление се определя от това на въздушната междина ($R_\delta >> R_M$), то

$$R_\mu \approx R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 s}, \tag{5.6}$$

където δ е дължината на въздушната междина, μ_0 – магнитната константа (магнитната проницаемост на вакуума), s – сечението на въздушната междина.

Тези преобразуватели работят при променлив ток като импедансът на бобината е

$$z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} , \tag{5.7}$$

където R е активното съпротивление на бобината, L – нейната индуктивност, ω - кръговата честота като $\omega = 2\pi f$, а f – честотата.

Тъй като за бобината е изпълнено

$$\omega L >> R,$$

то

$$z \approx \omega L = \frac{\omega W^2}{R_\mu} \approx \frac{\omega W^2 \mu_0 s}{\delta} \quad , \qquad (5.8)$$

където W е броят на навивките на бобината.

Следователно, при промяна на δ и s ще се променя съпротивлението на бобината. Поради това се използват конструкции на преобразуватели с промяна на един от двата параметъра.

Възможна е реализация както на единични, така и на диференциални преобразуватели. Изхождайки от функцията на преобразуване (5.8), при единичните преобразуватели зависимостта $z = f(\delta)$ е нелинейна, а зависимостта $z = f(s)$ – линейна.

Диференциалните преобразуватели дават възможност за увеличаване на чувствителността, подобряване на линейността на функцията на преобразуване, както и намаляване на грешките.

Всеки *индуктивен* преобразувател може да се преобразува във *взаимноиндуктивен*, ако върху магнитопровода се разположи втора (измервателна) бобина, в която се индуктира електродвижещо напрежение. Първата бобина се нарича възбудителна (намагнитваща). При диференциалните преобразуватели се добавят две допълнителни вторични бобини.

При единичен преобразувател взаимната индуктивност M на двете бобини е

$$M = \frac{W_1 W_2}{R_\mu} \quad , \qquad (5.9)$$

където W_1 *и* W_2 е съответно броят на навивките на намагнитващата и измервателната бобина.

Индуктираното във вторичната намотка на преобразувателя електродвижещо напрежение (е.д.н.) е

$$E = \omega M I \approx \omega W_1 W_2 I \mu_0 \frac{s}{\delta} \quad , \qquad (5.10)$$

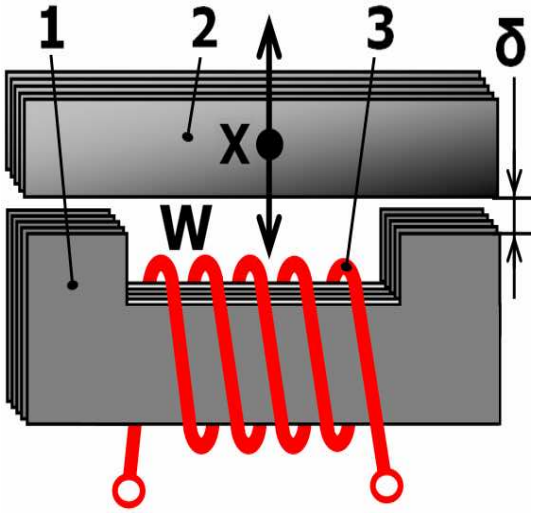
където I е намагнитващият ток.

Следователно, при промяната на δ или s се променя индуктираното е.д.н. Зависимостта $E = f(\delta)$ е нелинейна, а зависимостта $E = f(s)$ – линейна.

Конструкции на измервателните преобразуватели

5.3.1. Преобразуватели с магнитопровод с изменяща се дължина δ на въздушната междина

Те са най-разпространените от индуктивните преобразуватели. На фиг.5.12 е показан *единичен индуктивен преобразувател* от този тип.

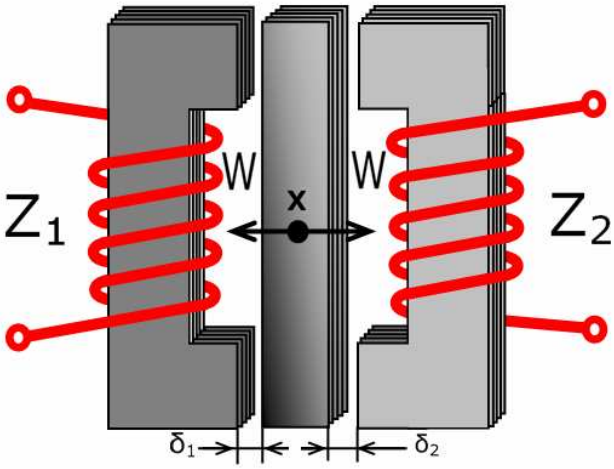


1 – магнитопровод; 2 – котва; 3 – бобина

Фиг.5.12. Единичен индуктивен преобразувател с магнитопровод с изменяща се дължина на въздушната междина

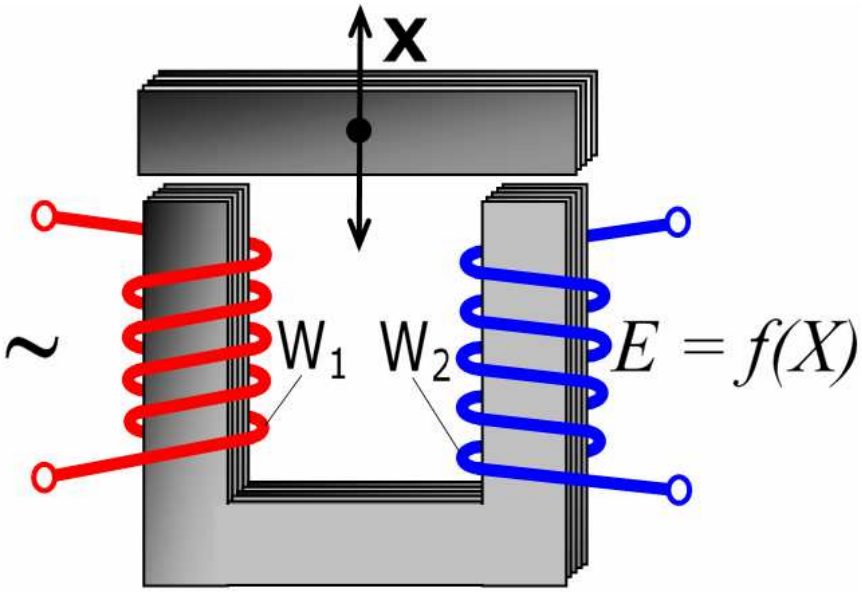
Котвата се премества под въздействие на входната величина *X*, чрез което се изменя дължината на въздушната междина δ и съгласно (5.8) – импеданс-ът на бобината.

На фиг.5.13 е показана схема на индуктивен *диференциален индуктивен преобразувател* с изменяща се дължина на въздушната междина.

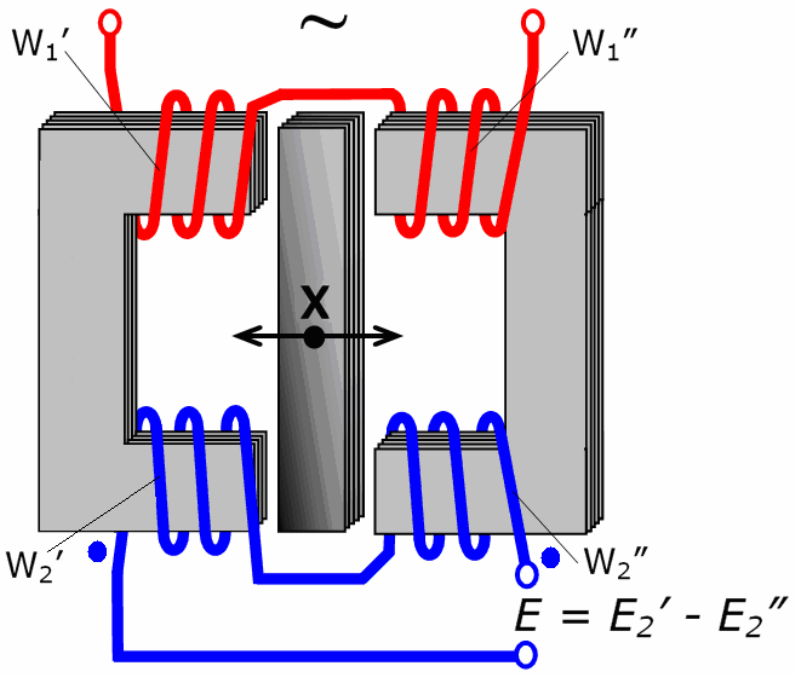


Фиг.5.13. Диференциален индуктивен преобразувател с магнитопровод с изменяща се дължина на въздушната междина

На фиг.5.14 и фиг.5.15 са показани съответно *взаимноиндуктивен единичен* и *диференциален преобразувател* за линейни премествания с изменяща се дължина на въздушната междина.



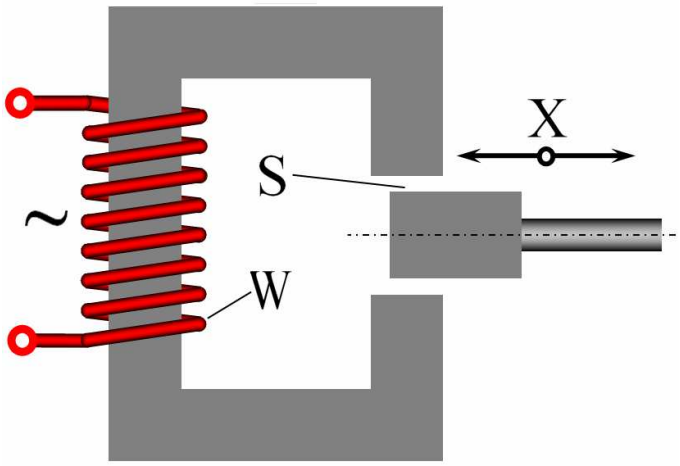
Фиг.5.14. Взаимноиндуктивен единичен преобразувател за линейни премествания с изменяща се дължина на въздушната междина



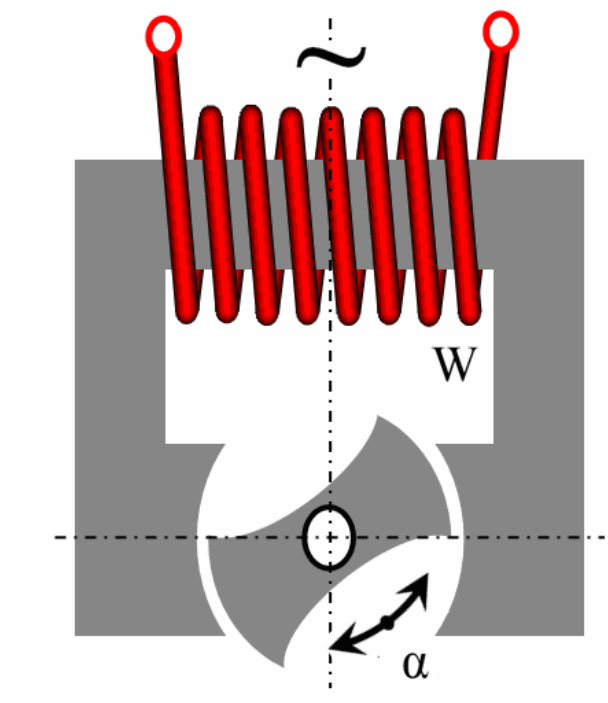
Фиг.5.15. Взаимноиндуктивен диференциален преобразувател за линейни премествания с изменяща се дължина на въздушната междина

5.3.2. Преобразуватели с магнитопровод с изменяща се площ s на въздушната междина

На фиг.5.16 са показани единични, а на фиг.5.17 – диференциален индуктивен преобразувател от този тип.



а



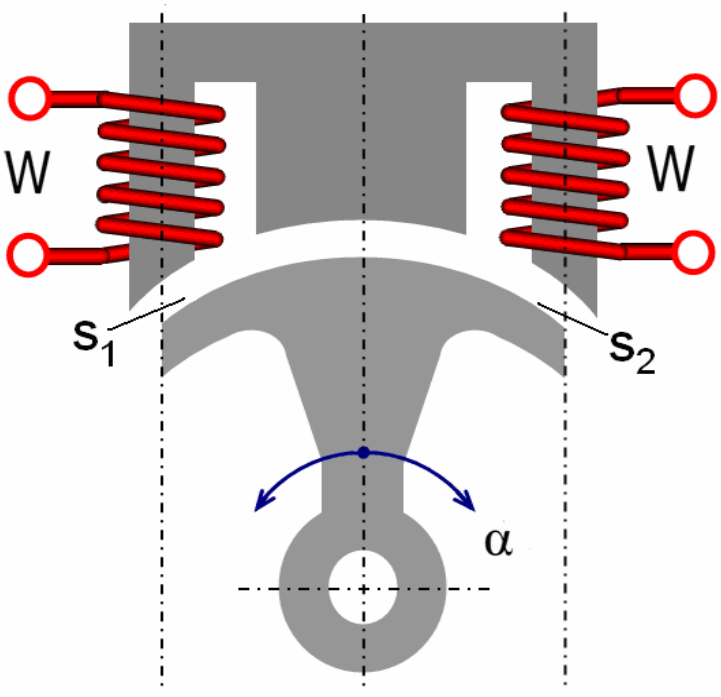
б

Фиг.5.16. Единични преобразуватели с магнитопровод с изменяща се площ на въздушната междина: а) за линейни премествания;
б) за ъглови премествания

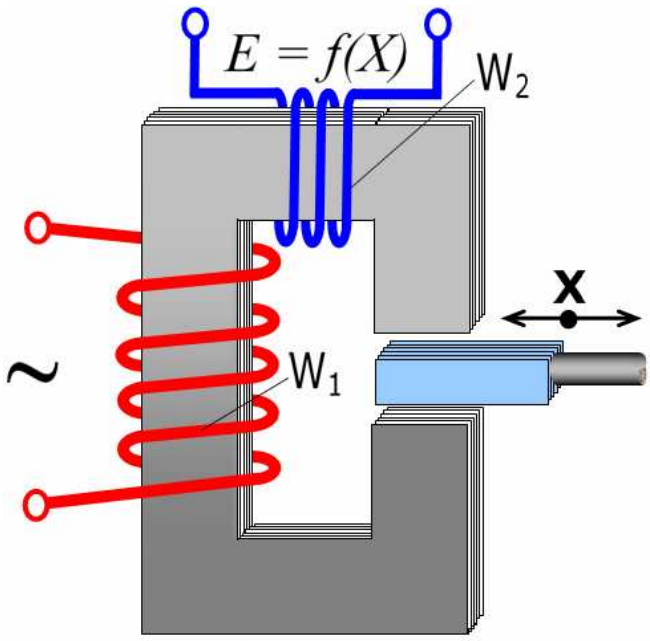
Единичният индуктивен преобразувател от фиг.5.16а е за *линейно преместване*. Под въздействие на входната величина *X* котвата се премества наляво или надясно, с което се намалява или увеличава *s*.

Единичният индуктивен преобразувател от фиг.5.16б е за *ъглово преместване*.

Диференциалният индуктивен преобразувател (фиг.5.17) от този тип е *за ъглово преместване*, което води до промяна на площите s_1 и s_2 на въздушните междини.

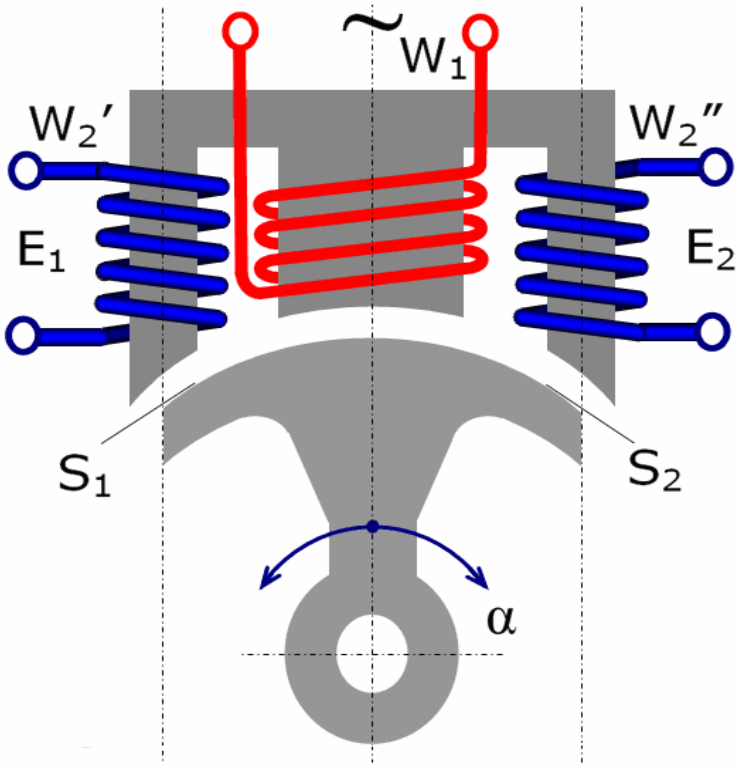


Фиг.5.17. Диференциален индуктивен преобразувател за ъглово преместване с промяна на площите s_1 и s_2 на въздушните междини



Фиг.5.18. Единичен взаимноиндуктивен преобразувател за линейни премествания

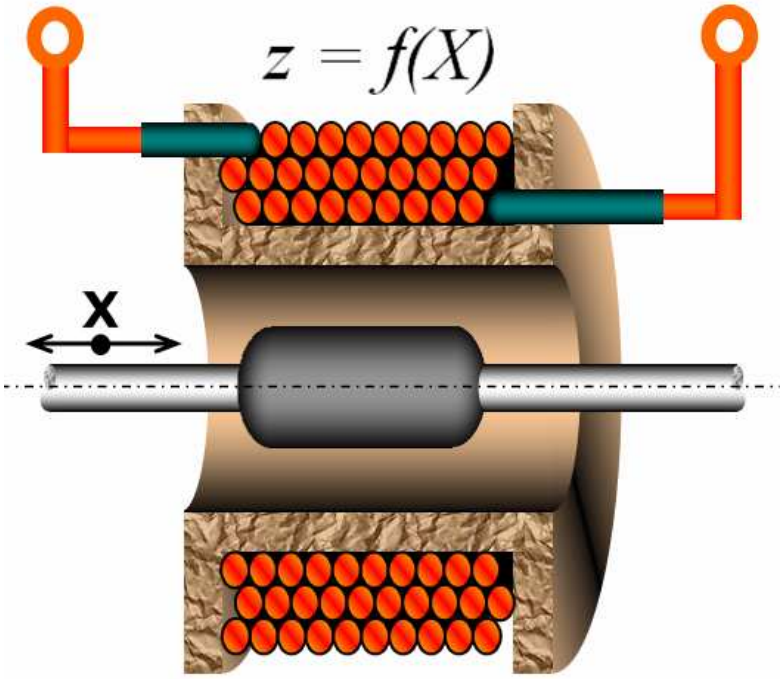
На фиг.5.18 е показан *единичен взаимноиндуктивен преобразувател* за *линейни премествания*, а на фиг.5.19 – *диференциален взаимноиндуктивен преобразувател за ъглови премествания* с промяна на площта на въздушната междина.



Фиг.5.19. Диференциален взаимноиндуктивен преобразувател за ъглови премествания

5.3.3. Преобразуватели с подвижно ядро

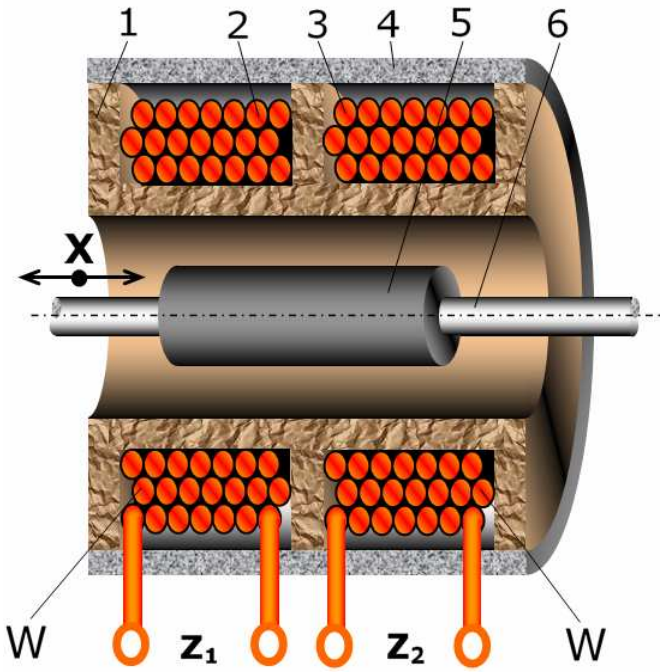
Схема на *индуктивен единичен преобразувател с подвижно ядро* е показана на фиг.5.20.



Фиг.5.20. Индуктивен единичен преобразувател с подвижно ядро

Използва се за измерване на по-големи линейни премествания (до няколко mm).

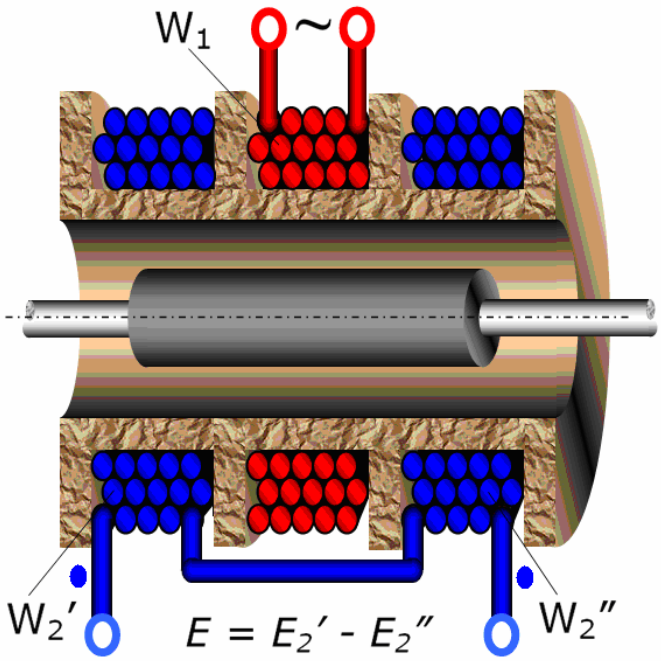
Диференциален преобразувател от този тип е показан на фиг.5.21. Когато котвата се премества, индуктивността на едната бобина се увеличава, а на другата – намалява. Двете бобини се включват в две съседни рамена на мост за променлив ток.



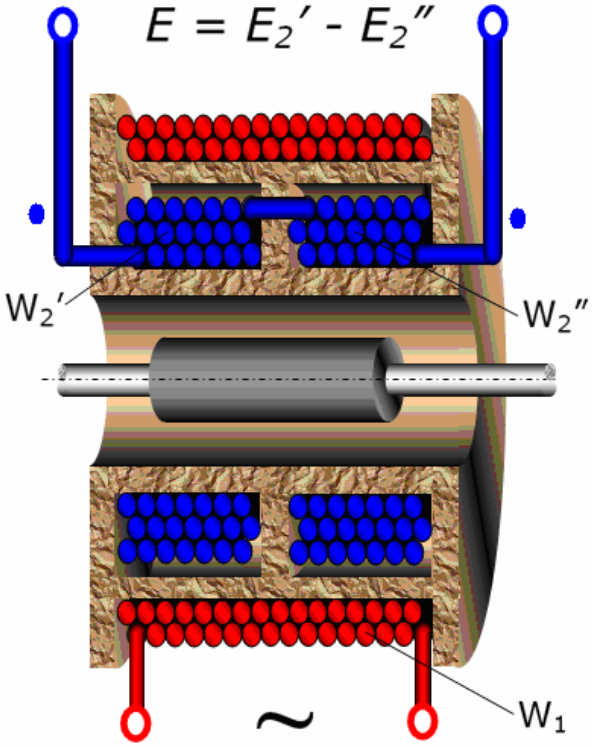
1 – основа (каркас) от изолационен материал; 2 и 3 – бобини с еднакъв брой навивки W; 4 – неподвижен феромагнитен цилиндър; 5 – подвижно цилиндрично ядро от феромагнитен материал; 6 – водачи от немагнитен материал (най-често – месинг)

Фиг.5.21. Индуктивен диференциален преобразувател с подвижно ядро

Ако към конструкцията се добави намагнитваща бобина W_1, а разгледаните бобини са измервателни W_2, то преобразувателят се превръща във взаимноиндуктивен и често се нарича *линейно изменящ се диференциален трансформатор* (ЛИДТ). Може да се реализира в различни конструкции (фиг.5.22а и б.)



а



б

Фиг.5.22. Конструкции на линейно изменящ се диференциален трансформатор (ЛИДТ)

5.4. Капацитивни преобразуватели

Капацитивни се наричат преобразувателите, при които изменението на измерваната неелектрическа величина се преобразува в изменение на капацитета на кондензатор.

При пренебрегване на краевия ефект, капацитетът C на кондензаторите с плоско-паралелни електроди се определя с израза

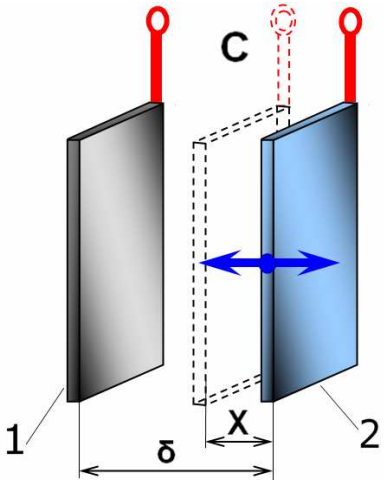
$$C=\frac{\varepsilon s}{\delta}=\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r s}{\delta}\ , \qquad (5.11)$$

където ε е диелектричната проницаемост на средата между електродите, s – площта им, δ – разстоянието между тях, ε_0 =8.854x10^{-12} F/m – диелектричната проницаемост на вакуума, ε_r – относителната диелектрична проницаемост на средата между електродите (за въздуха ε_r = 1.0006).

Следователно, капацитетът C може да се промени чрез изменение на ε, s и δ. Функцията на преобразуване $C = f(\delta)$ е нелинейна, а функциите на преобразуване $C = f(s)$ и $C = f(\varepsilon)$ – линейни.

5.4.1. Капацитивни преобразуватели с изменение на разстоянието между електродите за измерване на линейни премествания

На фиг.5.23 е показан *единичен капацитивен преобразувател* с изменение на δ.

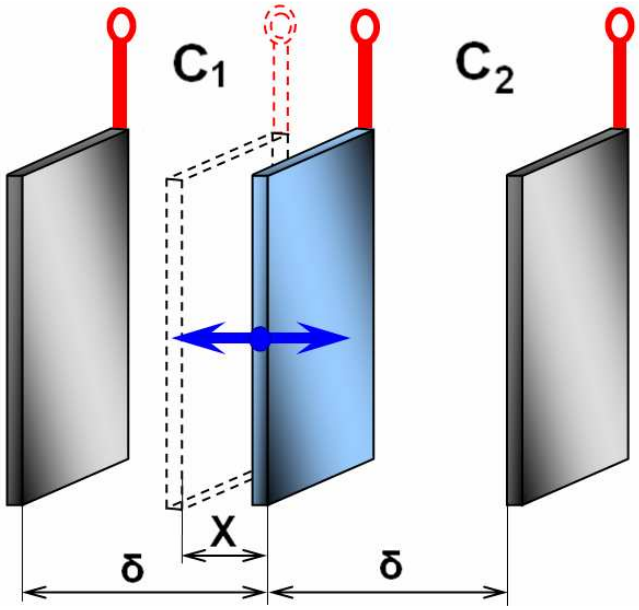


1 – неподвижен електрод; 2 – подвижен електрод

Фиг.5.23. Единичен капацитивен преобразувател с изменение на разстоянието между електродите

$$C = \varepsilon_0 \frac{s}{\delta \mp x} \quad . \tag{5.12}$$

Преобразувателят се отличава с малка област на линейност.
На фиг.5.24 е представен *диференциален преобразувател*.



Фиг.5.24. Диференциален капацитивен преобразувател с изменение на разстоянието между електродите

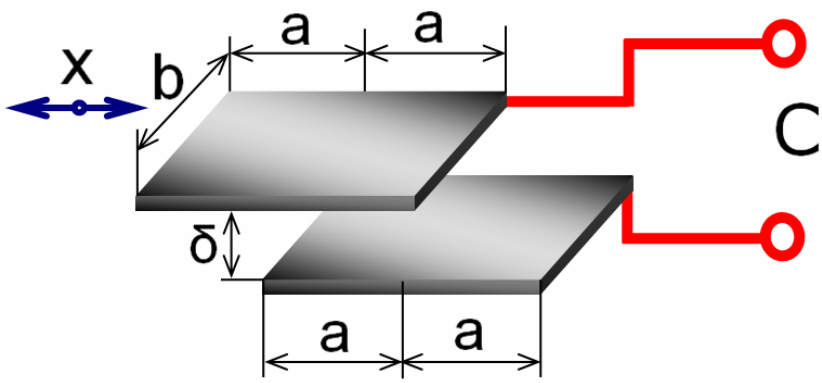
За него са в сила зависимостите

$$C_1 = C \pm \Delta C = \varepsilon_0 \frac{s}{\delta \mp x} \tag{5.13}$$

$$C_2 = C \mp \Delta C = \varepsilon_0 \frac{s}{\delta \pm x} \tag{5.14}$$

5.4.2. Капацитивни преобразуватели с изменение на площта на електродите за измерване на линейни и ъглови премествания

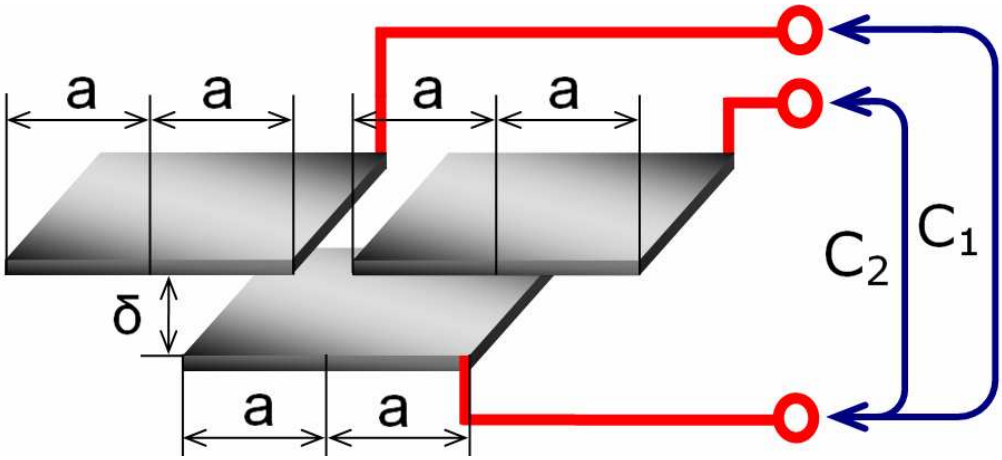
На фиг.5.25 е показан *единичен капацитивен преобразувател* с изменение на площта на електродите за *линейни премествания*.



Фиг.5.25. Единичен капацитивен преобразувател с изменение на площта на електродите за линейни премествания

$$C = \varepsilon_0 \frac{(a \pm x)b}{\delta} \quad . \tag{5.15}$$

При преместването на електрода капацитетът винаги намалява, без значение, в коя посока е преместването x. Този недостатък се отстранява при *диференциалния преобразувател* от този тип (фиг.5.26).

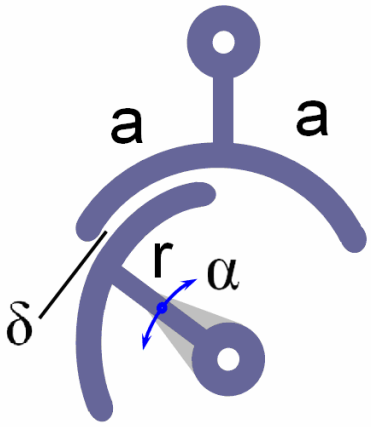


Фиг.5.26. Диференциален капацитивен преобразувател с изменение на площта на електродите за линейни премествания

$$C_1 = C \pm \Delta C = \varepsilon_0 \frac{(a \pm x)b}{\delta} \tag{5.16}$$

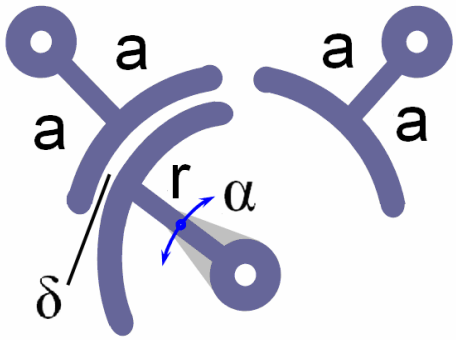
$$C_2 = C \mp \Delta C = \varepsilon_0 \frac{(a \mp x)b}{\delta} \tag{5.17}$$

На фиг.5.27 е показан *единичен* капацитивен преобразувател с изменение на s за *ъглови* премествания, а на фиг.5.28 – *диференциален* от същия тип.



Фиг.5.27. Единичен капацитивен преобразувател с изменение на площта на електродите за ъглови премествания

$$C = \varepsilon_0 \frac{(a \pm r\alpha)b}{\delta} \quad . \tag{5.18}$$

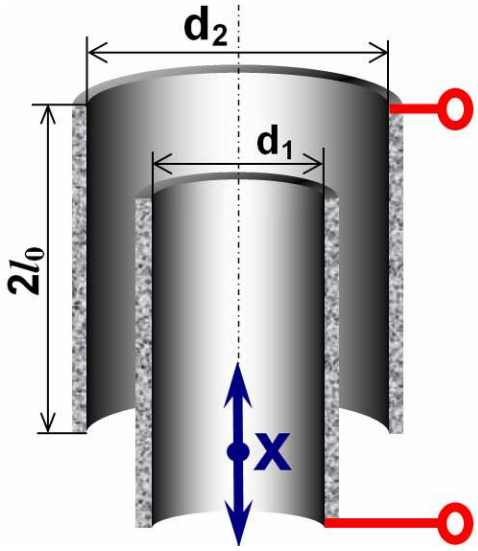


Фиг.5.28. Диференциален капацитивен преобразувател с изменение на площта на електродите за ъглови премествания

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{(a \pm r\alpha)b}{\delta} \tag{5.19}$$

$$C_2 = \varepsilon_0 \frac{(a \mp r\alpha)b}{\delta} \tag{5.20}$$

Широко приложение имат и цилиндричните (коаксиални) капацитивни преобразуватели (фиг.5.29).



Фиг.5.29. Единичен цилиндричен капацитивен преобразувател

Капацитетът им се определя с израза

$$C = \varepsilon_0 \frac{2\pi(l_0 \pm X)}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \tag{5.21}$$

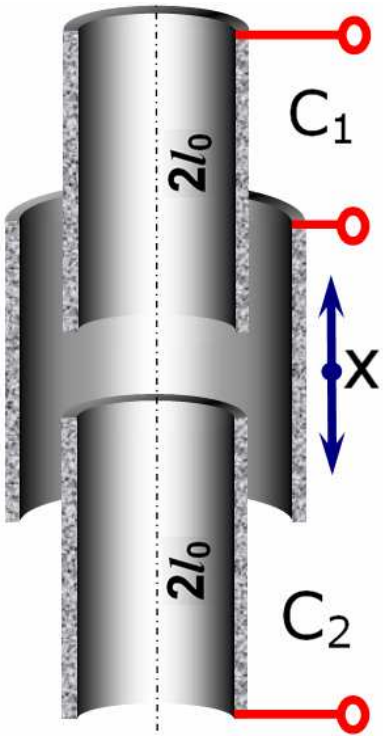
където $(l_0 \pm X)$ е дължината на застъпване на двата електрода, а d_1 и d_2 са диаметрите на вътрешния и външния електроди.

При тези преобразуватели може да се движи както вътрешният, така и външният цилиндър.

Този преобразувател може да се направи диференциален, ако се постави и трети цилиндър, при условие, че само единият е подвижен (фиг.5.30).

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{2\pi(l_0 \pm X)}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \tag{5.22}$$

$$C_2 = \varepsilon_0 \frac{2\pi(l_0 \mp X)}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \qquad (5.23)$$



Фиг.5.30. Диференциален цилиндричен капацитивен преобразувател

5.4.3. Капацитивни преобразуватели с изменение на диелектричната проницаемост ε за измерване на малки премествания и ниво

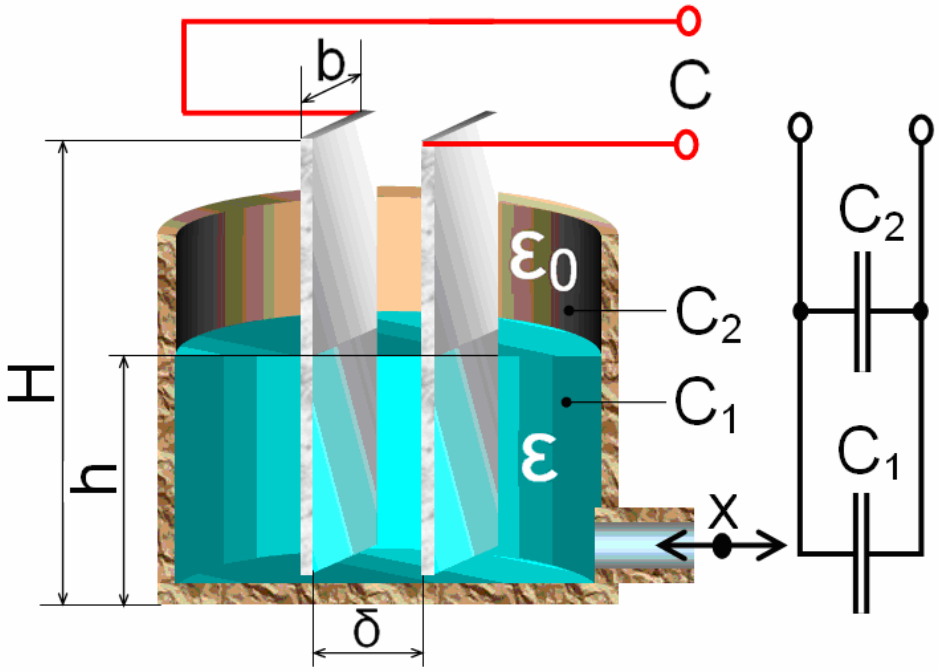
Пример на такъв преобразувател е показан на фиг.5.31. При използуване на плоско-паралелни електроди с ширина *b*, за капацитивния преобразувател от този тип може да се запише

$$C_1 = \varepsilon \frac{b\,h}{\delta} \qquad (5.24)$$

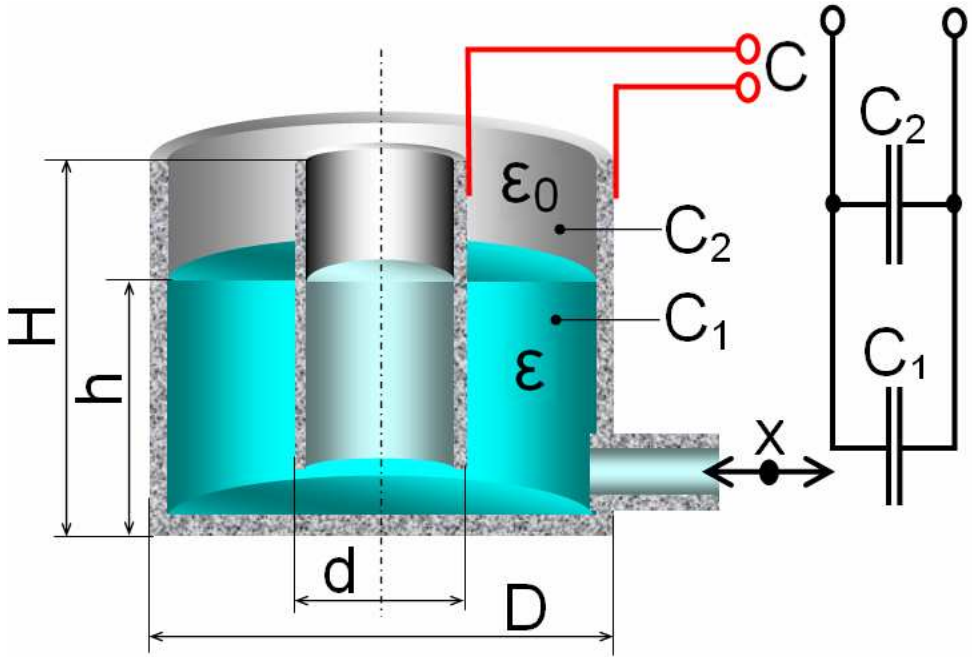
$$C_2 = \varepsilon_0 \frac{(H-h)b}{\delta} \qquad (5.25)$$

$$C = C_1 + C_2 = \frac{b}{\delta}[\varepsilon h + \varepsilon_0 (H-h)] = \frac{b}{\delta}[\varepsilon_0 H + (\varepsilon - \varepsilon_0)h] \quad , \qquad (5.26)$$

където C_1 е капацитетът на кондензатора с диелектрик – съответната течност или насипен материал, C_2 – капацитетът на въздушния кондензатор, съответстващ на кондензатора над повърхността на течността или насипния материал като двата кондензатора са свързани паралелно.



Фиг.5.31. Капацитивен преобразувател с плоско-паралелни електроди с изменение на диелектричната проницаемост



Фиг.5.32. Капацитивен цилиндричен преобразувател с изменение на диелектричната проницаемост

Аналогично при използване на цилиндричен кондензатор (фиг.5.32) капацитетът му може да се представи с израза

$$C=\frac{2\pi}{\ln\frac{D}{d}}[\varepsilon_0 H+(\varepsilon-\varepsilon_0)h] \qquad (5.27)$$

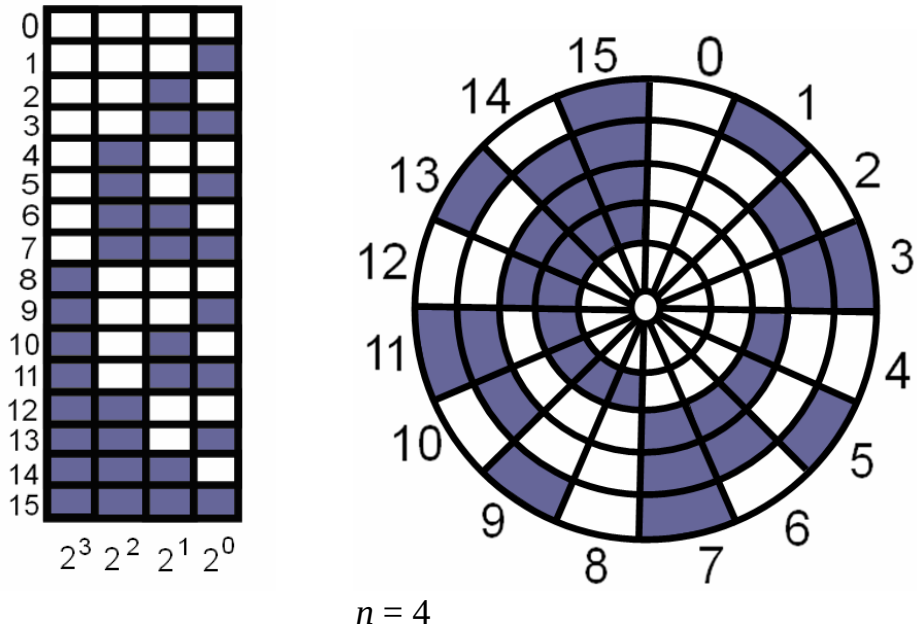
И двата преобразувателя (от фиг.5.31 и фиг.5.32) могат да се използват за измерване както на малки премествания X, така и на нивото на течности и насипни материали с диелектрични свойства, т.е. с диелектрична проницаемост ε, по-голяма от единица.

Преобразуването $C = f(h)$ и в двата случая е линейно.

5.5. Абсолютни енкодери

В случай на премествания е възможно да се създаде преобразувател, измерващ преместване – линейно или ъглово, в който изходният сигнал е директно цифров.

Абсолютните енкодери могат да бъдат линейни (фиг.5.33а) или ротационни (фиг.5.33б). На фигурата са представени такива енкодери с използване на двоичен код.



а б

Фиг.5.33. Абсолютни енкодери: а) за линейно преместване; б) за ъглово преместване

Всичките *n* бита, образуващи всяка от думите, се реализират съответно на *n* успоредни или концентрични пътечки при използване на две различни състояния за определяне на логическите 0 или 1:

- ненамагнитваща се или феромагнитна повърхност – при магнитното четене;
- изолираща или проводяща повърхност – при електрическото четене;
- непрозрачна или пропускаща светлината – при оптичното четене.

Оптическото четене се използва много често като за всяка пътечка има източник – електромагнитен диод, и приемник – фототранзистор.

Броят на елементите N във всяка пътечка определя разделителната способност:

- за линейните с дължина L тя е L/N;
- за ъгловите – $360°/N$.

При използване на прав двоичен код получената информация се обработва с помощта на изчислително устройство. Но тъй като при изменение на числото с една единица при определени комбинации се изменят едновременно много битове, може да възникне грешка от неправилното четене.

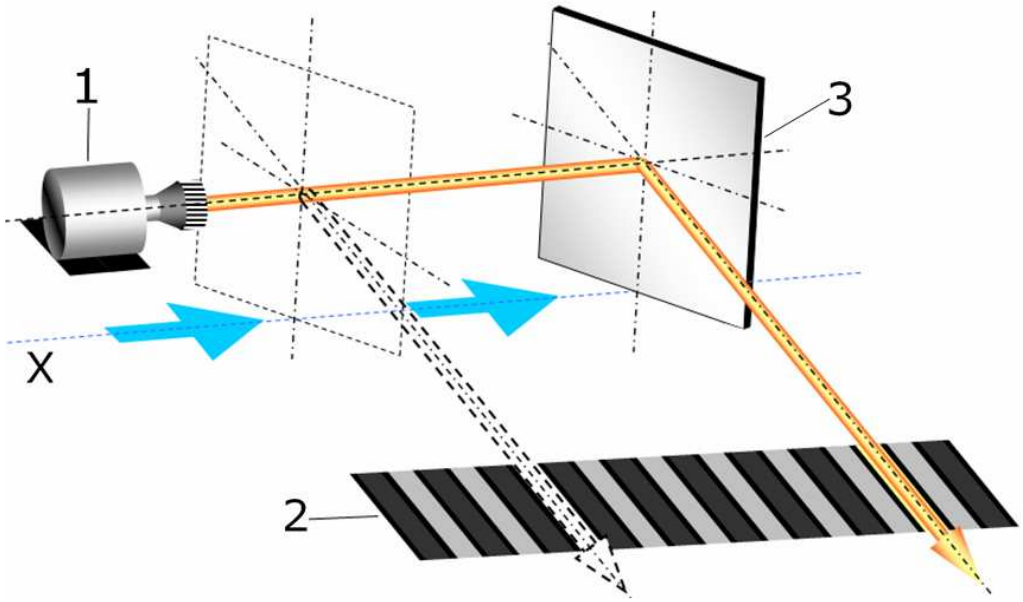
Опасността от грешно четене може да се избегне,

- или като се използва код, в който при всяко елементарно преместване се изменя само един бит (обикновено това са специални кодове – например, код на Грей);
- или като се използва прав двоичен или BCD код, но се включва допълнително четящо устройство, позволяващо да се избягва двусмисленото четене в преходните зони (носители на код с две пътечки с управлявано четене) – например т.нар. U-виден запис.

5.6. Оптични преобразуватели

5.6.1. Оптичен преобразувател на положение

Обобщена схема на такъв преобразувател е показана на фиг.5.34.



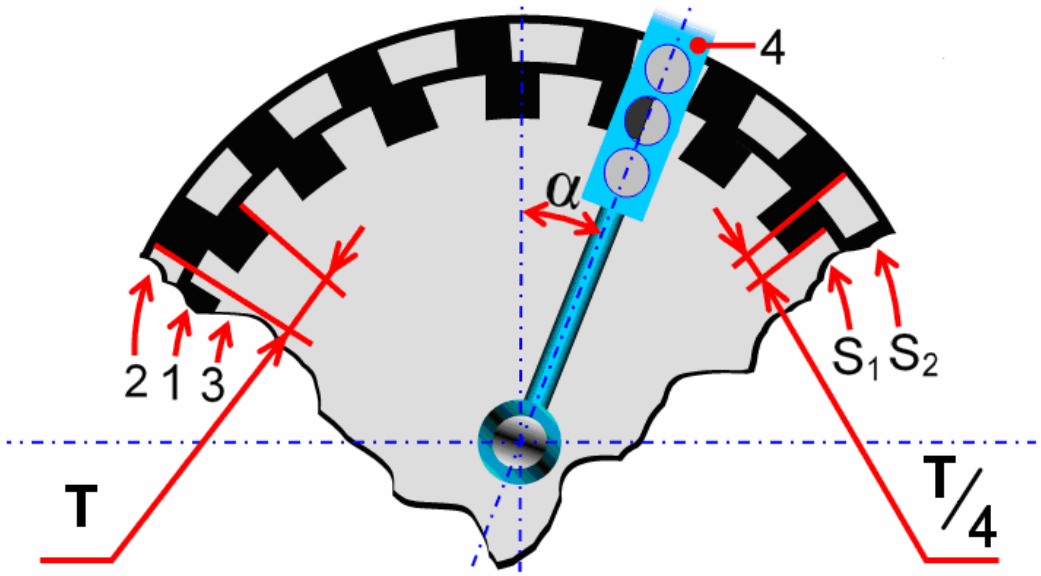
1 – лазер; 2 – фотодиоди; 3 – преграда

Фиг.5.34. Оптичен преобразувател на положение

Като светлинен източник се използва лазер. Лъчът, формиран от него, се отразява от преграда, която се премества заедно с обекта, чието положение се определя. В зависимост от това положение отразеният лъч пада върху съответни фотодиоди, които са приемници на излъчването.

5.6.2. Инкрементални (относителни) оптични енкодери

Дават възможност за определяне на преместването, както и на скоростта на въртене на даден обект с помощта на неголям брой пътечки (2 или 3) с по-малко сложна маска в сравнение с абсолютните кодови преобразуватели.



Фиг.5.35. Инкрементален (относителен) оптичен енкодер

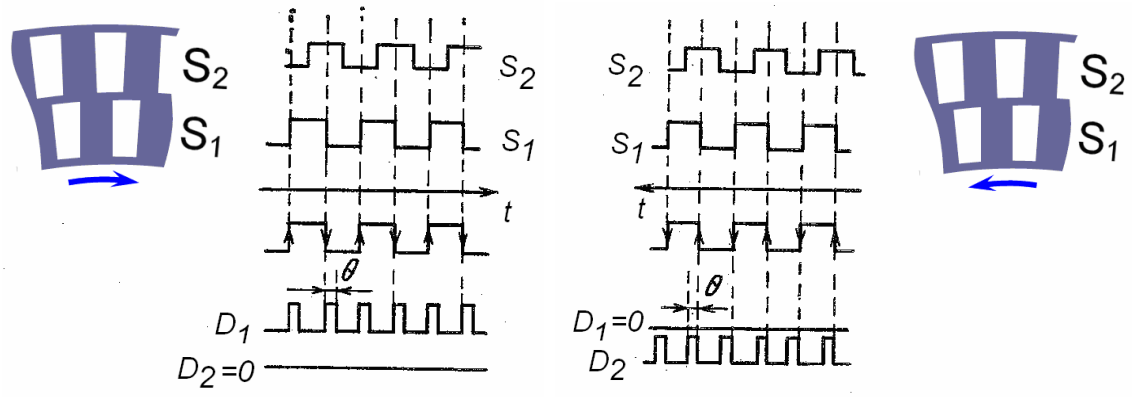
Две концентрични (при ротационните) или успоредни (при линейните) пътечки са разделени по на N равни елементарни площадки (стъпки), последователно – непрозрачни и пропускащи светлината, образуващи растер. При това площадките от едната пътечка са изместени на четвърт пространствен период ($T/4$) една спрямо друга. Понякога се добавя трета пътечка (с единствена прозрачна площадка) с цел да е възможно броенето на оборотите и установяване на нулата на брояча (фиг.5.35).

Следователно, тези преобразуватели могат да се използват за:

- определяне на преместването и скоростта на преместването;
- определяне на посоката на движението;
- нулиране и броене на оборотите.

Четенето за всяка пътечка се осъществява с помощта на оптична двойка: източник (светодиод) и приемник (фототранзистор), разположени от противоположните страни на диска (рейката).

За определянето на посоката на преместването се използва електронна схема, която позволява, изхождайки от сигналите S_1 на пътечка 1, да се разпознаят техните предни $\{\uparrow: (dS_1/dt) > 0\}$ или задни $\{\downarrow: (dS_1/dt) < 0\}$ фронтове, които да се свържат със състоянието S_2 (0 или 1) на пътечка 2 в същия момент (фиг.5.36).



Фиг.5.36. Времедиаграми на работа на електронна схема
за определяне на посоката на преместването

5.7. Индукционни преобразуватели

Принципът на действие на индукционните преобразуватели се основава на закона за електромагнитната индукция.

Те представляват съчетание на постоянен магнит (по-рядко – електромагнит) и бобина. Изменението на входната величина, която може да бъде линейно или ъглово преместване, изменя потока, обхванат от бобината, вследствие на което в нея се индуктира е.д.н., пропорционално на входната величина. Това са генераторен тип преобразуватели.

Индуктираното е.д.н. се определя с израза

$$e = -W\frac{d\Phi_t}{dt}\ , \qquad (5.28)$$

където $\frac{d\Phi_t}{dt}$ е скоростта на изменение на магнитния поток. Тази скорост зависи от скоростта на изменение на входната величина.

Отчитайки зависимостта (5.28), при синусоидален поток

$$\Phi_t = \Phi_m \sin \omega t \qquad (5.29)$$

за индуктираното електродвижещо напрежение се получава

$$e = -W\ \omega \Phi_m \cos \omega t \qquad . \qquad (5.30)$$

Индуктираното е.д.н. зависи от скоростта на изменение на магнитното поле. Честотата му също зависи от тази скорост.

Видове индукционни преобразуватели

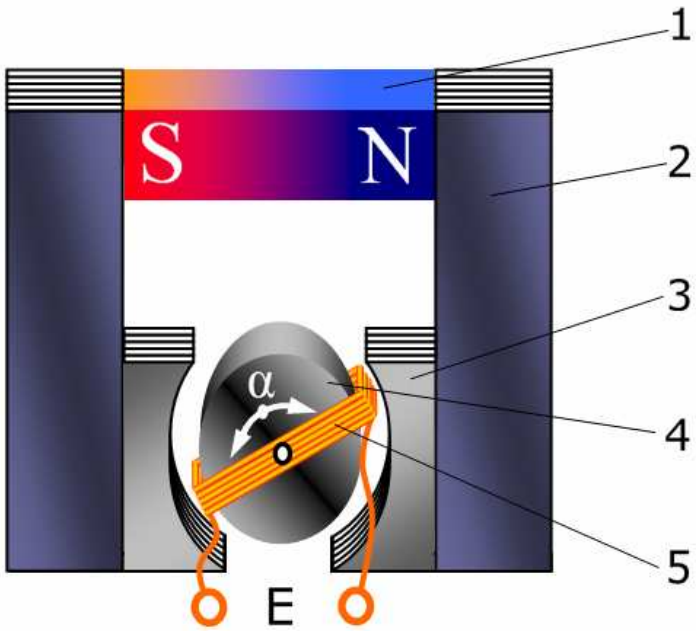
• С промяна на взаимното разположение между постоянния магнит и бобината под действие на входната величина. От своя страна този вид се дели още на два подвида:

- с неподвижен магнит и подвижна бобина;
- с неподвижна бобина и подвижен магнит.

• С неподвижни магнит и бобина и подвижен трети елемент, чието положение се променя под действието на входната величина.

5.7.1. Индукционни преобразуватели с подвижна бобина

- *при ъглови премествания*

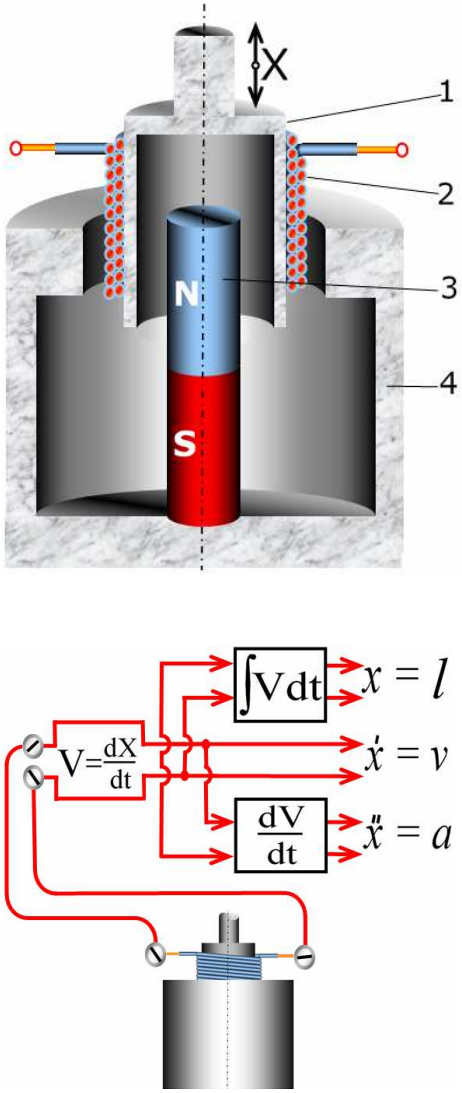


1 – постоянен магнит; 2, 3 и 4 – феромагнитни елементи;
5 – бобина, която се завърта под въздействие на входната величина

Фиг.5.37. Индукционен преобразувател с подвижна бобина за ъглови премествания

- *при линейни премествания*

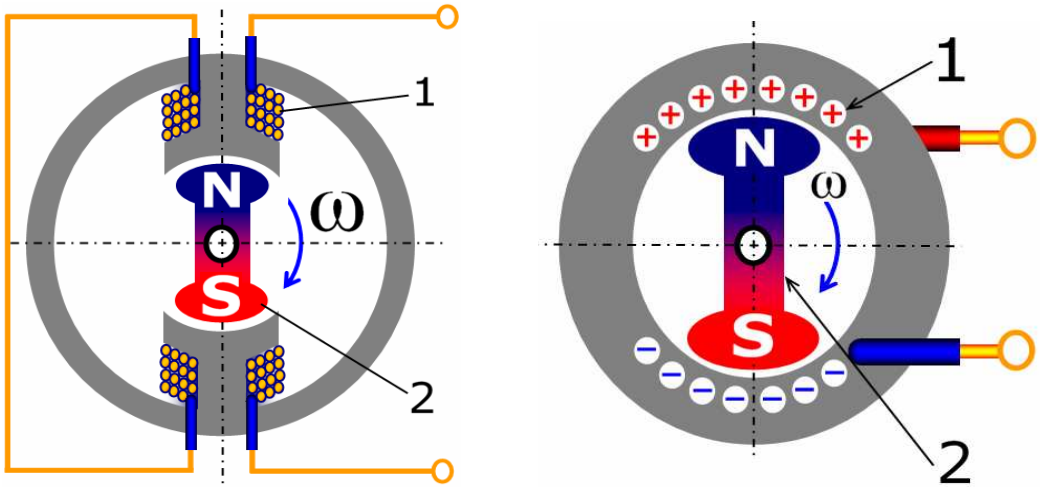
Индуктираното е.д.н. е пропорционално на скоростта $v=\frac{dX}{dt}$. Чрез използване на интегриращ или диференциращ преобразувател, на изхода може да се получи сигнал, пропорционален съответно на преместването X или ускорението a.



1 – неметална основа на подвижната бобина; 2 – подвижна бобина, свързана с измененията, предизвикани от входната величина; 3 – постоянен магнит; 4 – магнитопровод

Фиг.5.38. Индукционен преобразувател с подвижна бобина за линейни премествания

5.7.2. Индукционни преобразуватели с подвижен магнит



1 – бобина; 2 – постоянен магнит

Фиг.5.39. Индукционни преобразуватели с подвижен магнит

В случая, аналогично се получава, че индуктираното е.д.н. е пропорционално на ъгловата скорост, т.е.

$$e = S_{\omega}.\omega, \qquad (5.31)$$

където ω е ъгловата скорост.

5.7.3. Индукционни преобразуватели с изменение на положението на трети елемент

При тези преобразуватели постоянният магнит и бобината са неподвижни:

- при линейни премествания (фиг.5.40)

Магнитопроводът е с цилиндрична форма. Върху средната цилиндрична част, която представлява постоянен магнит, е разположена неподвижна бобина. В междината между магнита и магнитопровода се движи подвижна част, представляващ феромагнитен елемент (котва). При това движение на котвата се изменя магнитното съпротивление на въздушната междина, което води до промяна на магнитния поток.

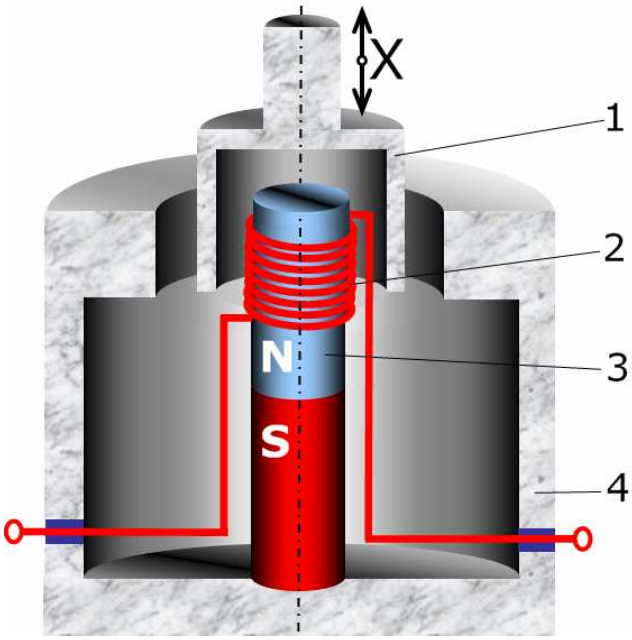
- за измерване на скоростта на въртене (фиг.5.41)

Постоянният магнитен поток е един и същ, но той се разпределя различно между двете колони в зависимост от това, коя част (зъб или канал) на подвижния елемент попада под съответната колона. Магнитното съпротивление на въздушната междина между колоната на магнитопровода и зъбното колело е минимална, когато под колоната попада зъб и максимално

– когато има канал. В останалите случаи това съпротивление е междинно. С това се променят магнитните потоци Φ_1 и Φ_2 през бобините, свързани разнопосочно и се индуктира е.д.н.

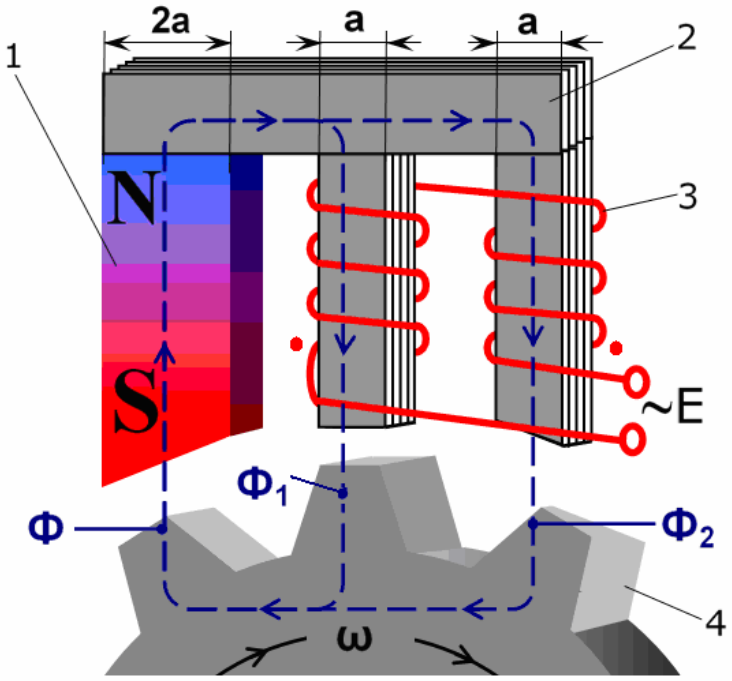
$$E = f(\omega)\ , \tag{5.32}$$

което зависи от ъгловата скорост ω на въртене на диска.



1 – подвижна феромагнитна котва; 2 – бобина; 3 – постоянен магнит; 4 – магнитопровод

Фиг.5.40. Индукционен преобразувател с изменение на положението на трети елемент при линейни премествания



1 - постоянен магнит; 2 – магнитопровод;
3 – подвижен елемент – зъбно колело; 4 – бобина

Фиг.5.41. Индукционен преобразувател с изменение на положението на трети елемент за измерване на скоростта на въртене

5.8. Пиезоелектрически преобразуватели

Тъй като за действаща сила е в сила зависимостта

$$F = m\,a\,, \tag{5.33}$$

където m е масата, а a – ускорението, то пиезопреобразувателите могат да се използуват за измерване освен на динамични (изменящи се във времето) сили (до 10^4N), и на ***ускорения*** (до 1000g) в обхват от 0.5 до 100 Hz. Ако се използват допълнително един или два интегриращи елемента, то могат да се измерят и други параметри на движение – ***скорости*** или ***амплитуди*** (напр. *параметри на вибрации* – ***вибропреместване, виброскорост и виброускорение***).

5.9. Въпроси за самопроверка

1. Потенциометричните преобразуватели могат да бъдат:
   а) с фотоефект;
   б) с механични контакти;
   в) тензорезистивни;
   г) магнитни.

2. Индуктивните преобразуватели могат да бъдат:
   а) с изменяща се дължина δ на въздушната междина;
   б) реостатни;
   в) с изменяща се площ s на въздушната междина;
   г) диференциални;

3. Линейно изменящият се диференциален трансформатор (ЛИДТ) представлява:
   а) пиезотрансформаторен преобразувател;
   б) взаимноиндуктивен преобразувател с подвижно ядро;
   в) магнитоанизотропен преобразувател.

4. При измерване с капацитивни преобразуватели може да се изменя:
   а) разстоянието δ между електродите;
   б) оптичните параметри на средата между електродите;
   в) диелектричната проницаемост ε на средата между електродите;
   г) площта s на електродите.

5. Енкодерите могат да бъдат:
   а) капацитивни;
   б) абсолютни;
   в) взаимноиндуктивни;
   г) инкрементални (относителни).

6. Индукционните преобразуватели са:
   а) с неподвижен магнит и подвижна бобина;
   б) с подвижни електроди;
   в) с неподвижни магнит и бобина и подвижен трети елемент;
   г) с неподвижни елементи;
   д) с неподвижна бобина и подвижен магнит.

СЕНЗОРИ ЗА ПОТОК

Под термина поток се разбира движението на течности или газове през тръби или отворени канали. Той се характеризира най-често с параметрите си дебит/разход и скорост на потока.

Под дебит/разход на потока се разбира количеството флуид – течност или газ, което преминава за определено време през тръби или отворени канали. При измерването на дебит/разход на течности или газ се използват единици, отнасящи се до обема или теглото на потока за определено време.

Основната обемна единица е m^3/s, която определя обемът на преминалия газ или течност за единица време. Като допълнителна единица може да се използва l/s, която определя преминалият обем течност или газ в литри за единица време. Дебитът/разходът на даден флуид може да се определи чрез произведението на скоростта на потока и площта на напречното сечение на тръбата или канала, през които преминава.

При тегловно измерване на дебит/разход се използва единицата kg/s. Тя определя теглото на преминалата маса на флуида (в килограми) за единица време.

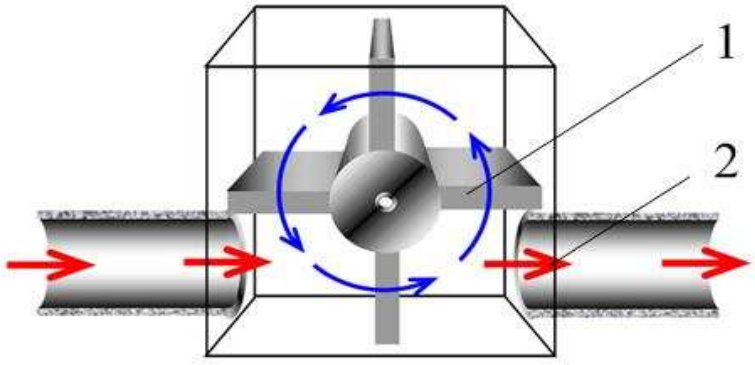
Друга използвана обемна единица за измерване на дебит/разход е ft^3/s (кубически фута за секунда), а тегловна – lb/s (паунда за секунда).

6.1. Ротационни сензори за поток

При ротационните сензори за поток се преобразува въртеливото движение на ротор, задвижван от перка или турбина, в показание за стойността на потока. При увеличаване на потока се увеличава скоростта на въртене на ротора.

6.1.1. Сензори за поток с перка

Конструкцията на този преобразувател за поток се базира на използването на перка, задвижвана от потока (фиг.6.1).



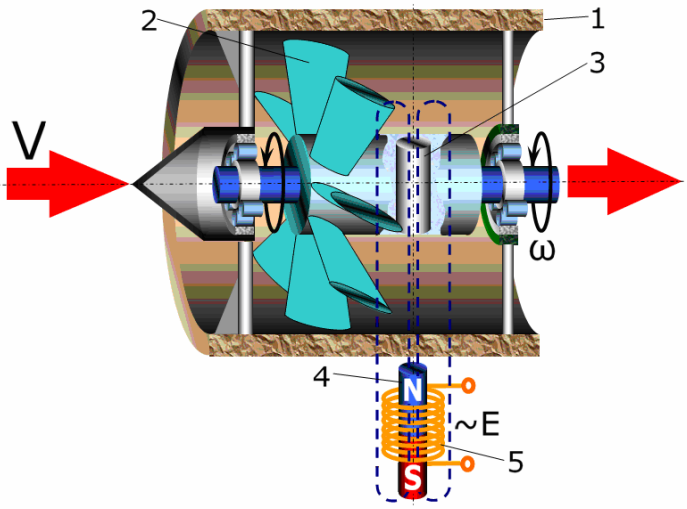
1 – перка; 2 – поток

Фиг.6.1. Ротационен сензор за поток с перка

Въртенето на перката се следи от сензори и може да се отчита електронно с помощта на измервателна схема. Това е една от най евтините конструкции на преобразуватели за дебит/разход, които намират приложение в практиката.

6.1.2. Сензори с турбина и индукционен преобразувател

При този тип преобразуватели роторът с прикачената към него турбина се монтира в центъра на тръбата и при движението си флуидът (течност или газ) завърта турбината (фиг.6.2).



1 – тръба от немагнитен материал; 2 – турбина; 3 – феромагнитна пръчка; 4 – постоянен магнит; 5 – бобина

Фиг.6.2. Ротационен сензор за поток с турбина

В турбината е пресована феромагнитна пръчка. Извън тръбата, но в непосредствена близост с нея, е разположен постоянен магнит, а около него – измервателна бобина. Постоянният магнит създава магнитен поток, който е максимален – когато пръчката застане успоредно на него и минимален – когато застане перпендикулярно. Вследствие на изменението на магнитния поток, в бобината се индуктира е.д.н., което е пропорционално на скоростта на въртене на турбината

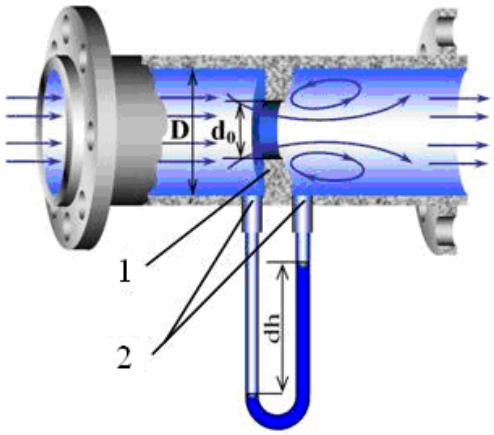
$$E = f(\omega) \quad , \qquad (6.1)$$

респективно – на скоростта на потока. На основата на тази скорост се пресмята и дебитът/разходът на флуида.

6.2. Сензори за поток на основата на измерване на налягане

6.2.1. С калибриран отвор

Калибрираният отвор представлява метална диафрагма с отвор, разширяващ се по посока на движение на течността или газа (фиг.6.3). Тя е монтирана перпендикулярно на посоката на потока. От двете страни на отвора има измервателни отвори, където се отчита налягането в тръбата преди и след него. Разликата в двете налягания се използва при определяне на големината на потока.

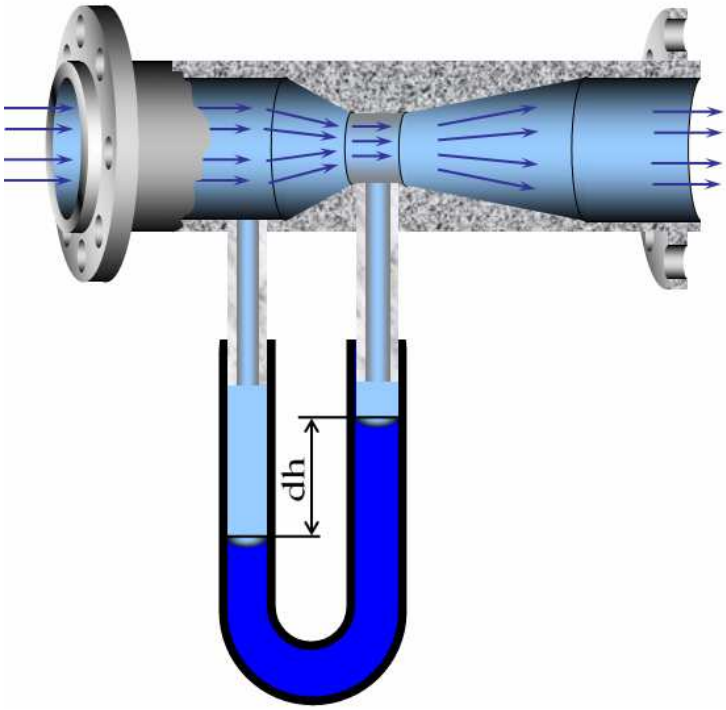


1 – калибриран отвор; 2 – измервателни отвори

Фиг.6.3. Сензор за поток с калибриран отвор

6.2.2. С тръба на Вентури

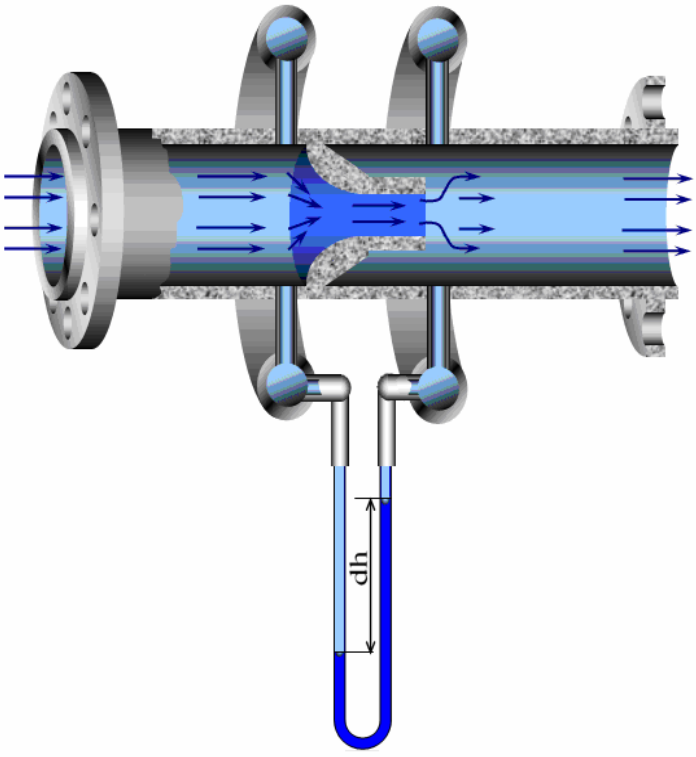
Измерването на поток с тръба на Вентури (фиг.6.4) използва същия принцип, както и преобразувателите за поток с калибриран отвор, а именно – разлика в наляганията. В сравнение с измерването на поток с преобразувателите с калибриран отвор, тези с тръба на Вентури създават по-малка турбуленция. Поради това те не намират приложение в тръби с голям диаметър. Отворите за измерване на налягането се разполагат в най-широката и съответно – в най-тясната част в тръбата на Вентури.



Фиг.6.4. Сензор за поток с тръба на Вентури

6.2.3 С дюза

Този тип преобразуватели за поток (фиг.6.5) действа по подобен начин на тези с калибриран отвор и тръба на Вентури. Геометрията на дюзата се определя от диаметъра на тръбата.



Фиг.6.5. Сензор за поток с дюза

6.3. Ултразвукови сензори за поток

Ултразвуковите преобразуватели на поток измерват промяната на времето на преминаване на ултразвуков сигнал по посока и обратно на посоката на движение на потока. Ултразвуковият сигнал, изпратен по посока на движение на течността, има по-висока скорост от сигнала, движещ се в обратна посока на флуида.

Използват се следните методи за отчитане на потока с помощта на ултразвук:

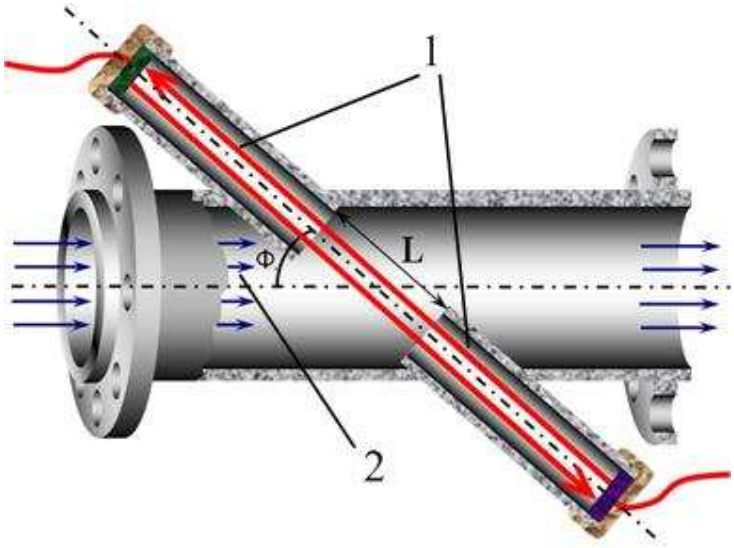
- с непрекъснат ултразвуков сигнал;
- с генериране на импулси с ултразвукова честота;
- посредством използване на Доплеровия ефект.

6.3.1. С непрекъснат ултразвуков сигнал

Когато се използва непрекъснат ултразвуков сигнал, между излъчения и приетия сигнал се появява фазова разлика, посредством която се определя големината на потока.

6.3.2. С генериране на импулси с ултразвукова честота

При измерването посредством генериране на импулси (фиг.6.6) се излъчват импулси от двата ултразвукови сензора, съответно по посока и обратно по посоката на движение на флуида или газа. Измерва се времето на приемане на импулсите като големината на потока се определя вследствие на разликата във времето на приемане на импулсите, движещи се в двете посоки.



1 – ултразвуков излъчвател-приемник; 2 – поток

Фиг.6.6. Ултразвуков сензор за поток

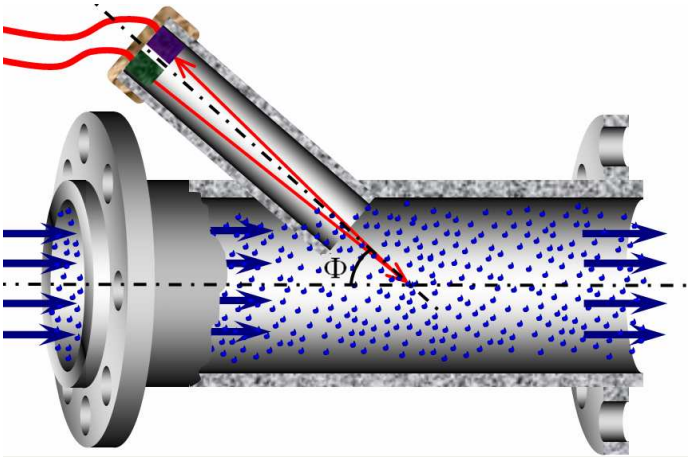
6.3.3. Посредством използване на Доплеровия ефект

Друг метод за измерване на поток посредством ултразвук е с помощта на така наречения Доплеров ефект. Доплеровият ефект се състои в промяната на приеманата от наблюдателя честота или дължина на вълната, когато източникът и/или наблюдателят (приемникът) се движат по направление един към друг. Честотата се увеличава, когато източникът и наблюдателят се доближават, и намалява, когато се отдалечават.

Промяната на честотата при положение, че и източникът, и приемникът се движат, се дава с формулата

$$f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_0}{v \mp v_s} \right), \qquad (6.2)$$

където f' е приеманата честота, f – излъчената честота, v – скоростта на звука, а v_0 и v_s са съответно скоростите на наблюдателя и излъчвателя.



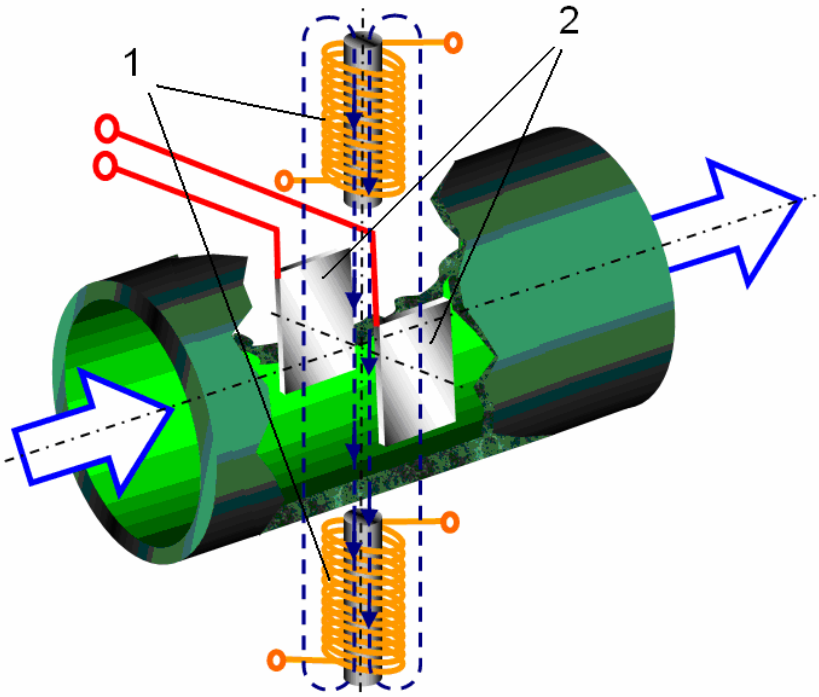
Фиг.6.7. Ултразвуков сензор за поток посредством Доплеров ефект

При този метод (фиг.6.7) се следи отражението на ултразвуковия сигнал от движещите се в потока частици. При достигането на частица ултразвуковият сигнал се отразява като с това изменя и честотата си. Разликата в честотите се използва за определяне на скоростта на потока. Като недостатък на метода може да се посочи, че с увеличаване на броя на частиците се увеличава и евентуалната грешка от измерването.

6.4. Магнито-индуктивни

Магнито-индуктивните сензори за поток (фиг.6.8) се основават на свойството, че ако проводник с дадена дължина l се движи в магнитно поле, перпендикулярно на магнитните линии, в проводника се индуцира електродвижещо напрежение.

Ролята на движещия се проводник в случая играе течността, която трябва да е електропроводима. От двете страни на тръбата са разположени електроди, които на практика определят дължината l на проводника. Индуцираното напрежение е пропорционално на скоростта на движение на флуида. Точността на този тип преобразуватели е значителна, но за сметка на по-високата им цена.

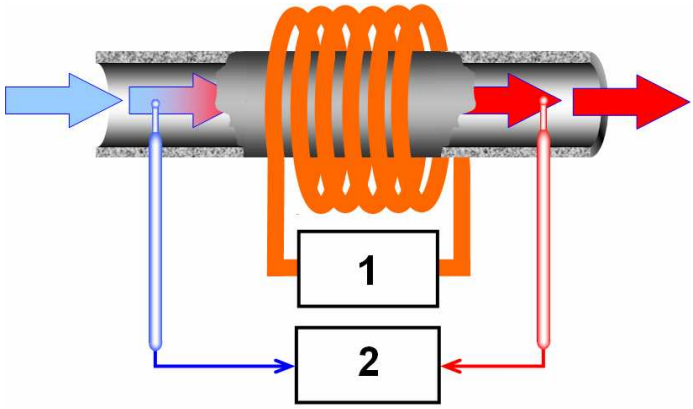


1 – индуциращи намотки; 2 – електроди

Фиг.6.8. Магнито-индуктивен сензор за поток

6.5. Калориметрични сензори за поток

Методът се базира на разпространение на температурата, създадена от нагревател, която се измерва от два сензора, разположени симетрично на нагревателя (фиг.6.9).



1 – управление на нагревателя; 2 – измервателен блок

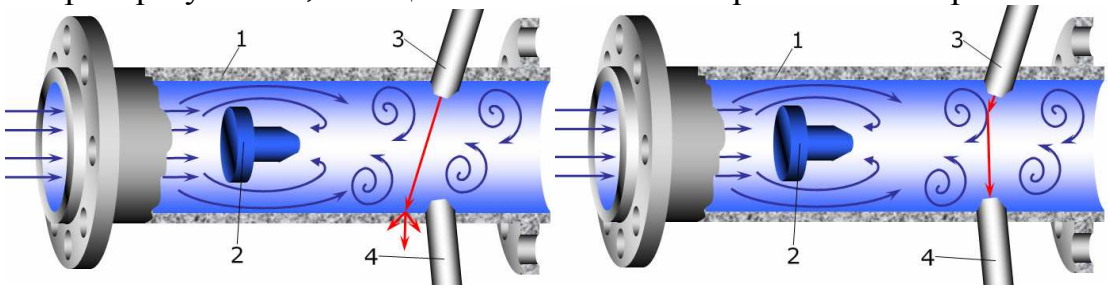
Фиг.6.9. Калориметричен сензор за поток

Скоростта на движение на флуида или газа е пропорционална на разликата в показанието на двата сензора. Принципът на работа включва и компенсиране на температурата на самия флуид, за да може да се постигне добра точност на измерването.

6.6. Вихрови (vortex) сензори на поток

Вихровите преобразуватели за поток (фиг.6.10) са базирани на принципа на завихрянето на течностите или газовете, ако по техния път на движение се постави препятствие. Те не съдържат движещи се части, което за някои приложения е от голямо значение. Честотата и броят на образувалите се завихряния е пропорционален на потока. Използваният в тези преобразуватели на поток метод е удобен за измерване на по-големи скорости на движение на флуида, докато при ниски скорости грешката нараства.

Самият брой на завихрянията може да се измерва посредством термистори, ултразвукови и оптични сензори, както и чрез тензопреобразуватели, капацитивни и пиезоелектрически сензори.



а б

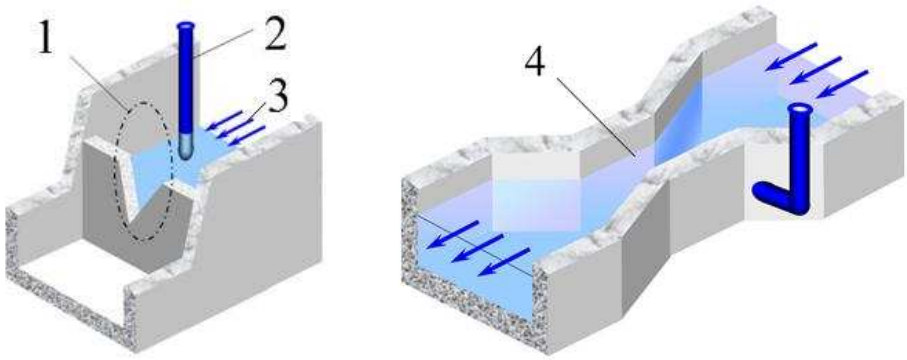
1 – посока на потока; 2 – препятствие;
3 и 4 – сензори за отчитане на завихрянията

Фиг.6.10. Вихров сензор за поток

6.7. Сензори за поток за отворени канали

Често в практиката се налага измерване на поток на течност в отворени канали. В този случай основно се използват два метода:

- с преливници (фиг.6.11а);
- с подаващи канали (фиг.6.11б).



а б

1 – преливник; 2 – сензор за ниво; 3 – улей; 4 – измервателен канал

Фиг.6.11. Сензори за поток при отворени канали

6.8. Въпроси за самопроверка

1. Коя единица се използва за измерване на поток на течности и газове?
   а) kg
   б) N
   в) N/m
   г) m^3/s

2. Кои от изброените сензори за поток са ротационни?
   а) сензор за поток с перка
   б) сензор за поток с турбина
   в) сензор за поток с калибриран отвор
   г) сензор за поток с дюза

3. На какъв принцип работят сензорите с дюза?
   а) използва се ултразвук
   б) измерва се скоростта на въртене на турбина
   в) генерира се завихряне
   г) измерване на налягане

4. На какъв принцип се основават ултразвуковите сензори за поток?
   а) генериране на ултразвукови импулси срещу посоката на движение на флуида и измерване на времето им за приемане
   б) генериране на ултразвукови импулси по посоката и срещу посоката на движение на флуида и измерване на разликата между времената им за приемане

в) генериране на ултразвукови импулси по посоката на движение на флуида и измерване на времето им за приемане
г) генериране на ултразвукови импулси перпендикулярно на посоката на движение на флуида и измерване на времето им за приемане

5. Към елементите на калориметричните сензори за поток се отнасят:
а) нагревател и сензори за температура
б) нагревател и сензори за преместване
в) сензори за температура и ъглово преместване
г) сензори за налягане и за светлина

СЕНЗОРИ ЗА ВЛАЖНОСТ

Нивото на влажността оказва съществено влияние на редица технологични процеси. Влажността на атмосферния въздух или технологичния газ е един от важните параметри, определящи качеството на изходните продукти в много технологични процеси. Затова измерването на влажността на газове има голямо значение и широко се използва в индустрията.

Основни определения за влажност

За количествена оценка на влажността на газовете се използват различни единици.

1. *Абсолютна влажност (плътност на водните пари)*, d_w. Изразява масата на водните пари, съдържащи се в единица обем на газа. Абсолютната влажност се измерва в грамове на кубически метър (g /m^3).

2. *Парциално налягане на водните пари*, p_w. Това е налягането на водните пари във въздуха, измерено при някаква температура. Измерва се в единици за налягане (обикновено в хектопаскали, hPa).

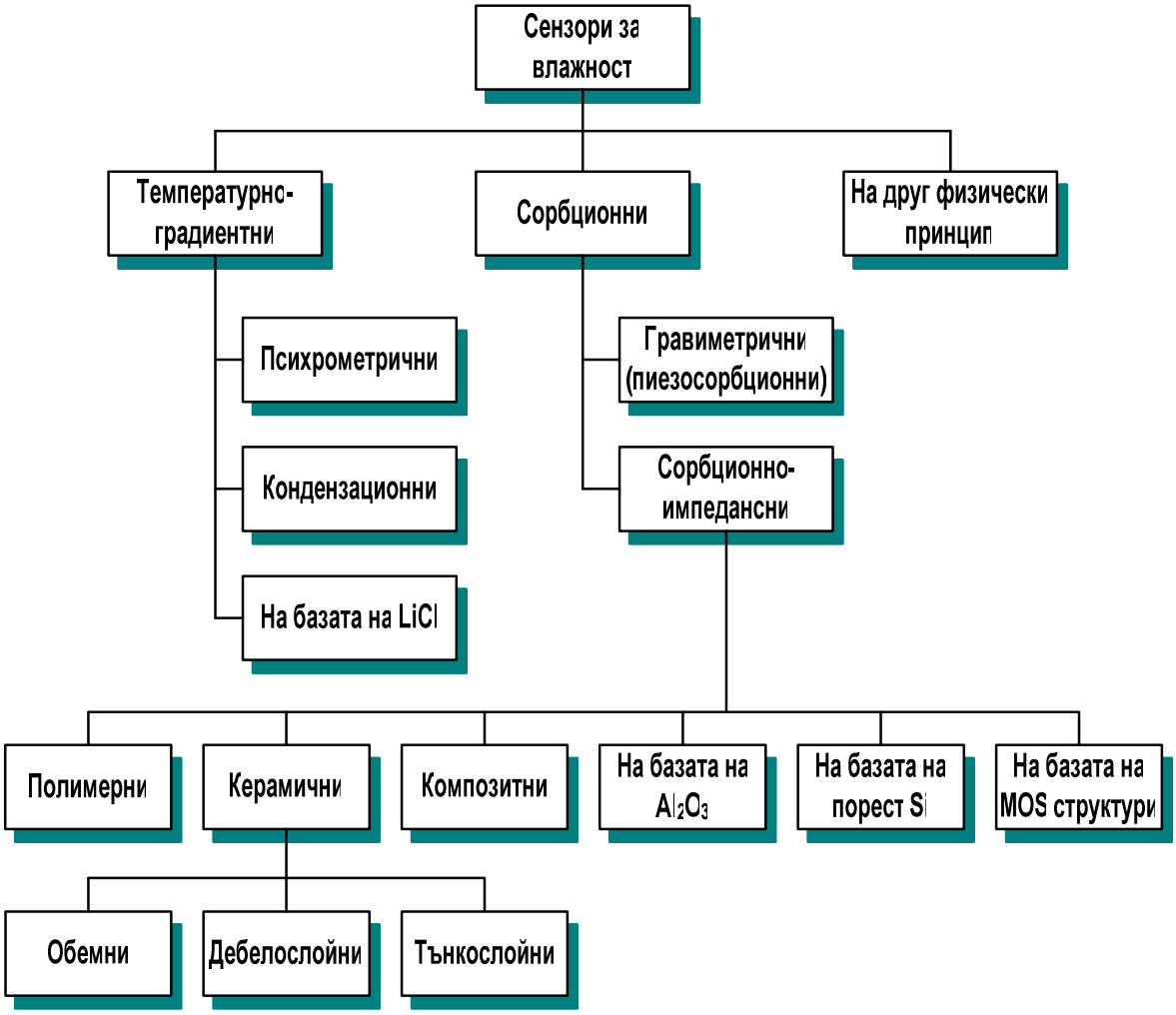
3. *Обемно влагосъдържание (обемна концентрация на водните пари)*, *Cv*. Определя се като отношение на обема на водната пара към обема на газа. Обемното влагосъдържание се използва за характеристика на много малки съдържания на водна пара. Измерва се в ppm (parts per million).

4. *Относителна влажност, H(RH)*. Отношението на парциалното налягане на водните пари към налягането на наситените водни пари при дадена температура. Величината *H* характеризира степента на насищане на газа с водни пари и във връзка с това намира приложение в много области на науката и техниката. Относителната влажност се измерва в проценти ($0 \le H \le 100$).

5. *Температура на точката на кондензация (точка на оросяване)*, T_p. Температурата, при която парциалното налягане на водните пари става максимално. Това е температурата, при която относителната влажност на въздуха е равна на 100%. Точката на кондензация се използва за измерване на концентрацията на водна пара в индустриални процеси при висока темпе-

ратура.

Класификация на сензорите за влажност е представена на фиг.7.1.



Фиг.7.1. Класификация на сензорите за влажност

7.1. Температурно-градиентни сензори за влажност

7.1.1. Психрометрични сензори за влажност

Психрометричният метод е предназначен за измерване на относителната влажност на газ (предимно на въздух) при температури, по-високи от 273K, и е основан на зависимостта на влажността на въздуха от показанията на сух и влажен термометър. При това температурата на влажния термометър

зависи от интензивността на изпарение на водата от овлажнената повърхност.

На точността и надеждността на метода влияят редица фактори: точност на термометрите, скорост на въздушния поток, обтичащ овлажнения термометър, взаимно разположение на термометрите и др. Като термочувствителни елементи се използуват термодвойки, термистори, диоди и др.

7.1.2. Кондензационни сензори за влажност

Кондензационният метод е основан на зависимостта на температурата на кондензация на парите на водата на охладена повърхност на твърдото тяло от концентрацията на водните пари. Към предимствата на метода се отнасят възможността за измерване на влажност в широк диапазон на концентрация на водните пари, температурата и налягането на анализираната среда, а също градуировката на сензорите по температура, а не по влажност. При реализацията на метода е необходимо да се осъществи регулируемо охлаждане на кондензиращата повърхност на детектора, точна фиксация на момента на появяване на слоя кондензат с едновременно регистриране температурата на кондензиращата повърхност.

За определяне момента на образуване на слоя кондензат се използуват оптоелектронни и електрически методи, а също така структури на базата на повърхностни акустични вълни.

7.1.3. Температурно-градиентни сензори на базата на литиев хлорид

Принципът на действие на този сензор се състои в нагряване на солеви разтвор на базата на LiCl до тогава, докато в разтвора не се установи налягане на парите, равно на налягането на водните пари в анализираната среда. Знаейки тази температура, може да се определи налягането на водните пари и оттам – температурата на точката на кондензация. Сензорът се състои от тръба, обвита с тъкан, която е напоена с разтвор на LiCl. Върху тръбата са навити два електрода от корозионно устойчив метал. На електродите се подава променливо напрежение и в разтвора протича ток, който го нагрява и предизвиква изпарение на водата. След изпарение на водата, токът, преминаващ между електродите, рязко намалява, тъй като проводимостта на кристалния LiCl е значително по-ниска от проводимостта на разтвора. В резултат на това се намалява температурата на сензора. Така се установява равновесие между твърдия LiCl и неговия разтвор. Това равновесие настъпва при температура, непосредствено свързана с налягането на водните пари. Температурата се измерва със сензор Pt100, който е част от конструкцията на сензора. По тази температура се определя съдържанието на влага във въздуха.

7.2. Сорбционни сензори за влажност

Принципът на действие на сензорите от тази обширна група е основан на явлението сорбция на влага от анализираната среда. Извършващите се при това изменения на физико-химичните или електрофизични параметри на чувствителния елемент на сензора, намиращ се в хидротермично равновесие със средата, служат като мярка за определяне съдържанието на влага.

В зависимост от вида и механизма на сорбция, се различават адсорбционни, абсорбционни и хемосорбционни сензори за влажност. В първите от тях сорбцията на парите на водата се извършва на повърхността на непорест сорбент или на повърхността на порите в порест. В сензорите от абсорбционен тип поглъщането на влага се осъществява от целия обем на сорбента. В хемосорбционните сензори сорбираната вода химически взаимодейства с материала на сорбента.

В сензорите от адсорбционен и абсорбционен тип поглъщането на влагата от сорбента се съпровожда с изменение на неговата маса и електрофизни характеристики като съпротивление, капацитет, диелектрична проницаемост и др. В съответствие с това се различават сензори от гравитационен тип, към които преди всичко се отнасят пиезосорбционните сензори, основани на изменения на масата на сорбента, и импедансни сензори, основани на изменението на пълното съпротивление (или на една от неговите съставляващи) на сорбента.

7.2.1. Гравиметрични (пиезосорбционни) сензори на влажност

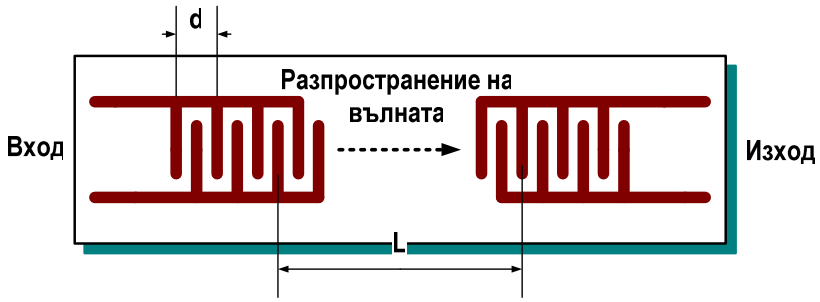
Измерването на присъединената маса на пиезокварцовите резонатори позволява да се регистрират сорбции на ниво 10^{-9} - 10^{-12} g/cm^2, което дава възможност да се реализират гравиметрични или пиезосорбционни сензори на влажност, притежаващи висока чувствителност и точност на измерването. В сензорите от този тип при сорбция на влага се изменя масата на сорбента, нанесен на повърхността на пиезокварцовия резонатор, което довежда до изменение на честотата на резонанса със стойност Δf

$$\Delta f = -\frac{f_0^{\,2}}{N\rho_k S}\Delta m \quad , \tag{7.1}$$

където f_0 е резонансната честота на кварцовия резонатор, N – честотна константа, ρ_k – плътност на пиезоелемента, S – площ на пиезоелемента, Δm – изменение на масата на сорбента.

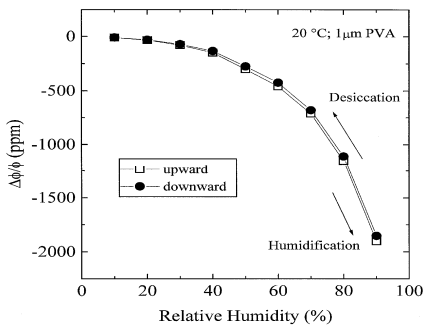
Големината на изходния сигнал на пиезосорбционния чувствителен елемент се определя от сорбционната активност на използвания сорбент.

Освен на базата на пиезокварцови резонатори, този тип сензори се реализират и на основата на повърхностни акустични вълни (ПАВ – surface acoustic wave – SAW). Принципът им на действие използва също промяната в масата на влагочувствителен слой, реализиран най-често на базата на полимер. Видът на акустична вълна се определя от свойствата на пиезоелектричната подложката, кристалния срез и структурата на електродите, които формират излъчвателя и приемника на акустичните вълни (фиг.7.2). Увеличението на диелектричната константа, масата или електропроводимостта на влагочувствителния слой в резултат на абсорбцията на влага води до понижение на скоростта на ПАВ. Промяната в изхода на сензора може да е резултат от промяната в скоростта, честотата или фазата на вълната.



Фиг.7.2. Структура на сензор на базата на ПАВ

Структурата на сензор за влажност на основата на ПАВ, конструиран върху подложка от $LiNbO_3$, с нанесен влагочувствителен слой на базата на поливинилов алкохол (PVA), е показана на фиг.7.3а.



а б

Фиг.7.3. Структура (а) и характеристика (б) на сензор за влажност на основата на ПАВ с нанесен влагочувствителен слой от поливинилов алкохол

Изменението на фазата на изходния сигнал като функция от относителната влажност е показано на фиг.7.3б. Характеристиката е нелинейна с малък хистерезис.

7.2.2. Сорбционно-импедансни сензори за влажност

Действието на сорбционни импедансните сензори за влажност е основано на зависимостта на пълното съпротивление (импеданса) на влагочувствителния слой от сорбираната влага. В повечето случаи еквивалентната схема на сензори от такъв тип може да бъде представена във вид на паралелно свързани резистор и кондензатор. Пълното съпротивление на тази еквивалентна схема се определя със зависимостта

$$Z = \frac{R}{1 + j2\pi fRC} \qquad (7.1)$$

където Z е пълното съпротивление, R и C – активното съпротивление и капацитета на слоя сорбент между електродите, f – честота на захранващото напрежение.

- Сензори с полимерен влагочувствителен слой

Практически всички органични полимерни материали в една или друга степен изменят своите физико-химични свойства при сорбция на влага. Това позволява използването на много от тях в сензори за влажност. Полимерите, използвани като материали за чувствителност елементи за влажност, се класифицират като полиелектролитни и диелектрични. Сензорите, реализирани с тези материали, са от капацитивен, резистивен и пиезорезистивен тип.

В сензорите от диелектричен тип водните молекули се свързват на подходящи места в полимерната мрежа по време на процесите на абсорбция и десорбция. Тъй като диелектричните константи на водата и полимерите са съответно около 80 и 5, водните молекули в полимера влияят на диелектричната му константа. Диелектричната константа се увеличава с увеличаване на количеството водни молекули в полимерите. На тази база се реализират сензори за влажност с конструкция на кондензатор (фиг.7.4, а). В резултат на промяна в диелектричната константа на полимера се променя капацитетът на сензора.

Полимери с йонни мономери се класифицират като полиелектролитни. Материалите от йонен тип се характеризират с йонна проводимост, която се увеличава с увеличение на влажността. Причината за този механизъм са йонната подвижност и/или концентрацията на носители на заряд. Когато

водата се абсорбира от материала, подвижността на електростатично захванатите йони се повишава, което позволява да има транспорт между съседни места по-свободно и като резултат – съпротивлението намалява. На тази база се реализират резистивни сензори за влажност (фиг.7.4, б).

а б

Фиг.7.4. Капацитивен (а) и резистивен (б) сорбционно-импедансен сензор за влажност

Сред многото възможни полимери един често използван материал е полиимидът (polyimide). Причината за това е, че полиимидът е съвместим със съвременните процеси в полупроводниковите технологии.

Друга технология за реализация на сензор за влажност с използване на полимерен чувствителен слой е базирана на пиезорезистивен преобразувател. В силиций се формира диафрагма, върху която се нанася слой полиимид. Пиезорезисторите в диафрагмата формират мост на Уитстън. Действието на този сензор се основава на ефекта на разширяване на полиимида при увеличаване на влажността. Абсорбцията на влага води до раздуване на полиимида и създаване на натиск върху пиезорезисторите. Промяната на съпротивлението на пиезорезисторите е информативен параметър за промяната на влажността.

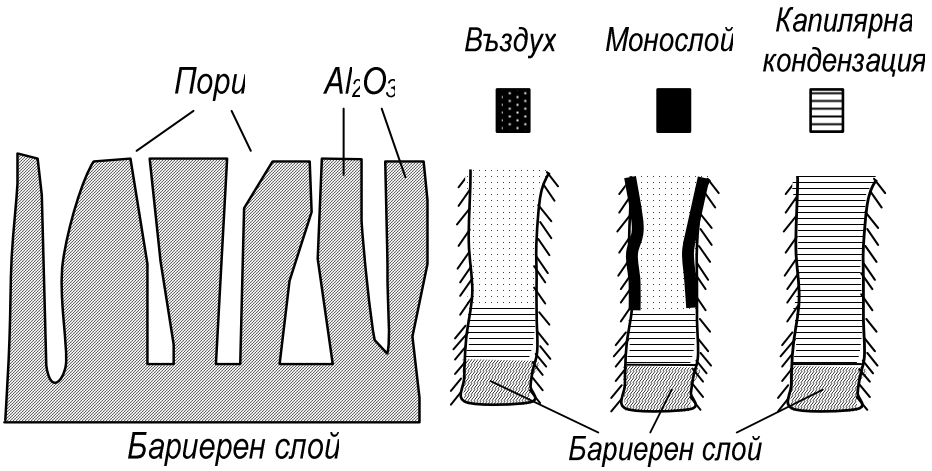
- *Тънкослойни сензори на базата на анодиран Al_2O_3*

Слоят двуалуминиев триокис се получава чрез анодно окисляване на чист алуминий.

Сензорът се състои от алуминиева подложка, на която чрез метода на електрохимичното окисление е формиран слой Al_2O_3 (фиг.7.5). Като втори електрод служи тънък влагопроницаем слой метал (предимно злато). Първоначално като подложки са използвани алуминиеви пластини, след

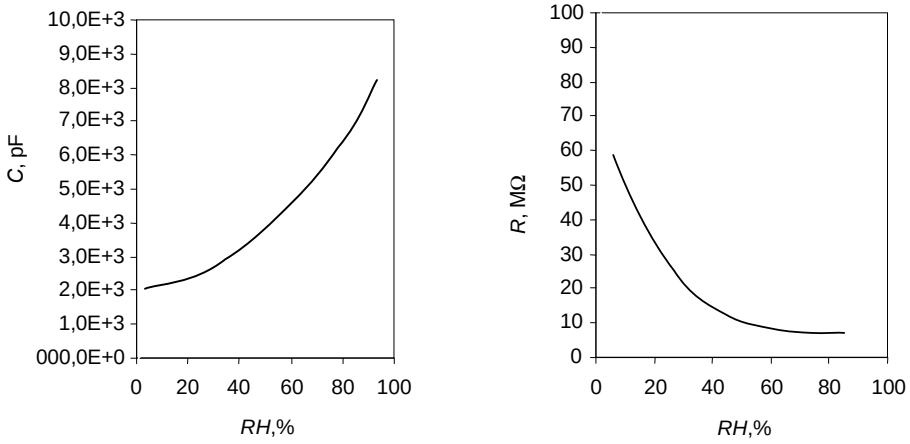
това алуминиево фолио, а сега се използуват тънки (~ 1μm) слоеве алуминий.

Характеристиките на окисно-алуминиевите сензори основно се определят от свойствата на анодните слоеве Al_2O_3, които от своя страна силно зависят от състава на електролита и режима на анодиране.



Фиг.7.5. Тънкослоен сензор за влажност на базата на анодиран Al_2O_3

На фиг.7.6 е представена зависимостта на капацитета и активното съпротивление на сензор за относителната влажност.



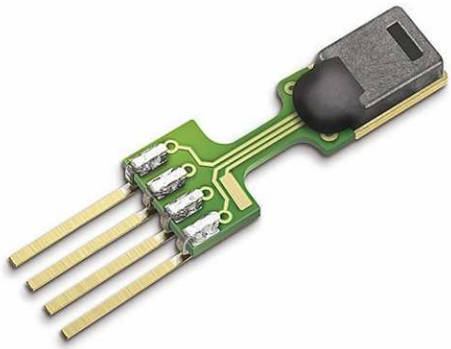
Фиг.7.6. Характеристики на тънкослоен сензор на базата на анодиран Al_2O_3

- *Сензори за влажност на основата на порест силиций*

Един от начините за получаване на сензори за влажност, за чието изготвяне може да се използват традиционните технологии за интегрални схеми с някои допълнителни технологични процеси, се основава на използването на порест силиций като чувствителен слой. При формирането на порест силиций се използва анодиране. Анодирането може да се извърши в 25% разтвор на флуороводородна киселина (HF), смесен с етанол. След този процес силицият се превръща в порест силиций.

- *Сензори за влажност на базата на MOS структури* (*фиг.7.7*)

Предимствата на тези сензори са ниската себестойност, поради изработването им в голям брой с конвенционална технология за изготвяне на интегрални схеми и добра възпроизводимост на параметрите. Като чувствителен елемент може да се използват полимери. Сред тях полиимидът (polyimide) е съвместим със стандартния технологичен процес на производство на интегралните схеми. Чувствителният елемент се реализира върху гейтовата област на MOS транзистора.



Фиг.7.7. Сензор за влажност на базата на MOS структура
(Sensirion AG)

- *Сензори за влажност на основата на керамични материали*

Към тази група се отнасят сензори, в които чувствителният елемент е изготвен от пореста полупроводникова или диелектрична керамика, състояща се от един или композиция от няколко окиса. Керамичните сензори за влажност се класифицират в съответствие с механизмите им на функционране на йонни, полупроводникови и на базата на твърд електролит.

Предимно се използват йонни сензори като характеристиката им се определя от зависимостта на съпротивлението от влажността. В зависимост от особеностите при реализацията си, сензорите от този тип се разделят на

обемни, дебелослойни и тънкослойни. Обемните керамични сензори се изготвят чрез стандартна керамична технология или нейните модификации. Дебелослойните сензори се изготвят чрез нанасяне на съответна паста върху керамична подложка (основа), най-често от Al_2O_3. Тънкослойните сензори се реализират на базата на зол-гел технология. След съответните подготвителни операции формираният елемент се синтезира при висока температура.

В сензорите от йонен тип намаляването на пълното съпротивление на чувствителния елемент при увеличаване на относителната влажност е обусловено от физическата адсорбция на повърхността и кондензацията в микрокапилярите на молекули вода. В сензорите от полупроводников тип логаритъмът на проводимостта линейно зависи от логаритъма на водната пара. В този случай молекулите на водата, свързани с повърхността на керамиката от процеса хемосорбция, действат като донорни центрове, отдаващи на керамиката електрони Основните предимства на керамичните сензори са свързани с механична здравина, устойчивост на химични въздействия, температурна и физическа устойчивост, възможност за работа при по-високи температури.

7.3. Сензори за влажност на базата на други физични принципи

Към тази група се отнасят сензори за влажност, действието на които се основава на различни от разгледаните принципи. На първо място това са оптичните сензори за влажност. При тях се изменят оптичните характеристики на влагочувствителния слой.

Други типове сензори за влажност се реализират на базата на оптично влакно. При тях се променят оптичните характеристики на влакното с нанесен върху него влагочувствителен слой. Такъв тип сензор се реализира на базата на U-образно кварцово влакно, покрито с тънък слой полимер.

Освен оптични сензори за влажност съществуват още микровълнови, фотоакустични и магнитоеластични. Сензори с микровълнова структура, работещи при честота няколко GHz, използват като чувствителен слой полиимид, формиран по дебелослойна технология. Предназначени са за контрол на работната среда в радиочестотни системи.

7.4. Въпроси за самопроверка

1. Относителната влажност *RH* се определя като:
   а) налягането на водните пари във въздуха;
   б) отношението на парциалното налягане на водните пари към налягането на наситените водни пари при дадена температура;

в) масата на водните пари, съдържащи се в единица обем на газа.

2. Температурно-градиентните сензори за влажност се разделят на:
а) гравиметрични;
б) психрометрични;
в) кондензационни;
г) на базата на порест Si.

1. Сорбционно-импедансните сензори за влажност се разделят на:
а) полимерни;
б) композитни;
в) на базата на LiCl;
г) на базата на MOS структури.

4. Сензорите за влажност на основата на керамични материали в зависимост от реализацията им се разделят на:
а) обемни;
б) дебелослойни;
в) полимерни;
г) тънкослойни;

5. Към сензорите на влажност на други физични принципи се отнасят:
а) оптичните;
б) микровълновите;
в) сорбционните;
г) фотоакустичните.

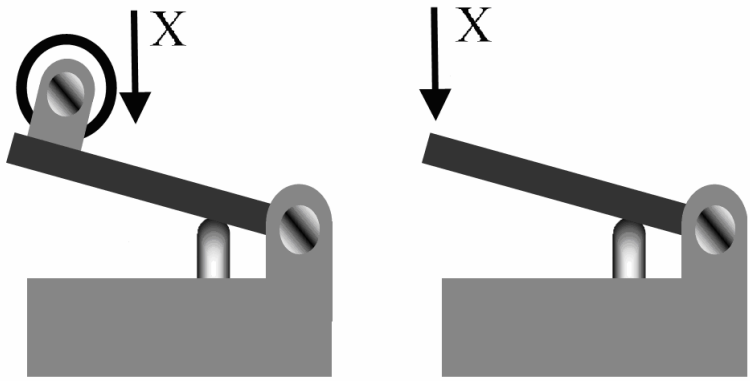
СЕНЗОРИ ЗА РЕГИСТРИРАНЕ НА ОБЕКТИ

8.1. Контактни сензори за регистриране на обекти

Като контактни сензори за наличие на обекти могат да се ползват механичните превключватели. Те генерират сигнал от типа – включено/ изключено в резултат на механичен контакт с обекта. Когато натиска на обекта се премахне, превключвателят се връща в начално положение.

Превключвателите биват два вида – нормално отворени (NO) и нормално затворени (NC). NO превключвателите са с отворени контакти и при прилагане на механично въздействие се затварят и затварят електрическа верига, а при NC е обратното – те са с затворени контакти и при прилагането на механично въздействие се отварят и прекъсват електрическата верига..

Превключвателите могат да се използват за детекция на преминаваща част. Това може да стане с помощта на палец валяк (фиг.8.1а) или лост (фиг.8.1.б).



а б

Фиг.8.1. Превключватели

Контактните сензори намират широко приложение най-вече поради ниската си цена и защото не се влияят от формата, цвета и материала на обекта.

8.2. Преобразуватели на близост

При тези преобразуватели отсъства допир между тях и преместващия се

обект. Изходният им сигнал е функция от взаимното положение между преобразувателя и обекта. В зависимост от физическия принцип на действие, те могат да бъдат:

- индуктивни;
- вихровотокови;
- капацитивни;
- ултразвукови и др.

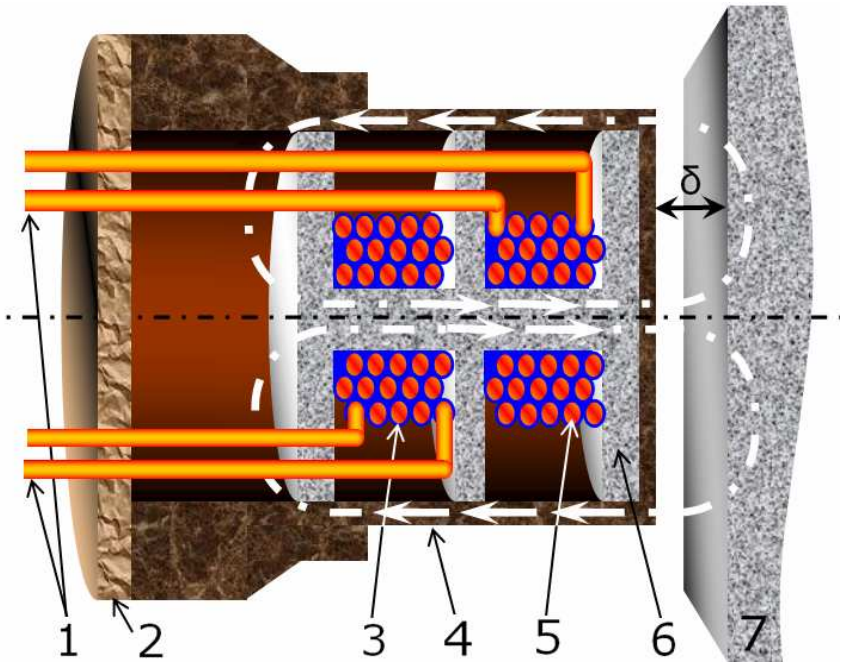
Предимство на тези преобразуватели е високата им надеждност поради това, че няма механични контакти между обекта и преобразувателя, няма триене, износване, шум и изменение на преходното съпротивление.

Като недостатък може да се отбележи нелинейната функция на преобразуване. Изходният сигнал зависи обикновено не само от разстоянието до обекта, но и от формата и материала му.

Тези преобразуватели могат да работят в аналогов или дискретен режим. При аналогов режим изходният сигнал е непрекъсната функция от разстоянието между преобразувателя и обекта. В дискретен режим съществуват две дискретни нива на изходния сигнал – високо и ниско. Високото изходно ниво съответства на наличието на обект, намиращ се под определено разстояние до преобразувателя. Ниското ниво съответства на липса на обект или обектът е далеч от преобразувателя. Обикновено преобразувателите на близост се използват в дискретен режим на работа.

8.2.1. Индуктивни преобразуватели с промяна на магнитното съпротивление

Този преобразувател (фиг.8.2) може да се разглежда като трансформатор, чиято първична намотка е намагнитващата намотка, а вторичната му намотка – измервателната намотка на преобразувателя. Магнитният контур на този трансформатор включва преместващия се обект, който трябва да бъде феромагнитен или с феромагнитно покритие.



1 – свързващи проводници за двете бобини; 2 – капак; 3 – намагнитваща бобина; 4 – корпус от немагнитен материал; 5 – измервателна бобина; 6 – каркас (основа); 7 – феромагнитен обект

Фиг.8.2. Индуктивен преобразувател на близост с промяна на магнитното съпротивление

Разстоянието δ между обекта и сензора определя основно съпротивлението на магнитната верига и следователно – потока през вторичната намотка и напрежението на нейните изводи. Това напрежение се изменя нелинейно от δ

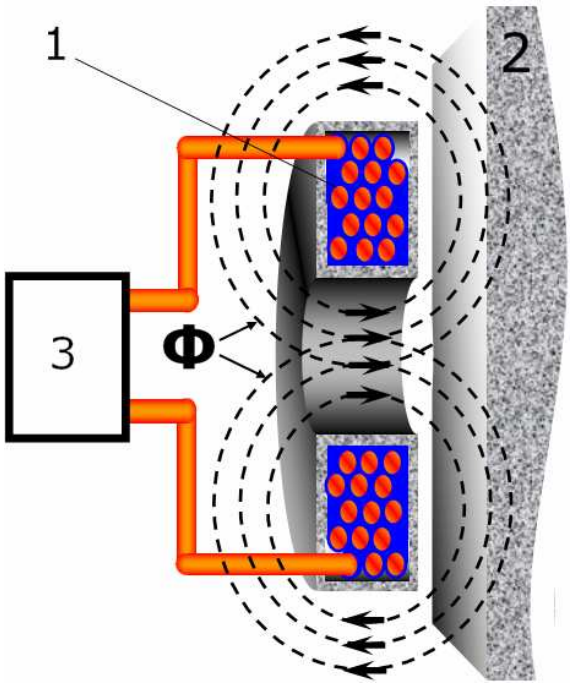
$$E = E_0 \frac{1}{(1 + a\,\delta)^2}\ , \qquad (8.1)$$

където E_0 е началното напрежението при $\delta = 0$; коефициентът a зависи от магнитната проницаемост, формата и размерите на обекта.

Колкото обектът е по-близо до преобразувателя, толкова напрежението в измервателната намотка е по-голямо.

8.2.2. Вихровотокови преобразуватели

Принципът на действие на вихровотоковия преобразувател (фиг.8.3) се основава на изменението на активното съпротивление и индуктивността на бобина при приближаването към нея на проводим обект.



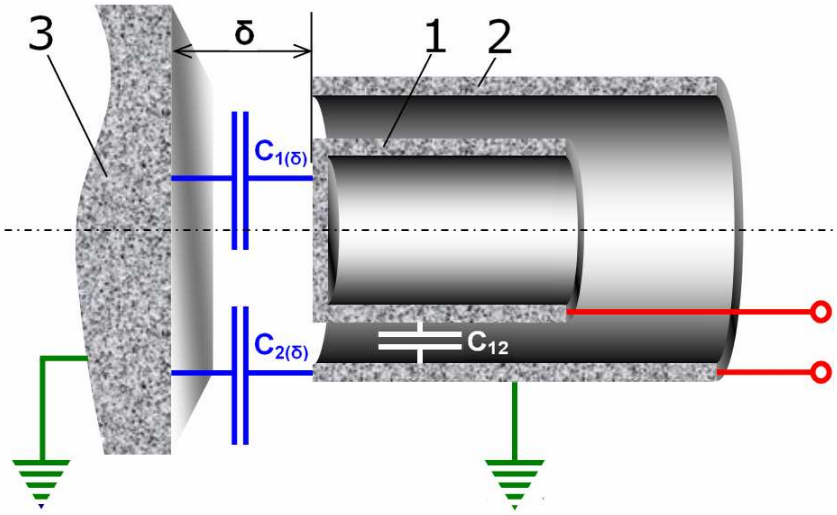
1 – бобина; 2 – обект от проводим материал;
3 – високочестотен генератор

Фиг.8.3. Вихровотоков преобразувател на близост

Променливият ток, протичащ през бобината, създава магнитно поле, което пресича обекта и поражда вихрови токове в него. Те създават магнитно поле, което противодейства на причината за неговото появяване, т.е. магнитното поле на бобината намалява. При това се променят електрическите параметри на бобината: активното съпротивление се увеличава поради нарастването на загубите в проводящата среда, а индуктивността на бобината намалява.

8.2.3. Капацитивни преобразуватели на близост

Капацитивните сензори за наличие на обект (фиг.8.4) използват свойството на приближаващия се обект да променя измервания от сензора капацитет.

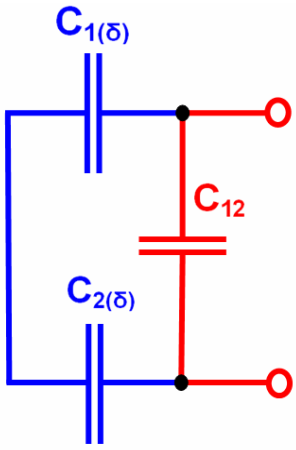


1 – цилиндрична част; 2 – коаксиална обвивка или тръба; 3 – обект

Фиг.8.4. Капацитивен преобразувател на близост

Еквивалентната електрическа схема е показана на фиг.8.5.

$$C_e = C_{12} + \frac{C(\delta).C_2(\delta)}{C(\delta) + C_2(\delta)} \quad . \tag{8.2}$$



Фиг.8.5. Еквивалентна електрическа схема на капацитивен преобразувател

Точката 2 и обектът 3 обикновено се заземяват. При това

$$C_e = C_{12} + C(\delta) \ , \tag{8.3}$$

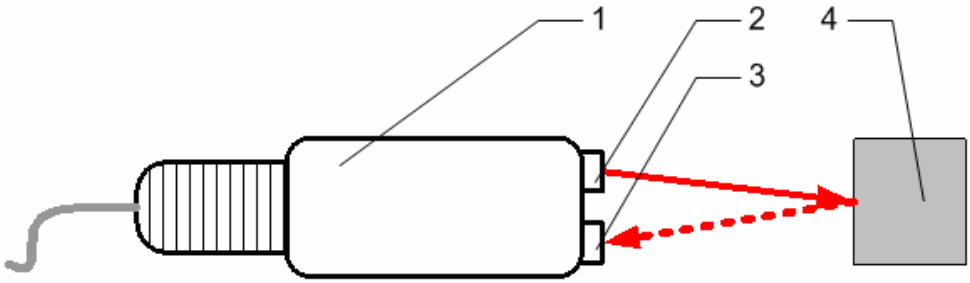
т.е. еквивалентният капацитет зависи от разстоянието между сензора и

обекта.

Преобразувателят обикновено се включва в мост за променлив ток.

8.2.4. Ултразвукови преобразуватели на близост

При този тип сензори за регистриране се използват излъчвател и приемник на ултразвук (фиг.8.6). Излъченият ултразвук се отразява от обекта и се връща обратно към приемника.



1 – тяло на сензора; 2 – ултразвуков излъчвател;
3 – ултразвуков приемник; 4 – обект

Фиг.8.6. Ултразвуков преобразувател на близост

Ултразвуковото регистриране на обекти не се влияе от оптичните свойства на обектите. Сравнено с индуктивните и вихровотокови сензори, използването на ултразвук не поставя ограничения към материала на обекта, който се регистрира.

8.3. Оптични сензори за регистриране на обекти

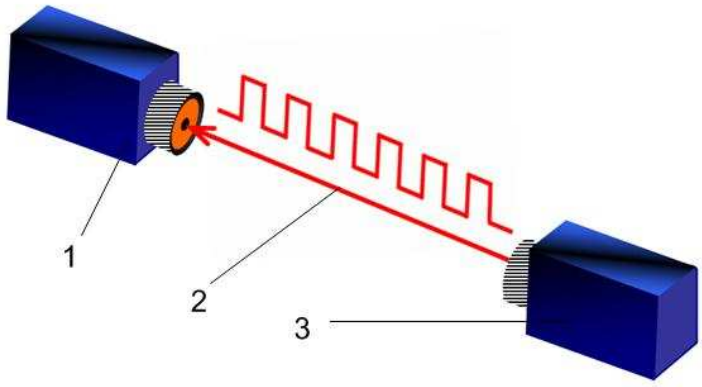
Оптоелектронните преобразуватели включват двойка елементи: излъчвател (емитер) и приемник на светлина и реагират на промяната на интензитета на светлината, попадаща в този приемник. Съществува разнообразие от методи на наблюдение, по-голямата част от които са базирани на физическата ориентация на емитера спрямо приемника.

Повечето оптоелектронни сензори използват светодиоди – LED (Light Emitting Diode) като светлинен източник. Светодиодът представлява полупроводников кристал, подобен електрически на диод, с изключение на това, че излъчва малко количество светлина, когато през него преминава ток в права посока. В приложения, в които наблюдаваният цвят е контрастен, изборът на цвят за светодиода може да бъде важен.

Оптоелектронният приемник обикновено използва един от трите чувствителни към светлина електронни елементи – фоторезистор, фотодиод и фототранзистор.

С изключение на инфрачервените видове, светодиодите произвеждат по-малко количество светлина в сравнение с флуоресцентните или тези с нажежаема жичка светлинни източници. Обикновено те излъчват по-малко количество светлина, отколкото нивото на заобикалящата ги среда. Модулацията на светлинния поток при сензорите осигурява нужната чувствителност, необходима за надеждното отчитане на толкова слаба светлина.

Светодиодите могат да бъдат включвани и изключвани (или модулирани) с висока скорост, обикновено с честота от няколко kHz (фиг.8.7). Тази модулация означава, че усилвателят на фототранзисторния приемник може да бъде настроен на честота на модулация и да усилва само светлинни сигнали, пулсиращи с тази честота.



1 – приемник; 2 – модулирана светлина; 3 – излъчвател

Фиг.8.7. Оптичен сензор

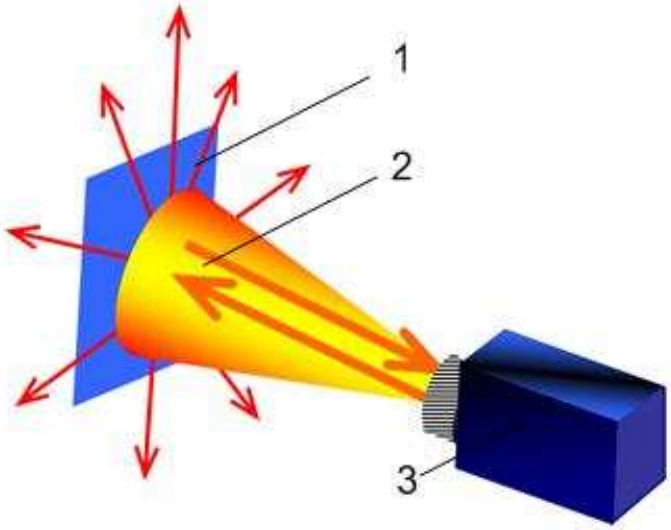
Модулираният приемник игнорира околната светлина и отговаря единствено на своя модулиран светлинен източник. В резултат на това модулираният приемник може да бъде усилен до много високо ниво. Въпреки това много ярки светлинни източници могат да попречат на нормалната работа на сензора.

Най-често в оптичните сензори се използват инфрачервени светодиоди като източници на светлина, но когато се налага да се разпознава цвят, се използват светодиоди, работещи във видимия спектър.

Могат да се различат три основни режима на отчитане на обекти от оптичните сензори – дифузен, бариерен и рефлекторен.

- *дифузен метод*

При сензорите, използващи този метод (фиг.8.8), обектът се регистрира, когато той премине пред сензора и отрази излъчената светлина обратно към приемника. В случая голямо влияние оказва цветът на обекта. Колкото по-светъл е обектът, разстоянието на което може да бъде регистриран този обект се увеличава. Излъчвателят и приемникът са разположени обикновено, но не винаги, в един и същи корпус.



1 – обект; 2 – светлинен поток; 3 – сензор

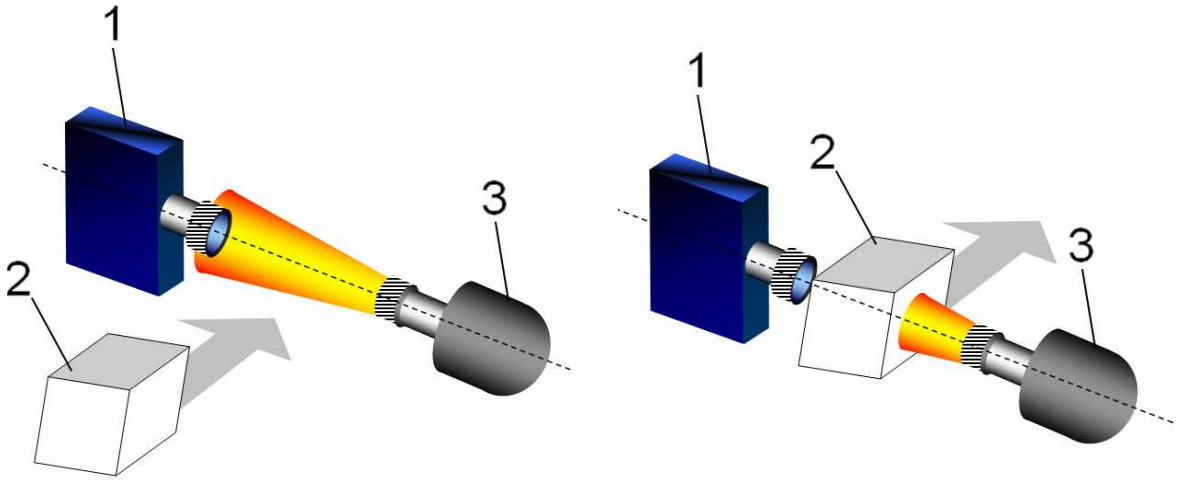
Фиг.8.8. Дифузен метод за регистриране

При дифузния метод излъчената светлина достига повърхността на обекта под някакъв ъгъл. Светлината в този момент се разпръсква от повърхността на обекта в много посоки. Приемникът може да бъде под различен ъгъл и малка част от разпръснатата светлина ще го достигне. От тази гледна точка дифузният метод е сравнително неефективен метод на регистриране. Също така при дифузния метод има огромно значение в каква степен повърхността на регистрирания обект отразява светлианта. Светла бяла повърхност ще бъде засечена на много по-голямо разстояние, отколкото матова черна повърхност. Обект с големи размери, успяващ да обхване целия поток на сензора, ще върне повече енергия към приемника, отколкото малък обект, който покрива потока само частично. Повечето дифузни сензори използват лещи, за да насочат излъчените светлинни лъчи,

както и да фокусират повече от отразената светлина. Лещите при дифузните сензори позволяват увеличаването на разстоянието за отчитане, но също така увеличават значително ъгъла на монтаж в приложения, които засичат лъскави и гладки повърхности.

- *бариерен метод на регистриране*

При бариерния метод (фиг.8.9) приемникът и излъчвателят са в различни корпуси и се монтират един срещу друг, като помежду им има светлинен поток. Обектът се засича, когато премине между приемника и излъчвателя, блокирайки светлината, подавана от излъчвателя към приемника. Бариерният метод е най-ефикасният метод на отчитане наличието на обекти с помощта на оптични сензори.

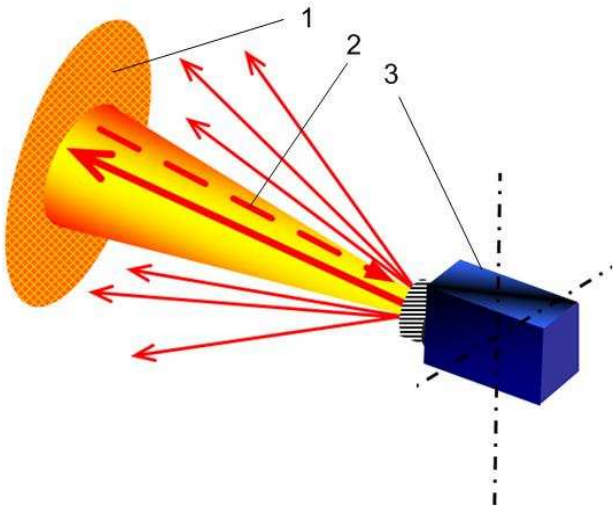


1 – приемник; 2 – обект; 3 – излъчвател

Фиг.8.9. Бариерен метод за регистриране

- *рефлекторен метод на регистриране*

При рефлекторния метод (фиг.8.10) се използва рефлектор, който отразява попадналата върху него светлина. Светлинният поток се образува между излъчвателя, рефлектора и приемника. Той може да бъде инфрачервен или с видима червена светлина. Когато обектът пресече светлинния поток, интен-зитета на отразената светлина, връщаща се обратно към сензора, намалява и обектът бива засечен.



1 – рефлектор; 2 – светлинен поток; 3 – сензор

Фиг.8.10. Рефлекторен метод за регистриране

За да се отчитат лъскави обекти е необходимо сензорът да бъде монтиран по такъв начин, че ъгълът на падане на светлинния поток върху обекта да бъде различен от 90°. По този начин интензитетът на отразената светлина намалява.

Друг начин да се отчитат лъскави обекти е да се използват поляризиращи филтри. Пред излъчвателя и приемника на светлина се поставят филтри, чиито равнини на поляризация са завъртени на 90°. Излъчената поляризирана светлина се отразява от рефлектора, който същевременно променя и нейната равнина на поляризация, така че да може да премине през филтъра на приемника. Ако излъчената светлина се отрази от обект, то нейната равнина на поляризация не се променя и филтърът на приемника не пропуска тази светлина, което служи за отчитане на наличието на обект.

8.4. Въпроси за самопроверка

1. Каква е разликата между нормално отворените и нормално затворените превключватели?
   а) няма разлика;
   б) нормално отворените при неактивно състояние прекъсват електрическата верига, а нормално затворените я затварят;

в) нормално отворените при неактивно състояние затварят електрическата верига, а нормално затворените я прекъсват;
г) и двата при неактивно състояние прекъсват електрическата верига.

2. Преобразувателите на близост са:
   а) контактни преобразуватели;
   б) енкодери;
   в) безконтактни преобразуватели.

3. В зависимост от физическия принцип на действие, преобразувателите на близост могат да бъдат:
   а) вихровотокови;
   б) капацитивни;
   в) индуктивни;
   г) тензорезистивни;
   д) термисторни;
   е) ултразвукови.

4. Вихротоковият сензор работи на принципа:
   а) при наличие на проводящ обект се променят електрическите параметри на бобината;
   б) при наличие на проводящ обект се променят габаритите на бобината;
   в) използва се излъчвател на инфрачервен сигнал;
   г) на механично въздействие на обекта върху конструкцията на сензора.

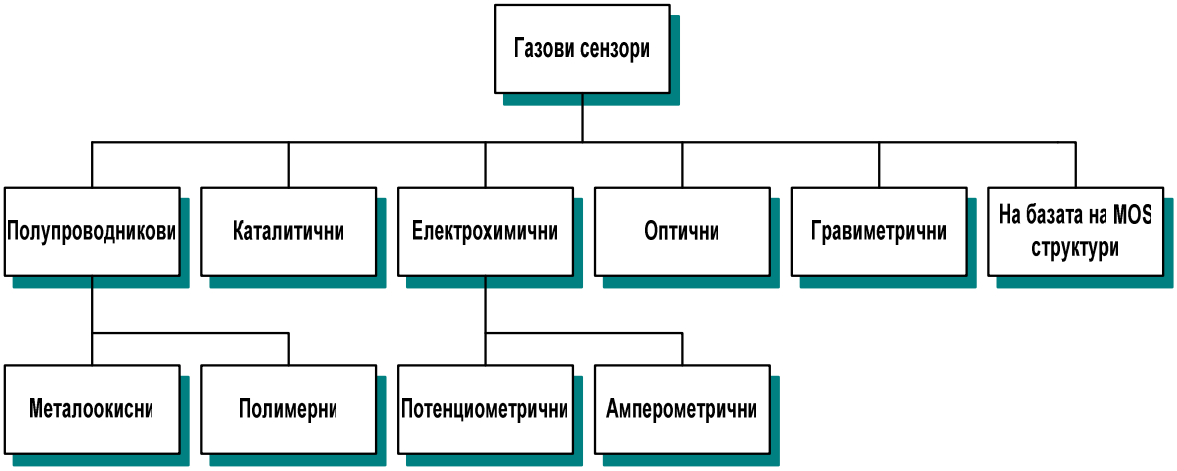
5. Ултразвуковите сензори включват в конструкцията си:
   а) само излъчвател;
   б) излъчвател и приемник;
   в) намагнитваща намотка;
   г) фототранзистор.

2. Какво представлява дифузният метод за регистриране на обекти с оптични сензори?
   а) обектът отразява светлината;
   б) светлината се отразява от специално огледало;
   в) предавателят не излъчва светлинен сигнал.

3. Каква е разликата между бариерния и рефлекторния метод за отчитане на обекти с оптични сензори?
   а) няма разлика;
   б) при бариерния метод предавателят и приемникът се намират един до друг, а при рефлекторния са разположени един срещу друг
   г) при рефлекторния метод предавателя и приемника се намират един до друг, а при бариерния са разположени един срещу друг

ГАЗОВИ СЕНЗОРИ

При реализацията на газови сензори се използват няколко физични принципа. Общото при тях е, че съществува възстановяване на чувствителния елемент след въздействието на газа. Броят на материалите и технологиите, на които се базират чувствителните елементи за газови сензори, е значителен. Основните типове газови сензори, които са намерили практическо приложение, са представени на фиг.9.1.



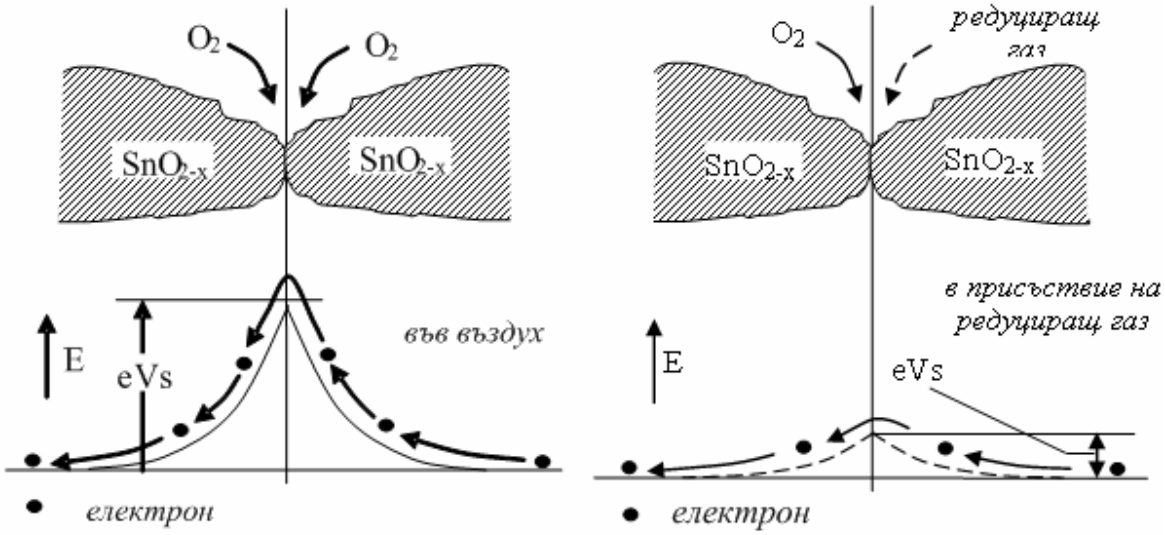
Фиг.9.1. Класификация на газовите сензори

9.1. Полупроводникови газови сензори

9.1.1. Металоокисни полупроводникови газови сензори

Като чувствителни материали при металоокисните полупроводникови газови сензори се използват различни металоокисни материали като SnO_2, ZnO, Fe_2O_3, WO_3, Co_3O_4 и др. Принципът им на действие се основава на увеличаване на проводимостта на чувствителния елемент в приповърхностната област при сорбция на анализирания газ. В зависимост от състава на слоя чувствителен материал сензорът реагира на различни газове като C_2H_5OH, CO, CH_4, H_2, O_2 и др. Работната температура е в диапазона от 200°C до 500°C.

Металоокисните полупроводникови газови сензори са намерили *промишлена реализация* на базата на *калаен двуокис* с различни легиращи примеси. Принципът им на работа се основава на изменение на съпротивлението им в присъствието на газ. Когато слоят метален окис SnO_2 е нагрят при определена висока температура във въздух, се адсорбира кислород по кристалната повърхност с отрицателен заряд. Формираният повърхностен потенциал служи като потенциална бариера при преминаване на електрони (фиг.9.2а).



Фиг.9.2. Принцип на функциониране на полупроводников газов сензор

В сензора електрически ток тече през частите на свързване (границата на зърната) на микрокристалите SnO_2. По границите на зърната, адсорбираният кислород формира потенциална бариера, която предотвратява свободното движение на електрони. Електрическото съпротивление на сензора се дължи на тази потенциална бариера. В присъствието на редуциращ газ, повърхностната плътност на отрицателно заредения кислород намалява, така че височината на бариерата в границата на зърната намалява (фиг.9.2б). Намалената височина на бариерата намалява съпротивлението на сензора. Скоростта на тези процеси и обратимостта им зависят от температурата, при която работи чувствителният елемент. Вследствие на логаритмичната зависимост между съпротивлението на сензора и концентрацията на газа, металоокисните

сензори имат висока чувствителност към газове даже при ниската им концентрация.

Съвременните сензори от този тип се реализират чрез:

- дебелослойни технологии;
- тънкослойни технологии.

На изолираща подложка от алуминиев окис се нанасят платинени контакти, а върху тях се нанася слой на чувствителния материал. На обратната страна на подложката се формира тънкослоен резистивен нагревател от платина. Сензорът може да работи при различни режими като най-често използваният е измерване на съпротивлението при постоянна температура. Другият режим е модулиране на температурата и измерване на съпротивлението при различни температури. Селективността на този тип сензори се подобрява чрез използване на филтри и легиране на чувствителния елемент с различни материали. На фиг.9.3 са показани металоокисни полупроводникови газови сензори, предлагани от фирмата FIGARO Engineering Inc.

Фиг.9.3. Металоокисни полупроводникови газови сензори
(FIGARO Engineering Inc.)

9.1.2. Полимерни полупроводникови газови сензори

Като чувствителни елементи се използват слоеве на основата на фталоцианини (phtalocyanines), притежаващи висока термична и химична устойчивост. Тези слоеве са полупроводници от p-тип и голямо влияние на про-

водимостта им оказва кислородът във въздуха. Проводимостта на слоевете се променя в присъствието на газове. Чувствителността на сензорите се увеличава при легиране на слоевете с атоми на тежките метали.

9.2. Каталитични газови сензори

На повърхността им в резултат на протичане на каталитични реакции се отделя топлина, водеща до промяна на температурата в газовия сензора, която се измерва с температурен сензор. Те се наричат още пелистори. В пластина от окисен материал се вгражда платинена намотка. Чувствителният окисен материал се покрива с порест катализатор от платина или паладий. Намотката изпълнява ролята на нагревател и на резистивен температурен сензор. Когато изследваният газ влезе в реакция, на каталитичната повърхност на сензора се извършва отделяне на топлина, повишаваща температурата на пластината и вградената в нея намотка. В резултат на това съпротивлението на намотката нараства, което се регистрира от електронна схема.

9.3. Електрохимични газови сензори

Те са едни от най-универсалните сред газовите сензори. В зависимост от принципа им на действие, електрохимичните газови сензори се разделят на ***потенциометрични*** и ***амперометрични*****.** В конструкцията на всеки електрохимичен сензор има минимум два електрода (анод и катод), между които протича химична реакция. Електродите се изготвят от каталитични метали като платина и паладий.

9.3.1. Потенциометрични сензори

Основават се на влиянието на концентрацията на реагентите върху равновесието на окислително-възстановителните реакции, протичащи в електрохимична клетка на границата електрод-електролит. Измерването на потенциала на клетката на сензора се извършва практически при нулев ток, за което е необходимо използването на измервателен уред, притежаващ много висок входен импеданс.

9.3.2. Амперометрични сензори

При тях големината на тока през сензора зависи от концентрацията на газа в изследваната среда, проникващ през мембрана. Амперометричният метод е в основата на работа на газови сензори на базата на твърди електролити, които се използват за определяне на съдържанието на

кислород и серни окиси. Като електролит се използва циркониев двуокис с различни легиращи добавки.

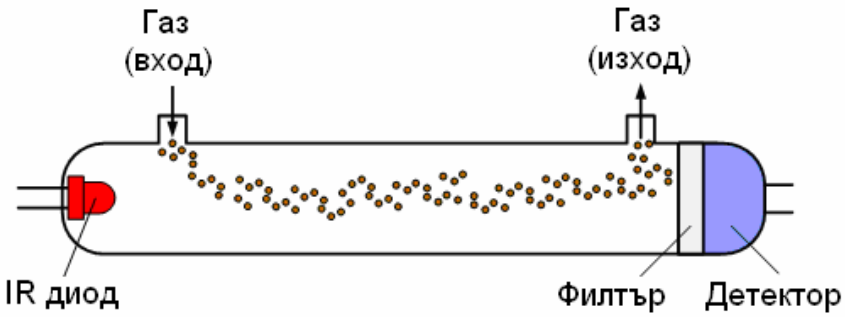
Тези сензори се произвеждат като обемни керамични или като дебелослойни и тънкослойни. Чувствителният елемент (твърдият електролит) работи при температури над 300 ^{o}C.

9.4. Оптични газови сензори

Основават се на взаимодействието на електромагнитните вълни с изследвания газ, в резултат на което се изменят някои характеристики на излъчването като интензивност, поляризация и др. Оптичните газови сензори могат да се разделят на няколко основни групи.

- Оптоелектронни сензори, представляващи комбинация от източник на светлина (светодиод, полупроводников лазер) и фотоприемник (фотодиод, фототранзистор), между които се намира оптична прозрачна среда

На фиг.9.4 е показана структурата на оптичен газов сензор от този тип, а на фиг.9.5 – външният му вид.



Фиг.9.4. Структура на оптичен газов сензор

Изменението на оптичните свойства на средата под действие на изследвания газ влияе на изходния сигнал от фотоприемника, който се използва за измерване на концентрацията на газа.

Фиг.9.5. Вид на оптичен газов сензор

- Сензори на основата на оптични влакна

В тях светлината между източника и приемника се разпространява по оптично влакно, свойствата на което зависят от концентрацията на изследвания газ.

- Сензори на основата на ултравиолетова и луминисцентна спектроскопия

- Сензори на основата на инфрачервена и Raman спектроскопия;

- Сензори на основата на повърхностен плазмен резонанс.

9.5. Гравиметрични сензори

Това са сензори, в които много малки изменения на масата, предизвикани в резултат на адсорбция на молекули на газове, довеждат до изменение на механичните свойства на системата. В тях не протичат химични реакции и принципът им на действие е чисто физичен. Генераторите на основата на пиезоелектрични кристали са извънредно чувствителни към изменението на масата на електродите им. За да се реализира газов сензор на тяхна база е необходимо да се осигури адсорбция на молекули от изследвания газ на повърхността на електродите чрез нанасяне на тънък слой адсорбиращ материал. Така при нарастване на концентрацията на изследвания газ в средата се увеличава масата му, адсорбирана на повърхността на пиезокристала. Пропорционално с това се намалява честотата на изходния сигнал на генератора.

9.6. Газови сензори на основата на MOS-структури

MOS-структури, металните електроди на които са реализирани от преходни метали (паладий, платина, никел), изменят характеристиките си под действие на газове. При това при MOS-транзисторите се изменя праговото напрежение и се измества волт-амперната характеристика. При MOS-кондензаторите се извършва изместване на волт-фарадната характеристика по оста на напрежение, без да се изменя формата й. Тези ефекти се използват за реализиране на газови сензори с различни конструкции (с перфориран гейт, с разцепен гейт и др.).

Разгледаните сензори имат своите предимства и недостатъци, които до голяма степен определят и областите на приложението им. С висока селективност и чувствителност се характеризират оптичните газови сензори, но те имат и най-висока цена. Поради това намират приложение в портативни газоанализатори. Висока чувствителност, ниска цена и малко време на реакция притежават металоокисните газови сензори, но те се характеризират и със сравнително ниска селективност и влияние на влажността и температурата на околната среда. Те намират приложение в системи за контрол на изтичането на газ, следене на качеството на въздушната среда в затворени помещения, разработването и реализацията на системи от типа „електронен нос” и др.

Твърдотелните електрохимични сензори се използват за измерване на концентрацията на кислорода при автомобилите, където се контролира нивото на емисии на въглероден окис, въглеводороди и азотни окиси. Те намират приложение още в котелни инсталации за контролиране на горенето, контрол на газовия състав при термообработка в металургията и др.

Каталитичните газови сензори се използват в индустрията основно за откриване на взривоопасни газове.

Фирми-производители на газови сензори

Основни производители на металоокисни газови сензори са фирмите FIGARO Engineering Inc. (Япония), SYNKERA Technologies Inc. (USA), e2v Technologies (Великобритания), Sencera (Тайван), Henan Hanwei Electronics (Китай), Microsens (Швейцария) и др. В табл. 9.1 са представени металоокисни сензори за контрол на околната среда, предлагани от някои от тези фирми.

Таблица 9.1. Металоокисни газови сензори, предлагани от фирми производители

Фирма-производител	Тип на сензора	Чувствителност към газ	Съдържание на газ, ppm	Консумирана мощност, mW
FIGARO	TGS2442	CO	50-1000	14
	TGS2444	NH_3(амоняк)	10-100	56
	TGS825	H_2S(сероводород)	5-100	660
	TGS 2611	Метан	500-10 000	280
	TGS 4161	CO_2	400-9 000	300
SYNKERA	705	NH_3(амоняк)	25-10 000	975
	706	NO_x	0,5-10	500
	707	VOCs	до 100	400
	714	H_2S(сероводород)	1-100	900
	711	Метан, пропан	90-10 000	900
e2v Technologies	MiCS-2710	NO_2	0,05-5	50
	MiCS-5135	VOCs	10-1 000	120
	MiCS-5525	CO	1-1 000	88
	MiCS-5914	NH_3(амоняк)	0,1-10	88
Sencera	HS134	CO	До 100	800
	HS811	CO_2	350-10 000	1 200
	HS131	Метан, пропан	1 000-5 000	800

9.7. Въпроси за самопроверка

1. Газовите сензори могат да бъдат:
   а) полупроводникови;
   б) индуктивни;
   в) каталитични;
   г) оптични;
   д) пиезоелектрични.

2. Принципът на действие на металоокисните полупроводникови газови сензори се основава на:
   а) отделяне на топлина в резултат на протичане на каталитични реакции;
   б) увеличаване на проводимостта на чувствителния елемент в приповърхностната област при сорбция на анализирания газ;
   в) влиянието на концентрацията на реагентите върху равновесието на окислително-възстановителните реакции, протичащи в електрохимична клетка на границата електрод-електролит.

3. При полимерните полупроводникови газови сензори:
   а) се използват слоеве на основата на фталоцианини (phtalocyanines);
   б) голямо влияние върху проводимостта на слоевете оказва въглеродният двуокис във въздуха;
   в) чувствителността се увеличава при легиране на слоевете с атоми на тежките метали.

4. Потенциометричните и амперометричнте сензори се отнасят към групата на:
   а) каталитичните газови сензори;
   б) металоокисните полупроводникови газови сензори;
   в) електрохимичните газови сензори.

5. При гравиметричните сензори:
   а) протичат химични реакции;
   б) е необходимо да се осигури адсорбция на молекули от изследвания газ на повърхността на електродите чрез нанасяне на тънък слой адсорбиращ материал;
   в) много малки изменения на масата, предизвикани в резултат на адсорбция на молекули на газове, довеждат до изменение на механичните свойства на системата;
   г) при нарастване на концентрацията на изследвания газ в средата намалява масата му, адсорбирана на повърхността на пиезокристала и пропорционално с това се намалява честотата на изходния сигнал на генератора.

СЕНЗОРНИ ИНТЕРФЕЙСИ

Сензорите са елементи на автоматизацията, които се използват като градивни елементи на по-сложни системи. Тези системи се управляват от компютри или програмируеми логически контролери (PLC), които получават информация от сензорите посредством аналогов или цифров интерфейс.

В зависимост от типа на преносната среда, използваните в интелигентните сензори интерфейси най-общо могат да се разделят на две групи – жични и безжични. В зависимост от типа на сигнала биват с аналогов, с честотен и с цифров сигнал на изхода.

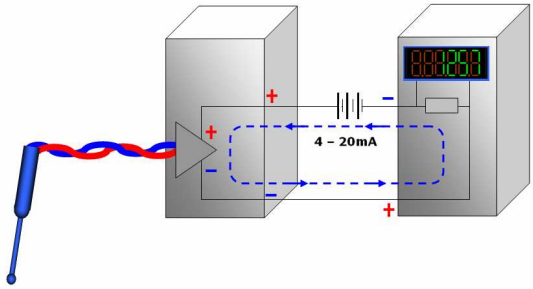
10.1. Напреженов изход

При този тип сензори изходният сигнал на сензора представлява напрежение, което се променя с изменението на входния сигнал на сензора. Като недостатък на сензорите с напреженов изход може да се посочи, че сигналът не може да бъде предаван на големи разстояния, тъй като има пад на напрежението върху проводниците, както и нараства влиянието на шумовете, които се индуцират и се наслагват върху сигнала. Шумовете могат да се появят от намиращите се наблизо мотори, контактори и друг тип електромеханично оборудване. Те имат негативно влияние върху точността на измерванията и често се налага те да бъдат премахнати или намалени в момента на измерване като за целта се прилагат съответните аналогови или цифрови филтри.

10.2. Токов кръг (current loop)

Токовият кръг (фиг.10.1) представлява интерфейс, при който изходът на сензора генерира ток, който се променя в зависимост от промяната на измерваната величина. За разлика от сензорите с напреженов изход, при токовия кръг показанието на сензора може да се предава на по-голямо разстояние и в по-малка степен да е зависим от смущения. Разработени са различни стандарти за токов кръг, но най-широко приложение намира стандарта 4-20mA. При него най-малката стойност от обхвата на сензора съответства на 4mA ток, а най-голямата – на 20mA. Останалите показания на сензора се мащабират в границите между 4 и 20mA. Интерфейсът гарантира, че винаги по линията ще протича ток. По този начин

устройствата, към които са свързани сензори с такъв интерфейс, когато няма протичане на ток, лесно могат да открият, че съществува проблем със сензора (например, прекъсната линия). Преобразуването на сигнала в напреженов става лесно – поставя се резистор 250Ω, като падът на напрежението върху него се изменя в границите до 5V и лесно може да бъде измерено от PLC контролер или от измервателно (DAQ-data acquisition) устройство.



Фиг.10.1. Токов кръг 4-20mA

На базата на 4-20mA интерфейса е реализиран HART протокола за обмен на данни със сензори. При него се реализира обмен на цифрова информация посредством наслагване на цифровите данни върху аналоговия сигнал.

10.3. Честотен сигнал и широчинно-импулсна модулация (PWM – Pulse Width Modulation)

Сензорите с честотен изход могат да се определят като квази-цифрови сензори като изходът им е честота, период, коефициент на запълване, времеви интервал, фазово отместване. Сензорите с честотен изход се характеризират със следните предимства:

- висока устойчивост на шумови смущения. В сравнение с аналоговите сигнали, честотните могат да се предават на по-големи разстояния като запазват добра шумоустойчивост и са изключително подходящи за индустриални приложения и приложения в средата на високи смущения;
- запазване на енергията при предаване. За разлика от сензорите с аналогов изход, тези с честотен запазват енергията на сигнала при предаване на големи разстояния, без да се нуждаят от предварително усилване;
- висока точност при измерването на честотен сигнал. Постига се на базата на широко разпространените кристални резонатори, които

на практика са по-стабилни от съответстващите им източници на опорно напрежение при измерването на аналогови сигнали

В сравнение със сензорите с напреженов изход, сензорите с честотен изход не изискват допълнителни компоненти като аналогово-цифрови преобразуватели (АЦП) за измерване на сигнала. Грешката им при преобразуване на честота в цифров код е пренебрежимо малка (от порядъка на 0.001%. Самото преобразуване на измерваната величина в честотен сигнал може да се разглежда като процес на интегриране във времето, при който се филтрират евентуални шумове.

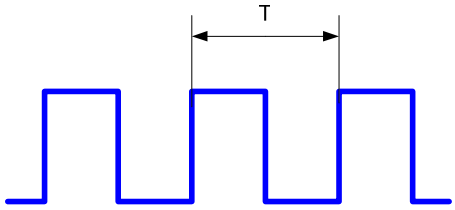
10.3.1. Сензори с честотен изход

Честотният сигнал представлява повтарящи се последователности на сигнала за определено време. Един цикъл на сигнала се нарича период. Съотношението между честота и период се дава със зависимостта

$$f = \frac{1}{T}, \tag{10.1}$$

където f е честотата, а с T – периодът. Единицата за измерване на честота, определена в SI, е херц Hz (hertz). Единицата за период е секунда (s).

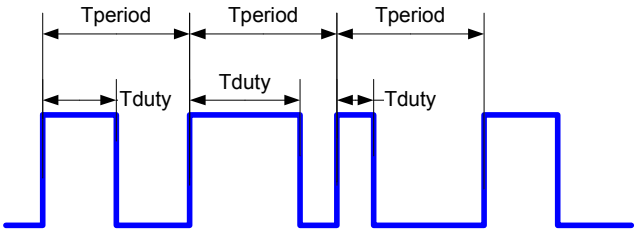
Най-често сигналът на сензорите с честотен изход е правоъгълно изменящ се (squire wave) (фиг.10.2) като честотата му се променя в зависимост от входния сигнал на сензора. По стойността на генерираната честота се съди за състоянието на измерваната величина.



Фиг.10.2. Правоъгълен сигнал

10.3.2. Сензори с изход с широчинно-импулсна модулация (PWM – Pulse Width Modulation)

При този тип сензори изходният сигнал представлява правоъгълен сигнал (фиг.10.3), при който се променя коефициентът на запълване (duty factor). Промяната на коефициента на запълване носи информация за измерената от сензора стойност.

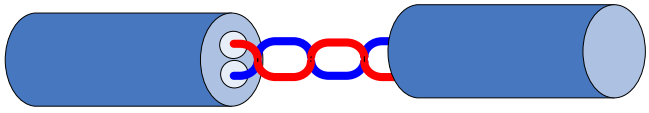


Фиг.10.3. Широчинно-импулсна модулация

10.4. Цифрови интерфейси

10.4.1. Интерфейси на базата на RS-485

Стандартът RS485 е широко разпространен интерфейс за събиране на данни и управление, позволяващ връзката на множество устройства по обща шина. Предаването на данни се осъществява като се използват диференциални сигнали по две линии (A и B). За да се повиши шумоустойчивостта се използва кабел от тип “усукана двойка (twisted pair)” (фиг.10.4).



Фиг.10.4. Кабел „усукана двойка”

Благодарение на възможността да се свързват по обща шина множество приемо-предаватели, RS485 е предпочитан интерфейс за комуникация в индустриалните системи и в частност – за свързване на сензори.

Стандартно е възможно да се свържат до 32 устройства към една обща шина като в определен момент от време само едно устройство е предавател, а всички останали са приемници.Устройствата се свързват на обща шина като в двата края на шината се поставят терминиращи резистори.

Върху стандарта RS485 се базират множество комуникационни протоколи от по-високо ниво като Modbus, широко използвани в автоматизацията.

10.4.2. CAN интерфейс

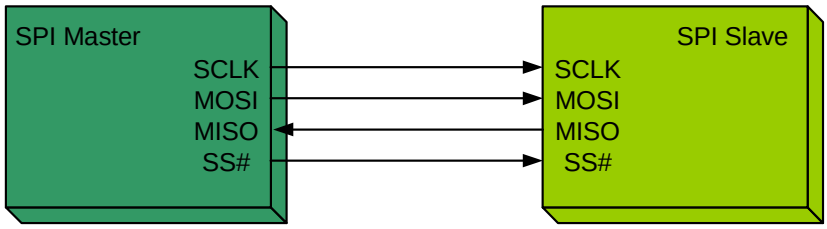
CAN протоколът първоначално е разработен за нуждите на автомобилостроенето, но впоследствие намира широко приложение в индустрията за нуждите на автоматизация на производството. Той е сигурен протокол за

обмен на данни като отделните устройства в мрежата предават съобщения, при които специален идентификатор на съобщението определя неговия приоритет. Устройствата се свързват към обща шина (bus). За избягване на така наречените колизии (това е събитие, при което две устройства започват да предават по едно и също време) се използва механизъм на работа CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). При него устройствата следят дали мрежата е свободна и ако няма предаване на друго съобщение –започват своето изпращане. Ако в същия момент започне и друго устройство да предава се извършва така нареченото побитово арбитриране на шината – устройството, предаващо логическа нула, печели арбитрирането, докато устройството, опитващо се да предаде логическа единица, прекратява предаването и изчаква шината да бъде отново освободена. На базата на CAN протокола е създаден протокола от по-високо ниво CANopen, който позволява свързването на сензори и други устройства от различни производители.

10.4.3. SPI и I²C интерфейси за сензорите в интегрално изпълнение

Този тип интерфейси се използват при сензори в интегрално изпълнение (реализирани като интегрални схеми) или при сензори, за които се предвижда да бъдат монтирани върху печатна платка. При двата интерфейса има едно главно (master) устройство и свързани с него едно или повече подчинени (slave) устройства. Главното устройство стартира комуникацията, избира подчиненото устройство, с което ще обменя данни и управлява тактовия сигнал.

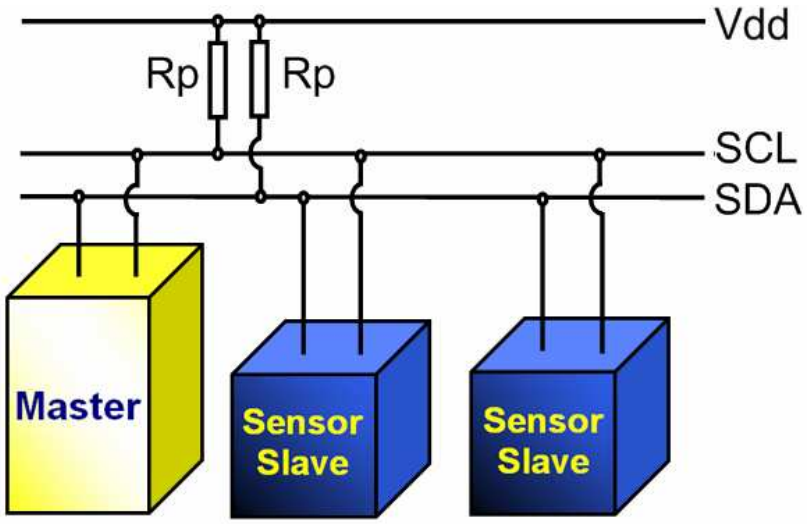
При SPI интерфейса комуникацията се осъществява посредством четири линии. MISO – master input – slave output; MOSI – master output-slave input; SCLK – serial clock; SS – slave select (с активно ниско ниво). Начинът на свързване на едно главно и подчинено устройство е показан на фиг.10.5.



Фиг. 10.5. SPI интерфейс

I²C интерфейсът използва две линии за сериен обмен на информация – SDA – serial data и SCL – serial clock (фиг.10.6). Към двете линии задължи-

телно се свързват така наречените изтеглящи (pull-up) резистори към захранващото напрежение.



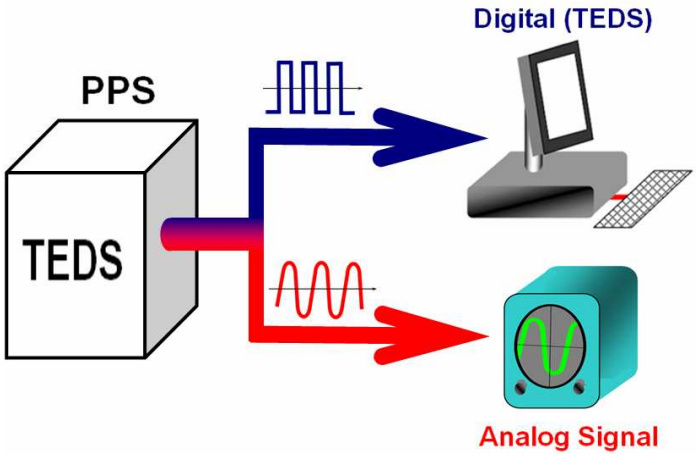
Фиг. 10.6. I^2C интерфейс

10.4.4. IEEE 1451.4

IEEE 1451.4 е един от стандартите, разработени да описват начина на свързване на интелигентни сензори. IEEE 1451.4 дефинира няколко важни елемента на интелигентните сензори, отнасящи се до принципа им на работа и до техния интерфейс.

Основната идея на стандарта е възможността сензорът да съхранява информация за самия него, която да улесни използването му. Информацията, която се съхранява в самия сензор, касае данни за типа на сензора, серийния му номер, обхвата на измерванията, датата на последното калибриране и др. Тази информация се намира в EEPROM памет в сензора като е организирана в така наречените TEDS – Transducer Electronic Data Sheets.

Стандартът IEEE 1451.4 (фиг.10.7) запазва аналоговия сигнал от сензора като същевременно добавя възможност за серийна цифрова връзка за четене на данните, записани в TEDS.



Фиг.10.7. IEEE 1451.4 интерфейс

10.5. Цифрови безжични интерфейси

10.5.1. ZigBee

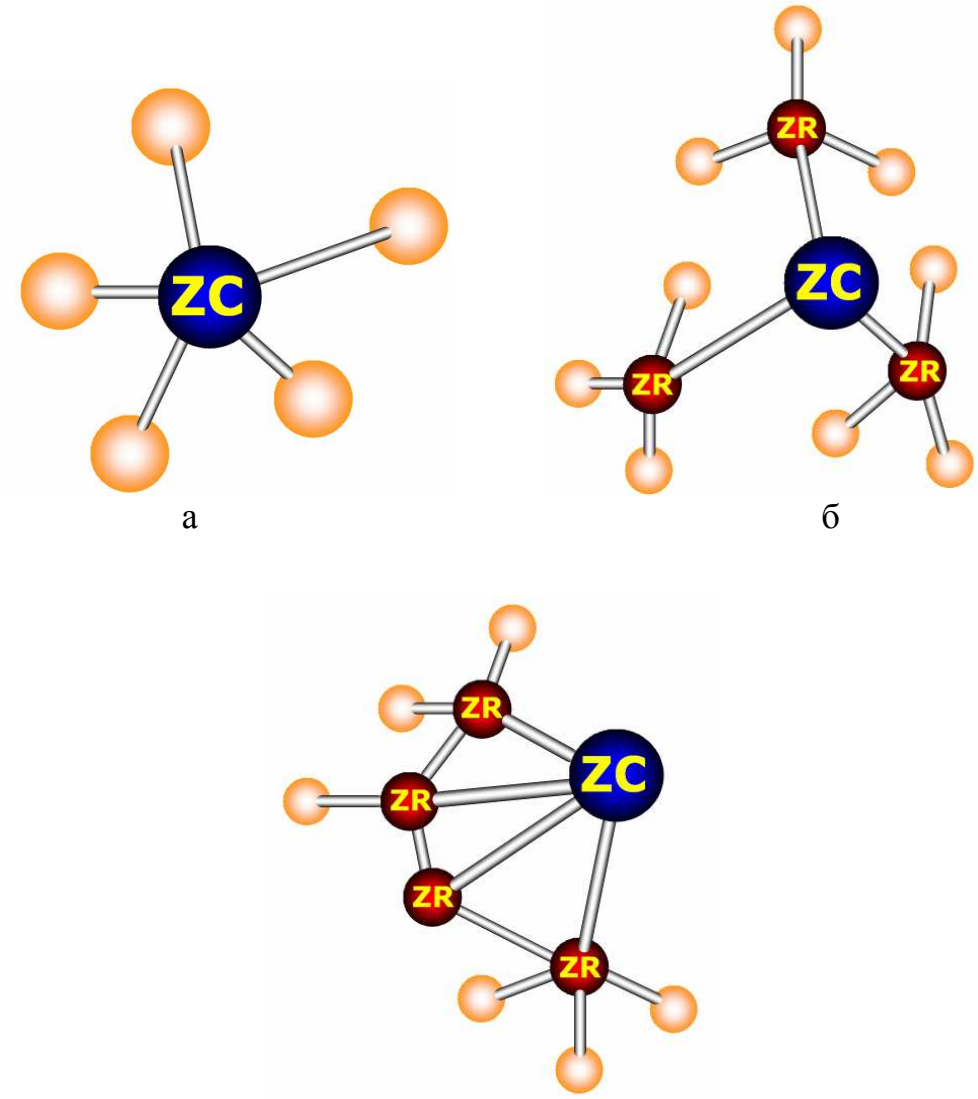
В търсене на надеждни системи за мониторинг и контрол, използващи безжична комуникация, е създаден стандартът ZigBee. Като надстройка на стандарта IEEE 802.15.4, той дефинира мрежов слой, слой за сигурност и потребителски слой. Чрез него се опростява разработката на безжични устройства и се постига възможност за комуникация между продукти на различни производители.

Стандартът IEEE 802.15.4 специфицира физическия и каналния слоеве за множество радио-честотни ленти, включително 868MHz, 915MHz и 2,4GHz. Стандартът е разработен, за да се предоставя надеждна комуникация с ниска консумация на енергия. IEEE 802.15.4 е пакетен протокол. ZigBee разширява възможностите на този нов радио-стандарт, дефинирайки гъвкав и надежден мрежов слой, който поддържа разнообразие от архитектури, за да се постигне надеждна безжична комуникация.

В стандарта са дефинирани три типа устройства, които се включват в една ZigBee мрежа: ZigBee coordinator – ZC; ZigBee router – ZR и ZigBee End Device – ZED. Във всяка мрежа има един ZigBee координатор, който на практика изгражда мрежата, асоциира или изключва устройства. ZigBee маршрутизатора има възможност да маршрутизира съобщения от съседните му устройства в мрежата към други устройства. Крайните устройства при ZigBee не могат да маршрутизират съобщения, но пък от своя страна те могат да бъдат устройства на батерийно захранване, които се включват към мрежата за кратко време, обменят информация с други устройства в

мрежата и преминават в режим на намалена консумация. Сензорите със ZigBee интерфейс основно работят като крайни устройства и са приспособени за батерийно захранване.

ZigBee поддържа три типа мрежови архитектури (фиг.10.8) – звезда, дърво и клетка. (star, tree, mesh)



а б в

Фиг.10.8. ZigBee мрежови архитектури

Като нов стандарт, ZigBee с времето търпи допълнения, но основно негово предимство е възможността на негова база да се изграждат безжични мрежи от сензори.

10.6. Въпроси за самопроверка

1. При какви условия на интерфейсната линия може да се приеме, че има проблем при сензори с интерфейс 4-20mA?
   а) ако няма протичане на електрически ток, има повреда;
   б) при стойност 10mA има повреда;
   в) не може да се открие наличие на проблем.

2. Какви характеристики притежават сензорите с честотен изход?
   а) висока шумоустойчивост
   б) не са надеждни
   в) трудни за поддръжка

3. Колко линии за предаване на информацията се използват при интерфейса RS-485?
   а) две линии;
   б) четири линии;
   в) пет линии;
   г) една линия.

4. По какъв начин става избягването на колизии при сензори с интерфейс CAN?
   а) няма механизъм за избягване на колизии;
   б) използва се принципа на CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection);
   в) прилага се Master-Slave организация.

5. Колко линии се използват за реализацията на I^2C интерфейса?
   а) две линии;
   б) четири линии;
   в) пет линии;
   г) една линия.

6. Каква е ролята на координатора при ZigBee сензорните мрежи?
   а) ZigBee мрежите нямат координатор;
   б) изгражда мрежата, асоциира или изключва устройства от нея;
   в) използва се само за маршрутизиране на съобщения;
   г) координаторът прави връзката с други типове мрежови протоколи.

ТЕРМИНОЛОГИЧЕН РЕЧНИК

Абсолютна влажност	Масата на водните пари, съдържащи се в единица обем на газа
Абсолютен енкодер	Преобразувател на линейно или ъглово преместване, в който изходният сигнал е директно цифров. При него всяка от изходните думи, съдържащи *n* бита, се реализира съответно на *n* успоредни или концентрични пътечки при използване на две различни състояния за определяне на логическите 0 или 1
Абсолютно налягане	Това е налягането, измерено спрямо абсолютния вакуум
Активен сензор	Сензор, който непосредствено преобразува една форма на енергия в друга, без да се нуждае от външен източник на енергия или възбуждане
Аналогов сензор	Сензор, който преобразува измерваната неелектрическа величина в аналогов електрически сигнал
Атмосферно налягане	Налягането на атмосферата върху земната повърхност. Атмосферното налягане на морското ниво се приема да бъде 101.325 kPa. Атмосферното налягане намалява с увеличаване на надморската височина
Взаимноиндуктивен преобразувател	Реализира се на основата на индуктивния преобразувател като върху магнитопровода му освен намагнитващата бобина се разполага и измервателна бобина, в която се индуктира електродвижещо напрежение

Вихрови токове	Това са токове, които се индуцират в проводящ материал, когато магнитното поле преминаващо през проводника се променя във времето или разстоянието между проводящия материал и източника на магнитното поле се променя
Вихровотоков преобразувател	Преобразувател, чието действие се основава на изменението на активното съпротивление и индуктивността на бобина при приближаването към нея на проводим обект вследствие на индуктираните в обекта вихрови токове
Главно устройство	Това е устройство, което контролира работата на интерфейсната шина. То започва комуникацията, избира или адресира подчиненото устройство, с което ще обменя данни и управлява тактовия сигнал. Обикновено на една интерфейсна шина има само едно главно устройство
Гравиметричен газов сензор	Газов сензор, в който малки изменения на масата, предизвикани от адсорбция на молекули на газове, довежда до изменение на механичните свойства на системата. То предизвиква изменение на честотата на резонанс на резонатор, върху който е нанесен адсорбционен чувствителен слой
Гравиметричен сензор за влажност	Сензор за влажност, при който сорбираната влага изменя масата на сорбента, нанесен върху повърхността на пиезоелектричен резонатор. Това довежда до изменение на честотата на резонанс на резонатора
Дебит	Представлява количеството флуид (течност или газ), което преминава през тръбите или откритите канали за определено време. Когато се измерва дебита се използват единици, които се отнасят за преминалия обем или тегло за единица време. Най-често се използват единиците m^3/s, l/s или kg/s.

Диференциален преобразувател	Преобразувател, при който входната величина предизвиква разнозначно изменение на изходната величина в две отделни части или половини на преобразувателя. Теоретично диференциалният преобразувател има двойно по-висока чувствителност от единичния
Диференциално налягане	Представлява разликата между две налягания
Доплеров ефект	Представлява промяна в честотата или дължината на вълната приета от приемника, когато източникът или приемникът се движат един спрямо друг. Честотата нараства, когато източникът и прииникът на вълната се приближават един към друг и намалява, когато се отдалечават
Електрохимичен газов сензор	Газов сензор, чието действие се основава на влиянието на концентрацията на газа върху окислително-възстановителните реакции, протичащи в електрохимична клетка
Индуктивен преобразувател	Бобина, разположена върху магнитопровод с въздушна междина като параметрите на бобината се изменят под действие на входната величина, която обикновено е линейно или ъглово преместване.
Индукционен преобразувател	Генераторен тип преобразувател, основаващ се на закона за електромагнитната индукция. Представлява най-често съчетание на постоянен магнит и бобина, в която се индуктира електродвижещо напрежение, пропорционално на линейната или ъглова скорост.
Инкрементален (относителен) енкодер	Преобразувател за определяне на преместването или на скоростта на въртене на даден обект, както и на посоката на движение, с помощта на неголям брой пътечки (2 или 3) с по-малко сложна маска в

	сравнение с абсолютния енкодер.
Интерфейс	Връзката между две и повече устройства, която определя сигналите за обмен и процедурите на взаимодействие между устройствата
Калибрирано налягане	Налягане, измерено спрямо атмосферното налягане
Калориметрия	Научна област, включваща методи за измерване на топлина, която се получава или абсорбира вследствие на физичен процес или химична реакция
Капацитивен преобразувател	Преобразувател, при който изменението на измерваната неелектрическа величина се преобразува в изменение на капацитета на кондензатор.
Каталитичен газов сензор	Газов сензор, чийто принцип на действие се основава на протичане на каталитични реакции и отделяне на топлина, водеща до промяна на температурата на сензора
Ключов сензор	Сензор, който при достигане на прагова (гранична) стойност на измерваната величина установява изходния сигнал в ниско или високо ниво
Коефициент на запълване	Представлява отношението на времето на високото ниво на периодичен сигнал към периода му, най-често изразено в проценти
Коефициент на относителна тензочувствителност	Количествена характеристика на тензоефекта. Представлява отношение на относителното изменение на съпротивлението на тензорезистора към относителното изменение на неговата дължина
Кондензационен сензор за влажност	Сензор за влажност, основан на зависимостта на температурата на кондензация на водните пари на

	охладена повърхност на твърдо тяло от концентрацията на водните пари
Контактен преобразувател (контактрон)	Преобразувател, в който линейното или ъглово преместване се преобразува в затворено или отворено състояние на контактите, управляващи дадена електрическа верига
Линейно изменящ се диференциален трансформатор (ЛИДТ)	Взаимноиндуктивен диференциален преобразувател с подвижно ядро.
Магнитна анизотропия	Разлика в магнитната проницаемост на феромагнитен материал в различните геометрични направления
Магнитоеластичен ефект	Изменение на магнитната проницаемост на феромагнитните материали при възникване в тях на механични напрежения, предизвикани от външни сили
Магнитоеластичен преобразувател	Преобразувател, основаващ се на магнитоеластичния ефект
Магниторезистор	Резистор, чието съпротивление се изменя под действието на магнитно поле
Магнитострикционен ефект	Обратен на магнитоеластичния ефект. Състои се в промяна на геометричните размери на феромагнитните материали при внасянето им в магнитно поле
Метален терморезистор	Резистор на базата на метали (платина, никел, мед), чието съпротивление зависи от температурата
Налягане	Физична величина, представляваща отношение на действащата сила към площта, върху която е приложена. Силата се прилага перпендикулярно на площта на обекта
Нормално затворени	В отпуснато състояние контактите са затворени

превключватели	веригата е затворена, след механично въздействие веригата се прекъсва.
Нормално отворени превключватели	В отпуснато състояние контактите са отворени веригата е прекъсната, след механично въздействие веригата се затваря.
Обратен пиезоефект	Възникване на механично напрежение или промяна на геометричните размери на пластинка от някои диелектрични материали при поставянето й в електрическо поле
Оптичен газов сензор	Газов сензор, базиран на взаимодействието на електромагнитните вълни с изследвания газ, в резултат на което се изменят някои характеристики на излъчването като интензивност, поляризация и други
Относителна влажност	Отношението на парциалното налягане на водните пари към налягането на наситените водни пари при дадена температура
Пасивен сензор	Сензор, който не може непосредствено да преобразува енергия, а управлява енергията или възбуждането от друг източник
Период	Продължителността на един цикъл на повтарящо се във времето събитие. Обикновено периодът се означава с T и е обратнопропорционален на честотата f : T=1/f.
Пиезоелектрически преобразувател	Преобразувател, който се основава на пиезоелектрическия ефект
Пиезотрансформатор	Преобразувател за измерване на статични сили, представляващ съчетание на два преобразувателя, използващи съответно обратния и правия пиезоефект

Подчинено устройство	Устройство, което трябва да бъде избрано или адресирано от главното устройство преди да започне обмена на данни с него. Подчиненото устройство не може да започва самостоятелно комуникация, а само може да отговаря на заявките на главното устройство
Полупроводников газов сензор	Газов сензор, чийто принцип на действие се основава на изменение на проводимостта на чувствителния елемент при сорбция на анализирания газ
Потенциометър	Резистор, по който се премества плъзгач, създаващ електрически контакт. При това се променя съпротивлението между плъзгача и съответния извод на резистора
Прав пиезоелектрически ефект	Появяване на електрически заряди върху повърхността на пластинка от някои диелектрични материали при механичното ѝ натоварване, пропорционално на приложената сила
Преобразувател на близост	Безконтактен преобразувател, чийто изходен сигнал е функция от взаимното положение между преобразувателя и обекта. В дискретен режим на работа регистрира наличието или отсъствието на обект
Псевдоцифров сензор	Сензор, който преобразува измерваната неелектрическа величина в честота или интервал от време
Психрометричен сензор за влажност	Сензор за влажност, основан на зависимостта на влажността на въздуха от показанията на сух и влажен термометър
Реостатен преобразувател	Реостат със специално изпълнение и предназначение, чийто плъзгач се премества под действието на входната величина

Ротационни дебитомери	Представляват механични или електромеханични устройства, при които ротационното движение на перка или турбина се използва за оценка на дебита.
Светодиод (LED)	Полупроводниково устройство, което излъчва светлина, когато през него протича електрически ток. Излъчената светлина зависи от типа на светодиода и може да бъде видима, инфрачервена или ултравиолетова светлина
Сензор	Устройство, което преобразува физичните и химични величини в удобни за използване електрически сигнали
Сорбционен сензор за влажност	Сензор за влажност, принципът на действие на който е базиран на явлението сорбция на влага от анализираната среда
Сорбционно-импедансен сензор за влажност	Сензор за влажност, чието действие е базирано на зависимостта на пълното съпротивление (импеданса) на влагочувствителния слой от сорбираната влага
Температурен коефициент на съпротивление (ТКС)	Коефициент, който характеризира относителното изменение на съпротивлението на даден елемент при един градус изменение на температурата
Тензоефект	Промяна на активното съпротивление на проводников или полупроводников преобразувател при неговата механична деформация
Тензорезистор	Проводников или полупроводников преобразувател, чието действие се основава на явлението тензоефект
Термистор	Полупроводников резистор с голям ТКС в широк температурен диапазон

Термодвойка	Преобразувател, изграден от два разнородни проводника, заварени в една обща точка (гореща точка), който се базира на термоелектрическия ефект
Термодиод и термотранзистор	Полупроводникови елементи, при които се използва зависимостта на съпротивлението на p-n прехода от температурата
Термоелектрически ефект	Възникване на термоелектродвижещо напрежение (т.е.д.н.) между свободните краища на термодвойката, което зависи от температурната разлика между температурите на горещата точка и тези краища
Терморезистивен преобразувател	Проводников или полупроводников елемент, чието съпротивление зависи от температурата
Токов кръг	Интерфейс, при който изходният сигнал от сензора представлява ток, който се променя в зависимост от промяната на измерваната величина. За разлика от сензорите с напреженов изход, сензорите с интерфейс токов кръг могат да предават сигнала на по-големи разстояния и са по-нечувствителни към външни смущения
Усукана двойка	Тип кабел, при който се използват усукани двойки жила с цел намаляване на електромагнитните смущения от външни източници. Усуканата двойка също така намалява електромагнитното излъчване от кабела и позволява по-голямо разстояние на предаване на данните
Физичен сензор	Сензор, в който вследствие на проявата на физични ефекти (пиезоелектричен, магнитострикционен, термоелектрически, магнитоелектрически и др.) измененията на измерваната величина се преобразуват в електрически сигнал

Химичен сензор	Сензор, в който вследствие на проявата на химични ефекти (химична адсорбция, електрохимични реакции и др.) измененията на измерваната величина се преобразуват в електрически сигнал
Цифров сензор	Сензор, който преобразува измерваната неелектрическа величина в цифров изходен сигнал
Ултразвуков преобразувател	Принципът му на действие се основава на излъчването и приемането на ултразвукови вълни (над 20kHz)
Широчинно импулсна модулация (ШИМ)	Метод за модулация на периодичен сигнал, при който се управлява коефициентът на запълването му
CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)	Метод за достъп до компютърни мрежи, при който се използва схема на следене на носещата честота
CTR–термистор (критезистор)	Термистор с особено голям ТКС в областта на определена (критична) температура
NTC-термистор	Термистор с отрицателен ТКС
PTC-термистор	Термистор с положителен ТКС

ЛИТЕРАТУРА

1. Аш, Ж. и др. Датчики измерительных систем. М., Мир, 1992.
2. Електрически измервания. Под ред. на проф.А.Н.Балтаджиев. С., „Техника”, 1977.
3. Измерение электрических и неэлектрических величин. Под ред. Евтихеева Н. Н. , М. Энергоатомиздат, 1990.
4. Левшина, Е. С., П. В. Новицкий. Электрические измерения неэлектрических величин (измерительные преобразователи). Л. Энерго-атомиздат, 1983.
5. Нуберт, Г. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. Л. Энергия, 1970.
6. Трендафилов, Г. Я. Измерване на неелектрически величини. Ръководство за лабораторни упражнения. Габрово, Университетско издателство „Васил Априлов”, 2005.
7. Электрические измерения неэлектрических величин. Под ред. Туричина А. М., Л., Энергия, 1966.
8. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин. Под ред. Полищука Е. С., Киев, Вища школа, 1984.
9. Brauer, J.R.. Magnetic Actuators and Sensors. A John Wiley&Sons, Inc., Publ. New Jersey, 2006.
10. David, S. Nyce. Linear Position Sensors. Theory and Applications. A John Wiley&Sons, Inc., Publ., New Jersey, 2004.
11. Fraden, J. Handbook of modern sensors: Physics, designs and application. Spriner-Verlag New York, Inc., New York, 2004.
12. Measurement, Instrumentation, and Sensors. Handbook. Ed. J.G.Webster. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 1999.
13. Modern Sensors Handbook. Edited by P.Ripka and A.Tipek. ISTE Ltd, London, 2007.
14. Murthy, D.V.S. Transducers and Instrumentation. Prentice Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi, 2001.
15. Nawrocki, W. Measurement Systems and Sensors. Artech House, Inc., Boston-London, 2005.
16. Nenov, T., S.Yordanov. CERAMIC SENSORS: Technology and Applications. TECHNOMIC Publ. Co., Inc., Lancaster-Basel, 1996.
17. Sensor Technology Handbook. Ed. J.S.Wilson. Newnes, Amsterdam, 2005.
18. Solomon, S. Sensors and Control Systems in Manufacturing, McGraw-Hill Inc., New York, 2010.
19. Solomon, S. Sensors Handbook. McGraw-Hill Inc., New York, 2010.

Education and Culture DG
Lifelong Learning Programme

PROJECT 2009-1BG1-LEO05-01640
Development of curricula and innovative training tools
for industrial automation system for people employed in SMEs
AutoMatic

AutoMatic

УЧЕБНА ПРОГРАМА

по СЕНЗОРИ В ИНДУСТРИАЛНАТА АВТОМАТИЗАЦИЯ (за работещи в малки и средни предприятия)

А. Теоретично обучение

Номер	Тема	Часове за подготовка
1.	Класификация на сензорите	2
2.	Сензори за температура. Термоелектрически, терморезистивни, термодиоди, термотранзистори и интегрални температурни сензори	2
3.	Сензори за сила и механични напрежения. Тензорезистивни, пиезоелектрически, магнитоеластични сензори.	2
4.	Сензори за налягане.	2
5.	Сензори за положение, преместване, скорост и ускорение. Контактни, потенциометрични, индуктивни и взаимноиндуктивни, капацитивни, оптични, индукционни, пиезоелектрически сензори. Абсолютни енкодери	2
6.	Сензори за поток. Ротационни, ултразвукови, магнито-индуктивни, калориметрични, вихрови сензори. Сензори за поток на основата на измерване на налягане. Сензори за поток за отворени канали.	2
7.	Сензори за влажност. Температурно-градиентни и сорбционни сензори. Сензори за влажност на базата на други физични принципи.	2

8.	Сензори за регистриране на обекти. Контактни и оптични сензори. Преобразуватели на близост.	2
9.	Газови сензори. Полупроводникови, каталитични, електрохимични, оптични, гравиметрични сензори. Газови сензори на основата на MOS-структури.	2
10.	Сензорни интерфейси. Напреженов изход. Токов кръг. Честотен сигнал и широчинно-импулсна модулация. Цифрови интерфейси. Цифрови безжични интерфейси.	2

Б. Упражнения

Номер	Тема	Часове за изпълнение
1.	Сензори за сила и механични напрежения. Тензорезистивни сензори.	1
2.	Сензори за налягане. Единици за измерване на налягане.	2
3.	Сензори за поток. Ротационни, ултразвукови, магнито-индуктивни, калориметрични, вихрови сензори.	2
4.	Сензори за влажност.	1
5.	Газови сензори.	1
6.	Индуктивни, взаимноиндуктивни, магнитоеластични и индукционни сензори	2
7.	Единични и диференциални сензори	1

Въведение

Прогресът в индустриалната автоматизация е свързан с развитието на различни технологични процеси и автоматизирани управляващи системи. Едно изпълнително устройство е способно да извършва физическа работа. Изпълнителното устройство е управляемо механично устройство за изпълнение на производствени операции. То използва електрическа, хидравлична или пневматична енергия от външен източник, която преобразува и предава във формата на енергия от тип механично движение (физическа работа) на дадено производствено устройство, посредством което могат да се променят формата и вида на произвеждания материал.

Основната цел на книгата „Изпълнителни устройства в индустриалната автоматизация" е да осигури базови знания за изпълнителните устройства, използвани в автоматизираните системи. Тя е предназначена за работещите в малки и средни предприятия. Книгата е организирана в шест глави.

В първа глава се разглеждат основните понятия от индустриалната автоматизация, същността на изпълнителните устройства, дава се класификация на използваните в автоматизацията изпълнителни устройства и се разглежда задачата за избор на механизмите на едно изпълнително устройство. Във втора глава са представени електромеханичните изпълнителни устройства, като са разгледани следните въпроси: принципът на работа на електрическите задвижвания, преобразуването на електрическа в механична енергия, типовете електродвигатели, класовете на защита, представени са асинхронните двигатели, принципът на електрозадвижване с честотен преобразувател, електрически задвижвания с устройства за плавно пускане, задвижвания със стъпкови двигатели и сервозадвижвания. В трета глава са разгледани и е направена класификация на електромагнитните изпълнителни устройства. По-конкретно са представени соленоидите с линейно и ротационно движение, както и задържащите соленоиди. В четвърта и пета глави се разглеждат съответно хидравличните и пневматичните изпълнителни устройства. Представени са и различните видове клапани, използвани в тези устройства. В шеста глава се разглеждат

индустриалните роботи, като е представена тяхната същност, разгледани са роботизираните системи, методите за управление, различните начини на движение и накрая са дадени примери за използването на индустриалните роботи в различни области на индустрията.

В края на всяка глава са дадени въпроси за проверка и оценка на прогреса на обучаемите.

Тази книга може да бъде използвана в програми за повишаване на квалификацията и опресняване на подготовката на работещите в малки и средни предприятия, студенти и безработни.

За пълноценното ползване на книгата са необходими базови познания по математика и физика. Книгата е предназначена за обучение на специалисти и студенти в областта на индустриалната автоматизация.

Въведение в индустриалната автоматизация

1.1.Индустриална автоматизация

Индустриална автоматизация е термин, който се използва за представяне на развойната програма в едно производствено предприятие, при която инженерите изграждат автоматизирани производствени приложения, използвайки оборудване, проектирано специално за структурирана обработка на материали, енергия и информация.

В едно автоматизирано производствено приложение преобразуването и предаването на материалите, енергията и информацията става без прякото участие на човека – то се осъществява в йерархична поредица от процеси, задачи, дейности и операции.

Задачата на работника е да стартира процесите на автоматизираното производствено приложение и да наблюдава системата. Системата ще извърши останалото.

Разбирането на съществуващо и реализирането на ново описание на една автоматизирана производствена система предполага организирането на някои важни термини, използвани в индустриалната автоматизация, в една интелигентна (съдържателна) йерархия, напр. програма, проект, приложение, процес, задача, дейност, операция.

1.2. Същност на изпълнителните устройства

I. Едно изпълнително устройство (ИУ) може да извършва физическа работа. ИУ е управляемо механично устройство за реализиране на производствени операции. ИУ използва електрическа, хидравлична или пневматична енергия от външен източник, която преобразува в енергия от тип механично движение (физическа работа) и я предава на дадено производствено устройство, с помощта на което могат да се изменят формата и природата на продуктовия материал и производственото устройство.

II. Изпълнителното устройство е управляемо механично устройство за изпълняване на производствени операции. То преобразува и предава електрическа, хидравлична или пневматична енергия в дадено приложение с цел получаване на енергия от тип механично движение (физическа работа), която е необходима за произвеждане на конкретни продукти.

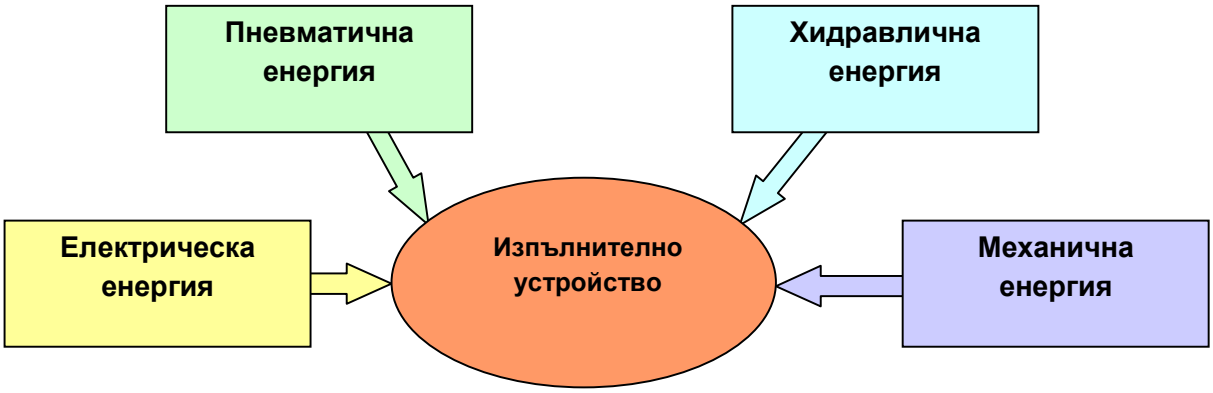
Термодинамичната ефективност на изпълнително устройство, което осигурява механично движение в задвижваното съоръжение, е:

$$\varepsilon = \frac{полезна_енергия}{използвана_енергия} = \frac{изходна_енергия}{входна_енергия}$$

1.3. Класификация на изпълнителните устройства, използвани в автоматизацията на производството на продукти

Изпълнителните устройства се класифицират според типа на енергията, постъпваща от източника на енергия, на (Фиг. 1.1):

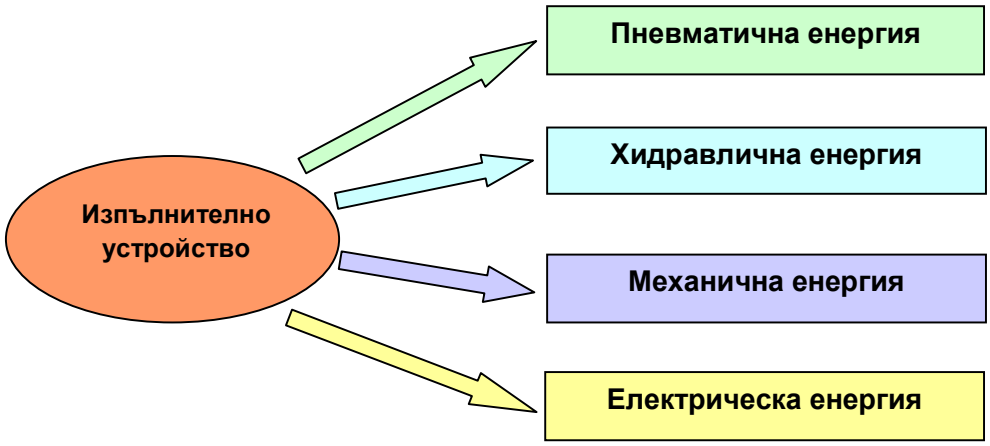
- Електрически,
- Пневматични,
- Хидравлични,
- Механични.



Фиг. 1.1. Класификация на изпълнителните устройства според типа на енергията, постъпваща от източника на енергия

ИУ могат да се класифицират според типа на енергията, предавана към ресурса (обекта), на (Фиг. 1.2):

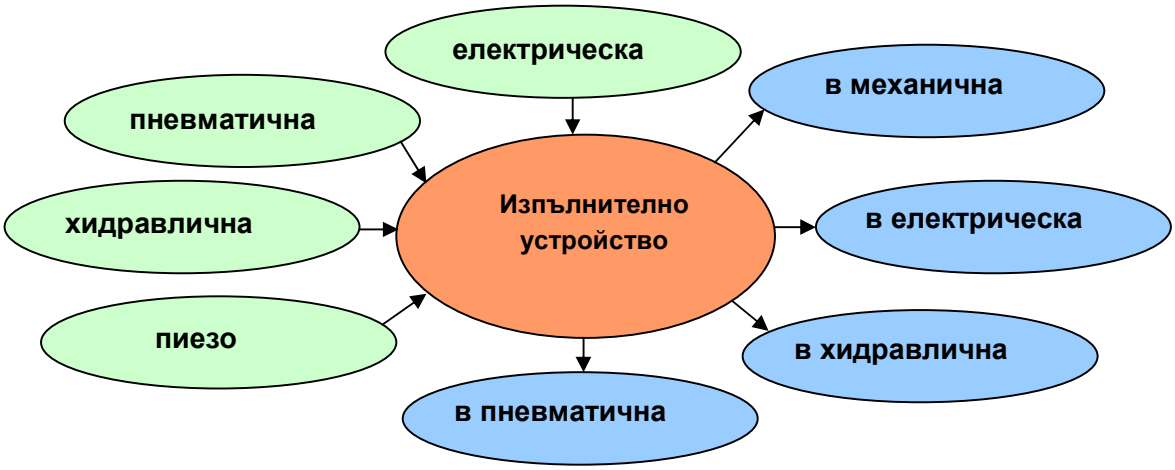
- Електрически,
- Пневматични,
- Хидравлични,
- Механични.



Фиг. 1.2 Класификация на изпълнителните устройства според типа на енергията, предавана към ресурса

Друга класификация на ИУ е според типа на входната енергия и вида на вътрешното й преобразуване в ИУ, в резултат на което се получава типът изходна енергия, предавана към задвижваното оборудване (Фиг. 1.3):

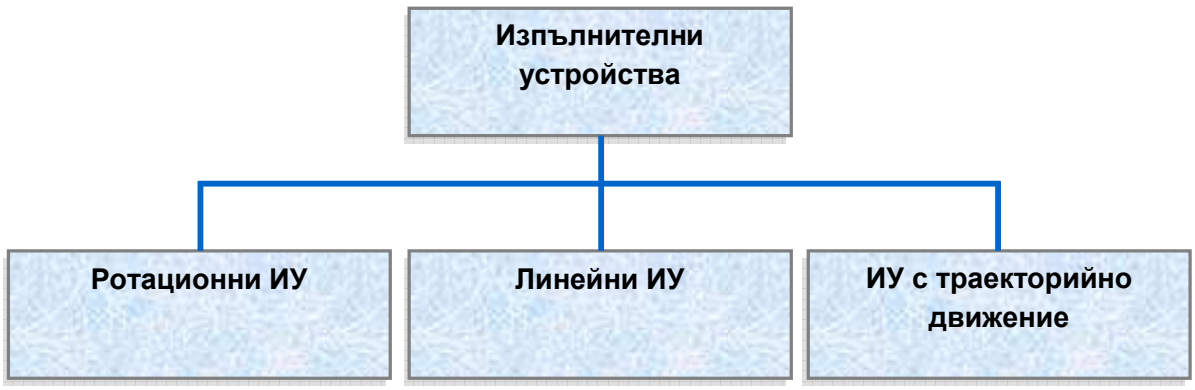
- ИУ, преобразуващи електрическа в механична енергия,
- ИУ, преобразуващи електрическа в пневматична енергия,
- ИУ, преобразуващи електрическа в хидравлична енергия,
- ИУ, преобразуващи пневматична в механична енергия,
- ИУ, преобразуващи пиезо в електрическа енергия,
- други.



Фиг. 1.3. Класификация на изпълнителните устройства според типовете преобразуване на енергия

ИУ могат да се класифицират и според типа механично движение (формата на геометричното движение), което се прилага от изхода на ИУ към входа на задвижваното оборудване или съоръжение, на (Фиг. 1.4):

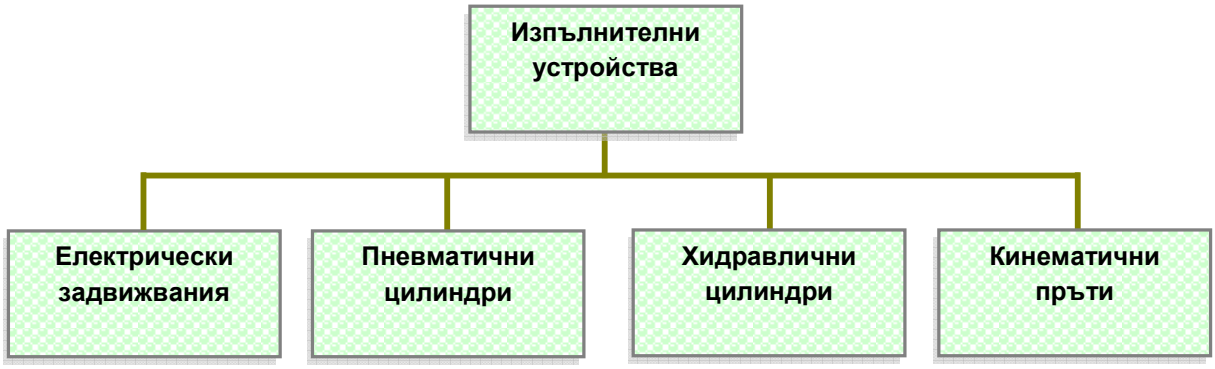
- Ротационни изпълнителни устройства,
- Линейни изпълнителни устройства,
- Изпълнителни устройства, работещи по специфична траектория, задавана от генератор на траектории (ИУ с траекторийно движение).



Фиг. 1.4. Класификация на изпълнителните устройства според типа (формата) на механичното движение

Използват се различни ИУ за получаване на необходимото механично движение за задвижваното оборудване (Фиг. 1.5):

- Електрически задвижвания,
- Пневматични цилиндри,
- Хидравлични цилиндри,
- Кинематични лостове и пръстове.



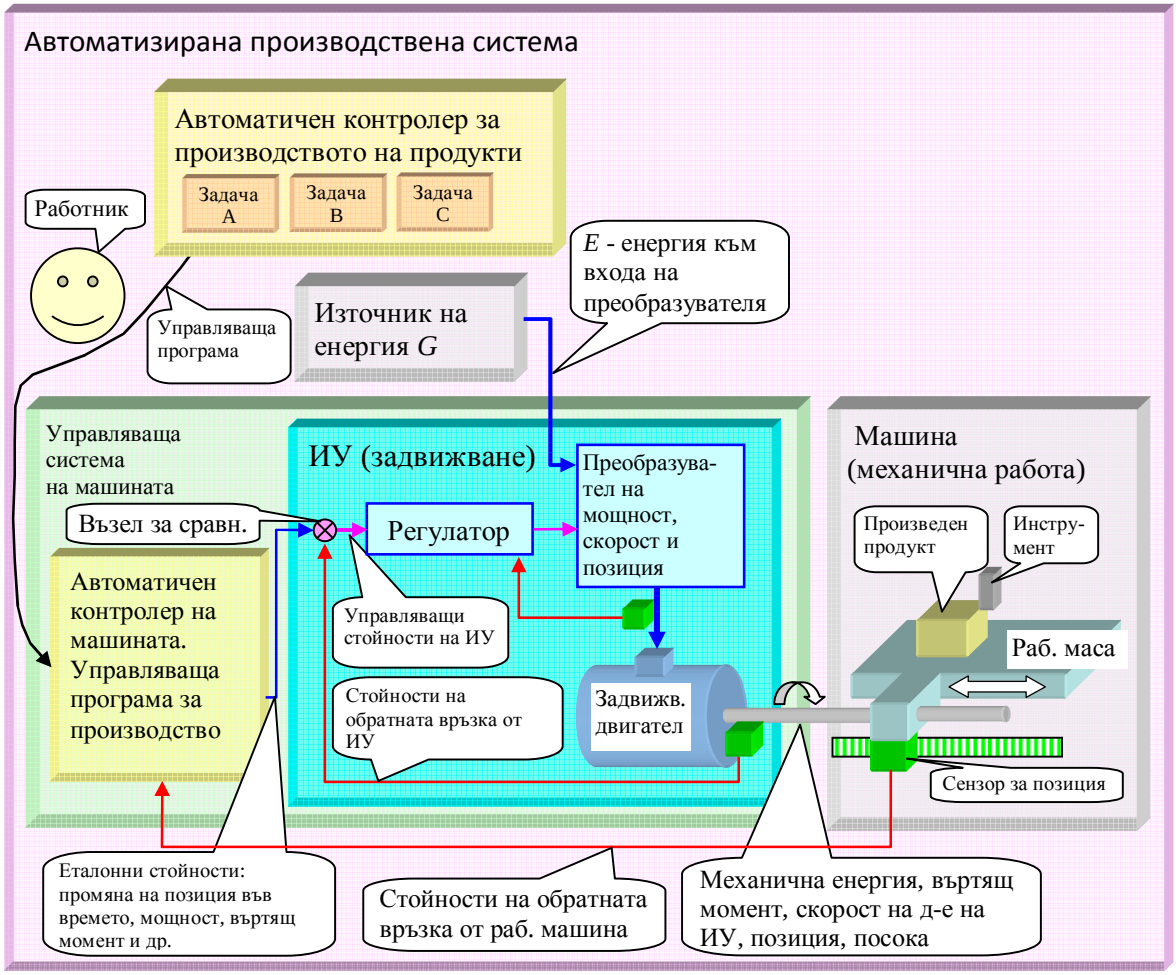
Фиг. 1.5. Класификация на изпълнителните устройства според начина на получаване на механичното движение, необходимо за задвижваното оборудване

Електромеханичните ИУ са подобни на техните механични еквиваленти. При тях механичният управляващ лост (прът) е заменен от електрически двигател. Електрическите двигатели в съчетание с кинематични двойки могат да се използват за получаване на линейно движение. Ротационното (въртеливото) движение на електрическия двигател се преобразува в линейно на изхода на изпълнителното устройство, например чрез използване на сачмено-винтови двойки и направляващи релси. Изборът на типа на изпълнителното устройство зависи от техническите изисквания на конкретното приложение.

Електрическото задвижване също е изпълнително устройство. Има и по-сложни ИУ като електрически задвижвания с честотни конвертори, серво задвижвания и задвижвания със стъпкови двигатели.

Разработчиците на системи използват информация, енергия и технологии за физическо производство заедно със съвременни развойни методи, за да разработят една автоматизирана производствена система. Хората, системите за автоматично управление и задвижваните енергетични (механични) съоръжения се интегрират в едно цяло по време на разработката на системата. Новите производствени съоръжения ни позволяват да произвеждаме по-сложни продукти. Технологиите, използвани при производството на продукти, също стават по-сложни. В ерата на информационните технологии работниците, участващи в производството на продуктите, регулярно трябва да повишават квалификацията си.

На Фиг. 1.6 е показана обобщена структурна схема на примерна автоматизирана производствена система.



Фиг. 1.6. Структурна схема на автоматизирана производствена система

1.4. Избор на механизмите на изпълнителното устройство

Задачата за избор на подходящите механизми на ИУ е сложна и много отговорна, защото изпълнителните устройства влияят динамично върху цялата система за автоматизирано производство. Типът на ИУ определя какви ще са захранването (например дали постоянно- или променливотоково) и предавателният механизъм на системата. Понякога е възможно да се постигне желаното движение чрез интегриране на изпълнителното устройство директно към системата и така се избягва необходимостта от предавателен механизъм. Например линейно движение може да се постигне, като вместо ротационен се използва линеен двигател.

При избора на ИУ проектантът трябва да отчита следните параметри:

- продължителна (постоянна) изходна мощност – максималната сила или въртящ момент, която ИУ може да генерира продължително време без да прегрее;
- диапазон на движение – обхвата на линейно или кръгово движение;
- разрешаваща способност – най-малката стъпка на генерираната сила (въртящ момент);
- точност – доколко отношението между вход и изход остава неизменено;
- пикова сила (въртящ момент) – най-голямата сила (въртящ момент), която може да постигне ИУ;
- разсейване на топлината – максималната мощност на топлинно разсейване при устойчива работни условия;
- скоростни характеристики – разглежда се зависимостта между силата (въртящия момент) и скоростта;
- скорост на празен ход – големината на скоростта, когато не е приложен товар;
- честотни характеристики – честотният обхват, за който изходът реагира на входните изменения както трябва;
- захранване – тип на захранването (електрически ток, компресиран въздух и др.).

Друга важна задача в допълнение към избора на ИУ е избор на предавателен механизъм. Например ако е избрана зъбна предавка, точността може да се влоши поради наличието на хлабина. Същото се отнася за ремъчните предавки, ако ремъкът започне да приплъзва.

1.5. Въпроси за самопроверка

1. Какво означава терминът индустриална автоматизация?
    1. Индустриалната автоматизация е обработване на енергия и информация.
    2. Индустриалната автоматизация е управление на производствен процес.
    3. Индустриалната автоматизация е опростяване на производствен процес.

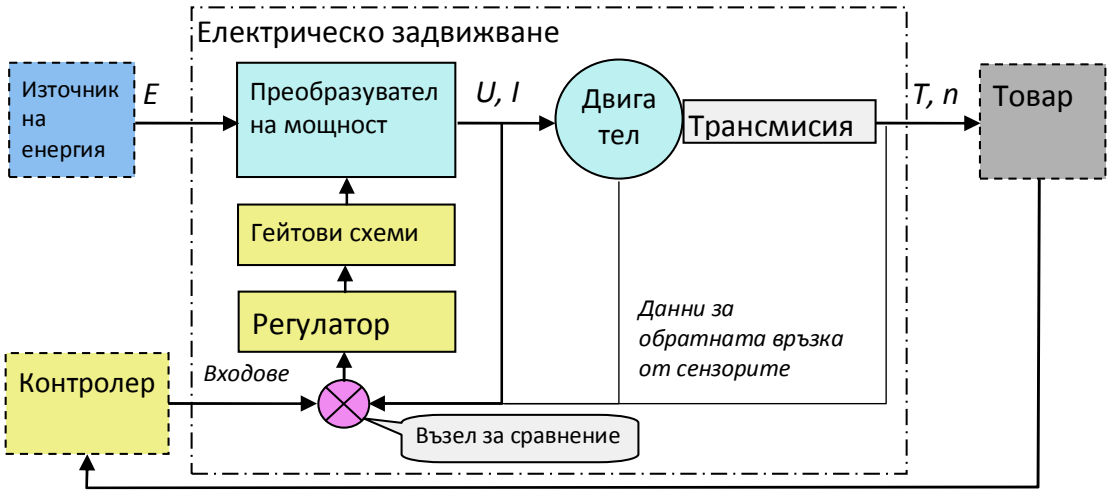
4. Цялостна развойна програма в едно производствено предприятие, при която инженерите изграждат автоматизирани производствени приложения.

2. Какво е изпълнително устройство?
   1. ИУ е устройство за преобразуване и предаване на енергия.
   2. ИУ е управляемо механично устройство за извършване на производствени операции.
   3. ИУ е хидравличен или пневматичен преобразувател.
   4. ИУ е електронно устройство.
3. Как се класифицират изпълнителните устройства?
   1. Според типа на енергията, постъпваща от източника на енергия.
   2. Според вида механично движение, което извършват.
   3. Според формата и типа на геометрично движение.
4. Кои параметри трябва да се вземат под внимание при избор на ИУ?
   1. Диапазона на движение и максималната сила.
   2. Топлинното разсейване.
   3. Честотните характеристики.
   4. Времето за въвеждане в експлоатация.
   5. Цветът на вала.

Електромеханични изпълнителни устройства

2.1. Електрическо задвижване

Електрическото задвижване е устройство, състоящо се от електронна система, електрически двигател и механична трансмисия, което е проектирано да задвижва механичен товар с електрическа енергия. Съществуват различни схеми на електрически задвижвания. На Фиг. 2.1 е показана обобщена блокова схема на електрозадвижване.



Фиг. 2.1. Блокова схема на електрозадвижване

Горната част на схемата показва задвижващата система, а долната – управляващата система. Под действието на входна команда постояннотоковото (dc) и променливотоковото (ac) задвижвания управляват ефективно скоростта *n*, въртящият момент *T* и позицията на механичния товар. На базата на сравняване на входната команда за скорост, въртящ момент или позиция с действителните стойности на тези величини, измерени от сензори, контролерът подава сигнали към регулатора през възела за сравнение, а оттам към гейтова (шлюзова) схема, която управлява преобразувателя на мощност. Той се захранва от източник с еднофазно или

трифазно синусоидално напрежение с фиксирана честота и амплитуда. Преобразувателят на мощност преобразува електрическата енергия в изходна мощност в подходяща форма (брой фази, честота, напрежение *U*, ток *I*) със стойности, които са оптимални за работата на двигателя.

В много приложения от общ характер електрическите задвижвания работят на принципа на отворената система без обратна връзка. Тази голяма група от прости задвижващи системи, захранвани с енергия от електрическата мрежа, се използва при много индустриални и домашни електрически машини. Различни преобразуватели на мощност могат да бъдат открити в задвижващи системи с акумулаторно захранване като вилкови повдигачи (кар високоповдигач), стартерни генератори и автомобилни спомагателни задвижвания. Преобразувателите могат да захранват постояннотокови двигатели, индукционни и синхронни двигатели.

Електрическите задвижвания се използват главно в индустриалните приложения, електротранспорта и домакинствата. В днешно време около 60% от цялата произведена електрическа енергия се консумира от електрозадвижващи системи.

2.2. Преобразуване на електрическата в механична енергия

Електрическата енергия може лесно да бъде преобразувана в механична, топлинна или светлинна енергия. Електромеханичният преобразувателен процес се извършва във въздушната междина на електрическия двигател, където променливото магнитно поле на статора индуцира електродвижеща сила (ЕДС) в ротора. Този процес се нарича електромагнитна индукция.

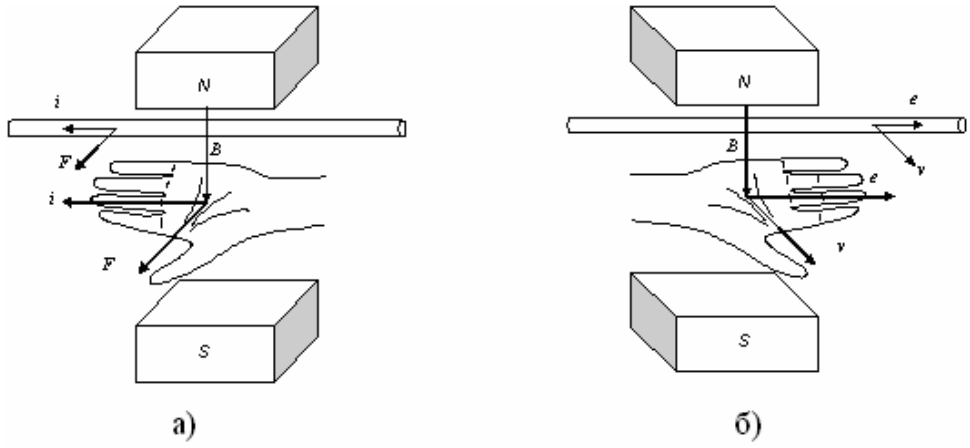
Променящо се магнитно поле може да бъде получено чрез: a) движение на проводник в статично магнитно поле, b) движение на магнитно поле спрямо статичен проводник, c) периодична промяна на тока в проводник и плътността на потока на магнитното поле около него. Принципът на електромагнитната индукция е илюстриран на Фиг. 2.2. Магнитното поле се генерира от постоянен магнит с полюси N (север) и S (юг).

Ако проводникът се движи в магнитно поле с плътност на потока B със скорост v, то в проводника ще бъде индуцирана електродвижеща сила (напрежение) E. Колкото по-големи са плътността на потока и скоростта, толкова по-голяма ще бъде индуцираната електродвижеща сила. ЕДС се изчислява по формулата:

$$E = B\,l\,v\sin\alpha,$$

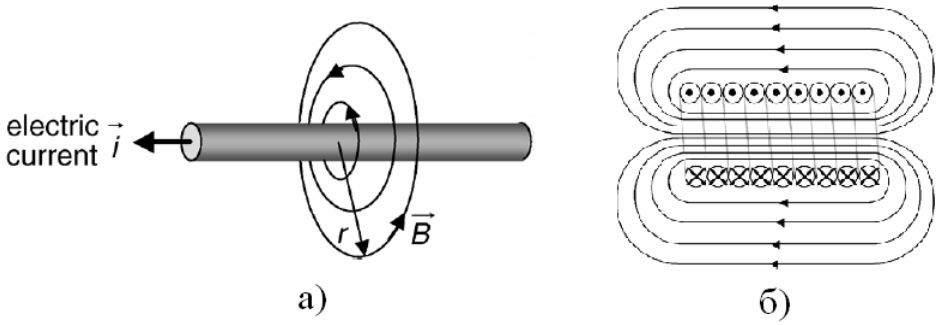
където електродвижещата сила E се измерва във волтове (V), плътността на потока на магнитното поле B – в Тесли (T), l е дължината на проводника в метри (m), v е скоростта на движение на проводника в m/s, α е ъгълът между посоката на движение и магнитното поле.

Ако движещият се проводник, в който е индуцирана ЕДС, се свърже с електрическа верига, през нея ще протече електрически ток. Токът i може да бъде изчислен по закона на Ом: $i = E / R$.



Фиг. 2.2. Ефект на електромагнитната индукция. a – възникване на сила; b – възникване на електромагнитна сила

Ако през един проводник протича ток, то той винаги е обхванат (заобиколен) от магнитно поле, както е показано на Фиг. 2.3. За получаване на по-голямо магнитно поле проводникът се навива върху сърцевина, като по този начин се сумират магнитните полета около всяка от навивките. Магнитното поле около сърцевината е показано на Фиг. 2.3 b.



Фиг. 2.3. Магнитно поле около проводник a) и желязна сърцевина b)

Ако токът тече през проводник, разположен в магнитно поле, възниква сила F, която отклонява проводника. Силата възниква поради взаимодействието между външното магнитно поле и полето, което обхваща проводника. Силата може да бъде изчислена по формулата:

$$F = B\ I\ l \sin\alpha ,$$

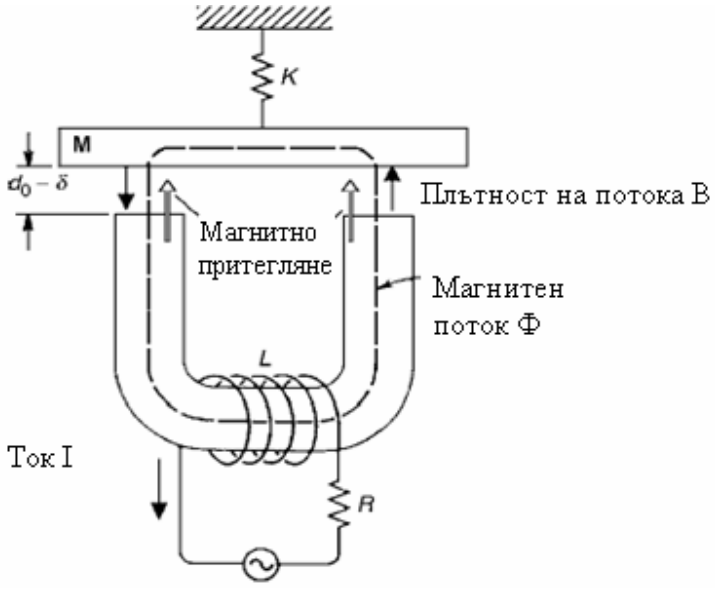
където F е силата, измервана в Нютони (N), B е плътността на потока на магнитното поле в Тесли (T), I е токът в Ампери (A), l е дължината на проводника в метри (m), α е ъгълът между вектора на тока и вектора на магнитното поле.

Ако при един проводник силата F причинява отклоняване на проводника, то при двигателите тя причинява въртенето на ротора. Тези ефекти са реципрочни. Ако проводникът се движи в магнитното поле под действието на външна механична сила, ще се генерира електрическа енергия, която може да бъде предадена на електрическата схема. В този случай механичната енергия се преобразува в електрическа (имаме генератор на електрическа енергия). Ако токът тече през проводник,

разположен в магнитното поле, ще се индуцира сила, т.е. ще се генерира механична енергия. В този случай, ако е възможно да се осъществи движение на проводника, електрическата енергия ще се преобразува в механична (имаме електрически двигател).

Електромагнитни изпълнителни устройства

Електромагнитните изпълнителни устройства преобразуват електрическа енергия в механична, използвайки магнитните свойства на материалите. Като пример може да се даде соленоид, който се захранва с постоянен ток. Соленоидът е показан на Фиг. 2.4. Намотката е навита върху U-образна феромагнитна желязна сърцевина. До краищата на соленоида е разположена пластина от феромагнитен материал, която е свързана с корпуса посредством пружина. Ако през намотката протече ток, в желязната сърцевина се индуцира магнитно поле, което прониква в пластината през въздушната междина. Така се индуцира сила, която се стреми да издърпа (да отдалечи) пластината от краищата на U-образната магнитна сърцевина. Ако се преустанови възбуждането на намотката, пружината изтиква пластината обратно към предишното ѝ положение.



Фиг. 2.4. Соленоид

2.3. Електрически двигатели

2.3.1. Принцип на работа на електрическите двигатели

Електрическите двигатели са електромеханични изпълнителни устройства, които преобразуват електрическата енергия в механична енергия, която задвижва работните машини. Електродвигателите са най-разпространените електромеханични ИУ в днешно време.

Електрическите двигатели се състоят от статор и ротор. В статора се създава въртящо се магнитно поле, което е необходимо, за да задвижи ротора. Роторът се върти върху вал, свързан с корпуса чрез лагери. Работната машина, която трябва да се задвижи, се свързва към вала. Съществуващата между статора и ротора въздушна междина е нужна за предаването на енергия от статора към ротора. Принципът на работа на един електродвигател е показан на Фиг. 2.5, а.

За да се задвижи двигателят, към ротора трябва да бъде приложен въртящ момент. За създаването на въртящ момент са необходими магнитно поле и проводник, по който тече ток. Ако в магнитното поле се разположи електрически затворена рамка, която се захранва от източник на ток, силата F ще действа на рамката (Фиг. 2.5 b). Въртящият момент се получава от произведението на силата F и ъгъла на рамката D по формулата:

$$M = F \cdot D \cdot \sin \alpha .$$

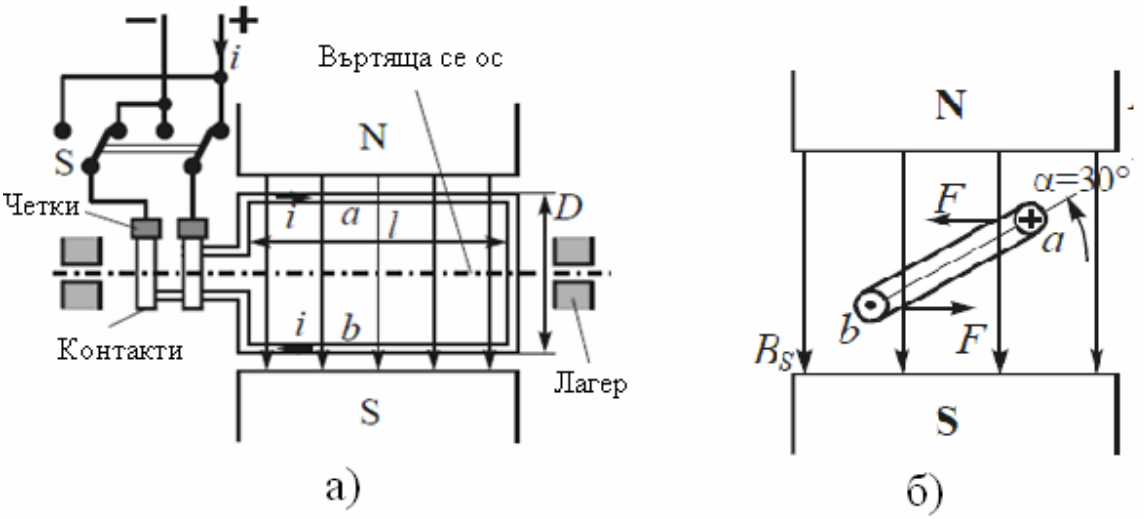
В зависимост от типа на захранващото напрежение електрическите двигатели могат да бъдат:

- постояннотокови електродвигатели
- променливотокови електродвигатели
- електродвигатели с импулсно управление

2.3.2. Постояннотокови електродвигатели

Постояннотоковите електродвигатели също се състоят от статор и ротор. На статора са разположени магнитните полюси, които се използват за създаване на магнитно поле. Магнитното поле може да бъде индуцирано

или от постоянни магнити, или от електромагнит. Електромагнитът се състои от намотка, навита върху желязна сърцевина. При възбуждане на намотката с ток се появява магнитно поле. Роторът се състои от много навивки, които се възбуждат с постоянен ток. Постоянният ток достига до ротора през четките (наречени също комутатори). За да може да се поддържа константно въртене на ротора, токът в ротора трябва да се реверсира (да се сменя посоката) след всеки полупериод.



Фиг. 2.5. Схема на постояннотоков електродвигател

Според типа на възбуждащите намотки постояннотоковите електродвигатели (ПТД) могат да се класифицират на: a) ПТД с отделно (независимо) възбуждане, при които възбуждащата намотка се захранва от отделен източник на ток; b) ПТД със серийно (последователно) възбуждане, при които възбуждащата намотка е свързана последователно към главното захранване (последователно към веригата на ротора); c) ПТД с паралелно възбуждане, при които възбуждащата намотка е свързана паралелно към веригата на ротора. Също така често се използват постоянни магнити за създаване на константно хомогенно магнитно поле [1].

При устойчив работен режим на постояннотоковия двигател е в сила следната зависимост:

$$U = E + I_a R_a ,$$

където U е захранващото напрежение, E е електродвижещата сила, индуцирана в ротора, $I_a R_a$ е пада на напрежението в навивките на ротора.

Съществува пропорционална зависимост между скоростта n, магнитния поток Φ и напрежението U:

$$n \propto \frac{E}{\Phi} \propto \frac{U - I_a R_a}{\Phi} .$$

Между въртящия момент M, тока I и магнитния поток Φ е в сила зависимостта:

$$M \propto I_a \Phi .$$

От горните уравнения може да се направи извода, че скоростта на въртене на един ПТД може да бъде променяна чрез увеличаване на напрежението или намаляване на магнитния поток (чрез намаляване на захранващото напрежение на възбудителната намотка). Въртящият момент може да бъде увеличен чрез увеличаване на тока или на магнитния поток. Тоест управлението на магнитния поток влияе и на скоростта (обратнопропорционално), и на въртящия момент (правопропорционално). ПТД се пускат с допълнително съпротивление, за да се ограничи стартовия ток. С увеличаване на скоростта на въртене стойността на това съпротивление се намалява.

По-рано постояннотоковите двигатели често са се използвали в задвижвания с променлива скорост. Въпреки добрата им ефективност (обикновено КПД-то им е над 90%) ПТД се използват рядко в днешно време. Съвременните технологии от силовата електроника и микроконтролерите позволяват променливотоковите двигатели да се управляват много по-ефективно. Променливотоковите двигатели изискват по-малка поддръжка и са по евтини. В допълнение към това не е позволена употребата на постояннотокови двигатели в помещения с висок риск от

експлозии, тъй като при използване на механичен комутатор (четки) неминуемо възникват искри [2].

2.3.3 Променливотокови електродвигатели

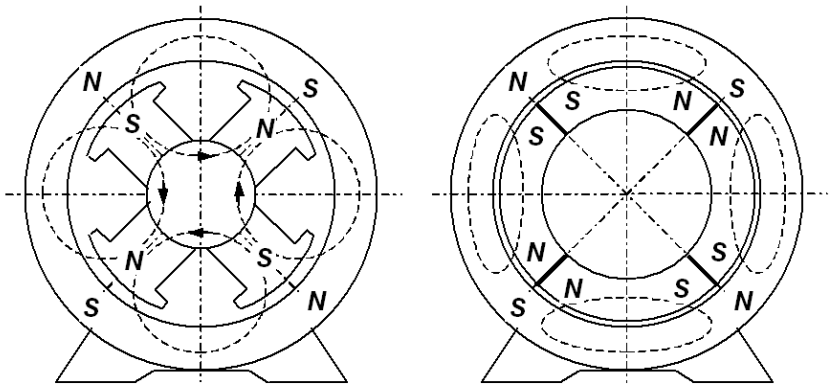
Променливотоковите електродвигатели използват променлив ток за захранването си. От своя страна те се разделят на едно- и трифазни електродвигатели. Еднофазните двигатели се използват често при различни работни инстументи и устройства и домашни електроуреди. Трифазните двигатели се използват по-често в мощни индустриални приложения. За пускането на еднофазен променливотоков електродвигател е необходима допълнителна пускова верига. В тази книга се разглеждат само трифазните променливотокови електродвигатели. Съществуват две основни групи променливотокови двигатели: асинхронни и синхронни двигатели.

Асинхронните двигатели са най-широко разпространените двигатели за индустриални приложения в днешно време заради ниската си цена и опростената си конструкция. Устройството и принципа на работа на асинхронните двигатели са разгледани по-долу.

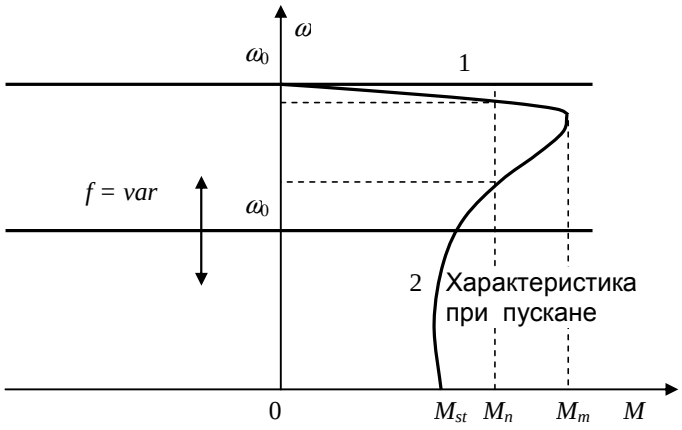
Синхронни двигатели. Принципът на работа на синхронните двигатели е подобен на този на асинхронните. Трифазното захранване създава въртящо се магнитно поле около статора. В ротора се създава друго магнитно поле с електромагнит или с постоянен магнит. Така в двигателя съществуват две различни магнитни полета. Въртящото се магнитно поле на статора „хваща" магнитното поле на ротора и роторът започва да се върти със скоростта на магнитното поле на статора. Токът на възбудителната намотка достига до ротора чрез четки, когато се използва електромагнит [3]. На Фиг. 2.6 са показани различни конструкции на синхронни електродвигатели.

Синхронният електродвигател развива въртящия момент само в синхронен режим (когато е достигната номинална скорост). Пусковият му момент е равен на нула. Това означава, че е много проблематично стартирането на синхронен двигател директно от захранващата мрежа. Обикновено синхронните двигатели се пускат със специална пускова намотка (т.н. асинхронно пускане), която се включва към мрежата.

Управлението на ъгловата скорост на синхронният двигател може да се реализира чрез управление на честотата. Механичните характеристики на синхронния електродвигател са показани на Фиг. 2.7.



Фиг. 2.6. Различни конструкции на синхронни електродвигатели [3]



Фиг.2.7. Характеристики на синхронен електродвигател: 1 – в синхронен режим; 2 – по време на пускане

Съществува и друга разновидност на синхронните двигатели, наречени **подсинхронни реактивни електродвигатели**, които нямат нито възбудителна намотка, нито постоянни магнити. При тях магнитното съпротивление се променя с промяната на позицията на ротора.

Синхронните електродвигатели се използват главно в мощни компресори, помпи, хаспели, както и при управлението на кораби. Тези

двигатели се използват също и в индустриалните CNC (Computer Numerical Control, компютърно цифрово управление) машини и при индустриалните роботи. Синхронните двигатели са по-скъпи и с по-сложна конструкция от асинхронните двигатели.

2.3.4. Електрически двигатели с импулсно управление

Стъпкови двигатели. При стъпковите двигатели въртящото магнитно поле се създава с последователност от импулси вместо от трифазно синусоидално напрежение. Те са подходящи за използване в слаботокови приложения с позиционно управление, където броят на импулсите е пропорционален на въртенето на двигателя. Поради ниската им ефективност стъпковите електродвигатели не са подходящи за използване в приложения с голяма мощност (силнотокови приложения). Стъпковите двигатели са подробно разгледани по-долу в настоящата книга.

2.3.5. Загуби в електрическите двигатели

При работата на всяка машина винаги възникват загуби. Загубите могат да бъдат причинени от [3]:

- Протичането на тока през навивките на двигателя. Тъй като навивките имат активно съпротивление, се излъчва топлинна енергия. Тъй като почти винаги навивките са медни, тези загуби се наричат още медни загуби;

- Загуби в магнитното поле, дължащи се на променливо магнитно поле, хистерезис и токове на Еди. Тези загуби се наричат още железни загуби. Те зависят от размера на магнитната сърцевина, формата на хистерезиса и магнитизиращата честота;

- Триенето между машинните части и въздуха, наричат се още загуби от охлаждане;

- Триенето в лагерите, наричат се още фрикционни загуби (загуби от триене).

Ефективността на двигателя може да се повиши чрез понижаване на загубите. За намаляване на медните загуби трябва да се използват навивки с ниско съпротивление. За намаляване на железните загуби се използват специални феромагнитни материали, а за намаляване на токовете на Еди (вихровите токове) се използва листова стомана. Тъй като въздушната междина също е част от магнитната верига, тя се прави колкото е възможно по-малка. Триенето при лагерите може да се редуцира с използване на висококачествени лубриканти.

2.3.6. Работни режими на електродвигателите

При различните приложения обикновено са необходими различни машини с различни характеристики. За да отговорят на всички изисквания, изпълнителните устройства трябва да бъдат подбрани внимателно. В зависимост от заобикалящата среда и променливите условия товарът, скоростта и дори посоката на въртене могат да се изменят във времето. Затова устройствата трябва да могат да се справят с тези промени и да продължат да работят достатъчно надеждно.

Възможни са следните работни режими на електродвигателите [3]:

- продължителна постоянна скорост на въртене (*вентилатори*, *триони*, *електрически превозни средства*);
- променлива скорост на въртене (*помпи*, *компютърни харддискове*);
- въртене с променлива скорост в две посоки (*подемници*, *роботи*);
- линейно движение с постоянна скорост (*транспортьори*);

- периодично движение (*печатащи устройства*);
- непериодично движение (*позициониращи устройства*).

Въртенето на един електродвигател без товар се нарича работа в режим без товар. В този случай има малък въртящ момент, като машината консумира по-малко енергия. Количеството реактивна енергия остава обаче същото, а фактора на мощноста *cos φ* е нисък.

По време на работата на всеки механизъм винаги се излъчва топлинна енергия. Топлинната енергия повишава температурата на машинните части. Най-чувствителната в температурно отношение част на един електродвигател е изолацията на навивките, която е направена от синтетичен материал. Евентуалното прегряване може да причини разтопяване на изолацията и съответно повреда на целия механизъм. Стандартът EN 60034 определя различни класове изолации и различни работни режими. Работните режими са показани в Табл. 2.1. Електрическите устройства могат да работят в непрекъснат или импулсен режим. Обикновено относителната продължителност на включването при импулсния режим е маркирана в проценти на табелката с характеристиките на двигателя. Относителната продължителност на включването е съотношението между работата под товар и периода на един цикъл *T*, който е сумата от времето на работа под товар и времето на работа без товар. В таблиците с характеристиките се дава мощността за различни времена на работа от 15 %, 25 %, 40 % и 60 % [3]. Относителната продължителност на включването се изчислява по формулата:

$$q = \frac{t_k}{T}$$

Обикновено двигателят се избира според мощността на продължителна (непрекъсната) работа (S1), но много електрически задвижвания работят в други режими. Например повдигащите машини повдигат и спускат товар и за определени периоди от време трябва да са в изчакващ режим за следващия товар. Пробивните машини работят под товар само по време на

самото пробиване, а през паузите двигателят се изключва. Това означава, че товарът на двигателя може да се променя и това трябва да бъде отчетено при проектирането на електрическото задвижване.

Таблица 2.1. Работни режими на електродвигателите по стандарта EN 60034

Тип	**Режим**	**Описание**
S1	*Непрекъсната работа*	Работа при постоянен товар с достатъчна продължителност за достигане на термично равновесие (т.е. двигателят успява да се нагрее до установената температура).
S2	*Кратковременна работа*	Работа при постоянен товар за определено време, по-малко от необходимото за достигане на термично равновесие, последвано от достатъчно дълга пауза, за да може двигателят да се охлади и температурата му да е не повече от 2 °C по-висока от температурата на охладителя (например въздуха).
S3	*Импулсен периодичен (повторно-кратковременен)*	Последователност от идентични работни цикли, като всеки цикъл включва период на работа под постоянен товар и пауза (работа без товар). В този режим циклите са такива, че пусковият ток не оказва значително влияние върху покачването на температурата. По времето на паузата двигателят не успява да се охлади достатъчно, както и не се загрява до работната температура по време на работата под товар.
S4	*Импулсен периодичен с висок пусков въртящ момент*	Последователност от идентични работни цикли, като всеки цикъл включва значителен (голям) период на стартиране, следван от период на работа под постоянен товар и пауза.

S5	*Импулсен периодичен с висок пусков въртящ момент и електрическо спиране*	Последователност от идентични работни цикли, като всеки цикъл включва период на стартиране, следван от период на работа под постоянен товар, период на бързо електрическо спиране и период на работа без товар.
S6	*Периодична непрекъсната работа*	Последователност от идентични работни цикли, като всеки цикъл включва период на работа под постоянен товар и период на работа без товар, като циклите са такива, че двигателят не успява да се охлади при паузите.
S7	*Периодична непрекъсната работа с висок пусков въртящ момент и електрическо спиране*	Последователност от идентични работни цикли, като всеки цикъл включва период на стартиране, период на работа под постоянен товар и период на електрическо спиране като циклите са такива, че двигателят не успява да се охлади до началото на следващия цикъл.
S8	*Периодична непрекъсната работа с промени в товара/ скоростта*	Последователност от идентични работни цикли, като всеки цикъл включва период на работа под постоянен товар, съответстващ на предварително зададена скорост на въртене, следван от един или повече периода на работа под други постоянни товари, съответстващи на различни скорости на въртене без период на пауза.

Внимателния поглед върху режими на работа от S2 до S8 показва, че съществуват две ясно изразени групи режими: първа група – режими S2, S3

и S6 позволяват да се избере по-висока мощност на двигателя в сравнение с допустимата мощност при продължителния (непрекъснатия) режим на работа S1, тъй като при работата под товар двигателят не достига максимално допустимата температура; втора група – режими S4, S5, S7 и S8 изискват избор на по-ниска мощност в сравнение с работата в режим S1, защото по време на работа двигателят се загрява повече, отколкото в режим S1.

2.3.7. Класове на защита

Конструкцията и работните условия на изпълнителните устройства зависят от средата, в която са инсталирани. За оптимално пригаждане към условията на обкръжаващата среда – висока влажност, агресивна среда, наличие на вода, запрашеност – ИУ се класифицират и изпълняват със съответен клас на защита според стандарта EN 60259 с код на защита IP XY (Табл. 2.2).

Таблица 2.2. Класове на защита на задвижванията

IP	X- защита от случаен контакт	Y- защита от проникване на вода
0	Без защита	Без защита
1	Защита от големи обекти с диаметър над 50 mm	Защита от капеща вода (вертикално падащи капки)
2	Защита от проникване на пръсти и обекти с диаметър над 12 mm	Защита от капки, падащи под ъгъл до 15° спрямо вертикалата
3	Защита от инструменти и тела с диаметър над 1 mm	Защита от разпръскана вода, падаща под ъгъл до 60° спрямо вертикалата (дъжд)
4		Защита от разплискана вода от всички посоки (например корабна палуба)
5	Защита от всякакви обекти и големи натрупвания на прах, които могат да повлияят на работата	Защита от силна струя вода от всички посоки
6	Защита от всякакъв контакт и прах	Защита от временно наводняване (корабна палуба)
7		Водоустойчивост до 1 m
8		Защита от вода под налягане, водоустойчивост над 1 m

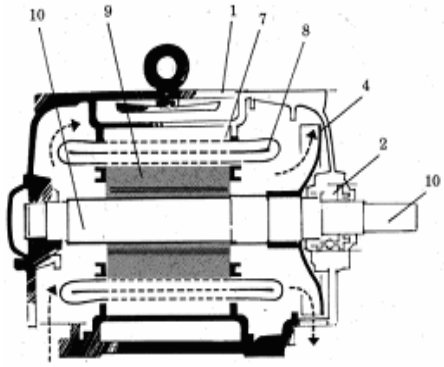
В допълнение към горната таблица, трябва да се предприемат мерки за защитата на електрически задвижваните изпълнителни устройства. Корпусите им трябва да бъдат правилно заземени, изолацията да бъде

подобрена, може да се използва разделящ трансформатор или да се гарантира невъзможност за директен контакт (допир).

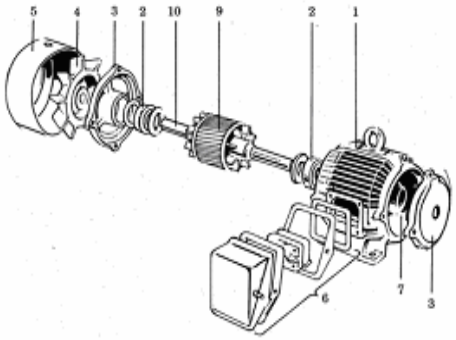
2.4. Асинхронни електродвигатели

2.4.1. Конструкция и принцип на работа на асинхронните електродвигатели

Асинхронните двигатели са най-често използваните типове електрически двигатели в индустрията. Те се състоят от статор и ротор. Статорът е неподвижната част, а роторът – въртящата се част от електрическия двигател. Статорът и роторът са разделени от въздушна междина. Широчината на въздушната междина е в рамките на 0.1...1 mm. На Фиг. 2.8 е показана конструкцията на асинхронен електродвигател.



а) Напречно сечение



б) Изглед на компонентите

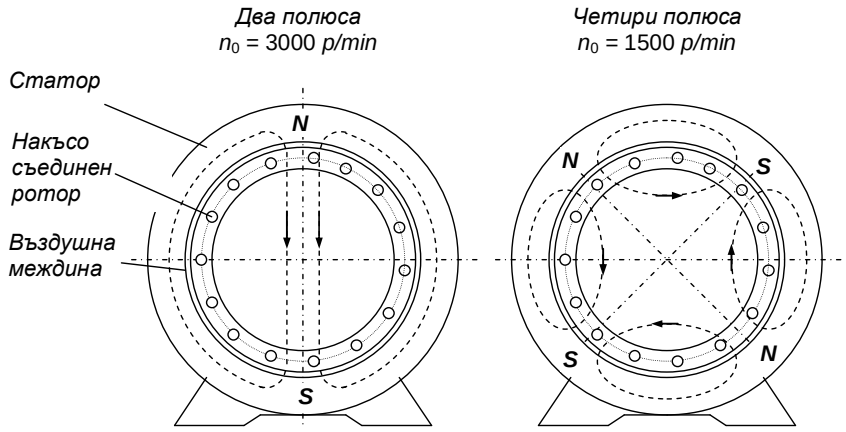
1)корпус на двигателя
2)лагер
3)опора на лагера
4) вентилатор
5)кожух на вентилатора
6)електрически връзки
7)желязна сърцевина на статора
8)намотка на статора
9) ротор
10) вал

Фиг. 2.8. Конструкция на асинхронен електродвигател

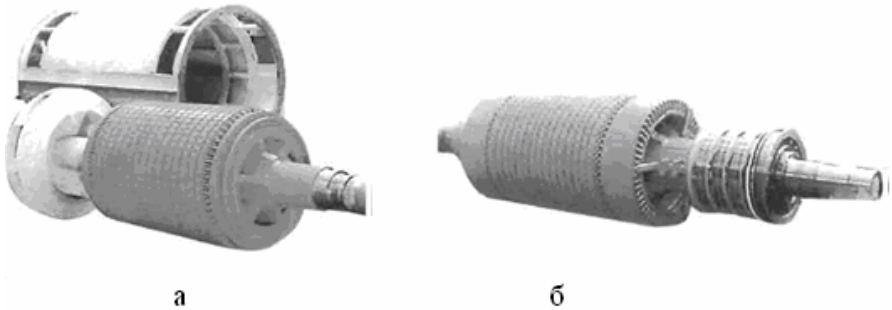
Статорът на асинхронния електродвигател се състои от три медни намотки, които са геометрично разделени една от друга и се захранват от трифазната мрежа. Намотките са съединени в звезда или в триъгълник. Тази конфигурация създава въртящо се магнитно поле около статора, което прониква през въздушната междина в ротора и предизвиква протичането на ток в него. От своя страна този ток създава магнитно поле в ротора. Взимодействието между магнитните полета на статора и на ротора създава сила, която ускорява ротора. Скоростта на въртене на двигателя зависи от

скоростта на въртене на магнитното поле, която от своя страна зависи от броя на двойките полюси и честотата на захранването. На Фиг. 2.9 са показани два асинхронни двигателя с една и с две двойки полюси.

В днешно време се използват два типа ротори в асинхронните двигатели – навит ротор и накъсо съединен ротор. При навития ротор скоростта на ротора се управлява чрез промяна на съпротивлението на ротора, което на свой ред променя тока. За целта се използват специални четки, които предават електрически ток от ротора към съпротивления, разположени в статора. Те обаче се износват много бързо и изискват редовна поддръжка. При накъсо съединения ротор намотките са свързани накъсо и целият енергиен поток от статора към ротора се осъществява през въздушната междина. На Фиг. 2.10 е показана конструкцията на накъсо съединен и навит ротор.



Фиг. 2.9. Асинхронен електродвигател



Фиг. 2.10 Типове ротори в асинхронните двигатели. a – накъсо съединен ротор; b – навит ротор

Скоростта на статорното магнитно поле се нарича синхронна скорост и може да бъде изчислена по формулата:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p},$$

където n_s е синхронната скорост на двигателя (*rev/min*), f е честотата на захранването, а p е броя на полюсните двойки. Колкото по-голям е броят на двойките полюси, толкова по-малка е синхронната скорост, но за сметка на това двигателят достига по-висок въртящ момент. Различните синхронни скорости съответстват на различен брой двойки полюси. В Табл. 2.3 са показани тези стойности за честота на захранващото напрежение 50 Hz.

Таблица 2.3. Синхронни скорости, съответстващи на различен брой полюсни двойки

Брой полюсни двойки	Синхронна скорост, rev/min
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600

Скоростта на магнитното поле може също да се представи като ъглова скорост ω, която показва скоростта на въртене в радиани в секунда. Ъгловата скорост се получава от израза:

$$\omega = 2\pi \cdot f.$$

Действителната скорост на въртене на асинхронния двигател е по-ниска от скоростта на въртящото се магнитно поле на статора. Зависимостта между тези две скорости се представя с хлъзгането *s*, което показва разликата между действителната скорост на двигателя *n* и синхронната скорост n_s

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} .$$

С увеличаване на товара хлъзгането също нараства, а скоростта пада. Нормални стойности на хлъзгането са между 1% и 5% от синхронната скорост. Въртящият момент *M*, който двигателят създава на вала, се изчислява по формулата:

$$M = \frac{P_{mech}}{\omega_s} = \frac{P_{mech}}{2\pi f} ,$$

където ω_s е синхронната ъглова скорост, а P_{mech} е механичната мощност на вала, това е мощността, записана на табелката с характеристиките на двигателя. С развиването на въртящия момент, двигателят започва да се ускорява с ъглово ускорение ε. Ъгловото ускорение се изчислява от израза:

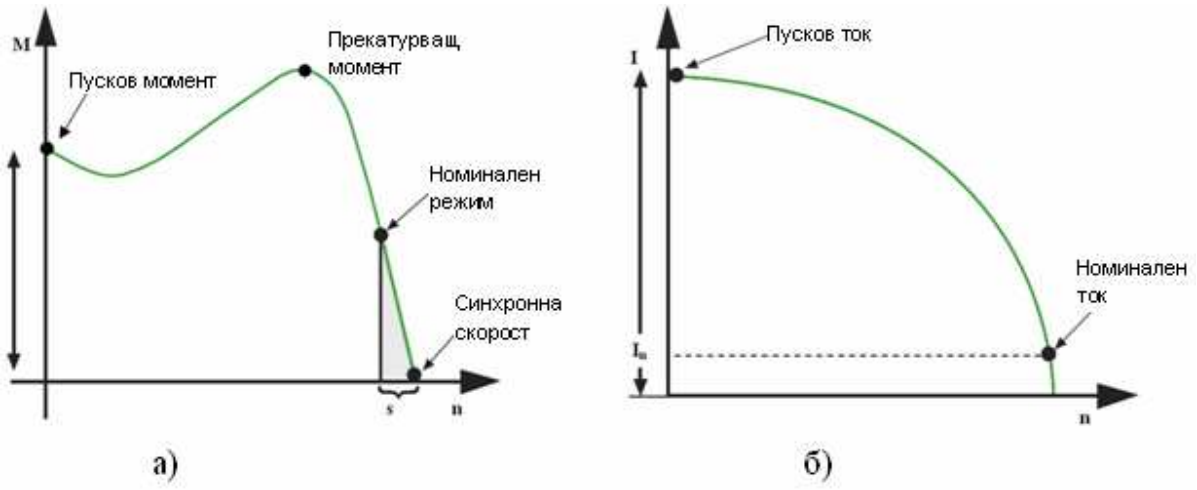
$$\varepsilon = \frac{n}{t} .$$

При работата на всяка машина възникват загуби. Това означава, че част от цялата консумирана електрическа енергия ще се трансформира в топлина, ще бъде загубена в процесите на магнитизиране, в процесите на триене между вала на двигателя и лагерите и т.н. Съотношението между полезната изходна мощност на една машина или устройство за преобразуване на енергия и входната мощност се нарича ефективност или коефициент на полезно действие (КПД) η. Полезната изходна мощност е механична работа. КПД може да се получи от израза

$$\eta = \frac{P_{mech}}{P_{el}} ,$$

където P_{mech} е механичната мощност на вала на двигателя (изходната мощност), а P_{el} е консумираната електрическа енергия от мрежата. Колкото по-висока е ефективността, толкова повече електроенергия се преобразува в полезна изходна мощност.

Зависимостта между въртящия момент и ъгловата скорост на двигателя се представя с неговата механична характеристика (Фиг. 2.11, а). За да се стартира двигателят трябва да се приложи пусков въртящ момент, който е от един до три пъти по-висок от номиналния въртящ момент на двигателя. Най-високият въртящ момент, който може да достигне един двигател, се нарича критичен или прекатурващ момент. Когато се достигне номинален работен режим, двигателят работи при номинален въртящ момент и номинална скорост. Работната област на един двигател може да варира в зависимост от хлъзгането (2…8 %).



Фиг. 2.11. Механични характеристики на асинхронен двигател а) – зависимост M(n); b) – зависимост I(n)

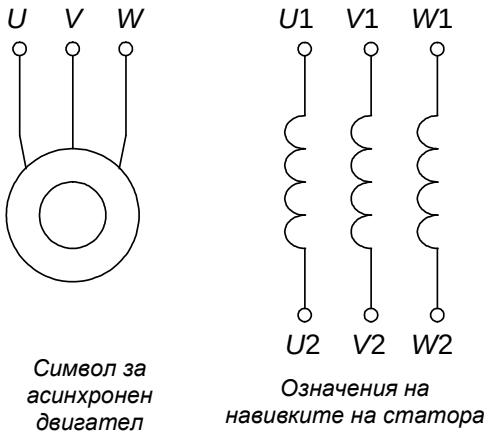
Отношението на прекатурващия момент към номиналния дава коефициента на претоварване на двигателя. Обикновено този коефициент не трябва да е по-висок от 1.6 до 1.8. По-големи претоварвания биха причинили достигането на прекатурващия момент. Работата на двигателя в областта на прекатурващия въртящ момент е много опасна, тъй като скоростта пада бързо и намотките на двигателя започват да се загряват много бързо. Прегряването на двигателя може да причини разрушаването му.

На Фиг. 2.11 b е показана зависимостта между тока и ъгловата скорост по време на пускане на двигателя. Както може да се види, стартовият ток на

асинхронния двигател може да бъде от 4 до 8 пъти по-висок от номиналния ток I_n.

2.4.2. Таблични характеристики на асинхронния двигател

Всеки двигател има табелка, даваща информация за основните му характеристики, която е прикрепена към корпуса му. На базата на тези данни потребителят може да избере подходящия двигател за конкретно приложение. Символът и означенията на навивките на статора на асинхронен двигател с накъсо съединен ротор са показани на Фиг. 2.12.



Таблични данни на асинхронния електродвигател

Производител
Тип на двигателя, сериен номер
Номинална мощност Pn
Номинално напрежение Un
Синхронна скорост (брой полюси) n0
Хлъзгане sn
Ефективност (КПД) □n
Фактор (коефициент) на мощността φ_n

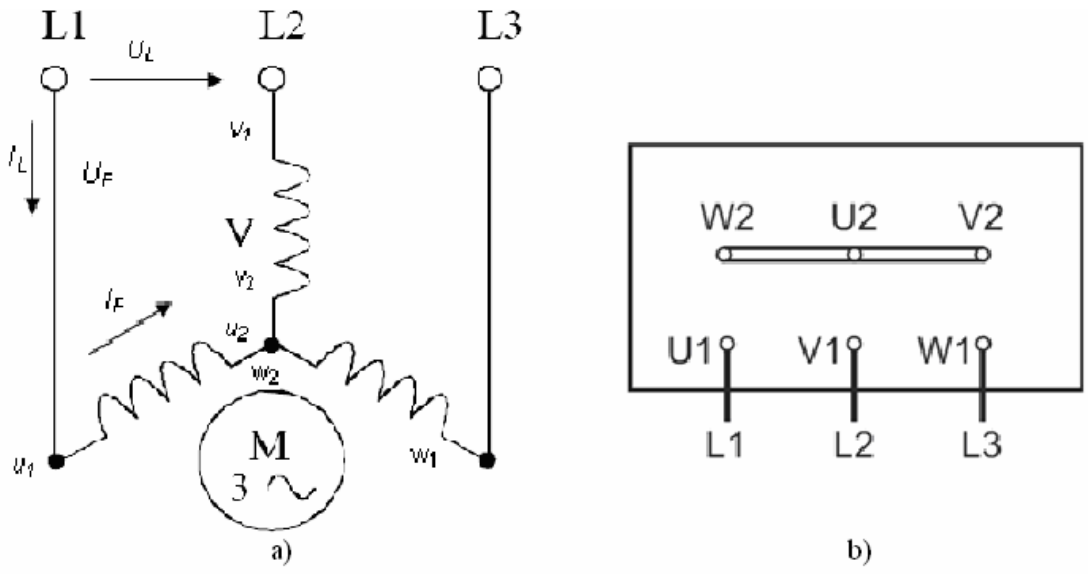
Фиг. 2.12. Символ и означения на навивките на статора на асинхронен двигател с накъсо съединен ротор

2.4.3. Начини на свързване на асинхронния електродвигател

Съществуват два начина за свързване на асинхронните двигатели (също и на синхронните), наречени свързване в схема звезда и свързване в схема триъгълник.

2.4.4. Свързване в схема звезда

Когато намотките на двигателя са свързани по такъв начин, че едните им краища са съединени заедно в една точка (наречена нулева точка), а другите им краища са свързани към отделна фаза всеки, свързването е в схема звезда. Свързването в звезда се означава със символа Y. На Фиг. 2.13 е показано свързване в схема звезда.



Фиг. 2.13. Свързване на асинхронен двигател в схема звезда. (a) схема на свързването; (b) свързване на кабели към изводите на двигателя

При свързването в схема звезда са в сила следните зависимости:

$I_L = I_F$ – фазовият ток е равен на линейния ток.

$U_L = \sqrt{3} \cdot U_F$ – линейното напрежение е $\sqrt{3}$ пъти по-голямо от фазовото напрежение

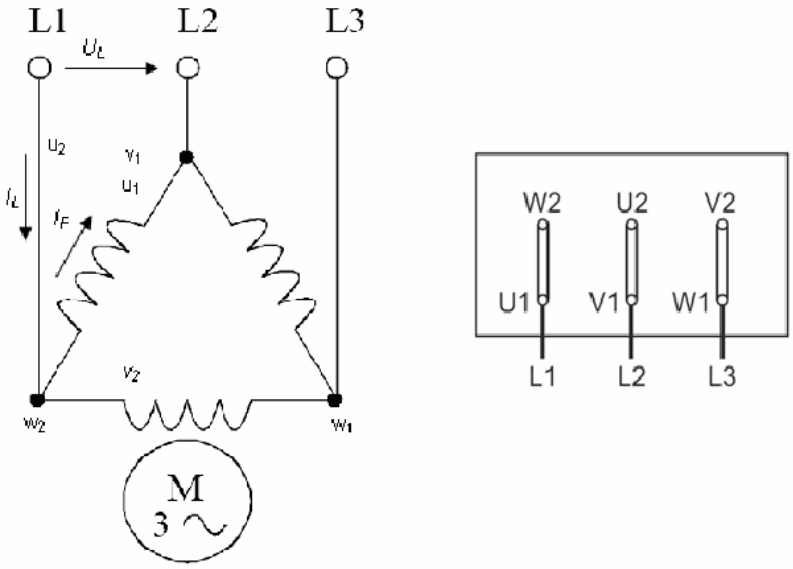
$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I = 3 \cdot U_F \cdot I$ – комплексна мощност

$P = S \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I \cdot \cos\varphi = 3 \cdot U_F \cdot I \cdot \cos\varphi$ – активна мощност

$Q = S \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I \cdot \sin\varphi = 3 \cdot U_F \cdot I \cdot \sin\varphi$ – реактивна мощност

2.4.5. Свързване в схема триъгълник

Когато намотките на двигателя са свързани по такъв начин, че началото на всяка намотка е свързано към края на друга намотка и всяка от тези свързващи точки е свързана към отделна фаза, свързването е в схема триъгълник. Свързването в триъгълник се означава със символа Δ. На Фиг. 2.14 е показано свързване в триъгълник.



a) b)

Фиг. 2.14. Свързване на асинхронен двигател в схема триъгълник.
(a) схема на свързването; (b) свързване на кабели към изводите на двигателя

При свързването в схема триъгълник са в сила следните зависимости:

$I_F = \sqrt{3} \cdot I_L -$ фазовият ток е $\sqrt{3}$ пъти по-голям от линейния ток

$U_L = U_F$ – линейното напрежение е равно на фазовото напрежение

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L = 3 \cdot U \cdot I_F - \text{комплексна мощност}$$

$$P = S \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L \cos\varphi = 3 \cdot U \cdot I_F \cos\varphi - \text{активна мощност}$$

$$Q = S \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_L \sin\varphi = 3 \cdot U \cdot I_F \sin\varphi - \text{реактивна мощност}$$

Двигател, свързан в схема триъгълник, консумира три пъти повече мощност от захранващата мрежа, отколкото двигател, свързан в схема звезда. Двигателите могат да бъдат свързвани в схема триъгълник само когато намотките са подходящи за включване към захранващото напрежение.

При включване на двигателя към електрическата мрежа трябва да се обърне внимание на табличните му характеристики. Ако на табелката на

корпуса е записано номинално напрежение Δ/Y 230/400 V, двигателят може да работи само в схема звезда, като това се отнася за европейската електрическа мрежа. При свързване в схема звезда към всяка намотка ще се приложи напрежение от 230 V, докато при свързване в схема триъгълник към всяка намотка се прилага напрежение от 400 V. Пренапрежението може да повреди двигателя. Тези двигатели могат да се свържат в схема триъгълник само чрез понижаващ трансформатор, който понижава линейното напрежение до 230 V. Ако двигателят е с означение Δ/Y 400/690 V, той може да бъде свързван в схема триъгълник, където ще работи най-ефективно, тъй като в този случай към всяка намотка се прилагат 400 V. Ако този двигател се свърже към същата мрежа като горния, само 230 V ще се прилагат към всяка намотка и двигателят няма да достигне номиналния си работен режим. Този двигател трябва да бъде свързан в схема звезда към индустриална електрическа мрежа с линейно напрежение от 690 V. Това е илюстрирано в дадения по-долу пример.

2.4.6. Пример

Един трифазен индукционен двигател има характеристиките, показани в таблицата. Намотките на двигателя са свързани в схема триъгълник към трифазна електрическа мрежа с линейно напрежение 400 V и честота 50 Hz. (a) трябва да се определят следните стойности (виж таблицата). (b) трябва да се отговори на въпроса колко мощност ще консумира двигателят от същата електрическа мрежа при свързване в схема звезда?

Таблични данни на двигателя	**Стойности за определяне**
мощност P_{mech} = 5,5 kW напрежение U = 400/ 690 V Δ/ Y ток I = 11/ 6,4 A Δ/ Y честота f = 50 Hz скорост на въртене n = 1460 min^{-1} коефициент на мощност $cos\ \varphi$ = 0,84	електрически мощности S, P, Q ефективност (КПД) η брой полюсни двойки p хлъзгане s въртящ момент M консумирана енергия за 1,5 h цена на консумираната електроенергия, ако 1 kWh струва 0,20 EUR

Решение (а). Δ свързване на двигателя:

Консумираната комплексна мощност е:

$$S_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot UI = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 11 = 7621 \text{ VA}.$$

Консумираната активна мощност е:

$$P_{\Delta} = S_{\Delta} \cdot \cos\varphi = 7621 \cdot 0{,}84 = 6402 \text{ W}.$$

Консумираната реактивна мощност е:

$$Q_{\Delta} = S_{\Delta} \cdot \sin\varphi = S \cdot \sin(\arccos\varphi) = 7621 \cdot 0{,}543 = 4135 \text{ VAr}.$$

Ефективността е:

$$\eta = \frac{P_{mech}}{P_{el}} = \frac{5500}{6402} = 0{,}86 .$$

Броят на двойките полюси се определя от:

$$p = \frac{n_{el.\,field}}{n_s} = \frac{3000}{1500} = 2 .$$

Въпреки, че токът е записан на табелката с характеристиките, той може да се изчисли от израза:

$$I = \frac{P_{meh}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}86 \cdot 0{,}84} \approx 11 \text{ A}.$$

Хлъзгането, или диференцирането между магнитните полета на статора и ротора, се определя от:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0{,}027 .$$

Въртящият момент на вала на двигателя е:

$$M = \frac{P_{meh}}{\omega} = \frac{P_{meh}}{2\pi f} = \frac{5500}{2\pi \cdot 50} = 17{,}5\,\text{Nm}.$$

Консумираната активна енергия за 1,5 h е:

$$W_a = P_{el} \cdot t = 6402 \cdot 1{,}5 = 9603\ \text{Wh} = 9{,}603\ \text{kWh}.$$

Цената на консумираната енергия е:

$$W_a \cdot 0{,}2 = 9{,}603 \cdot 0{,}2 = 1{,}92\,\text{EUR}.$$

Решение (b). Y свързване на двигателя:

При свързване в схема звезда към намотките се подава по-малко напрежение:

$$U_F = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230\ \text{V}.$$

За определяне на тока, който тече през една намотка, първо трябва да се изчисли съпротивлението й. Номиналният ток при свързване в схема звезда е 6.4 A при линейно напрежение от 690 V, но **фазовото напрежение е 400 V**.

$$Z = \frac{U_F}{I_F} = \frac{400}{6{,}4} = 62{,}5\ \Omega.$$

При напрежение от 230 V фазовият ток на двигателя е:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{230}{62{,}5} = 3{,}68\ \text{A}.$$

Консумираната комплексна мощност е:

$$S_Y = \sqrt{3} \cdot UI = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 3{,}68 = 2550\ \text{VA}.$$

Както може да се види, когато двигателят е свързан в схема триъгълник, той консумира три пъти повече мощност от мрежата (и съответно развива по-висока мощност) в сравнение със свързването по схема звезда.

$$\frac{S_{\Delta}}{S_{Y}} = \frac{7621}{2550} \approx 3$$

.

2.4.7. Работа в двигателен и генераторен режим

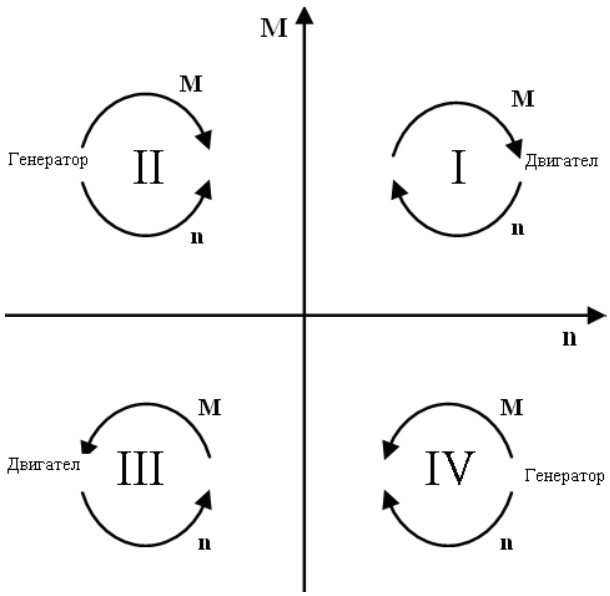
По време на работата на електрическите задвижвания скоростта на въртене, въртящият момент, а в някои случаи и посоката на въртене могат да се променят. Ако една електрическа машина преобразува електрическата енергия в механична, машината работи в двигателен режим. Ако електрическата машина преобразува механичната енергия в електрическа, машината работи в генераторен режим. Тези режими условно се разделят в четири квадранта (Фиг.2.15). При работата в двигателен режим въртящият момент и посоката на въртене са в една и съща посока (първи и трети квадрант). Например, при една повдигаща машина (електротелфер) при вдигането на товар въртящият момент се развива в същата посока като посоката на въртене на двигателя на машината. При генераторния режим въртящият момент се развива в посока, обратна на посоката на въртене (втори и четвърти квадрант). В примера с повдигащата машина това е режимът на работа при спускането на товар. В този случай въртящият момент трябва да бъде приложен в обратна на въртенето посока за да намали скоростта (действа против силата на земно притегляне). Този въртящ момент се нарича спиращ момент. По време на спускането механичната енергия се преобразува в електрическа. Електрическите задвижвания трябва да имат вграден конвертор (преобразувател), който да управлява работата на машината в различните квадранти.

Накратко, следните обстоятелства могат да причинят работата на един електродвигател в генераторен режим:

- Когато друга, външна машина върти ротора (например парна турбина, двигател с вътрешно горене), т.е. когато скоростта на въртене се

увеличава над синхронната скорост, двигателят развива спиращ момент.

- Когато двигателят работи в регенеративен спиращ режим, т.е. електрозадвижването е спряло при константен въртящ момент.



Фиг.2.15. Работа на електрическите задвижвания в четири квадранта

2.4.8. Пускане на асинхронните двигатели

Пускането на асинхронни двигатели с висока мощност е много проблематично. При някои случаи пусковият ток може да бъде до седем пъти по-голям от номиналния ток на двигателя, което причинява големи пикове на тока (токови удари) в електрическите линии. Пусковият ток не зависи от товара на двигателя, а има определена стойност, дадена в таблицата с характеристиките на двигателя като I_{start}/I_n. Поради влиянието на товара и на големия инерционен момент пускането на един асинхронен двигател може да продължи доста дълго време и да причини голям пад на напрежението в цялата електрическа система. Продължителното пускане може да причини прегряване и съответно повреда на навивките (на намотките) на двигателя [4].

Съществуват различни начини за пускане на асинхронен двигател с накъсо съединен ротор:

Непосредственото (директно) включване към захранващата мрежа е най-простият начин за пускане на асинхронни двигатели. В този случай двигателят се свързва директно към мрежата през главния ключ и защитата от претоварване. Този метод е прост, не са необходими сложни управляващи системи, но този начин на пускане е свързан с големи пускови токове, които могат да надхвърлят до 7 пъти номиналния ток. Тъй като двигателят не е възбуден в началото, пикът на пусковия ток може да достигне до стойност, 14 пъти по-голяма от номиналния ток на двигателя. В допълнение към големите токове, двигателят развива също висок стартов (пусков) въртящ момент, който също е няколко пъти по-голям от номиналния въртящ момент на двигателя. Високият пусков момент предизвиква големи сили и механични напрежения в задвижващия механизъм. Въпреки всичко този метод още се използва много често в практиката.

Пускане чрез превключване на двигателя от звезда в триъгълник. Този метод позволява намаляването на пусковия ток до 30% и на пусковия момент до 25% от стойностите им при директното пускане. Управляващата система се състои от превключватели, защита от претоварване и таймер. Таймерът е програмиран да превключи свързването на двигателя от схема звезда в схема триъгълник в определен момент. Двигателят се стартира в схема звезда (при свързване в звезда в двигателя протичат по-малки токове) и по-късно се превключва в схема триъгълник. Това пускане може да се използва само при двигател, който нормално работи по схема триъгълник. Ако двигателят е с голям товар, този метод не е подходящ. Методът за пускане звезда-триъгълник е подходящ за пускане на вентилатори и помпи.

Автотрансформаторно пускане (меко пускане, плавно пускане). Това пускане е удобен начин за стартиране на асинхронните двигатели. Този метод използва трансформатор за променлив ток за намаляване на средноквадратичната стойност на напрежението и оттам – на големината на пусковия ток и на пусковия момент. По-подробно този подход е описан в т. 2.5.

Пускането с честотен преобразувател е най-добрия начин за пускане на асинхронен електродвигател и за управляване на скоростта му. В днешно време електрически задвижвания с честотни преобразуватели се използват в много индустриални приложения. Честотният преобразувател е описан по-подробно в т. 2.5.

В Табл. 2.4 е направен преглед на методите за пускане на асинхронните двигатели и на евентуалните проблеми при пускане и спиране за всеки от тях.

Таблица 2.4. Проблеми при пускане и спиране на двигатели за различните методи на пускане

Проблем	**Директно пускане**	**Звезда-триъгълник**	**Честотен конвертор**	**Меко пускане**
Приплъзване на ремъци/ износване на лагери	Да	Средно	Не	Не
Висок пусков ток	Да	Не	Не	Не
Износване и разрушаване на редуктори	Да	Да	Не	Не
Повреди на продукти при спиране	Да	Да	Не	Не
Хидравличен удар в тръбопроводна система при спиране	Да	Да	Не, най-добро решение	Да, по-малко
Големи сили (пикове) в задвижващия механизъм	Да	Да	Не	Не

Както може да се види от таблицата, най-проблематични са директното пускане и пускането звезда-триъгълник на асинхронния двигател. Най-добри са автотрансформаторното пускане и пускането с честотен конвертор.

2.4.9. Спиране на асинхронните двигатели

Съществуват различни начини за спиране на електрическите машини. Най-често използваният метод е с помощта на механични спирачки, чрез които цялата съхранена енергия се превръща в топлина поради триенето. В днешно време по-често се използва методът на електрическо спиране. По време на електрическото спиране двигателят отдава енергия. В този случай двигателят работи в генераторен режим. Всяка електрическа машина има енергия, която трябва да бъде отдадена някъде, за да се спре двигателят. Съхранената в машината енергия бива два основни типа:

b) Кинетична енергия се съхранява във всички ротационни или линейно движещи се машини. Кинетичната енергия при линейно движение се изчислява по формулата:

$$W_{kin} = \frac{mv^2}{2},$$

където m е масата на тялото, а v е скоростта. При една ротационна машина кинетичната енергия е:

$$W_{kin} = \frac{J\omega^2}{2},$$

където J е инерционния момент, а ω е ъгловата скорост.

b) Потенциална енергия се съхранява при повдигащите машини (подемници, лебедки, телфери). Когато вдигащият механизъм е в горна позиция, потенциалната му енергия може да се изчисли по формулата:

$$W_{pot} = mgh,$$

където m е масата на тялото, g е земното ускорение, а h е височината от повърхността.

При спускане на механизма трябва да бъде приложен спирачен момент към двигателя, за да се запази скоростта на спускане постоянна. Тук загубите в задвижването, механичното съпротивление и ефективността на

трансмисията работят в полза на забавянето, като по този начин се намалява нужната спирачна сила. Когато машината намалява скоростта си (има ускорение с отрицателен знак), кинетичната или/и потенциалната енергия се преобразуват в електрическа енергия. За да може двигателят да започне да намалява скоростта си, тази допълнителна енергия трябва да бъде отдадена. Възможностите за това са няколко [6]:

- отдаване на енергия обратно в мрежата (електроенергията става достъпна за други консуматори);
- динамично спиране с преобразуване на енергията в топлина от спирателен резистор чрез спирателен транзистор (спиране с противовключване);
- обмяна на енергия в приложения с няколко двигателя (електрическата енергия захранва други двигатели, свързани към същия преобразувател);
- динамично спиране при захранване на статорната намотка от източник за постоянен ток.

Спиране с отдаване на енергия в мрежата. Предимството на този тип спиране е, че енергията се отдава обратно в захранващата мрежа и следователно остава налична във вид на електрическа енергия. За тази форма на спиране е необходим допълнителен преобразувател. Поради по-високата цена този тип спиране обикновено се прилага при задвижвания, които са специално проектирани за работа в области на приложение, които имат регенеративни характеристики (виж по-долу).

Въпреки това, поради прекъснатия характер на работа и малкия размер на двигателите, регенерацията (нарича се още рекуперация) не е изгодна, освен ако захранващият източник не е батерия с ограничен капацитет (например в хибридните автомобили).

Динамично спиране. За разлика от спирането с отдаване на енергия в мрежата при динамичното спиране енергията от спирателния резистор не се отдава обратно в мрежата. Ако е генерирана малка енергия, може да бъде по-евтино да се използва спирателен транзистор с външен резистор вместо

допълнителния спирателен преобразувател. При динамичното спиране енергията, извлечена от товара се трансформира в топлинна форма.

Спиране с постоянен ток. Идеята на този тип спиране е да се изключи двигателят от захранващата мрежа и да се свърже статорът към източник на постоянен ток. С помощта на инвертор към двигателя се подава постоянно напрежение, следователно се генерира спирачен момент (от постоянния ток в статора се създава неподвижен магнитен поток, като при взаимодействието между него и тока в ротора възниква спирачен момент). При това липсва рекуперация към мрежата. Тъй като обаче честотата на постоянния ток е нула, не може да се управлява скоростта на двигателя и не може да се определи времето за спиране. При спирането с постоянен ток въртящият момент на ротора може да се поддържа дори на нулево ниво, затова това спиране може да се използва за задържане на ротора и на товара за кратки периоди от време, ако е необходимо. Продължителната употреба на спирането с постоянен ток ще причини прегряване на двигателя, затова трябва да се предвиди подходяща защита [2].

Двигателят може да бъде спрян и на принципа на свободния ход, като просто се изключи захранването и се остави двигателят да се върти, докато силите на триене не предизвикат неговото спиране. Друг начин за спиране е постепенно понижаване на честотата до определена стойност, след което се прилага динамично спиране [2].

2.4.10. Пример

Един трифазен асинхронен двигател се ускорява за 1.5 секунди до номинална скорост n = 2850 rev/min. Да се определят броят полюсни двойки, хлъзгането, ъгловата скорост и ъгловото ускорение. Колко бързо трябва да се върти статорното магнитно поле, за да се върти роторът със скорост n = 1000 rev/min.

Решение:

Синхронната скорост на въртене на двигателя може да е 3000 rev/min. Тоест двигателят има една двойка полюси.

$$p = 1$$

Хлъзгането на двигателя е:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0{,}05 .$$

Ъгловата скорост на двигателя е:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2\pi \cdot 2850}{60} = 298{,}5 \ \text{s}^{-1} .$$

Ъгловото ускорение на двигателя е:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} = \frac{298{,}5}{1{,}5} = 199 \ \text{s}^{-2}.$$

За достигането на скорост от n = 1000 rev/min статорното поле трябва да се върти толкова пъти по-бързо, колкото е стойността на хлъзгането:

$$n_{staator} = n \cdot (1 + s) = 1000 \cdot (1 + 0{,}05) = 1050 \ \text{rev/min}.$$

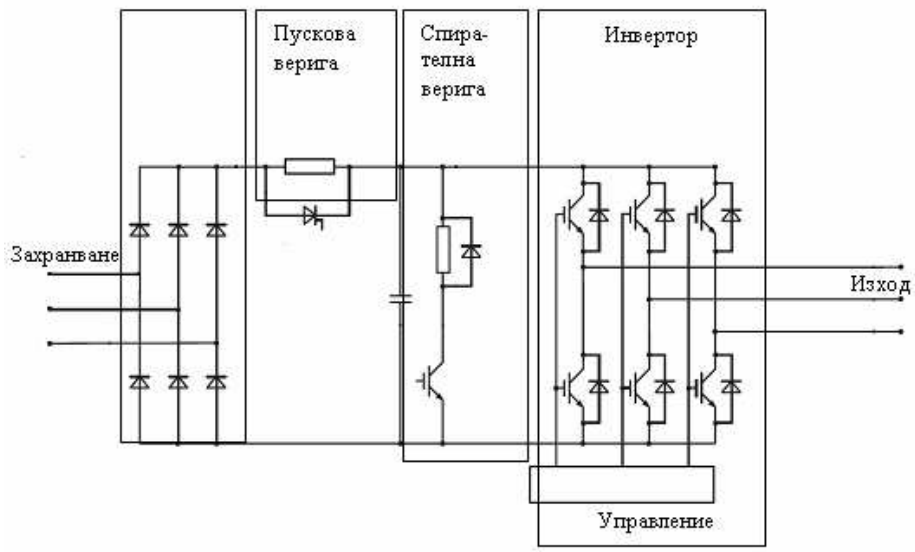
2.5. Електрическо задвижване с честотен преобразувател

2.5.1. Конструкция и принцип на работа на честотния преобразувател

Честотните преобразуватели са една от главните съставни части на съвременните електрически задвижвания, където се използват за регулиране на скоростта. Доскоро честотните преобразуватели са били използвани главно за изглаждане на захранващото напрежение и честотата на електродвигателите. Съвременните честотни преобразуватели включват инвертор за преобразуване на честота, сензори и управляващ блок, които позволяват пълно управление на двигателя и работната машина. Мрежов

интерфейс позволява използването на честотните преобразуватели в сложни системи за автоматично управление.

Днес се използват много различни типове честотни преобразуватели, като най-разпространен е честотният преобразувател с постояннотоково звено (верига) , показан на Фиг. 2.16.



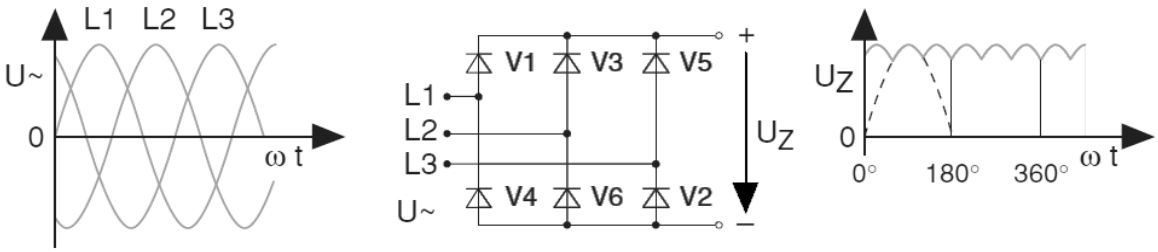
Фиг. 2.16. Схема на честотен преобразувател с постояннотоково звено

Честотният преобразувател се състои от неуправляем токоизправител, постояннотоково звено и инвертор.

Токоизправителят се състои от шест диода (по два диода на фаза), свързани в схема мост. Целта на изправителя е да преобразува променливият ток в постоянен. На изхода на изправителя се получава пулсиращ постоянен ток с напрежение U_z, чиято стойност е $U_Z = 565$ V DC за трифазна мрежа от 400 V. Принципът на работа на трифазния токоизправител B6 е показан на Фиг. 2.17.

Постояннотоковото звено се състои от изглаждащ кондензатор, пускова и спирателна вериги. Кондензаторът се използва за изглаждане на пулсациите на напрежението. При включване на честотния преобразувател възниква голям токов импулс заради зареждането на кондензатора. За ограничаване на пусковия ток в постояннотоковото звено се използва пускова верига с тиристорно управление. Резисторът ограничава пусковия

ток и когато кондензаторът се зареди тиристорът изключва резистора от веригата. Честотният преобразувател с постояннотоково звено обикновено е неуправляем. Спирателната верига се използва в режим на динамично спиране за отдаване на топлинната енергия, получена по време на спирането на двигателя. Спирателната верига се управлява от транзистор. При изключване на честотния преобразувател в кондензатора остава опасно високо напрежение за няколко минути, което винаги трябва да се има предвид при работата с честотни преобразуватели.



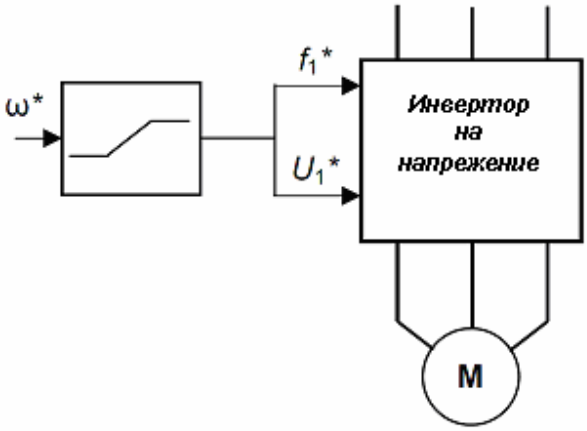
Фиг. 2.17. Принцип на работа на неуправляем трифазен токоизправител

Инверторът се използва за преобразуване на постоянния ток в променлив ток с променливо напрежение и променлива честота (в смисъл, че с него могат да избират различни стойности за честотата и напрежението на изхода). Инверторът се състои от шест транзистора с обратно-паралелно включени диоди (виж Фиг. 2.16). Транзисторите се управляват от микроконтролер по принципа на широчинно-импулсната модулация (ШИМ). Изходът на инвертора се свързва към двигателя [2].

Фиг. 2.18. Честотен преобразувател ACS 150 на фирмата ABB

2.5.2. Честотно управление

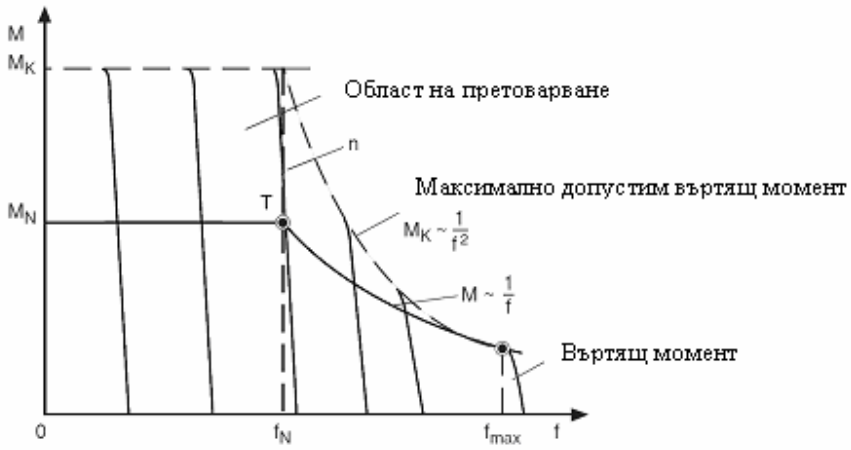
Най-разпространеният начин за управление на скоростта на електродвигателите е с използване на метода на честотното управление, където напрежението е функция на честотата $U = f(f)$. В най-простия случай съотношението между напрежението и честотата се поддържа постоянно $U / f = const$. Необходимостта от повишаване на напрежението U е обусловена от индуктивните загуби, възникващи при увеличаване на честотата f. Загубите могат да се компенсират с по-високо напрежение. Блокова схема на честотното управление е показана на Фиг. 2.19, като означенията „*” показват еталонните стойности на съответните величини.



Фиг. 2.19. Блокова схема на метода на честотното управление

Методът на честотното управление е метод за управление по отворен контур, при който системата за управление не получава обратна връзка от производствения процес. Така че при честотното управление не винаги е ясно с каква скорост се върти двигателят и дали въобще се върти. Затова когато токът надмине 150% от номиналната си стойност, се активира защитата от претоварване [4]. Внезапната промяна в товара на двигателя може да причини повреда на двигателя. Известно е, че при зададено напрежение магнитният поток се изменя обратнопропорционално на честотата. Затова при висока честота намаляването на магнитния поток води до увеличаване на тока в статора, а оттам – до увеличаване на нагряването на двигателя и непълното му използване. Може да се направи извода, че прилагането на правилния въртящ момент по метода на честотното управление е сложно [5]. Този метод е подходящ за приложения, при които се работи с постоянна скорост, когато напрежението и честотата се изменят бавно [3].

2.5.3. Характеристики на въртящия момент в режим на отслабване на полето



Фиг. 2.20. Характеристики на въртящия момент в режим на отслабване на полето

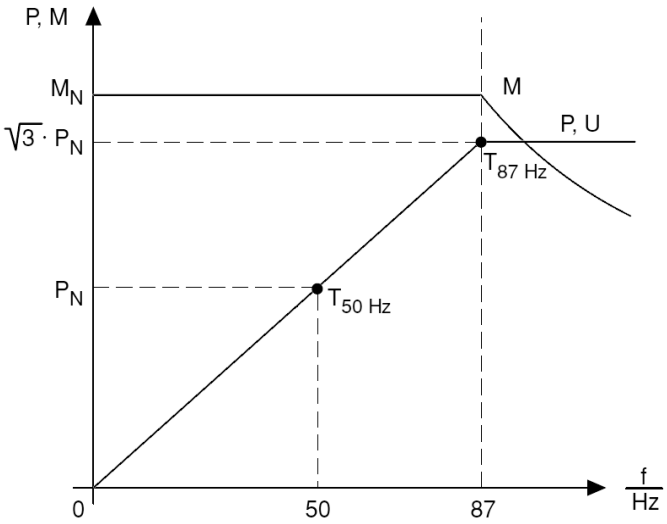
2.5.4. Режим на постоянен въртящ момент при честота 87 Hz

В някои случаи при двигатели с номинална честота 50 Hz честотата може да бъде повишена до 87 Hz. Честотният преобразувател трябва да има вградена функция за достигането на тази честота. В този режим двигателят се захранва с напрежение 230 V с честота 50 Hz, като при повишаване на честотата до 87 Hz напрежението ще се повиши до 400 V. Работата при честота 87 Hz е възможна при двигатели, които могат да бъдат захранвани от 400 V напрежение в схема на свързване триъгълник [4].

Важно е дори при по-високи честоти от тази, съответстваща на 230 V, съотношението между захранващото напрежение и честотата да остава постоянно $U / f = const$.

Двигателите с номинално напрежение 230 / 400 V (Δ/Y) са подходящи за работа в режим при честота 87 Hz. Много двигатели с висока мощност (> 4kW) са проектирани за работа със захранващо напрежение 400/690 V (Δ/Y) и са неподходящи за работа при 87 Hz.

С нарастването на напрежението и честотата областта на постоянен въртящ момент също се увеличава, а оттова следва, че и мощността на двигателя нараства ($\sqrt{3}$ пъти). Когато честотата надхвърли 87 Hz, двигателят ще работи в режим на отслабване на магнитния поток. С нарастването на честотата условията за охлаждане на двигателя се подобряват. Така в режим на непрекъсната работа (S1) допустимата мощност може да бъде до 35% по-висока. Например, двигател с номинална мощност от 3 kW може да работи в схема триъгълник в режим при 87 Hz с мощност от 4 kW [14]. Режимът на работа при 87 Hz е показан на Фиг. 2.21.

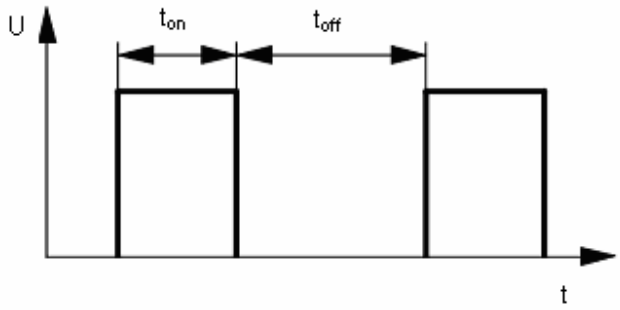


Фиг. 2.21. Режим на работа на електрически двигател при честота от 87 Hz

2.5.5. Широчинно-импулсна модулация

Широчинно-импулсната модулация (ШИМ) е принцип на управление, който се използва за генериране на променливо напрежение и честота. Методът на ШИМ се използва при инверторите на напрежение за управление на транзисторите. Резултатът от ШИМ е поредица от електрически импулси с постоянна амплитуда и променлива продължителност (широчина). Чрез широчината на импулсите може да се управлява средноквадратичната стойност на напрежението, както е показано на Фиг.2.22. Изходната честота на ШИМ може да бъде от 1 KHz за

управлението на двигател до няколко мегахерца за управлението на някои конвертори.



Фиг. 2.22. Широчина на импулса

Относителната продължителност (широчина) на импулсите се получава от израза

$$t = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}.$$

Средноквадратичната стойност на напрежението за този период се получава по формулата

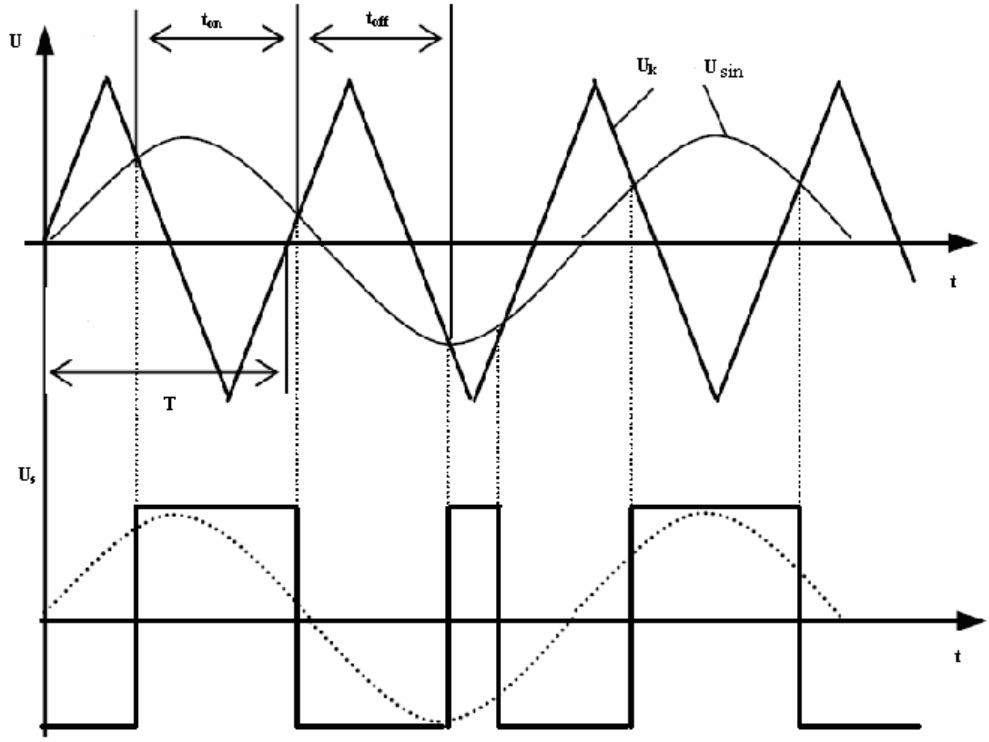
$$U_{eff} = U \cdot \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}.$$

Както може да се види, колкото по-голяма е продължителността на импулса t_{on}, толкова по-голяма ще е стойността на напрежението за конкретния период.

Съществуват различни техники за ШИМ, като най-разпространената е синусоидалната ШИМ, която ще бъде разгледана по-долу.

Целта на синусоидалната ШИМ е формиране на синусоидално изходно напрежение. ШИМ-сигналите се генерират чрез сравняване на синусоидалния напреженов сигнал с напрежение с триъгълна форма, както е показано на Фиг. 2.23. Сигналите се сравняват с електронен елемент – компаратор. Когато действителната стойност на синусоидалното

напрежение е по-голяма от действителната стойност на сигнала с триъгълна форма, транзисторът пропуска ток към двигателя и обратно.



Фиг. 2.23. Генериране на ШИМ-сигнали за една фаза

За генерирането на трифазно променливо напрежение са необходими три генератора на синусоидални сигнали. Колкото по-висока е честотата на напрежението с триъгълна форма, толкова изходният сигнал е по-близък до идеалната синусоида. Изходното напрежение и честотата се управляват чрез промяна на еталонния сигнал. Управлението със ШИМ се използва главно за управление на скоростта на индукционни и синхронни двигатели, но може също да бъде използвано за управление на скоростта на постояннотокови двигатели. Стойността на напрежението се променя с промяната широчината на импулсите.

2.5.6. Директно управление на въртящия момент

Директното управление на въртящия момент на индукционен двигател е метод за управление по отворен контур, който наподобява управлението на постояннотокови двигатели. При ШИМ се управляват честотата и

напрежението, но преди това трябва да се мине през много математически блокове в контролера. Методът за директно управление използва директно управление на въртящия момент и магнитния поток, като не е необходим преобразувател за обратна връзка.

Основното предимство на метода за директно управление е възможността за управление при много ниски скорости (честота под 0.5 Hz) с развиване на номиналния въртящ момент (Внимание! Да се следи за охлаждането на двигателя). Обикновено скоростта на задвижванията с отворен контур на управление варира в рамките на 10% от номиналното хлъзгане, което удовлетворява изискванията на 95% от задвижванията, използвани в индустрията. При директното управление системата реагира на промени за 1-2 ms, докато при задвижванията с ШИМ-управление това време е 100 ms. Директното управление осигурява линейност на въртящия момент, което е много важно при някои прецизни задвижвания, например барабани за хартия в печатната индустрия.

Използването на метода за директно управление на въртящия момент е неподходящо при паралелната работа на няколко двигателя. В този случай управляващият блок няма информация за състоянието на двигателя. При паралелната работа на няколко двигателя методът с управление на честотата е по-подходящ [6].

2.5.7. Товар на двигателя и характеристики на товарите

Двигателят обикновено е натоварен от свързвана с него машина. Товарът на един двигател може да има различен тип поведение и характеристики. Избраният за конкретно приложение двигател трябва да отговаря на характеристиките на товара. Най-важното изискване е пусковият момент на двигателя да бъде по-висок от пусковия момент на товара. В противен случай двигателят няма да може да се стартира. Също така товарът не трябва да претоварва двигателя и да спира ротора.

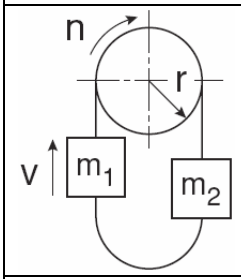
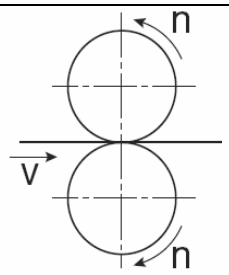
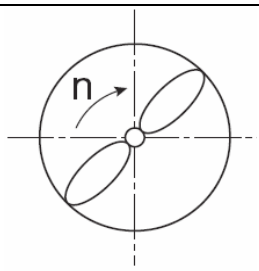
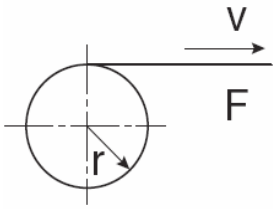
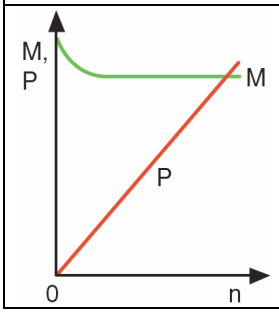
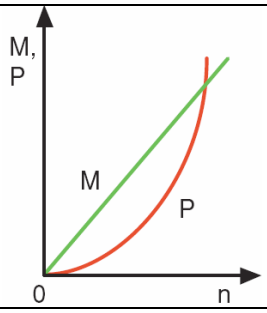
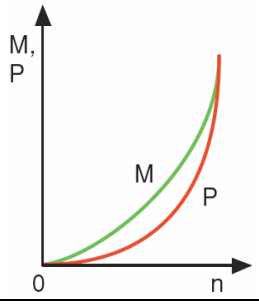
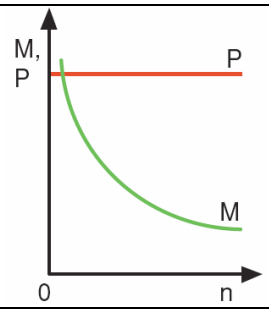
Съществуват четири основни категории товари:

- с константно отношение между скоростта и товара;
- с линейно нарастващо отношение между скоростта и товара;
- с квадратично отношение между скоростта и товара;

- с обратнопропорционално отношение между скоростта и товара.

В Табл. 2.5 са дадени примери за различни товари, отношенията между скоростта, въртящия момент и мощността, както и механичните характеристики.

Таблица 2.5. Различни характеристики на товари

телфер, транспортьор, робот.	*мелачка, трошачка, преса за изглаждане*	*помпа, вентилатор, центрофуга.*	*инструмент за пробиване, навивач, преса.*
$M = const$	$M \sim n$	$M \sim n^2$	$M \sim n^{-1}$
$P \sim n$	$P \sim n^2$	$P \sim n^3$	$P = const$
			
			

При константно отношение между скоростта и товара въртящият момент на товара е независим от скоростта на въртеме (M=const). Като примери за такива механизми могат да се дадат повдигащи машини, транспортьори и роботи, които изискват висок пусков момент. Затова двигателят и честотният преобразувател трябва да могат да работят в условия на кратковременно претоварване. Когато устройства с голям товар работят на ниски обороти условията за охлажване също се влошават. За да се подобри охлаждането трябва да се използват външни охлаждащи устройства за предпазване на задвижванията от прегряване. Днес в дви-

гателите се монтират температурни сензори (термистори), чиято цел е да изключат двигателя при достигане на критична температура.

Някои примери за машини с линейно нарастващо отношение между скоростта и товара са мелници, трошачки и изглаждащи преси (за хартия и плат). Обикновено пусковият въртящ момент при тези устройства е малък. Мощността нараства по квадратична характеристика, така че при двойно по-висока от номиналната скорост ще се консумира четири пъти повече мощност от мрежата.

Като примери за машини с квадратично отношение между скоростта и товара могат да се дадат вентилатори, помпи и центрофуги, т.е. устройства, при които основното съпротивление е причинено от флуиди или от въздуха. При тях обикновено пусковият момент е много малък. Тези устройства най-често работят с високи обороти, така че са гарантирани добри условия за охлаждане. Мощността нараства по кубична характеристика. Ако например намалим скоростта на един вентилатор условно от 100% на 90%, то консумираната мощност ще бъде $0{,}9^3 \cdot P_n$, т.е. почти 70% по-малка.

Примери за машини с обратнопропорционално отношение между скоростта и товара са всички видове пробивни машини, машини за навиване, преси. Тези устройства работят при постоянна скорост, а въртящият им момент е обикновено малък, защото те са натоварени при номинални скоростни условия. Консумираната мощност остава константна.

Разгледаните четири типа характеристики на товарите са за идеалния случай, реално в практиката могат да възникват много отклонения от тях.

2.6. Функции на честотните преобразуватели

2.6.1. Пускане и спиране на електрическо задвижване

Честотните преобразуватели включват управляваща система. Стартирането и спирането на двигателя се извършват постепенно, с линейно нарастване/ намаляване на честотата (в англоезичната литература за това се използва термина „рампа”). Могат да се използват и изразите „пусков фронт” и „спирателен фронт”. Този принцип е показан на Фиг 2.24. Продължителността на двата фронта може да се регулира от

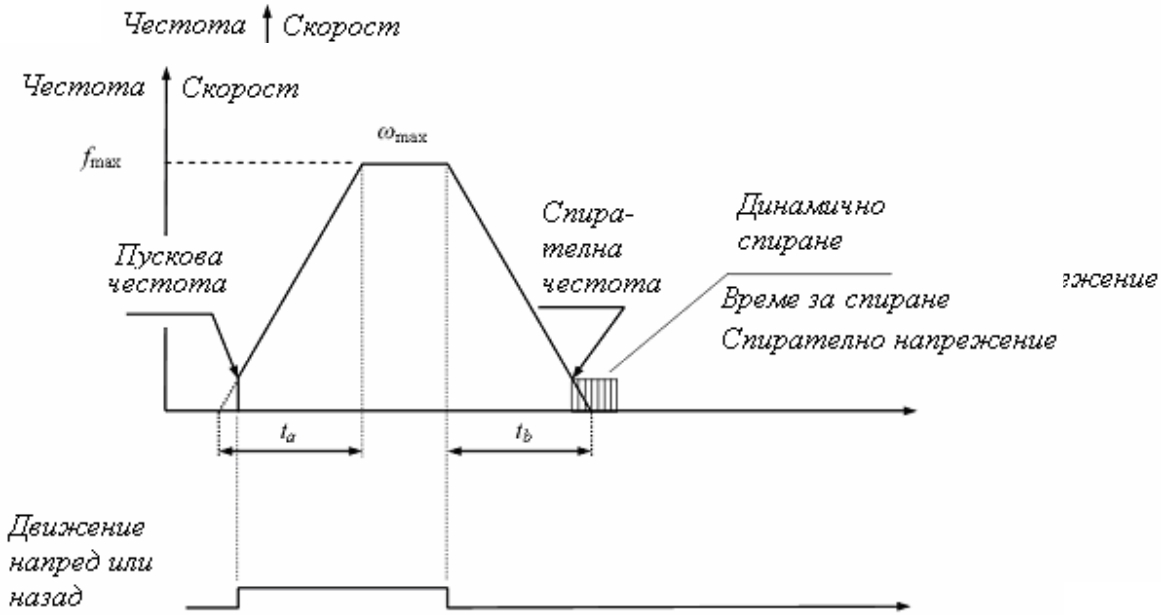
милисекунди до десетки минути. С нарастването на честотата напрежението също нараства. Двигателят се спира или се намаляват оборотите му или по метода на свободния ход, или с постепенно намаляване на честотата до определено ниво. При достигане до това ниво се прилага методът на динамично спиране.

Точната форма на двата фронта трябва да бъде избрана според техническите данни на двигателя. Например, много стръмна пускова характеристика не може да бъде заложена при двигатели с висок инерционен момент, тъй като това ще причини голяма консумация на мощност, която на свой ред ще активира защитата от претоварване, което ще доведе до спиране на двигателя. При спиране на двигателя по метода на свободния ход двигателят първо трябва да спре преди ново прилагане на пусков фронт, тъй като това също ще доведе до активиране на защитата от претоварване.

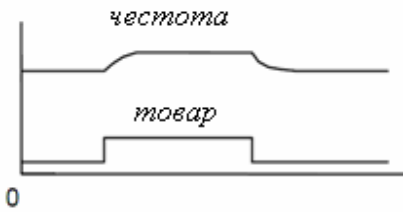
2.6.2. Компенсация на хлъзгането

Функцията за компенсиране на хлъзгането може да подобри динамичното поведение на електрическото задвижване. Тази функция се използва главно за управление на мощни индукционни електродвигатели с честотно управление. Когато функцията за компенсиране на хлъзгането се включи, скоростта на двигателя се поддържа постоянна (с промяна на честотата на захранването), в случай че товарът се променя. Това означава, че тази функция може да бъде използвана само в системи за управление със затворен контур. Обикновено компенсацията на хлъзгането се избира между 0 и 5%.

Прекомерната компенсация може да причини нестабилна работа на двигателя. Принципът на компенсиране на хлъзгането е показан на Фиг. 2.25.



Фиг. 2.24. Програмируеми пускови и спирателни фронтове (показана е и продължителността на динамично спиране)



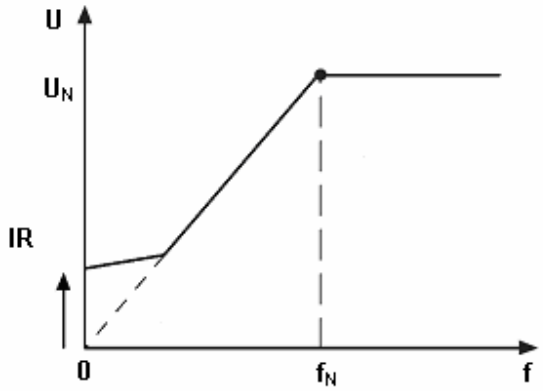
Фиг.2.25. Принцип на компенсиране на хлъзгането

2.6.3. Компенсация на вътрешното съпротивление

Функцията за компенсация на вътрешното съпротивление се използва за преодоляване на спада на напрежението ΔU в статора, особено при ниски скорости. Компенсацията на вътрешното съпротивление осигурява подходящ магнитен поток и оттам – по-добро пускане на двигателя. Нарастването на напрежението не почва от нула, а от определена стойност

ΔU = IR, която обикновено се избира между 0 и 20 % [4]. Принципът на компенсация на вътрешното съпротивленир е показан на Фиг. 2.26.

В Табл. 2.6. са показани препоръчителни стойности на напрежението за компенсиране на вътрешното съпротивление за честотен преобразувател ACS 400 на фирмата ABB, използван за управление на 400-волтови трифазни двигатели.



Фиг. 2.26. Компенсация при спад на напрежението в статора (компенсация на вътрешното съпротивление)

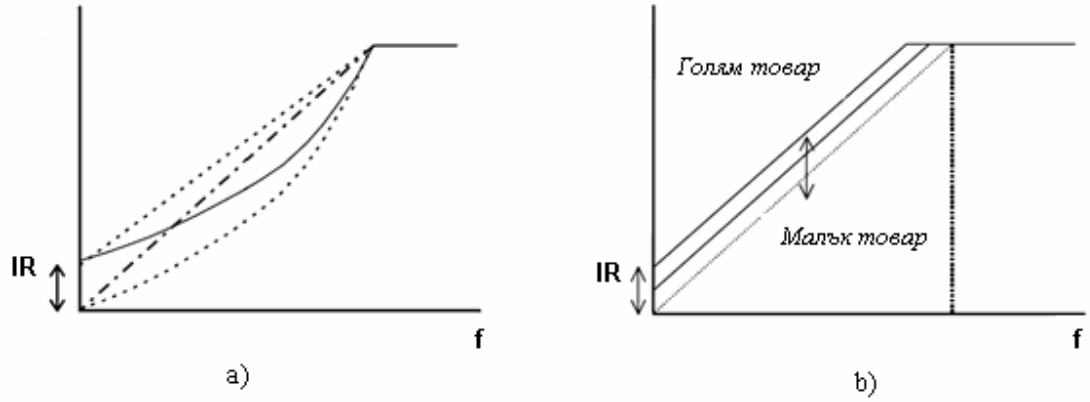
Таблица 2.6. Препоръчителни стойности на напрежението за компенсиране на вътрешното съпротивление за ротационни машини, работещи на 400 V

Мощност [kW]	3	7,5	15	22	37
Компенсиращо напрежение [V]	21	18	15	12	10

2.6.4. Компенсация на въртящия момент

Тази функция за компенсация позволява на честотния преобразувател да избере форма на пусковия фронт, която да съответства на типа на товара. Ако зависимостта между скоростта на двигателя и въртящия момент е линейна, се използва линеен пусков фронт. Ако зависимостта между

скоростта на двигателя и въртящия момент е квадратична, се използва параболичен пусков фронт. Различните форми на пусковия фронт са показани на Фиг. 2. 27.



Фиг. 2.27. Пусков фронт a) компенсация на въртящия момент,
b) автоматична компенсация на въртящия момент

2.7. Електрическо задвижване с устройство за плавно пускане

2.7.1. Какво е устройство за плавно пускане?

Електрическото устройство за плавно (нарича се още „меко”) пускане е трансформатор за променлив ток на основата на тиристор, който се използва за постепенно пускане на индукционни двигатели чрез временно намаляване на товара и въртящия момент на двигателя. Това може да бъде постигнато чрез управляване на средноквадратичната (ефективната) стойност на напрежението. Също така устройството за плавно пускане позволява динамично спиране и кратковременна работа при ниски обороти. Формите на пусковия и спирателния фронтове могат да се избират от потребителя. При тежки условия на пускане (високо вътрешно съпротивление на машината) е възможно да се изпълни и ускорено пускане. На Фиг. 2.28 е показано устройство за плавно пускане на фирмата ABB.

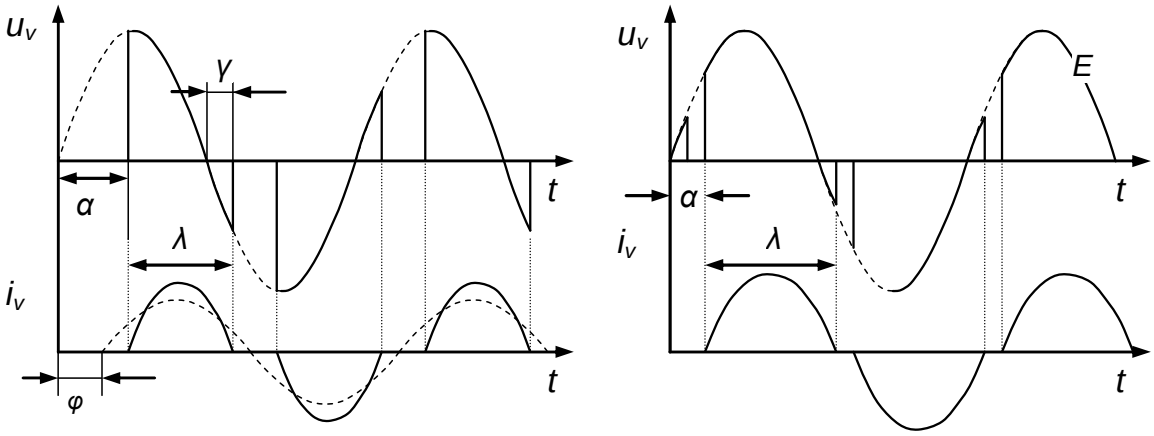
Фиг. 2.28. Устройство за плавно пускане на фирмата ABB

Трансформаторът за променливо напрежение се състои от двупосочни полупроводникови елементи (напр. симистори) или от обратно-паралелно свързани елементи (напр. тиристори). Средноквадратичната стойност на напрежението се настройва чрез управляване на фазовия ъгъл α на полупроводниковите ключове. Колкото по-голям е този ъгъл, толкова по-ниска ще е стойността на изходното напрежение. Устройството за плавно пускане не променя честотата, затова то е неподходящо за управление на скоростта на въртене. На Фиг. 2.29 е показан принципът на регулиране на напрежението. С пунктирана линия са показани синусоидалното напрежение и електрическия ток в мрежата. Когато тиристорът се включи с фазов ъгъл α, само една част полупериода на напрежението ще се подава към двигателя (непрекъснатата линия). Токът също ще има различна от идеалната синусоида форма и ще протича само когато е приложено напрежение (когато тиристорите са включени).

Съществуват еднофазни и трифазни трансформатори на напрежение.

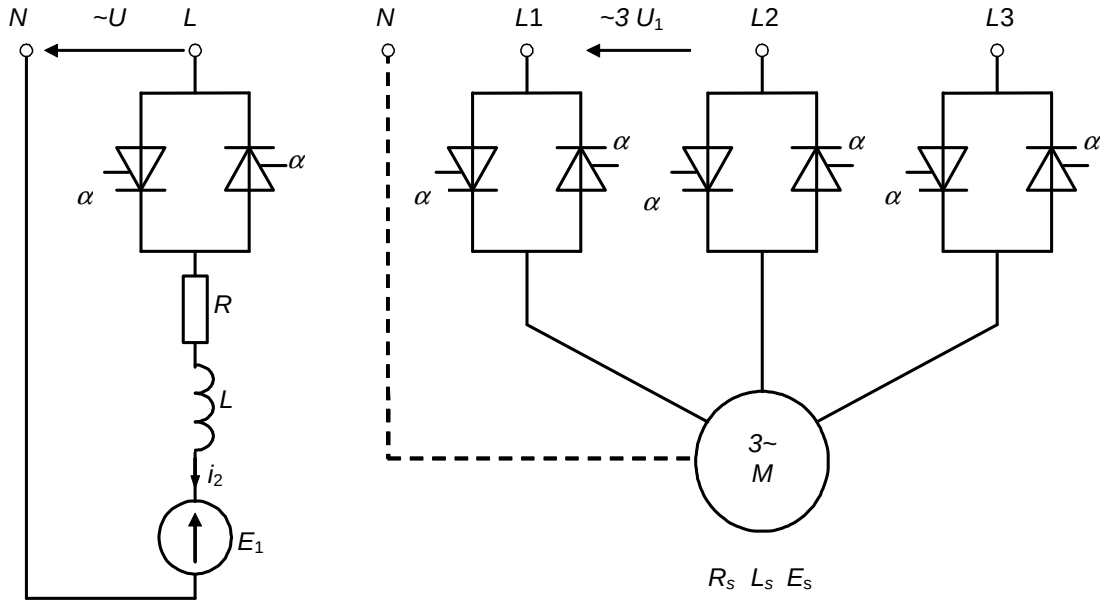
Еднофазният трансформатор (Фиг.2.30,а) се състои от два срещу-посочно (обратно-паралелно) свързани тиристора. Средноквадратичната стойност на напрежението се настройва чрез промяна на фазовите ъгли на тиристорите. Когато се използват напълно управляеми електрически

ключове като транзистори, може да се използва принципа на широчинно-импулсната модулация за настройване на големината на напрежението. Еднофазните трансформатори се използват в много домакински електроуреди и инструменти, например за управление на скоростта на перални машини, прахосмукачки, пробивни машини и други устройства с универсални електродвигатели. Същият принцип се използва и при регулиране на осветление [7].



Фиг. 2.29. Времедиаграми на тока и напрежението на трансформатора за различни фазови ъгли

Трифазният трансформатор (Фиг.2.30,b) се състои от три еднофазни трансформатора. Ако товарът е свързан с нулев проводник N, принципът на работа е идентичен на този на еднофазния трансформатор. Ако няма нулева връзка (обикновено двигателите нямат), тиристорите трябва да бъдат включвани по двойки, което прави управлението на устройството по-усложнено. Някои устройства с плавно пускане използват управление само на две фази, а третата фаза се включва директно към мрежата. **Внимание, опасност! Когато устройство за плавно пускане се свързва към мрежата, фазата на изхода на устройството, съответстваща на директно свързаната към мрежата фаза също ще е под напрежение.**



Фиг. 2.30. Трансформатор на променливо напрежение: *a*) еднофазен, *b*) трифазен

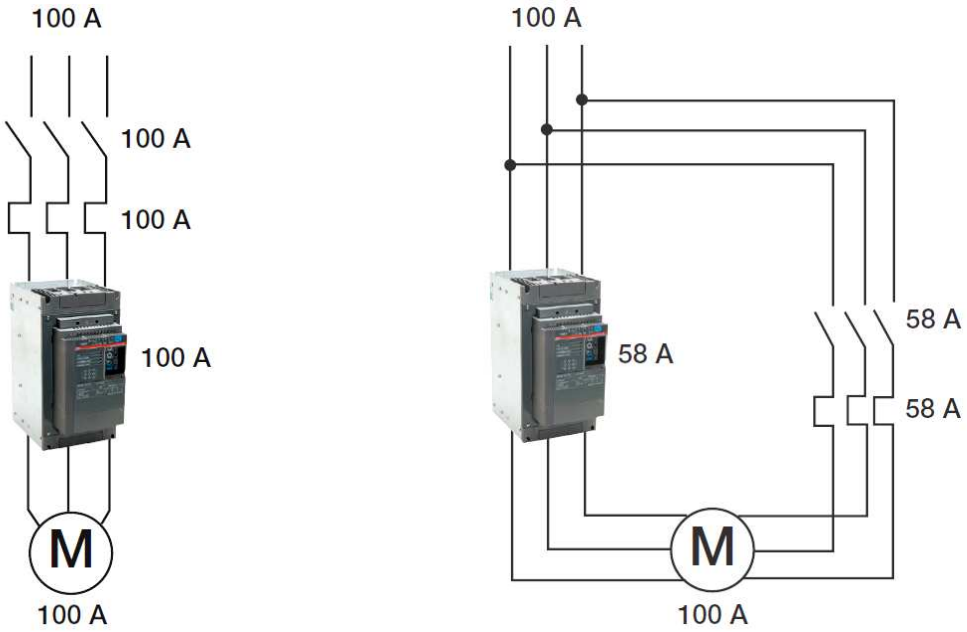
2.7.2. Свързване на устройство за плавно пускане към товар

Има два начина за свързване на устройството за плавно пускане: свързване в линия, което е най-разпространения метод, и свързване в триъгълник, което не се поддържа от всички устройства за плавно пускане.

Свързване в линия. Най-често срещаният начин за свързване на устройство за плавно пускане е свързване в линия (Фиг.2.31 a, b). Всяка от трите фази е последователно свързана към защитата от претоварване, контактора и други устройства. В този случай характеристиките на устройството за пускане трябва да съответстват на характеристиките на двигателя. Например двигател, който работи с ток от 100 A трябва да се свърже през устройство за меко пускане също за 100 A, както и да се използва 100 амперов ключ.

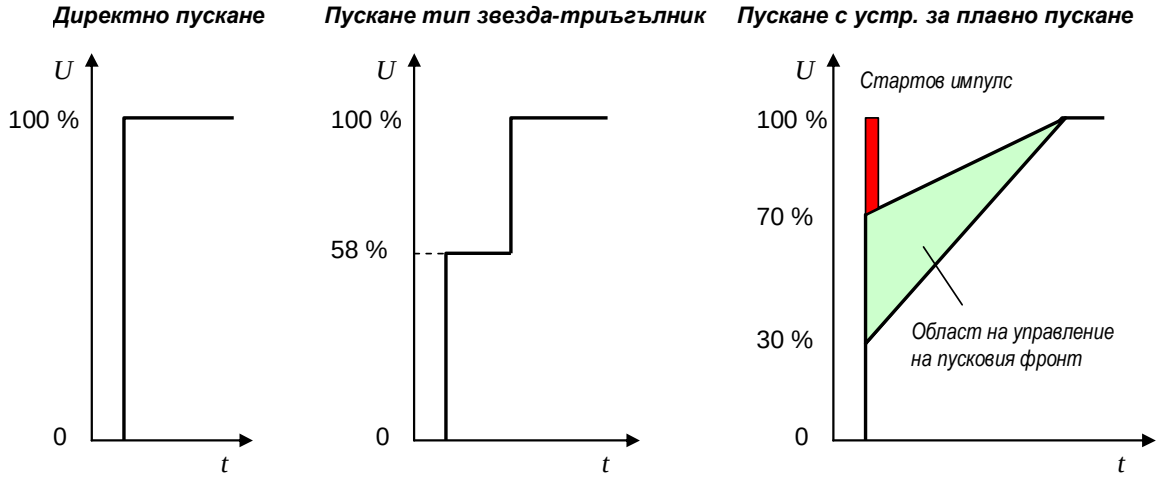
Свързване в триъгълник. Свързването в триъгълник позволява самият двигател да бъде свързан в триъгълник, така че може да се използва метода за пускане звезда-триъгълник. При свързването в триъгълник само 58 % (1/√3) от мощността на устройството за плавно пускане се използва. Това означава, че може да се използва по-малко и съответно по-евтино

устройство за плавно пускане за конкретното приложение. Например двигател, работещ с ток от 100 A може да се свърже през устройство за плавно пускане от 58 A и да се използва ключ от 58 A. За този тип свързване е необходим шест-проводен кабел.



a) b)

Фиг.2.31. Свързване устройството за плавно пускане в линия и в триъгълник

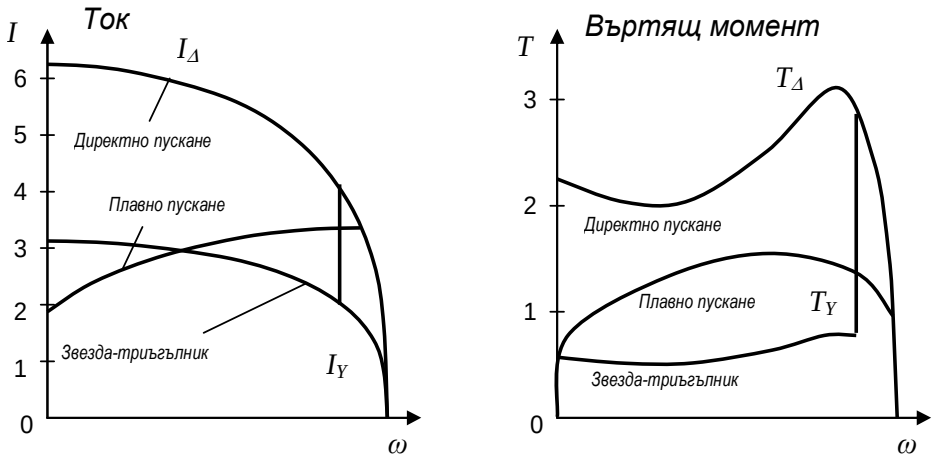


Фиг. 2.32. Напреженови характеристики при различните методи за пускане на двигатели

2.7.3. Пускане на индукционен двигател с устройство за плавно пускане

Пускането на един индукционен двигател е много важен процес, при който се прилага пусковия фронт, двигателят започва да се ускорява, съответно се увеличва въртящият му момент и консумацията на ток от мрежата. Всеки процес на пускане може да се опише с характеристиките напрежение-ток и честота-въртящ момент. Устройството за плавно пускане позволява потребителят да избира вида на пусковия фронт. Ако двигателят трябва да се пусне при тежки условия е възможно да се приложи кратък напреженов импулс с голяма амплитуда (пълната работна амплитуда). Пускането на индукционен електродвигател с накъсо съединен ротор изисква 3-4 пъти по-голям ток от номиналния, а при тежки условия на работа – до 4-5 пъти по-голям ток. Съществуват много различия между директното пускане на електродвигатели, пускането от тип звезда-триъгълник и пускането с устройство за плавно пускане. На Фиг. 2.32 са показани различните методи за пускане на двигатели. Продължителността на пусковия фронт трябва да се избере според товара, като твърде бързото пускане на двигател с голям товар може да причини задействане на защитата от претоварване.

На Фиг. 2.33 са показани зависимостите на тока и въртящия момент от скоростта на въртене за периода на пускане на двигателя. Вижда се, че при плавното пускане характеристиките са много по-гладки.



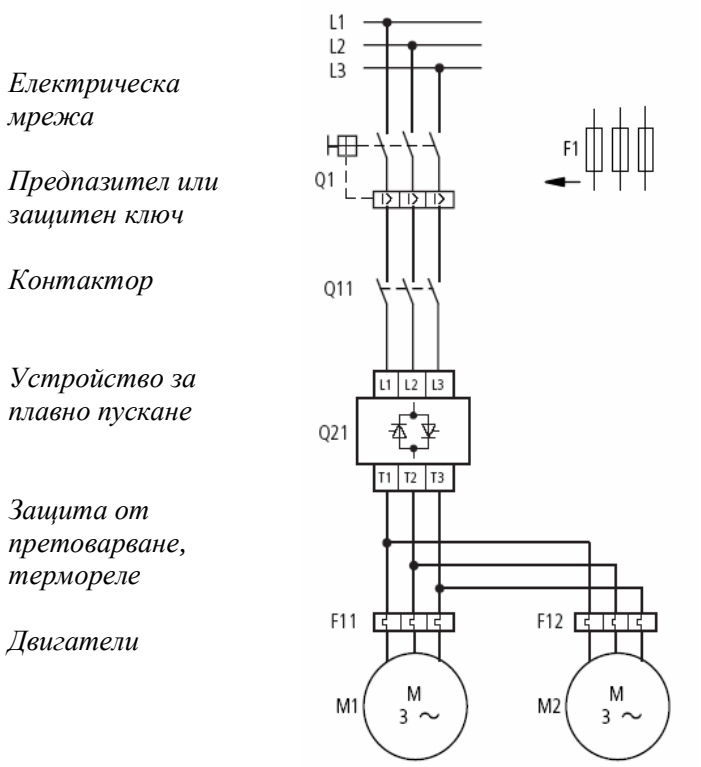
Фиг. 2.16. Зависимости на тока и въртящия момент от скоростта на въртене

Едно устройство за плавно пускане може да се използва за пускане на няколко двигателя. На Фиг.2.34 е показано свързване на индукционни двигатели към устройство за плавно пускане. И двата двигателя се захранват от мрежата през защита от протичане на големи токове, контактор и устройство за плавно пускане. Всеки двигател има отделна защита от претоварване с термореле. Двигателите могат да бъдат спрени по метода на свободния ход, чрез спирателен фронт, с постоянен ток или с динамично спиране.

2.7.4. Защитни функции на устройството за плавно пускане

Съвременните устройства за плавно пускане имат и защитни функции за двигателите и работните машини, които управляват. Най-често защитите, които предоставят тези устройства, са: ограничен максимален ток, защита от прекъсване на входна или изходна фаза, от късо съединение при тиристорите, от прегряване, от грешна честота на захранващото напрежение, от повреда на процесор.

Някои устройства за плавно пускане имат и допълнителни защитни функции, като защита от внезапно спиране на ротора, от внезапно изчезване на товара, от твърде продължително пускане или от режим с ниска скорост. Тези характеристики са много важни. Например, плавното управление на една помпа ще предотврати възникването на големи хидравлични удари в тръбите (внезапна рязка промяна на дебита на течността).



Фиг. 2.34. Схема на свързване на два индукционни двигателя с общо устройство за плавно пускане

2.7.5. Избор на устройство за плавно пускане

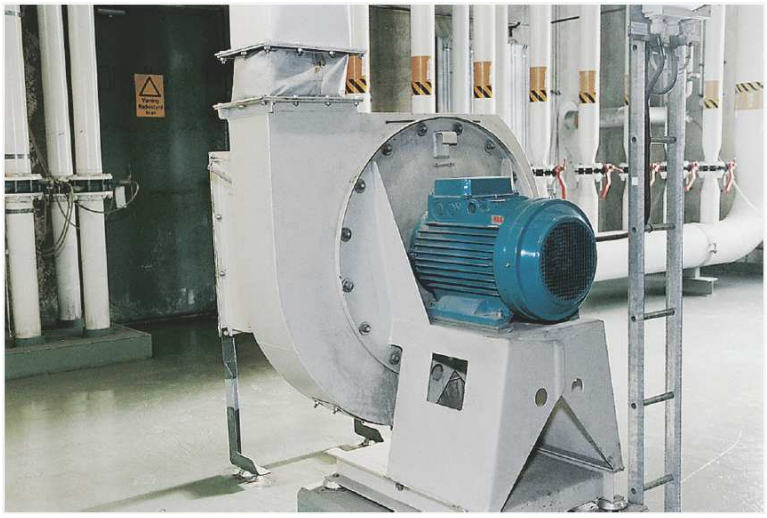
Обикновено устройството за плавно пускане се избира според мощността на двигателя. В някои случаи, например при пускане с голям товар или при често пускане, трябва да се избере по-мощно устройство за плавно пускане. Някои критерии за избор на устройството за плавно пускане са показани в Табл. 2.7.

Таблица 2.7. Критерии за избор на устройство за плавно пускане

	Нормално пускане	***Пускане с голям товар***
Типични приложения	Компресор, подрулващо устройство на кораб, центробежна помпа, елеватор	Транспортьор (дълъг), трошачка, мелница, смесител
Критерии за избор	Устройството за плавно пускане се избира според мощността на електродвигателя	Ако устройството за пускане е проектирано за нормално пускане, се избира с една степен по-мощно устройство, ако е проектирано за пускане при големи товари, се избира според мощността на двигателя.

2.7.6.Приложение на устройство за плавно пускане: центробежен вентилатор

На Фиг. 2.35 е показан центробежен вентилатор, задвижван от трифазен индукционен електродвигател с накъсо съединен ротор.



Фиг. 2.35. Центробежен вентилатор, задвижван от индукционен електродвигател

Някои приложения работят с намален пусков момент при работа без товар. Пускането на един центробежен вентилатор може да бъде просто, защото обикновено пускането се извършва в затворена среда, но тъй като инерционният момент на вентилатора е голям, времето за пускане може да бъде доста голямо.

Центробежните вентилатори често се задвижват от един или повече задвижващи ремъци. При директно пускане тези ремъци имат склонност да приплъзват заради големия инерционен момент на вентилаторите (сравним с този на маховиците). Приплъзването на ремъците зависи от това дали по време на пусковата процедура пусковият момент от двигателя не е прекалено висок и ако е такъв, ремъците не са способни да предадат тези сили. Този типичен проблем причинява високи разходи за поддръжка, но също и производствени загуби, когато е необходимо производството да се спре, за да се сменят ремъци и лагери.

Пусковото устройство от тип звезда-триъгълник осигурява по-малък пусков момент, но тъй като товарният момент нараства, пропорционално на квадрата на скоростта, въртящият момент на двигателя в конфигурация звезда няма да бъде достатъчно голям за ускоряване на вентилатора до разчетната скорост. При превключване към схема триъгълник се получава голям пик на тока и съответно удар в трансмисията, като често стойностите им равни или дори по-големи от тези при директно пускане, съответно отново се получава приплъзване на ремъка. Възможно е намаляване на приплъзването чрез силно обтягане на ремъците.

Един от начините за намаляване на пусковия момент на двигателя е използването на устройство за плавно пускане. Ако то се избере правилно, напрежението се намалява до ниска стойност в началото на пускането, която е достатъчно ниска за да не се получи приплъзване, но и достатъчно висока, за да се развърти вентилатора. Устройството за плавно пускане осигурява възможност за настройване към всяко конкретно условие на пускане: от пускане без товар до пускане с пълен товар.

При избор на устройство за плавно пускане трябва да се отчетат мощността на двигателя и типа пускане. При нормални условия на пускане

устройството за плавно пускане се избира според мощността на двигателя. При пускане с голям товар трябва да се избере подходящо устройство за пускане за такива условия. Възможно е също да се избере устройство за плавно пускане за нормални условия на пускане, да се избере с една степен по-мощно устройство от мощността на двигателя и да се използва реле за претоварване. Препоръчителните начални настройки са: пусков фронт: 10s; спирателен фронт: 0s; начално напрежение: 30 %; препоръчително е и използването на ограничител на тока.

2.8. Стъпкови двигатели

2.8.1. Конструкция и принцип на работа

Стъпковият двигател е електрическа машина, която преобразува постояннотокови енергийни импулси в механична енергия на вала на двигателя. В зависимост от конструкцията си (двуполюсни или еднополюсни), стъпковите двигатели имат 4, 6 или 8 терминала за свързване. Тяхната конструкция наподобява тази на синхронните електродвигатели, като роторите им се въртят в съответствие с управляващите импулси, подавани на намотките на статора, а ъгълът на завъртане се определя от броя на импулсите.

Тъй като стъпковите двигатели се управляват по цифров път, те са идеални за дискретни системи за управление като например микропроцесори. На всеки импулс съответства определен стъпков ъгъл α, т.е. за n импулса ъгълът на завъртане ще бъде: $\gamma = n \cdot \alpha$. В съответствие с това стъпковият двигател може да се използва за позиционно управление по отворен контур, т.е. в системи без обратна връзка. Предимство на стъпковите двигатели е, че не са необходими сензори за обратна връзка по време на позиционирането. За увеличаване на точността на позициониране двигателите могат да се конструират с по-голям брой полюси. Тъй като двигателят се задвижва с последователност от импулси, движението при ниски скорости може да не е гладко.

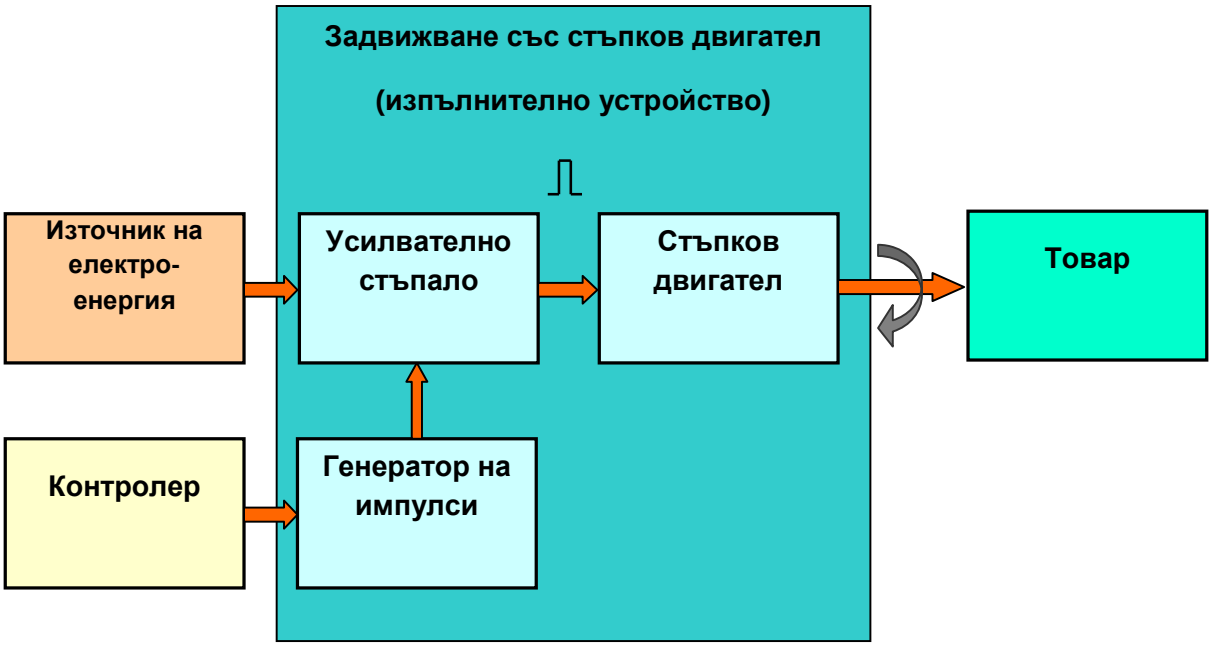
Стъпковите двигатели са с мощност до ~1 kW; те се произвеждат също като линейни двигатели.

Стъпковият ъгъл α се определя по формулата:

$$\alpha = \frac{360°}{N_{ph} \cdot m \cdot Z},$$

където N_{ph} е броят полюси на фаза, m е броят на фазите, а Z е броят на зъбите (стъпковите двигатели имат голям брой електромагнити, разположени около централно желязно зъбно колело).

Едно стъпково задвижване включва стъпков двигател, генератор на импулси и усилвателно стъпало. Управляващите импулси се генерират на базата на еталонни работни стойности (скорост, позиция, ускорение) и се използват за управляване на усилвателното стъпало, което е изпълнено с транзисторни ключове. Ключовете от своя страна активират намотките на стъпковия двигател, така че да се следва зададена траектория на изпълнителното устройство колкото е възможно по-прецизно.



Фиг. 2.36. Структура на задвижване със стъпков двигател

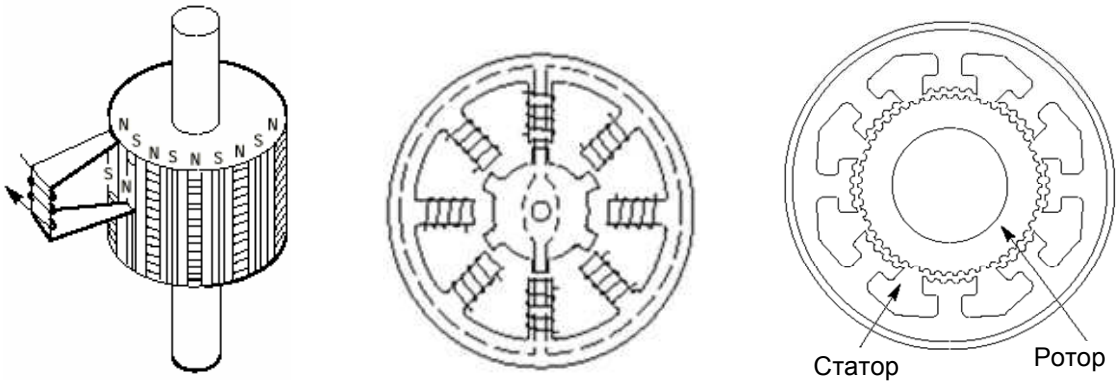
2.8.2. Типове стъпкови двигатели

Според конструкцията си стъпковите двигатели се разделят на двигатели с реактивен ротор (от феромагнитен материал) и двигатели с активен ротор (с постоянен магнит). Възможна е и комбинация от двете решения. При първия тип стъпкови двигатели роторът се състои от монолитна зъбчата сърцевина от електротехническа стомана. След изключване на напрежението на статора остатъчният магнетизъм изчезва. Следователно, след прилагане на напрежение към двигателя, магнитният поток ще може да се движи през сърцевината без никакви пречки. Роторът започва да се движи (да се завърта) в посоката на минимално магнитно съпротивление, т.е. към най-малката въздушна междина между следващия зъб и намотката.

Статорът на стъпковите двигатели с постоянен магнит (Фиг.2.37 a) се състои от електротехническа стомана, а роторът е от постоянни магнити с алтернативно променящи се полюси (виж фигурата). Роторът се завърта от магнитното поле, създадено в статора.

Тъй като стъпковите двигатели с реактивен ротор (Фиг.2.37 b) нямат постоянни магнити, те нямат и задържащ момент, когато не им е подаден ток. Броят на техните полюси и съответно точността на позициониране при тях са ограничени. При хибридните стъпкови двигатели (Фиг.2.37 c) могат да бъдат открити характеристиките и на двете конструкции стъпкови двигатели, като роторите им имат както постоянни магнити, така и зъбчата сърцевина.

Терминът двигатели с висок въртящ момент се използва за описание на стъпкови двигатели, при които за направата на роторите са използвани изключително силни редки земни магнитни материали. Такива магнити създават по-голяма плътност на магнитното поле от обикновените.

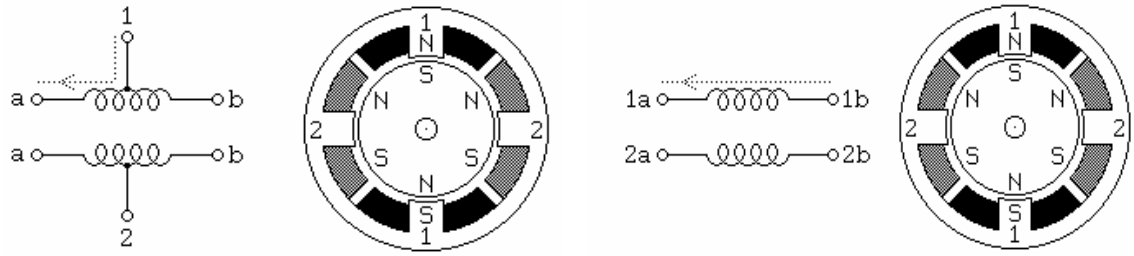


a) с активен ротор b) с реактивен ротор c) с хибриден ротор

Фиг. 2.37. Типове стъпкови двигатели

2.8.3. Принцип на работа

Еднополюсните стъпкови двигатели с 5 или 6 проводника обикновено се свързват по начина, показан на Фиг. 2.38 a. Показано е напречното сечение на 30° стъпков двигател (една стъпка съответства на завъртане на 30 градуса на ротора). Намотка 1 на двигателя е разположена между горния и долния полюс на статора, а намотка 2 – между левия и десния полюс на двигателя. Роторът е постоянен магнит с шест полюса (3 двойки полюси), разположени по периферията му. За постигане на по-висока ъглова резолюция роторът трябва да има пропорционално повече полюси. Ако се махне захранването на намотка 1, а намотка 2 остане под напрежение, роторът ще се завърти на 30°, или с една стъпка. За да се върти двигателят непрекъснато, захранването трябва да се включва последователно към двете намотки.



a) еднополюсно b) двуполюсно

Фиг.2.38. Свързване на стъпковите двигатели

Двуполюсните стъпкови двигатели с постоянен магнит (Фиг. 2.38 b) и хибридните двигатели са със същата конструкция като еднополюсните (Фиг. 2.38 a), но двете намотки са свързани по по-прост начин, без централни разклонения. Така самият двигател е по-опростен, но управляващата схема, нужна за смяна на полярността на всяка двойка двигателни полюси, е по-сложна. Ако намотките не са под напрежение, възбуденият двигател с постоянен магнит или хибриден стъпков двигател поддържа задържащия момент, избягвайки нежелано движение, причинено от външни сили.

2.8.4. Управление на стъпкови двигатели

Най-простият начин за управление на стъпкови двигатели е т.н. *Вълново управление*, при което се възбужда само една намотка (една фаза) в даден момент. Недостатък на този подход е по-малкият генериран въртящ момент. Възможните позиции на ротора на един двуфазен двузъбен двигател са на 0°, 90°, 180° и 270°. При едновременно възбуждане на двете намотки двигателят започва да работи в двуфазен режим на *пълна стъпка* (Фиг.2.39 a) и генерира по-голям въртящ момент. Възможните позиции на ротора са между позициите на вълновото управление, съответно 45°, 135°, 225° и 315°. При комбиниране на двата режима, т.е. при алтернативното активиране ту на една, ту и на двете намотки, са възможни 8 позиции на ротора. Този режим се нарича режим на *половин стъпка* (Фиг.2.39 b).

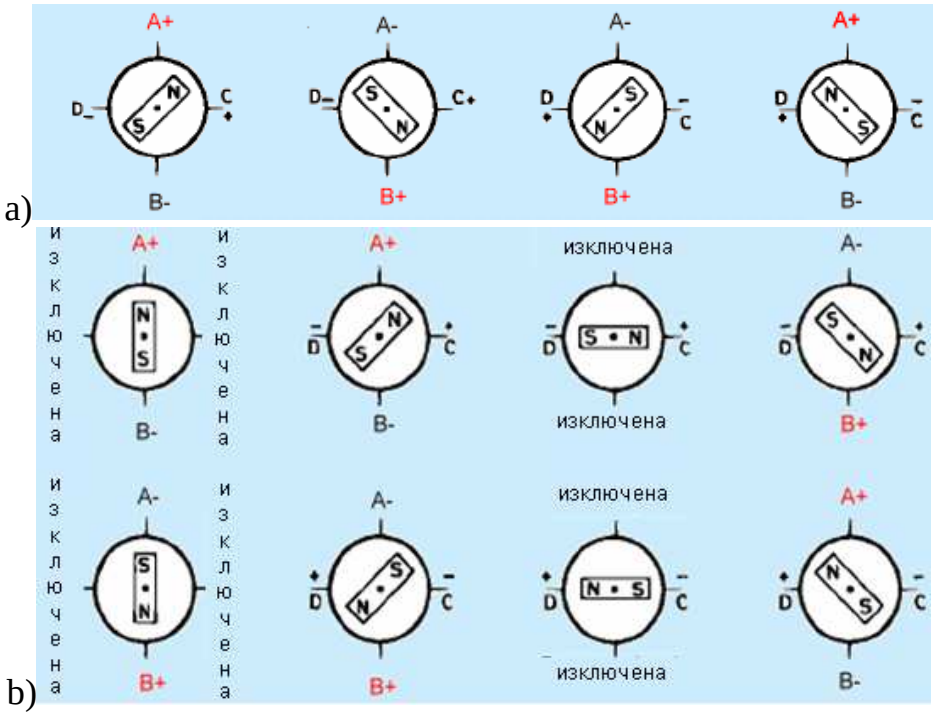
При захранването на двете намотки съответно със синусоидален и с косинусоидален сигнал се получава почти идеално въртящо се магнитно поле и съответно ще има идеално въртеливо движение. Ефективността на стъпковите двигатели нараства с нарастването на броя стъпки на оборот, консумацията на енергия става по-равномерна, опасността от загуба на стъпка (явление, при което двигателят не изпълнява стъпка, въпреки че е получил входен импулс) намалява и двигателят работи по-бързо.

Захранването на намотките на стъпковия двигател с дискретни импулси, базирани на правилото синус-косинус, обяснено по-горе, се нарича *микростъпков режим*. Предимството на този режим е бързината на

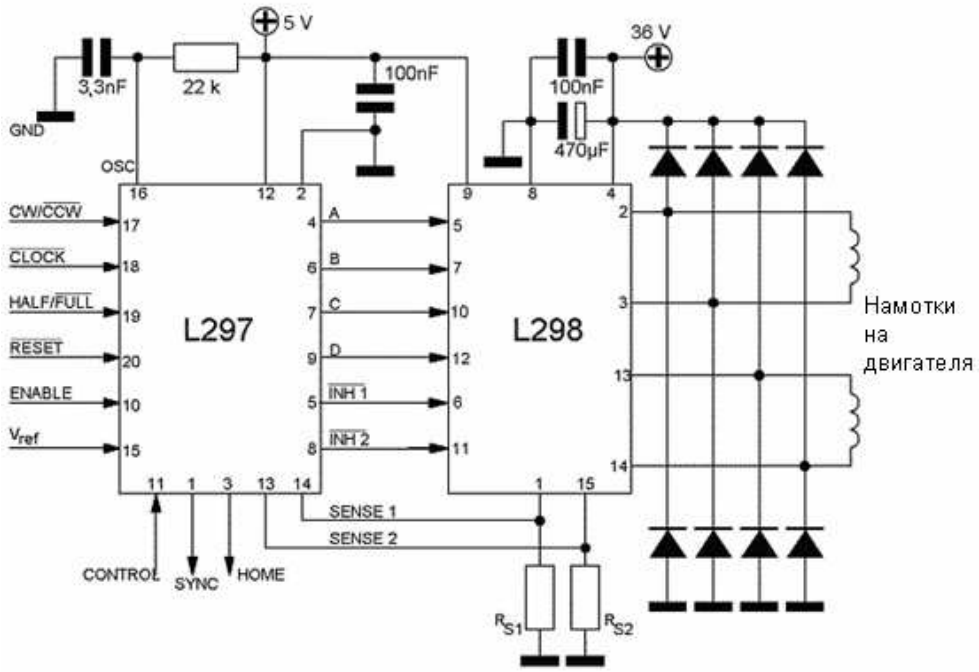
движение, а недостатъкът – понижената точност, която обуславя нуждата от сензори за скорост и за позиция.

Стъпковият двигател изчислява ъгъла на завъртане чрез преброяване на импулсите. Получава се постоянно инкрементираща се стойност. За определяне на абсолютната позиция, броячът първоначално се зарежда с еталонна стойност, което обикновено се осъществява с крайни изключватели.

Управляващата част на задвижването със стъпков двигател се състои от генератор на импулси на основата на микроконтролер и усилвателно стъпало (Фиг.2.40). Микроконтролерът трябва да генерира 4-битова последователност за активиране на краищата на 4-те намотки. С всяка битова последователност роторът се завърта постъпково; постоянно въртене се постига с програмен цикъл, където броят на стъпките се задава като еталонна стойност. Предимство на стъпковия двигател е точността на определяне на позицията на ротора. Например, ако е известен периметърът на окръжността, може да бъде изчислено отношението стъпка/cm, или броят на стъпките, необходим за преместване на 1 cm. Съответно може да бъде написана подпрограма, която използва дължината като еталонна стойност, изчислява броя на стъпките и го предава посредством портовете към усилвателното стъпало (Фиг. 2.40).



Фиг. 2.39. Възможни позиции на ротора в режим на пълна стъпка (a) и на половин стъпка (b)



Фиг. 2.40. Усилвателно стъпало на електрозадвижване със стъпков двигател

Входните портове на усилвателното стъпало могат да се свържат директно към изходния порт на микроконтролера или към паралелния порт на компютър:

Означение	Пояснение
CW/CCW	Задава посоката на въртене (CW = ClockWise – по часовниковата стрелка, CCW = CounterClockWise – обратно на часовниковата стрелка).
Clock	При подаване на кратък импулс на този вход, роторът се завърта с една стъпка. По време на управляващия цикъл само този вход е активиран.
Half/Full	По подразбиране е заземен. При подаване на +5 V двигателят започва да работи в режим на половин стъпка.
Enable	При заземяване на този вход се прекъсва захранването на двигателя.
V_{ref}	V_{ref} (0...3 V) определя максималния ток на двигателя. $V_{ref} = I_m \cdot R_S$ Например, ако максималният ток е I_m = 0.5 A и е избрано съпротивление R_s = 1 Ω, то към терминала V_{ref} трябва да се подаде напрежение 0.5 V. Това може да стане с потенциометър.
RESET	Установяване в начално състояние на стъпковия двигател. За да работи двигателят, на този вход трябва да се поддържа напрежение от +5 V.
Control	Когато входът е активен, токът се изменя бавно (режим на „насичане” на фазата). При заземяване на входа токът се изменя бързо (забрана на „насичането”).
Sync, Home	Обикновено тези портове не се свързват.

Както може да се види, необходими са само три порта за управляване на стъпковия двигател в желаната посока със желана скорост.

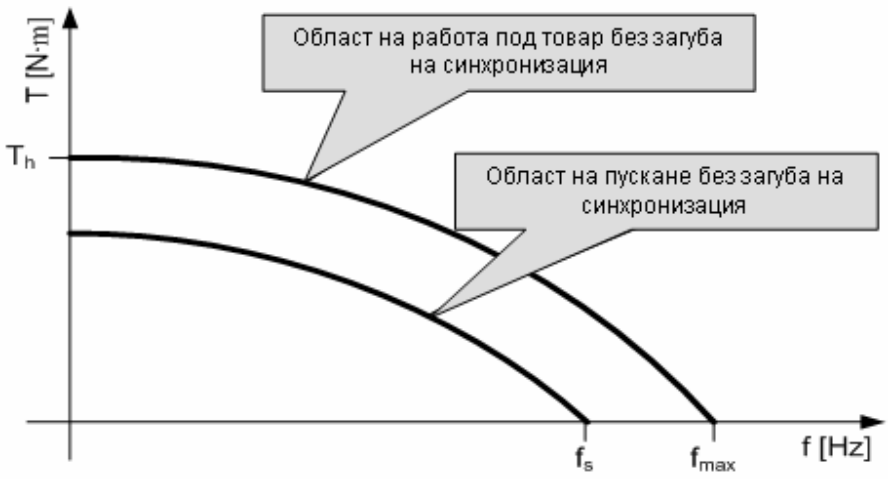
2.8.5. Товар на стъпковите двигатели

Развиваният от един стъпков двигател въртящ момент зависи от честотата на стъпките и съответно от скоростта на ротора. Двигателите осигуряват въртящия момент, заложен в техническите им характеристики, само при относително ниски скорости. С увеличаване на скоростта

наличният въртящ момент намалява, което може да доведе до излизане от синхронизация, наречено загуба на стъпка. Този тип характеристика въртящ момент – скорост е обусловена от индуктивностите на намотките, където възникват условия за създаване на противо-електродвижеща сила, действаща срещу захранващото напрежение, което причинява намаляване на тока и на въртящия момент. Съвременните стъпкови двигатели обикновено се захранват от управляеми източници на ток, които осигуряват постоянен ток и въртящ момент за голям диапазон от скорости. При поддържането на тока на константно ниво напрежението на един номинално 12-волтов терминал на двигателя може да се повиши до 30-40 V.

Трябва да се имат предвид някои ограничения при затоварването на стъпковия двигател (Фиг. 2.41):

1. Задържащият момент T_h е товарът, който може да бъде приложен към един статично възбуден неподвижен (роторът не се върти) двигател, без това да причини завъртане на ротора.
2. Честотата на пускане/спиране f_s е най-високата стъпкова честота, при която може да се пусне (спре) ненатоварен стъпков двигател без загуба на синхронизация.
3. Скоростта на двигателя е ограничена до максимална стойност, съответстваща на f_{max}.
4. Областта, в която двигателят може да се пуска и спира без загуба на синхронизация, е ограничена от вътрешната крива и координатните оси на Фиг. 2.41. Външната крива определя областта, в която двигателят под товар може да работи без загуба на синхронизация.



Фиг. 2.41. Зависимост на въртящия момент от скоростта (честотата) при стъпков двигател

2.8.6. Изчислителен пример

Статорът на един хибриден стъпков двигател се състои от два полюса и 100 зъба.

1. Какъв е стъпковият ъгъл в режим на пълна стъпка?
2. Каква трябва да е честотата на управляващите импулси, за да се върти двигателят с n = 500 min^{-1}?

Решение:

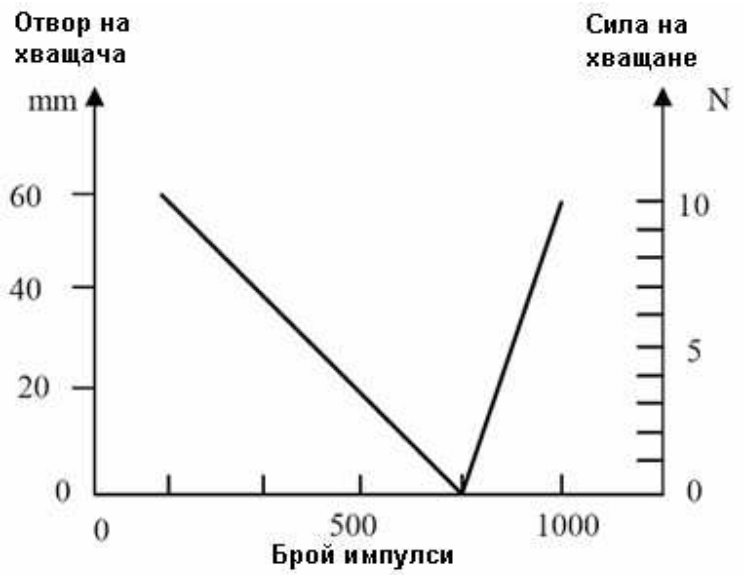
Стъпковият ъгъл е: $\alpha = \frac{360°}{N_{ph} \cdot m \cdot Z} = \frac{360°}{2 \cdot 2 \cdot 100} = 0.9°$,

Честотата на управляващите импулси е: $f = \frac{n \cdot 360°}{\alpha \cdot 60} = \frac{500 \cdot 360°}{0.9 \cdot 60} = 3.33\,\text{kHz}$.

2.8.7. Пример за приложение на задвижване със стъпков двигател

Хващачът на индустриален робот се управлява от стъпков двигател. Характеристиките му са показани на Фиг. 2.42. Максималното отверстие на отворения хващач е 60 mm. Широчината на обекта за хващане е 35 mm.

Колко импулса трябва да се подадат на двигателя, за да се хване обекта със сила от 6 N, ако началното състояние на хващача е отворен на 53 mm?



Фиг. 2.42. Характериситки на хващач на индустриален робот

Решение:

Както може да се види от фигурата, характеристиката пресича абсцисната ос при 750 импулса, а максималната сила на хващане от 10 N се постига при 1000 импулса. Броят импулси, необходим за хващане на обект със широчина от 35 mm при 60 mm максимално отверстие на отворен хващач се получава по формулата:

$$n_{close} = (53-35)\cdot\frac{750}{60} = 225 \text{ импулса.}$$

За постигане на сила на хващане от 6 N се прилага зависимостта:

$$n_{force} = 6\cdot\frac{1000-750}{10} = 150 \text{ импулса.}$$

Общият необходим брой импулси ще бъде:

$$n_{\Sigma} = n_{close} + n_{force} = 225 + 150 = 375\ .$$

2.9. Сервозадвижвания

2.9.1. Конструкция и принцип на работа

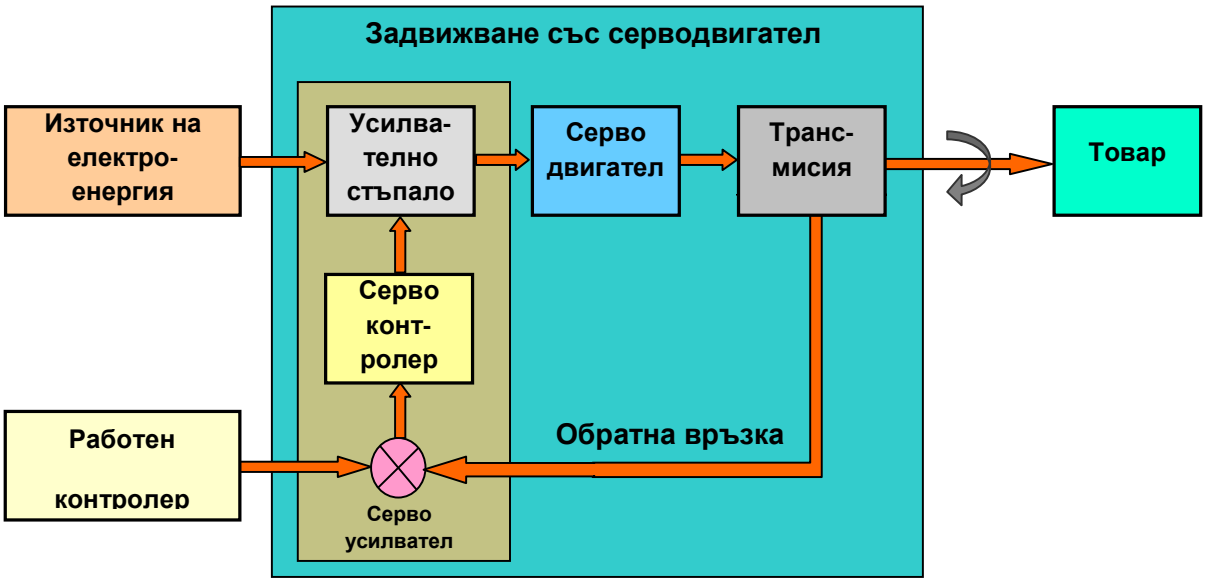
Едно сервозадвижване се състои от серводвигател и сервоусилвател (Фиг. 2.43 и Фиг. 2.44). Предназначението на сервоусилвателя (известен още като сервопреобразувател) е да управлява фазовите токове на серводвигателя. Думата „серво" е от латински произход, като „servus" означава слуга, роб или помощник. В системите за автоматизация сервозадвижванията обикновено се използват като спомагателни задвижвания.

Сервоусилвателят управлява тока, който се подава на намотките на двигателя, така че да се развият въртящия момент и скоростта, зададени от работен контролер. Основните компоненти на сервоусилвателя са усилвателно стъпало и сервконтролер.

Контролерът на сервоусилвателя управлява усилвателното стъпало и осигурява точната работа на задвижването при променливи товари чрез постоянно сравняване на еталонните (зададените) и действителните стойности на тока, позицията и скоростта.

Усилвателното стъпало на практика е един модулатор от областта на силовата електроника, формиращ токовете на серводвигателя по такъв начин, че зададената траектория на изпълнителното устройство да бъде точно следвана.

За разлика от конвенционалните електрозадвижвания, които най-често работят с постоянна скорост, работата на един серводвигател по правило не е „гладка". Ускоряването до разчетната скорост често става в рамките на милисекунди, последвано веднага след това от бързо забавяне, по време на което точността на позициониране трябва да остане в рамките на няколко стотни от милиметъра.



Фиг. 2.43. Структурна схема на сервозадвижване

Фиг. 2.44. Серводвигатели и сервоусилватели

Обикновено сервозадвижванията трябва да отговарят на следните изисквания:

1) висока точност на позициониране;
2) висока точност на контролиране на скоростта;
3) широка област на управление;
4) стабилност на въртящия момент;
5) достатъчно голяма претоварваща способност;
6) бърза реакция.

Предимствата на сервозадвижванията пред другите типове задвижвания са добрите им динамични свойства, точността им и големия въртящ момент при близки до нулата скорости, както и компактната им конструкция и добрата специфична мощност (плътност на мощността). Под динамични свойства се разбират времето за реакция, което нараства с увеличаване на скоростта и броят на работните цикли, което съответно се отразява и на производителността на машините.

Изискуемата от едно задвижване точност често се определя от работната машина, която трябва да се задвижи. Едно модерно задвижване с бърза реакция трябва да може да се настройва така, че да може да изпълнява изискванията на различни работни машини.

Сервозадвижванията са задвижващи системи с висока точност и бърза реакция, които работят с голям диапазон скорости и запазват характеристиките си дори при кратковременни претоварвания.

2.9.2. Двигатели на сервозадвижванията

Серводвигателите са електрически двигатели, конструирани така, че приоритет да имат динамичните свойства, т.е. бързо ускорение и бързо намаляване на скоростта. Произвеждат се серводвигатели както за променлив ток (синхронни и индукционни двигатели), така и за постоянен ток (със или без четки).

Синхронният двигател с постоянен магнит (СДПМ) е най-подходящият съвременен двигател, който отговаря на изискванията, поставени към двигателите на сервозадвижванията. Висока плътност на мощността се постига с използване на постоянни магнити като например неодим-желязо-бор (NdFeB), самарий-кобалт (SmCo) или феритни материали. В по-малка степен се използват и индукционни двигатели за сервозадвижванията. Серводвигателите се произвеждат с вграден позиционен сензор, осигуряващ и обратна връзка по скорост на контролера (Фиг. 2.45). Може да има и вградена механична спирачка за избягване на възможността за движение на вала при деактивирано задвижване, причинено от външни сили.

Конструкцията на безчетковия постояннотоков двигател (БПД) наподобява СДПМ, като разликата е само в метода на управление.

Фиг. 2.45. Външен изглед на типичен серводвигател

2.9.3. Синхронни двигатели

Синхронните двигатели са многофазови двигатели, при които магнитните полета на статора и на ротора се въртят синхронно. Въртящото се магнитно поле възниква при подходящо пространствено разположение

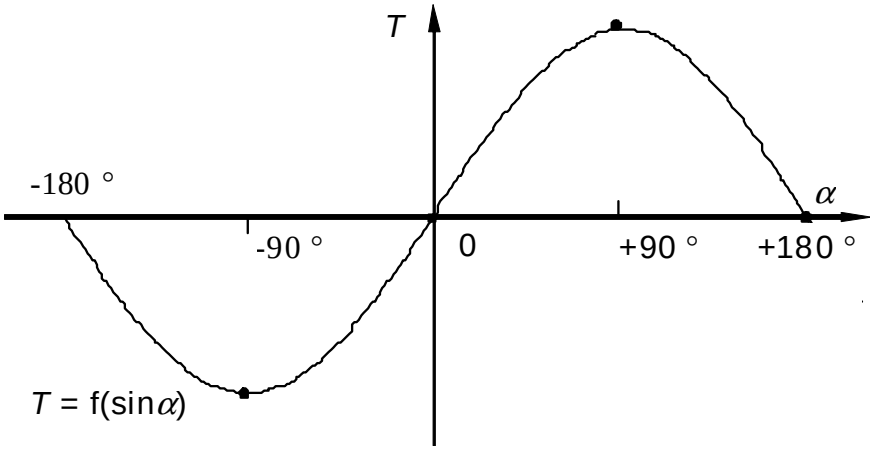
на статорните намотки и съответна времева последователност на техните токове. Скоростта на въртене на магнитното поле е:

$$n_d = \frac{60 \cdot f}{p},$$

където f е честотата на захранващото напрежение, а p е броя на двойките полюси на статора.

Статорът на синхронния електродвигател се състои от тяло на двигателя, ламинарни магнитни вериги и статорни намотки. Роторът се състои от вал, ламинарна магнитна верига и постоянни магнити, прикрепени към нея. За подобряване на динамичните свойства, магнитната верига (сърцевината) на ротора е перфорирана. Така се намаляват инерционният момент и времето на реакция.

При захранване на синхронния двигател с променливо напрежение с постоянна честота скоростта на въртене на ротора му е равна на скоростта на въртене на магнитното поле. При включване на товар към двигателя възниква закъснение между въртящите се полета на ротора и на статора, което се характеризира с т.н. товарен ъгъл α. Колкото по-голямо е закъснението, толкова по-голям е въртящият момент, развиван от двигателя. Ако товарният ъгъл стане равен на 90°, полюсите на ротора са разположени между двата полюса на статора, при което двигателят развива максимален въртящ момент. Ако закъснението продължи да се увеличава, т.е. при претоварване на двигателя, въртящият момент започва отново да намалява и двигателят започва да работи неустойчиво, като има опасност да спре (Фиг. 2.46).



Фиг. 2.46. Механична характеристика въртящ момент – товарен ъгъл на синхронен двигател, захранван от променливо напрежение с постоянна честота

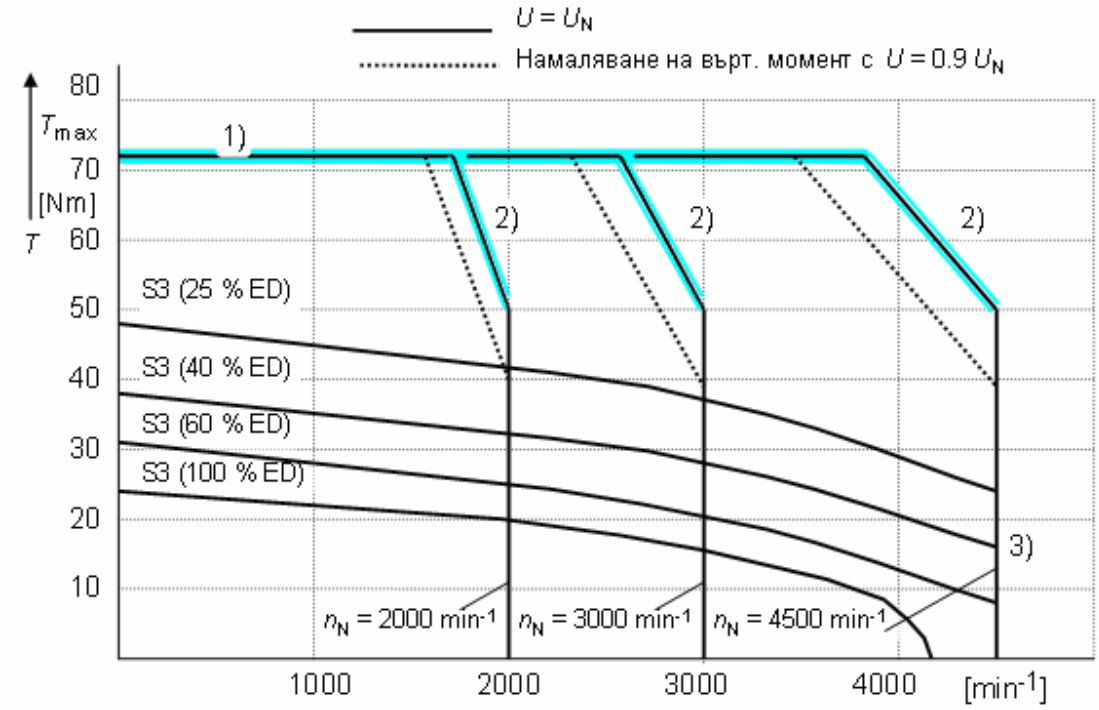
Характеристиката, показваща зависимостта между въртящия момент и скоростта на синхронния серводвигател, показва три ограничения, които трябва да се имат предвид при проектирането на задвижването:

1) Максималният въртящ момент на двигателя е ограничен от големината на магнитния поток на постоянните магнити. Ако двигателят се претовари и токът на статора се увеличи над допустимите граници, магнитите се демагнитизират, в резултат на което пада въртящият момент. Ако двигателят и сервоусилвателят са правилно подбрани няма опасност от демагнитизиране.

2) При по-високи скорости въртящият момент на двигателя е ограничен от големината на напрежението на захранващия терминал на двигателя. То зависи от напрежението на усилвателното стъпало и от пада на напрежението в свързващия кабел. Поради противоелектродвижещата сила (противо електродвижещо напрежение), възникваща при въртенето, двигателят е неспособен да развие пълния въртящ момент при по-високи скорости. Съответно с увеличаване на скоростта нараства и противо е.д.н. и токът и въртящият момент на двигателя намаляват.

3) Въртящият момент на двигателя е ограничен и от големината на топлинния товар. Средният товарен момент се изчислява на етапа на проектиране на двигателя. Изчисленият въртящ момент

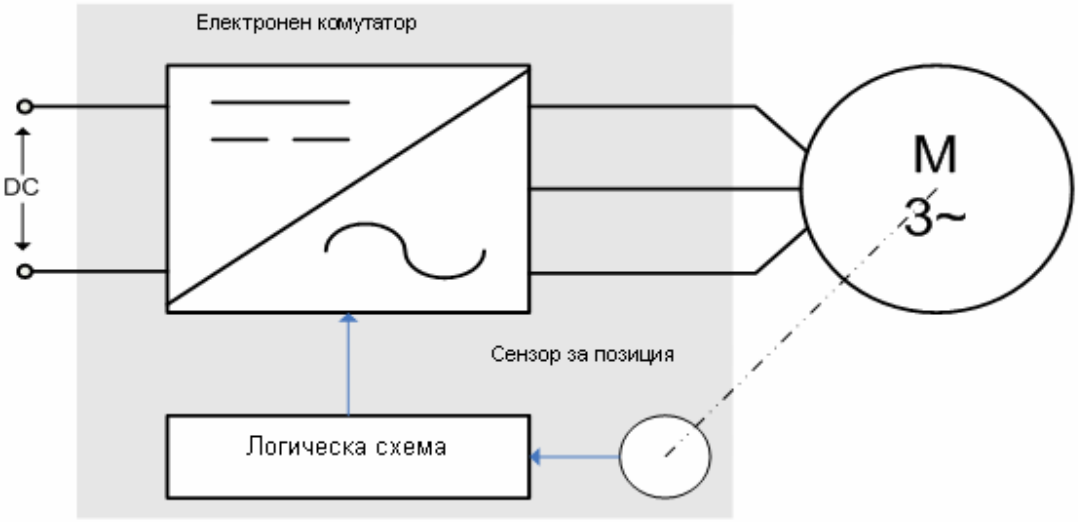
трябва да бъде по-малък въртящия момент при нулева скорост T_0. Надхвърлянето на допустимото ниво на топлинен товар (допустимото температурно ниво) причинява демагнитизиране на магнитната верига или пробив в изолацията на намотките на двигателя.



Фиг.2.47. Типични механични характеристики на синхронен серводвигател

2.9.4. Безчеткови постояннотокови двигатели

Конструкцията на БПД наподобява тази на СДПМ. Статорните намотки са подобни на тези при многофазовите машини за променлив ток, а роторът е съставен от една или повече полюсни двойки на постоянни магнити. За разлика от четковите двигатели, товарният ъгъл не се поддържа на 90° с помощта на механичен комутатор, а чрез прецизно превключване във времето на полупроводниковите ключове на усилвателното стъпало. За прецизното превключване е необходимо да се знае точната позиция на ротора, която може да се определи с оптичен сензор или със сензор на Хол. Електронният комутатор е част от усилвателното стъпало на сервоусилвателя.



Фиг. 2.48. БПД = СДПМ + електронен комутатор

2.9.5. Управление и обратна връзка при сервозадвижванията

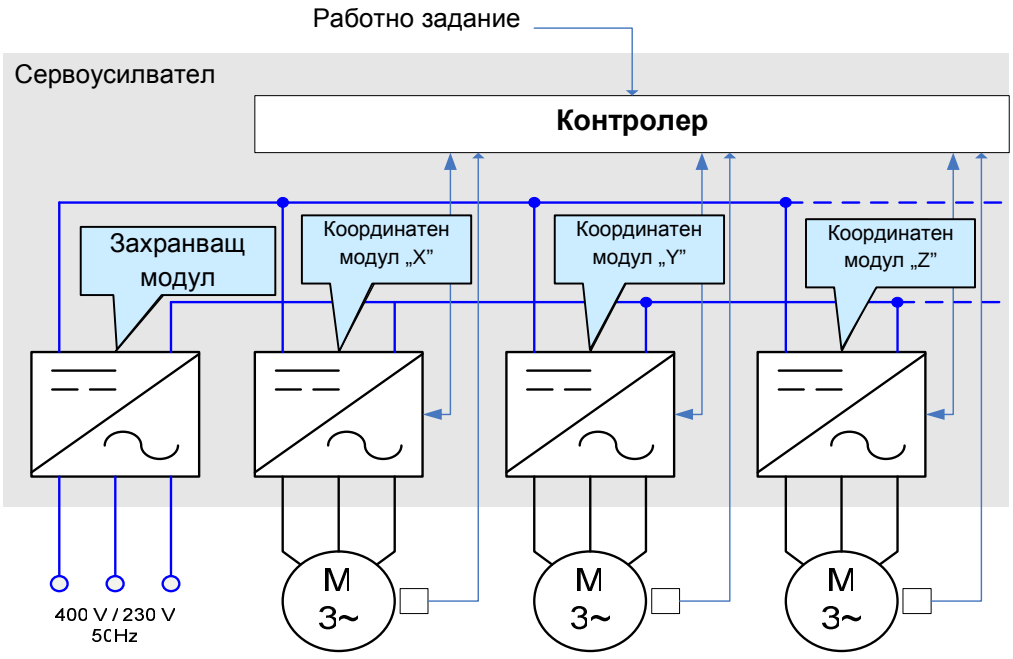
2.9.5.1. Сервоусилватели

Сервоусилвателят (известен още като сервопреобразувател или серво-контролер) управлява токовете на двигателя, така че да се получат зададените еталонни стойности на скоростта, въртящия момент и позицията. Предимствата на компактните сервоусилватели са техните малки размери и маса, както и компактната конструкция. Няма необходимост от допълнителни свързвания, какъвто е случаят при модулните контролери.

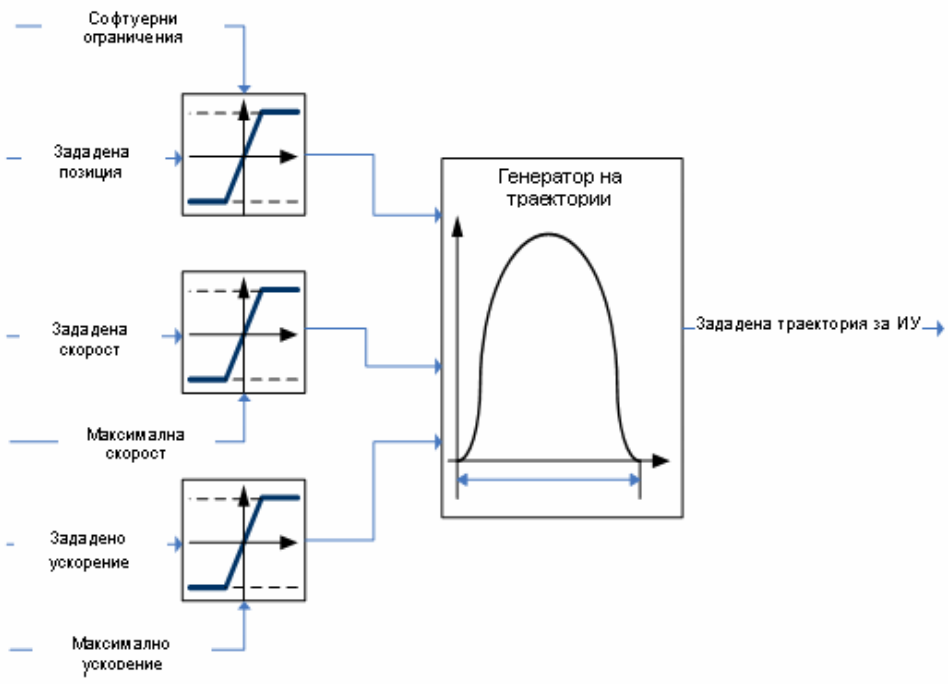
Модулните цифрови сервоусилватели имат един захранващ модул и няколко координатни сервомодула (Фиг.2.49). Техните предимства се проявяват, когато е необходимо използването на сервозадвижвания с няколко степени на свобода, като в този случай няколко координатни модула се захранват от един захранващ модул. Разчетната мощност на захранващия модул се избира на базата на сумарната мощност на отделните модули и на техните работни режими. Други възможни компоненти на такава сервосистема са спирателна и регенерираща вериги. Друго предимство на многокоординатните сервозадвижвания е, че няколко модула, свързани към общо постояннотоково звено, могат да обменят

енергия независимо, пестейки по този начин захранващата енергия от мрежата.

Сервозадвижването получава работното задание (съответните стойности за движение по отделните координати) от управляваща програма, управляваща работата на изпълнителното устройство. Управляващата програма може да бъде заредена във вътрешната памет на сервоусилвателя. Сервозаданията са принципно данните за движението на изпълнителното устройство, т.е. нужните позиция, скорост, ускорение и понякога въртящ момент. Към траекторията на движение има някои хардуерни ограничения, затова тя трябва да бъде съобразена с тях преди да се подаде към изпълнителното устройство. Например, позицията на изпълнителното устройство не трябва да преминава определени граници, максималната скорост и степента на ускорение и намаляване на скоростта на двигателя са ограничени от конструктивните му особености (Фиг.2.50).



Фиг. 2.49. Модулен трикоординатен сервоусилвател



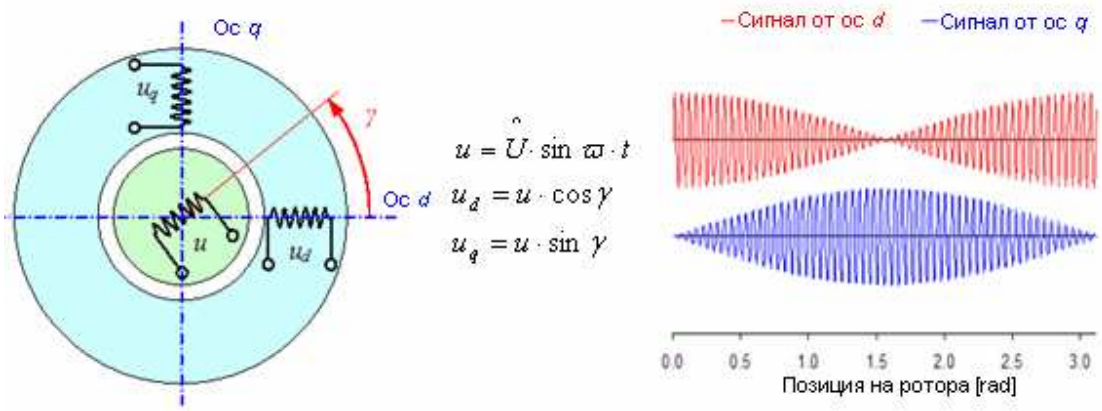
Фиг. 2.50. Генериране на зададена (еталонна) траектория за изпълнителното устройство

2.9.5.2. Обратна връзка

Стандартно серводвигателите се доставят заедно със сензори за позиция, наречени *резолвери*, които определят абсолютната позиция на вала за един оборот (360°). Сензорите синус-косинус (сензори за един или повече обороти) и инкременталните сензори за позиция също са съвместими с цифровите сервоконтролери. Тези сензори осигуряват висока точност и бърза реакция.

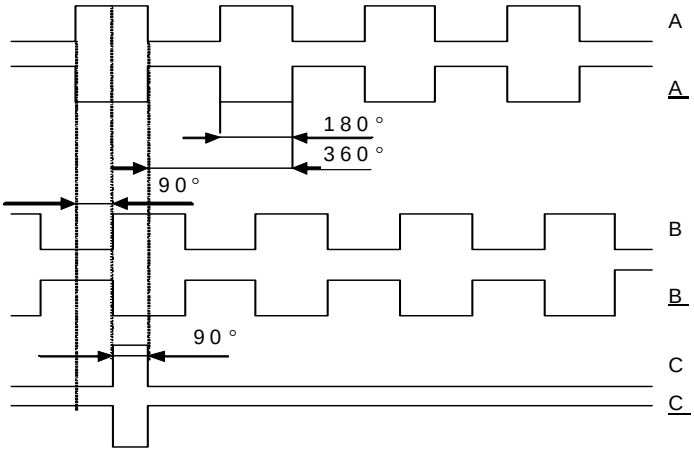
Принципът на работа на резолвера се базира на принципа на ротационния трансформатор (Фиг. 2.51), съставен от роторна и статорни намотки. Двете статорни намотки са разположени на 90° една спрямо друга и техните синусоидални изходни напрежения u_d и u_q се използват за определяне на инкрементирането (увеличаването) на скоростта и позицията на ротора. При реализиране на безконтактно предаване на сигналите може да има допълнителни намотки на статора и ротора.

Конструкция	Формули	Сигнали



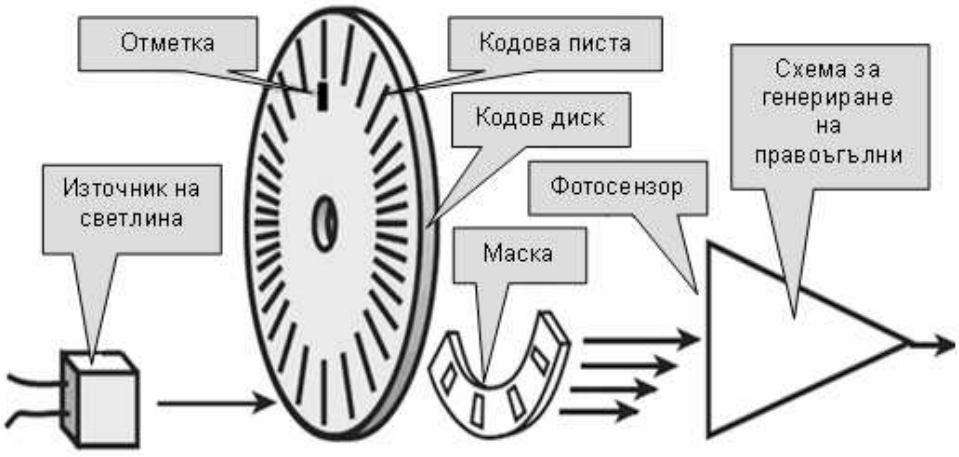
Фиг. 2.51. Принцип на работа на резолвер

Сигналите на четирите изходни канала на инкременталния сензор за позиция (Фиг.2.52) се използват за точното позициониране на задвижването. Изходите са сигналите A и B и техните инвертирани стойности $\underline{A}$ и $\underline{B}$. Инкременталният сензор за позиция генерира определен брой импулси за оборот, като сигналите A и B са дефазирани на 90°. Двигателят се върти по посока на часовниковата стрелка, когато предните фронтове на сигнала на канал A изпреварват предните фронтове на сигнала на канал B и обратно. Тъй като инкременталните сензори за позиция детектират инкрементирането на позицията, а не абсолютната ѝ стойност, първоначално трябва да се дефинира еталонна позиция за изчиляване на движението. Тя може да се зададе на отделна кодова писта (виж по-долу).

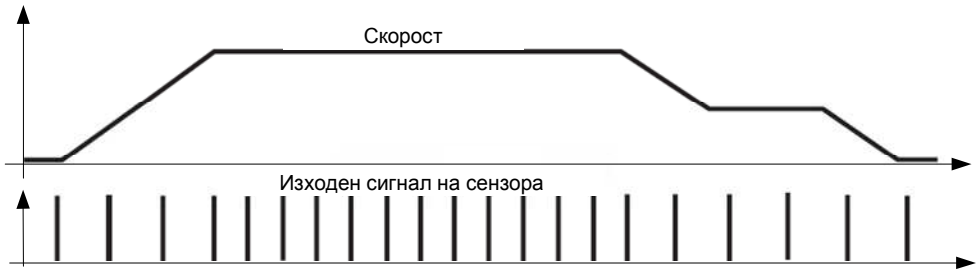


Фиг. 2.52. Сигнали на инкрементален сензор за позиция

Инкременталният сензор за позиция се състои от източник на светлина и непрозрачен кодов диск с перфорирани кодови писти (пътечки). Фотосензор улавя светлината, която прониква през отворите и генерира синусоидален сигнал, който трябва да се превърне в последователност от правоъгълни импулси (Фиг. 2.53). Скоростта на въртене на вала се определя от честотата на изходните импулси на сензора (Фиг. 2.54).



Фиг. 2.53. Конструкция на инкрементален сензор за позиция



Фиг. 2.54. Зависимост между изходния сигнал на сензора и скоростта

Примери за приложения на сервозадвижванията

Позиционирането е класическа задача на сервозадвижванията. За части от секундата задвижващото устройство трябва да развие разчетната си скорост и след много кратко време трябва пак много бързо да спре, за да достигне до зададената позиция с максимална точност.

Управлението на скоростта се използва за осигуряване на плавна работа на задвижването. Степените на ускорение и намаляване на скоростта са дефинирани със съответни пускови и спирателни фронтове. Подпрограмите в индустриалните контролери позволяват прилагане на няколко различни криви на изменение на скоростта в зависимост от конкретния етап на производствения процес.

За *позициониране на шпиндел* двигателят трябва да бъде спрян за кратко и оста да бъде преместена на друга позиция за смяна на инструмента или произведения продукт.

Синхронизация на осите е необходима при приложения, при които движението по една координата зависи от другите координати.

Електронният ексцентриков диск се използва в механизми с променлива трансмисия (с променливо предавателно отношение), където заменя по-старото механично решение с ексцентриков диск на главния вал.

Т.н. *летящ трион* е механизъм, използван за обработване на движещи се материали, например по транспортно устройство: рязане, печатане, заваряване и др. По време на обработката оста трябва да следва продукта и да се върне в началната си позиция след приключване на обработката.

Управлението на въртящия момент се прилага за точно и динамично регулиране на тока. Сервозадвижването е способно да развие пълния въртящ момент при ниски скорости и затова се прилага в навиващи машини и преси.

2.10. Въпроси за самопроверка

5. Какво е електрическо задвижване?

1. Електромеханична система
2. Задвижвано оборудване
3. Електрически двигател с регулатор

6. Какво обхваща един проводник, когато през него протича електрически ток?

1. Магнитно поле
2. Електрическо поле
3. Енергийно поле

7. Какво се използва в електрическите двигатели за смяна на посоката на котвения ток?

1. Механичен комутатор
2. Полупроводников комутатор
3. Честотен комутатор

8. Кой тип променливотоков двигател се използва най-често в индустрията?

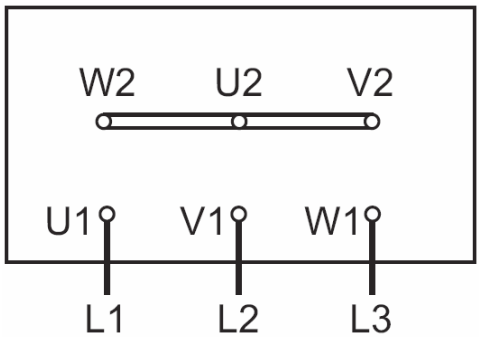
1. Асинхронният двигател
2. Синхронният двигател

9. Какво означава терминът „железни загуби”?

1. Загуби, възникващи в магнитния материал на електродвигателя
2. Загуби, възникващи в намотките на електродвигателя
3. Загуби, причинени от триенето вътре в електродвигателя

10. Какво означава кодът IP 45 според стандарта EN 60529?
1. Защита от твърди външни тела: *Инструменти и обекти с диаметър над*
   1 mm; защита от вода: *Водни струи от произволна посока*
2. Защита от твърди външни тела: *Пръсти и обекти с диаметър над 12 mm*; защита от вода: *Водни струи от произволна посока*
3. Защита от твърди външни тела: *Инструменти и обекти с диаметър над*
   1 mm; защита от вода: *Течаща вода*

11. Какво е показано на фигурата?



1. Свързване на захранващи кабели към терминалите на асинхронен двигател по схема звезда
2. Свързване на захранващи кабели към терминалите на асинхронен двигател по схема триъгълник
3. Терминали на трифазен трансформатор

12. Колко пъти по-голям от разчетния ток може да протече при пускане на един асинхронен електродвигател по метода на директно пускане?
1. 14 пъти
2. 6 пъти
3. 2 пъти

13. Кои са най-често използваните методи за спиране на асинхронен електродвигател?
1. Преобразуване на електрическата енергия в топлина чрез прекарване на електрическия ток през спирателен резистор
2. Отдаване на електрическата енергия обратно в електрическата захранваща мрежа, където енергията може да се използва от друго

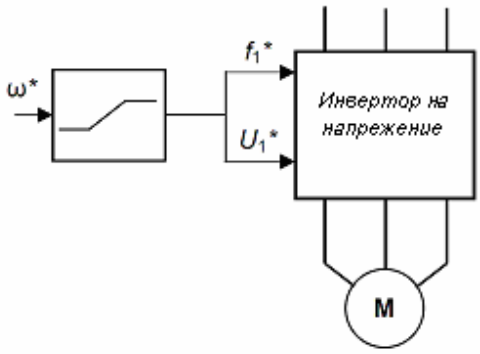
електрическо оборудване. Този метод се нарича електрическа рекуперация

3. Механично спиране

14. От какво е съставен честотният преобразувател?

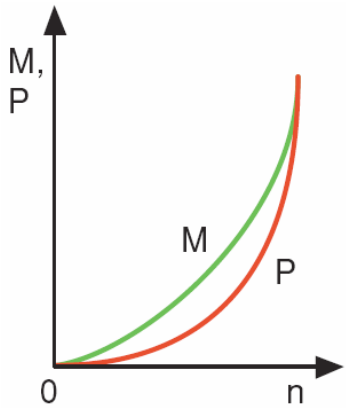
1. Неуправляем трифазен изправител, постояннотоково звено и инвертор
2. Неуправляем трифазен изправител, възбудител и инвертор
3. Неуправляем трифазен изправител, постояннотоково звено и товарен резистор

15. Какво е показано на фигурата?



1. Блокова схема на управлението напрежение-честота на асинхронен двигател
2. Блокова схема на комутатор на напрежение
3. Блокова схема на процеса на спиране на асинхронен двигател

16. Кои устройства имат товарни характеристики, подобни на показаната на фигурата?



1. Устройства от типа на вентилатори, помпи и центрофуги, при които има квадратична зависимост между скоростта и товара
2. Устройства от типа на мелници, трошачки и каландъри (изглаждащи преси), при които има линейна зависимост между скоростта и товара
3. Устройства от типа на пробивни машини и навиващи машини, при които има константна зависимост между скоростта и товара

17. За какво се използва компенсацията на хлъзгането?

1. Функцията за компенсиране на хлъзгането може да подобри динамичното поведение на електрическото задвижване
2. Компенсацията на хлъзгането се използва за спиране на малки индукционни двигатели
3. Компенсацията на хлъзгането се използва за подобряване на селективността на електрозадвижванията

18. За какво се използват устройствата за плавно пускане в индукционните двигатели?

1. За постигане на плавно пускане (по-плавно нарастване на тока)
2. За намаляване оборотите на двигателя и спиране, както и за съхраняване на енергия, когато се използват с променлив товар
3. За промяна на ъгъла на въртене на двигател

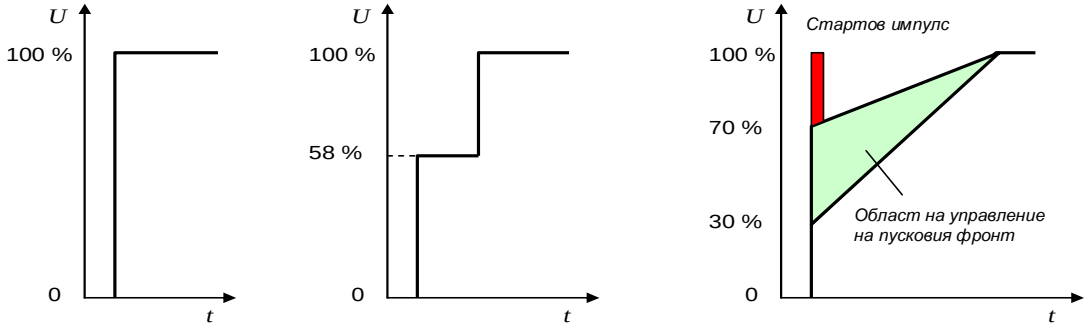
19. „В линия” е…

1. Начин за свързване на устройство за плавно пускане

2. Свързване, при което трите фази са паралелно свързани с реле за защита от претоварване
3. Свързване, което позволява един двигател да бъде свързан в схема триъгълник

20. Какъв тип пускане на двигател са показани на фигурите?

A B C



1. A – директно; B – звезда-триъгълник; C – с устройство за плавно пускане
2. A – звезда-триъгълник; B – директно; C – с устройство за плавно пускане
3. A – с устройство за плавно пускане; B – звезда-триъгълник; C – директно

21. Стъпковият двигател може да бъде...

1. Безчетков постояннотоков двигател или серводвигател
2. Индукционен двигател
3. Двигател с постоянен магнит или хибриден двигател
4. Двигател с кух ротор или с перфориран ротор
5. Синхронен двигател

22. Какво влияе оказва скоростта върху въртящия момент на стъпковия двигател ?

1. Въртящият момент се увеличава с нарастване на скоростта
2. Въртящият момент намалява с нарастване на скоростта

3. Въртящият момент е пропорционален на квадрата на скоростта
4. Въртящият момент е обратно пропорционален на скоростта
5. Въртящият момент не зависи от скоростта на двигателя

23. Какъв е основният тип серводвигатели?
1. Синхронен двигател с постоянен магнит
2. Стъпков двигател
3. Еднофазен индукционен двигател

24. Най-често използваните устройства за обратна връзка по скорост и позиция в сервосистемите са?
1. Резолвери и инкрементални сензори за позиция
2. Ексцентрикови ключове
3. Многостепенни аналогови потенциометри
4. Тахогенератори
5. Едностепенни аналогови потенциометри

Електромагнитни изпълнителни устройства

3.1. Соленоиди

Електромагнитът е вид магнит, в който магнитното поле се създава при протичането на електрически ток. Магнитното поле изчезва при спиране на тока. Електромагнитът е изобретен от британския учен Уилям Стърджън през 1825 година. Първият електромагнит е представлявал парче желязо с формата на подкова с навита намотка, състояща се само от няколко навивки (Фиг. 3.1).

Когато по намотката се пуснел ток, електромагнитът се е магнитизирал, а при спиране на тока – намотката се е демагнитизирала. Стърджън демонстрирал мощността на електромагнита чрез експеримент, при който са вдигнати 9 паунда с помощта на парче желязо с маса 7 унции, обхванато от проводник, по който е пуснат ток от електрическа батерия.

Най-простият тип електромагнит е парче проводник (жица), обвито с намотка. Една намотка, навита във формата на права тръба (подобна на тирбушон) се нарича соленоид. Много по-силни магнитни полета могат да се получат, ако вътре в намотката се разположи сърцевина от парамагнитен или феромагнитен материал (обикновено меко желязо). Сърцевината концентрира магнитното поле, което може да бъде много по-силно от това на самата намотка.

Фиг. 3.1. Соленоидът на Стърджън

Токът (*I*), течащ през проводник, създава магнитно поле (*B*) около проводника. Полето е ориентирано по правилото на дясната ръка.

Магнитните полета, създадени от намотки, по които тече ток, следват правилото на дясната ръка. Ако пръстите на дясната ръка са свити в посоката, в която тече тока през намотката, палецът ще сочи в посоката на полето, създадено в намотката. Страната на магнита, от която се появяват линиите на полето, е N (полюс Север).

3.1.2. Класификация на соленоидите

Соленоиди	**Линейни соленоиди**	**Еднопосочно действащи линейни**
		Двупосочни линейни
		Соленоиди с две устойчиви състояния
	Ротационни соленоиди	**Еднопосочно действащи ротационни**
		Реверсивни ротационни
	Задържащи соленоиди	**Задържащи соленоиди**

3.1.2. Линейни соленоиди

Линейните соленоиди биват:

- Еднопосочно действащи линейни соленоиди (магнитната сила на соленоида се създава само в едната посока, връщането в изходно положение става механично, например с пружина или с друг механизъм);
- Двупосочни линейни соленоиди (движението се осъществява при активиране на една от налични две намотки);

- Соленоиди с две устойчиви състояния (движението се реализира с електрически импулс, посоката се определя от полярността, а крайните позиции се поддържат с постоянен магнит в единия край и пружина в другия).

3.1.3. Еднопосочно действащи линейни соленоиди

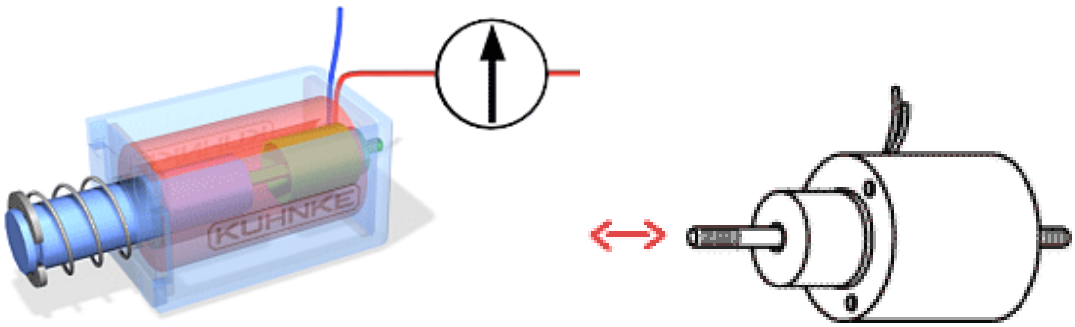
Линейният соленоид има три важни характеристики: ход, сила и работен цикъл.

Ходът е разстоянието, на което се премества котвата на електромагнита (т.е. сърцевината) (Фиг. 3.2).

Силата на действие на електромагнита може да се дефинира като сила в началото на движението, сила в края на движението и средна сила за времето на движение. Силата е най-малка в началото на движението.

Работният цикъл представлява съотношението на времето, за което устройството е включено, към цялото време на работа, изразено в проценти.

Например, работен цикъл от 5 % означава, че соленоидът се включва за 5 секунди, след което е изключен за 95 секунди.

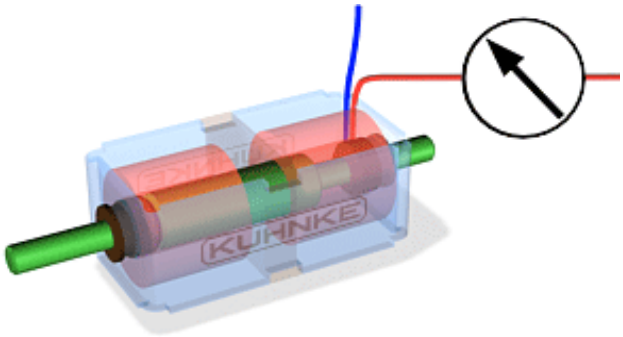


Фиг. 3.2. Еднопосочно действащи линейни соленоиди

3.1.3. Двупосочни линейни соленоиди

Двупосочните линейни соленоиди (Фиг. 3.3) са подобни на еднопосочно действащите линейни соленоиди, но вместо една имат по две намотки – по една за всяка посока. При тези соленоиди котвата излиза в

двата края на соленоида. Ако само едната намотка е активирана, котвата от тази страна на соленоида се придвижва в посока навън, съответно в другия край на соленоида тя ще се придвижи навътре. Ако само втората намотка е активирана, движението е обратно.



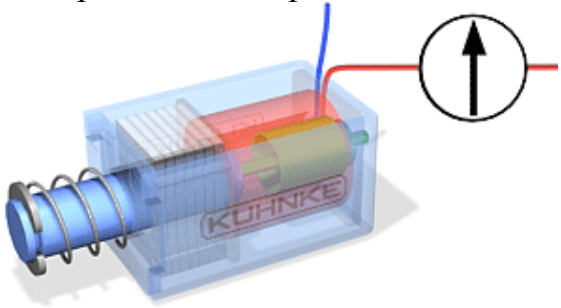
Фиг. 3.3. Двупосочен линеен соленоид

3.1.4. Соленоиди с две устойчиви състояния

Тези соленоиди (Фиг. 3.4) имат две устойчиви крайни позиции, в които могат да останат, когато през тях не протича електрически ток. Превключването между двете крайни позиции се осъществява с токови импулси с променлива полярност.

За разлика от стандартните линейни соленоиди при соленоидите с две устойчиви състояния действат три специфични сили:

- сила на издърпване (като при стандартните линейни соленоиди);
- сила, задържаща сърцевината в начална позиция;
- сила, задържаща сърцевината в крайна позиция.



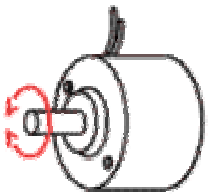
Фиг. 3.4. Соленоид с две устойчиви състояния

3.2. Ротационни соленоиди

Съществуват два типа ротационни соленоиди:

Еднопосочно действащи ротационни соленоиди (соленоидната сила се развива в една посока, действието за връщане на сърцевината се осъществява от механично средство, най-често пружина) (Фиг. 3.5). Това е най-разпространеният тип соленоиди.

Реверсивни ротационни соленоиди (имат две намотки, често навити заедно, като движението в едната или другата посока се постига чрез активиране на едната или другата намотка).



Фиг. 3.5. Ротационен соленоид

3.2.1. Еднопосочно действащи ротационни соленоиди

При тях първо се избира желаният ъгъл на завъртане, а след това – пусковият момент. Може да се постигне произволен ъгъл на завъртане, но обикновено се избира стандартен ъгъл, зададен в характеристична таблица. Максималният ъгъл на завъртане е 95°.

Първият критерий за избор на ротационен соленоид е ъгълът му на завъртане в комбинация с пусковия му момент. Единственият възможен ъгъл на завъртане при реверсивните ротационни соленоиди е 45°. При необходимост от друг ъгъл на завъртане може или да се избере еднопосочно действащ линеен соленоид или да се направи поръчка при производител на специфичен соленоид, проектиран според конкретните нужди.

3.2.2 Задържащи соленоиди

Задържащите соленоиди (Фиг. 3.6) са предназначени за задържане на обекти. Силата на задържане при един завържащ соленоид е значително по-голяма от силата на задържане при линеен соленоид със същата мощност и размер. Задържащи соленоиди със сила на задържане по-голяма от 250 kg се

използват за задържане на врати в отворено или в затворено положение. Задържащи соленоиди със сила на задържане по-голяма от 700 kg се използват при врати на сейфове.

Фиг. 3.6. Задържащи соленоиди

3.3. Въпроси за самопроверка

1. Какви са предимствата при използване на соленоид?
   1. Висока скорост (2 mm линейно движение или въртеливо движение на 45 ° за по-малко от 10 ms)
   2. Голям брой работни цикли (над 10 милиона цикъла).
   3. Лесно се постигат еднопосочни движения с голяма дължина.
26. Каква е най-голямата сила на задържане, която може да постигне един задържащ соленоид?
   1. Над 700 kg
   2. От 200 до 400 kg
   3. От 100 до 300 kg

Пневматични изпълнителни устройства и клапани

4.1. Пневматични клапани

Функцията на клапаните е да управляват налягането или дебита на флуид (газ или течност) под налягане. В зависимост от конструкцията си клапаните могат да се класифицират на следните категории (Фиг. 4.1):

Фиг. 4.1. Видове пневматични клапани

4.1.1. Направляващи управляващи клапани (разпределители)

Направляващият управляващ клапан (разпределителят) управлява пропускането на въздушни сигнали чрез генериращи, отменящи или пренасочващи сигнали. Най-общо разпределителят е устройство за промяна на посоката на флуида.

Един клапан се описва с:

1. Брой портове или отвори (изводи): 2-отворен, 3-отворен, 4-отворен и т.н.
2. Брой позиции, които разпределителният плунжер може да заеме – 2-позиционен, 3-позиционен и т.н.
3. Метод на задействане (активиране) на клапана:
   - с ръчно задействане;

- с механично задействане;
- с пневматично задействане;
- с електрическо задействане.

По отношение на типа връщане клапаните биват с пружина за връщане и с въздушно връщане. Разпределителите са устройства, които могат да променят посоката на въздушен поток. Обикновено това включва едно или всички от следните действия: отваряне на пътя на въздушния поток и пренасочването му към конкретни въздушни линии (магистрали), спиране (блокиране) на въздушни сигнали при нужда чрез блокиране на техния път и/или изпускане на въздуха в атмосферата през изпускателен порт. Всеки разпределител се характеризира с брой на управляваните връзки или пътища на потока, брой на възможните позиции на плунжера и метода на задействане. Тези характеристики обаче не дават информация за конструкцията на разпределителя, а за принципа на неговата работа.

Нормална позиция при клапани с устройство за връщане, например пружина, е позицията на движещите се части на клапана, когато клапанът не е свързан.

Начална позиция на клапана е позицията на движещите се части на клапана след като клапанът е бил инсталиран в система и е подадено налягане в системата, а вероятно и електрическо напрежение, с помощта на което се активира проектираната програма на превключване.

4.1.2. Символи и описание на компонентите

При пневматичните системи е възприет универсален подход за представяне на елементите и веригите. Символите, използвани при отделните елементи, трябва да показват следните характеристики

- Метод на задействане и обратно връщане;
- Брой изводи (като всеки трябва да е означен за лесна идентификация);
- Брой позиции на превключване;
- Общ принцип на работа;
- Опростено изобразяване на пътя на потока.

При изобразяването на характеристиките в абстрактна символна форма не се отчита техническата конструкция на съответния елемент.

Символите, използвани в пневмотехниката, са дефинирани от стандарта DIN ISO 1219 „Символи, използвани в техническите схеми на оборудване и системи, работещи с флуиди”. Съответните стандарти за конструиране, тестване и проектиране на пневматични управляващи системи са дадени в списъка с литературни източници в края на тази книга.

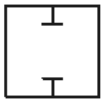
Всеки разпределител се характеризира и съответно се означава с брой на управляваните изводи, брой на позициите и път на флуида. За избягване на грешни свръзки, всички входове и изходи на клапана трябва да са ясно означени [8].

Позициите на превключване на клапана се означават с квадрати. Един квадрат означава апарат, който се управлява с поток или налягане

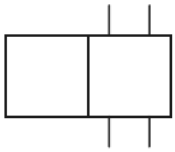
Два или повече квадрата се използват за означаване на разпределители. Броят на квадратите показва колко позиции на превключване има клапанът

Линиите показват пътя на потока, а стрелките – посоката му

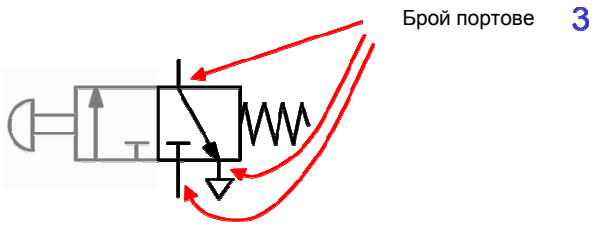
Напречните черти означават затворен канал



Връзките за присъединяване на тръбопроводи към клапана (входните и изходните портове) се означават с линии извън квадрата

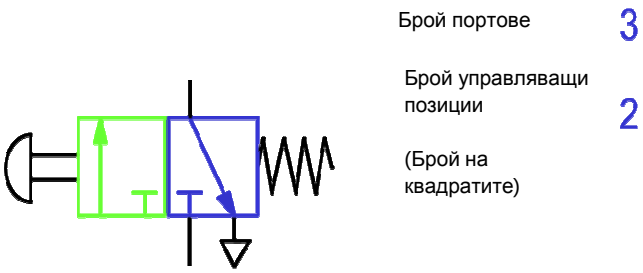


На Фиг. 4.2 е показан пример за означаване на разпределител.

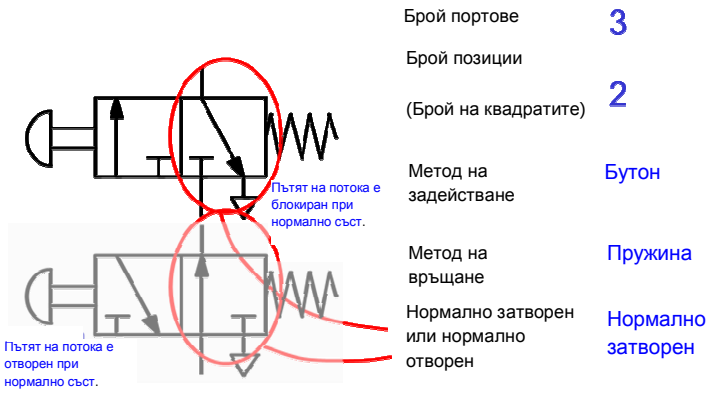


Фиг. 4.2. Брой на портовете

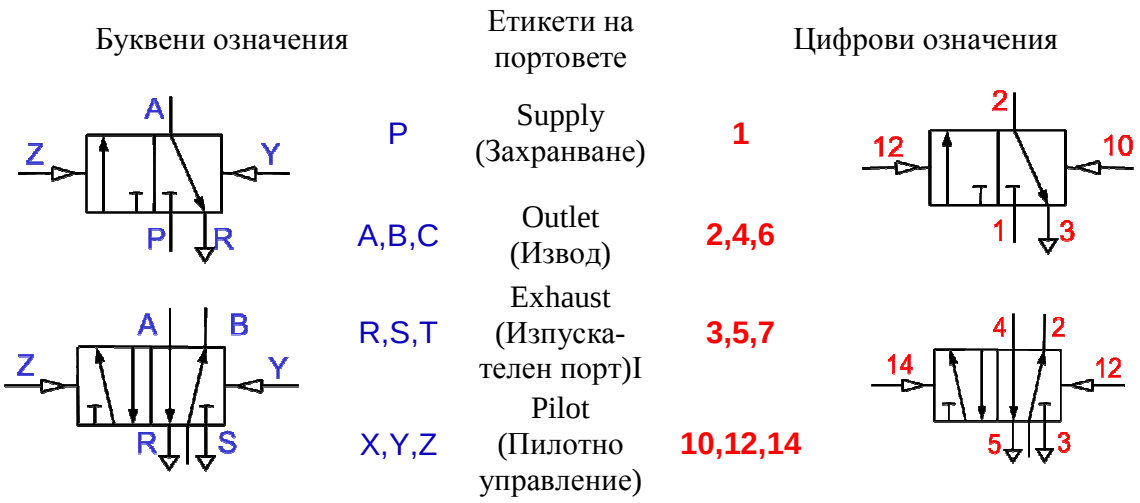
Използва се номерираща система за означаване на разпределителите (с цифрови означения) в съответствие със стандарта DIN ISO 5599-3. Преди това се е използвала система с буквени означения (Фиг. 4.3, Фиг. 4.4), като на Фиг. 4.5 са представени и двете системи за означения.



Фиг. 4.3. Брой на управляващите позиции



Фиг. 4.4. Нормална позиция



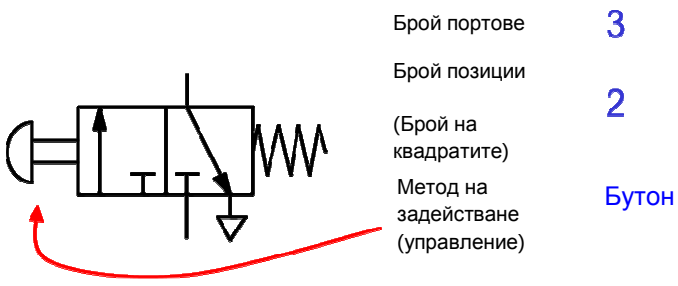
Фиг. 4.5. Означения на портовете

4.1.3. Методи на управление на пневматични разпределители

Методите на управление (активиране) на пневматичните направляващи управляващи клапани (разпределителите) зависят от изискванията на съответната задача (Фиг. 4.6). Типовете управление могат да бъдат:

- ръчно,
- механично,
- пневматично,
- електрическо,
- комбинирано.

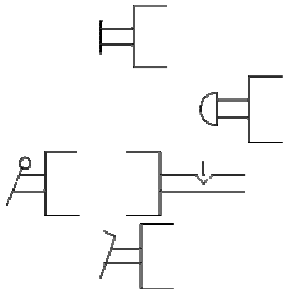
Символите, използвани за означаване на различните методи на активиране на разпределителите, са дефинирани от стандарта DIN ISO 1219. Когато символите се използват при конкретен разпределител, се взема под внимание метода на първоначално активиране на клапана и също така метода на връщане (обратно активиране). Обикновено това са два различни метода. И двата са показани със символи от двете страни на правоъгълните елементи, използвани за означаване на разпределителите. Може да има и допълнителни методи на управление, като например допълнителна възможност за ръчно активиране с по-висок приоритет при клапани с друг тип активиране. В този случай това е означено с допълнителен символ [8].



Фиг. 4.6. Методи за управление на разпределител

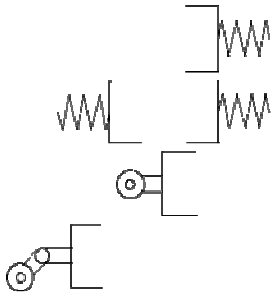
Ръчно управление

- Общо означение
- Бутон
- Ръчен лост върху плунжера
- Крачен педал



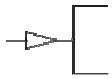
Механично управление

- Възвратна пружина
- Центрирана пружина
- Ролково управление
- Ролково управление с еднопосочно действие

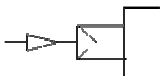


Пневматично управление

- Непосредствено пневматично управление

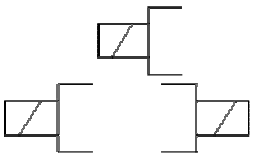


- Индиректно пневматично (пилотно) управление



Електрическо управление

- Управление с един соленоид
- Управление с два соленоида



Комбинирано управление

- Двойно соленоидно и пилотно управление с възможност за ръчно управление с по-висок приоритет

4.1.4. Конструкция на разпределителите

От конструкцията на разпределителите зависят техния жизнен цикъл, време на превключване, тип на управление, методи за свързване и размер.
Съществуват следните категории конструкции на разпределители:
Седлови клапани с конусна форма (известни са още като тарелкови клапани):

- Сачмени (сферични) седлови клапани,
- Дискови седлови клапани.

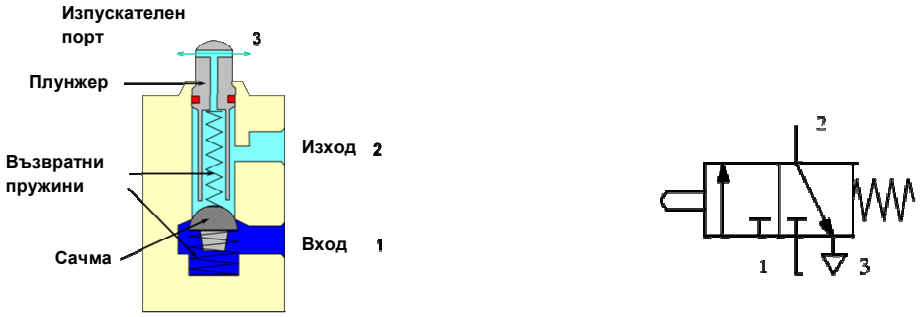
Шибърни клапани:

- Надлъжни шибърни клапани (плунжерни клапани),
- Надлъжни плоски шибърни клапани,
- Дискови клапани.

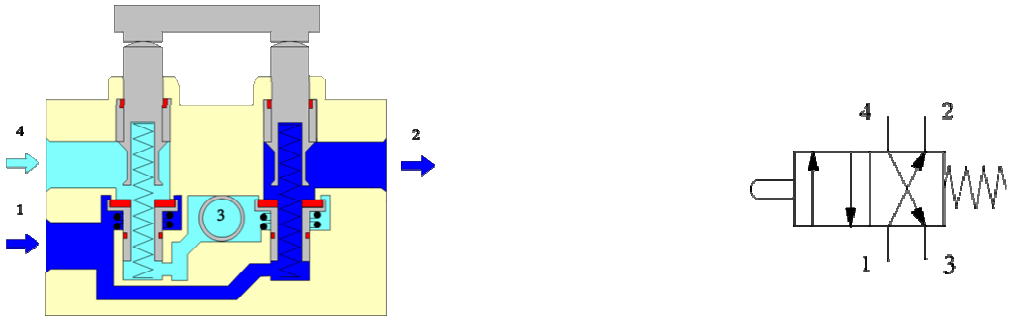
4.1.5. Седлови клапани с конусна форма (тарелкови клапани)

Един 3/2 разпределител представлява клапан за генериране на въздушни сигнали, при който може да се подаде по-нататък по линията или да се блокира сигналът на изходния порт на клапана. 3/2 разпределителят има три порта и две позиции. Добавянето на изпускателния порт 3 позволява отмяната на сигнал, генериран при преминаване през 3/2 разпределителя. В началната си позиция клапанът свързва изходния сигнал 2 към изпускателя 3 и оттам към атмосферата. Пружина притиска сфера (сачма) към седлото на клапана, предотвратявайки по този начин преминаването на компресирания въздух през въздушното съединение 1 към работната линия 2 (Фиг. 4.7 и Фиг. 4.8).

Един 4/2 разпределител има четири порта и две позиции. Дисковият седлови 4/2 разпределител е с конструкция, подобна на комбинацията от два 3/2 разпределителя, като единият е нормално затворен, а другият – нормално отворен.



Фиг. 4.7. 3/2 разпределител със сферично (сачмено) седло



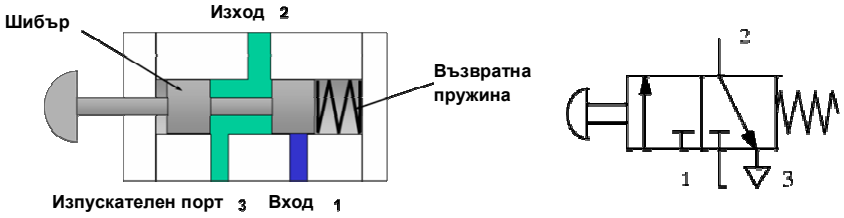
Фиг. 4.8. Разпределител 4/2 с дисково седло, изобразено е активирано състояние

Предимства на седловите клапани с конусна форма (тарелковите клапани):

- Добро уплътняване,
- Не са много чувствителни към замърсяване.

Фиг. 4.9. Тарелкови клапани

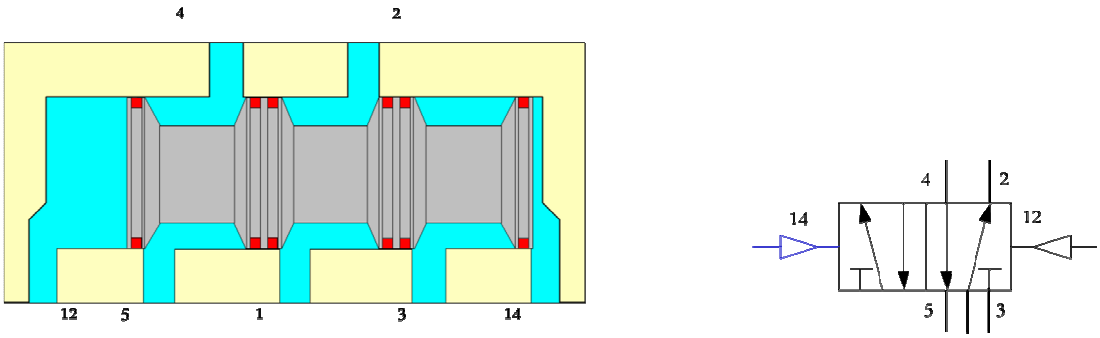
4.1.6. Шибърни клапани



Фиг. 4.10. 3/2 шибърен разпределител

Един 5/2 разпределител има пет порта и две позиции. 5/2 разпределителите се използват основно като управляващ елемент при управление на цилиндри. Като пример за 5/2 разпределител може да се даде надлъжния шибърен клапан (наречен плунжерен клапан), който използва пилотен шибър като управляващ компонент. Той свързва или разделя съответните линии чрез надлъжни движения. Нужната сила за управление е по-малка, тъй като тук липсват съпротивителни сили от сгъстения въздух или от пружината.

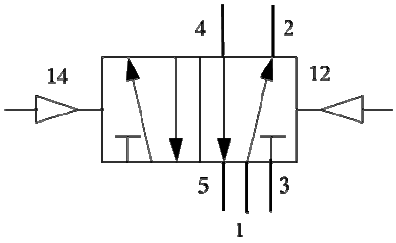
Всички типове управление могат да бъдат прилагани при надлъжните шибърни клапани, т.е. ръчно, механично, електрическо и пневматично. Тези форми на управление могат да се използват и за връщането на клапана в изходна позиция.



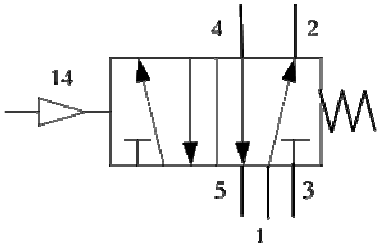
Фиг. 4.11. Плунжерен 5/2 разпределител с двойно пилотно управление

Характеристики на плунжерните клапани:

- Голям дебит,
- Малки управляващи сили.



Фиг. 4.12. Клапан с двойно пилотно управление – клапанен сигнал с две устойчиви състояния на пилотните портове превключва клапана.
При премахване на сигнала клапанът остава в текущата позиция



Фиг. 4.13. Клапан с единично пилотно управление – клапанен сигнал с едно устойчиво състояние на пилотния порт превключва клапана. При премахване на сигнала клапанът се връща в изходно положение

4.1.7. Характеристики на потока, минаващ през клапаните

Загубата на налягане и дебитът на въздушния поток са важни характеристики за потребителя. Изборът на клапан зависи от:

- обема и скоростта на цилиндъра,
- изискваната честота на превключване,
- допустимият спад в налягането.

Върху пневматичните клапани се означава техния номинален дебит. Необходимо е отчитането на различни фактори при изчисляване на характеристиките на въздушния поток, като например:

- p1 – налягането на входния порт на клапана (в kPa или bar),
- p2 – налягането на изходния порт на клапана (в kPa или bar),
- Δp – диференциалното налягане (p1 – p2) (в kPa или bar),
- T1 – температурата (в K),
- Qn – номиналния дебит (в l/min).

По време на измерването въздухът се пропуска през клапана в една посока. Измерват се входното и изходното налягане, а дебита на въздуха се измерва с дебитомер.

Данните за номиналните стойности на характеристиките на въздушния поток могат да бъдат открити в каталозите на производителите [8].

4.1.8. Надеждност на клапаните

Монтиране на клапаните. Надеждността на управляващата последователност е силно зависима от правилното монтиране на ограничаващите клапани. За всички типове ограничаващи клапани важи, че трябва да бъдат така монтирани, че да позволяват лесна настройка или пренастройване на позицията на клапана, за да се получи прецизна координация на движенията на цилиндъра според управляващата последователност.

4.1.9. Монтаж на клапаните

Освен внимателния избор на клапан за конкретно приложение, правилният монтаж е много важна предпоставка за надеждни характеристики на превключване, безпроблемна работа и лесен достъп за дейности по поддръжка и евентуална поправка. Това важи както за клапаните в основния (работния, силовия) тракт, така и за тези от управляващия тракт на системата.

Поддръжката и поправката се улесняват от:

- Номериране на компонентите,
- Монтиране на уреди за визуализация (дисплеи),
- Подробна документация.

Клапаните за входни сигнали с ръчно управление обикновено се монтират на контролен панел или на пулт за управление. Затова е практично и удобно да се използват клапани с изпълнителни устройства, които могат да бъдат монтирани върху основния клапан. Налични са различни изпълнителни устройства за широк клас входни функции. Клапаните под формата на управляващи елементи

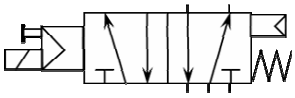
управляват последователността на работа на пневматични силови компоненти. Те трябва да бъдат конструирани по такъв начин, че да предизвикват колкото е възможно по-бърза реакция на изпълнителното устройство. Затова силовият клапан трябва да бъде разположен колкото може по-близо до изпълнителното устройство, така че дължините на линиите и съответно времената на превключване да бъдат колкото е възможно по къси.

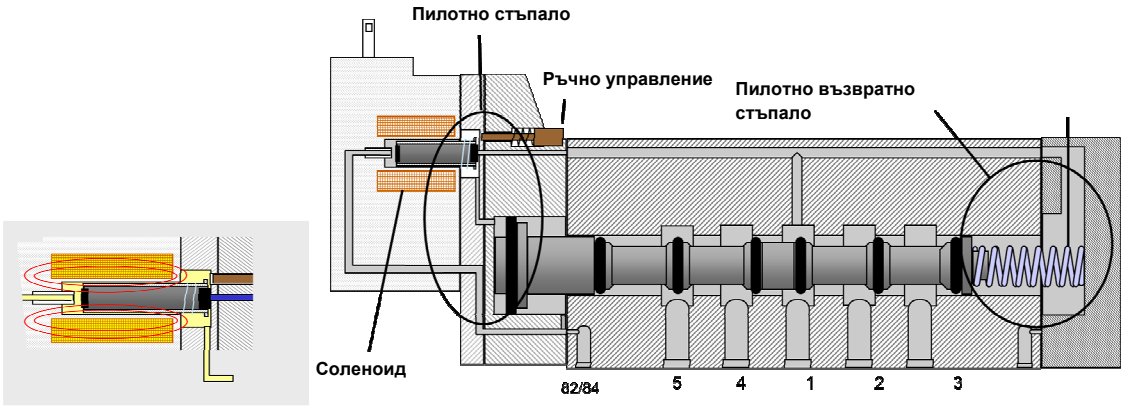
В идеалния случай силовият клапан трябва да бъде монтиран директно върху задвижването. Допълнително предимство на този тип монтаж е, че се спестява монтирането на конектори и тръби, както и че времето за монтаж е по-малко [8].

4.1.10. Електрически управлявани разпределители

Един разпределител с електромагнитен (соленоиден) елемент за управление (Фиг. 4.14) се характеризира с:

- ниска консумация,
- малка отделяна топлина,
- по-малките соленоиди могат да се напаснат в профила на клапана.





Фиг. 4.14. Електрически управляем 5/2 разпределител с усилване

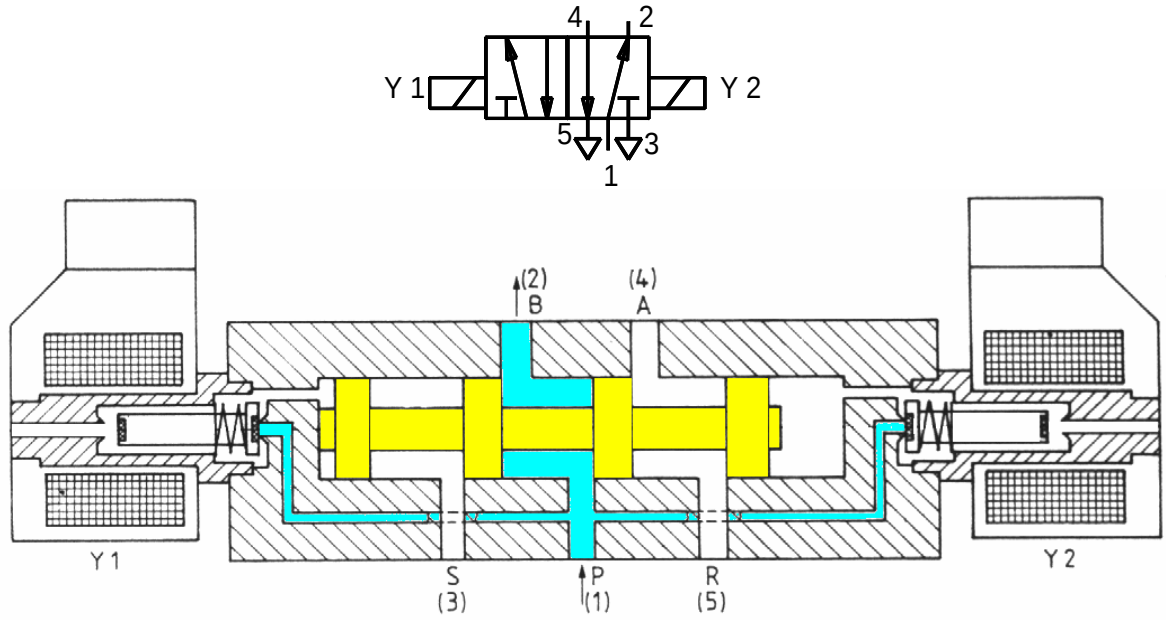
Разпределител с два входни порта без пружина за връщане се нарича импулсен клапан или разпределител с две устойчиви състояния (Фиг. 4.15).

При активиране на електромагнита Y1 буталото на основния клапан променя позицията си, така че се отваря въздушният канал 1-4 на основния клапан. Буталото на основния клапан остава на тази позиция докато електромагнитът Y2 получи управляващ сигнал. Едва тогава основният клапан превключва и въздушният канал 1-2 се отваря.

Поради липсата на пружина за връщане този клапан има някои нови особености:

• Необходим е само един моментен сигнал (импулс) за задействане на клапана.

• Може да се каже, че елементът има памет, т.е. помни последно получения сигнал, защото позицията на буталото ще остане непроменена след като се е осъществило превключването [8].



Фиг. 4.15. Конструкция и използван символ за импулсен клапан с електромагнити

Понякога възниква нежелана ситуация, когато импулсният клапан получи два реципрочни управляващи сигнала едновременно. В този случай не се извършва превключване на разпределителя. Нежеланият управляващ сигнал се

нарича *противосигнал*. Използват се различни методи за елиминирането на такива сигнали.

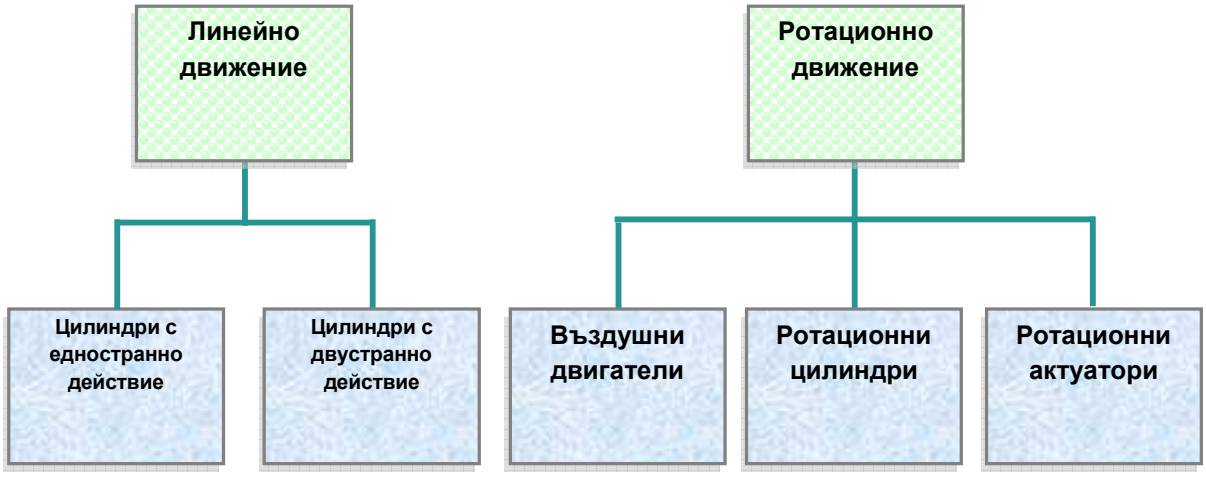
4.2. Пневматични изпълнителни устройства

4.2.1. Видове пневматични изпълнителни устройства

Изпълнително устройство (актуатор) се нарича изходно устройство за преобразуване на захранваща енергия (електрическа, пневматична, хидравлична) в полезна работа. Изходният сигнал се управлява от управляваща система, а изпълнителното устройство реагира на управляващи сигнали посредством управляващ елемент.

Други типове изходни устройства се използват за индикиране на статуса (състоянието) на управляващата система или на основното изпълнителното устройство, например пневматично активирани дисплеи за визуализация. Пневматичните изпълнителни устройства могат да се разделят на две основни групи (Фиг. 4.16) – линейни и ротационни [8]:

- Пневматичните изпълнителни устройства за линейно движение биват:
  Цилиндри с едностранно действие,
  Цилиндри с двустранно действие.
- Пневматичните изпълнителни устройства за ротационно движение биват:
  Въздушни двигатели,
  Ротационни цилиндри,
  Ротационни актуатори.

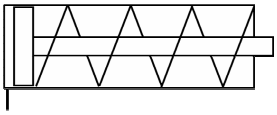


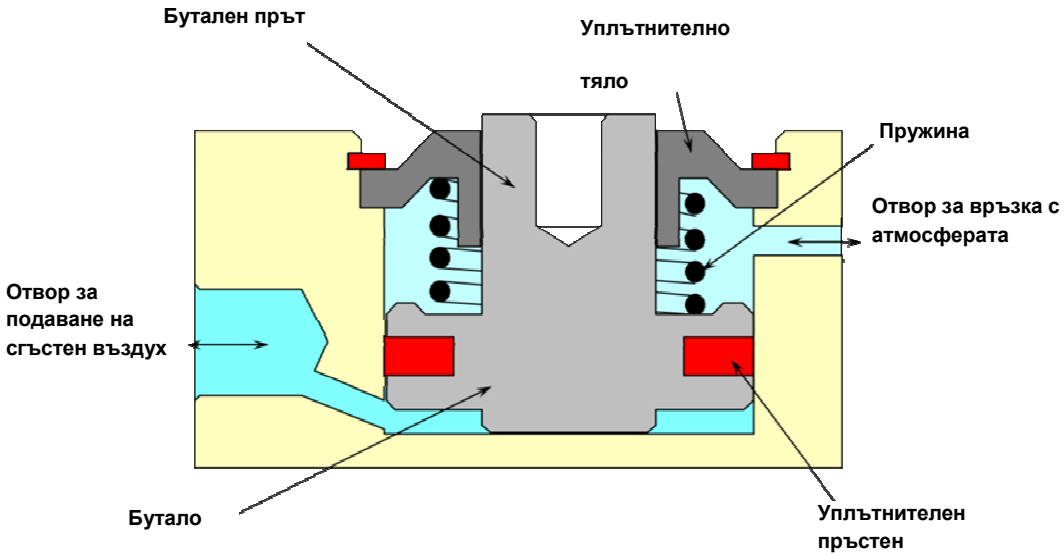
Фиг. 4.16. Пневматични изпълнителни устройства

4.2.2. Цилиндри с едностранно действие

При цилиндрите с едностранно действие се подава компресиран въздух само от едната страна (откъм челото) на буталото. Другата страна е отворена към амтосферата. Така цилиндърът може да извършва работа само в едната посока. Възвратното движение на буталото се осъществява с помощта на вградена пружина или с прилагане на външна сила. Силата на възвратната пружина е изчислена така, че пружината да връща буталото в началното му положение с относително висока скорост при работа без товар (Фиг. 4.17).

При цилиндрите с едностранно действие с вградена пружина ходът на буталото е ограничен от дължината на пружината. Затова цилиндрите с едностранно действие се произвеждат с големина на хода на буталото до приблизително 80 mm.





Фиг. 4.17. Цилиндър с едностранно действие

Конструкцията и простият принцип на работа на цилиндрите с едностранно действие ги правят особено подходящи за използване в приложения и дейности, изискващи компактни късоходови цилиндри, като например:

- пренасяне;
- реализиране на разклонения;
- реализиране на съединения;
- разпределяне;
- затягане;
- изхвърляне.

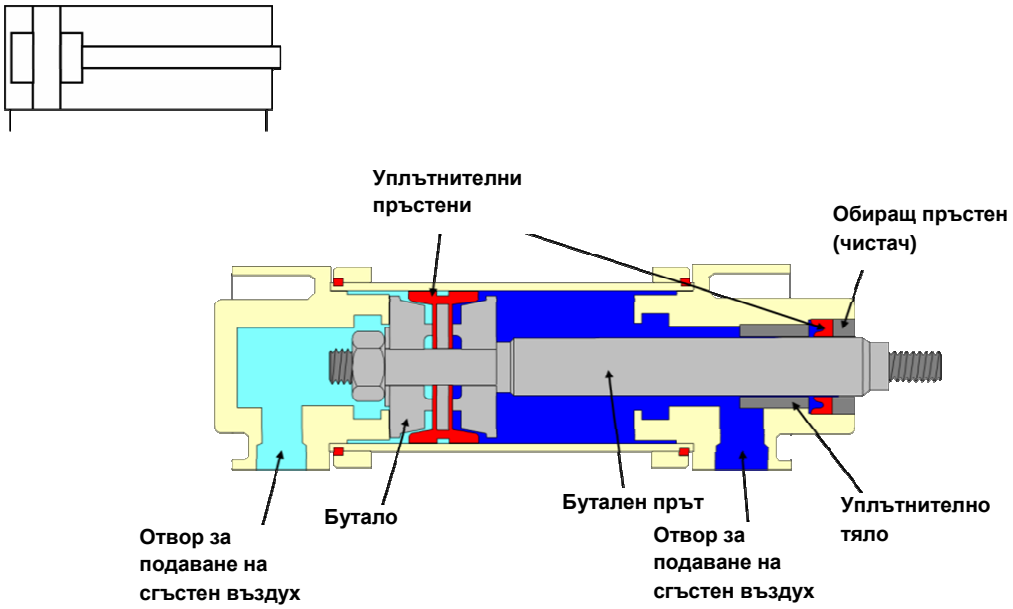
Цилиндърът с едностранно действие има един бутален уплътнителен пръстен, разположен от страната на входния въздушен поток. Уплътнението е от гъвкав материал, който е закрепен върху металното или пластмасово бутало. По време на движението краищата на уплътнението се хлъзгат по вътрешната повърхност на цилиндъра [8].

Съществуват различни конструкции цилиндри с едностранно действие, като:

- тласкащ тип с възвратна пружина;
- изтеглящ тип с възвратна пружина.

4.2.3. Цилиндри с двустранно действие

Конструкцията на цилиндрите с двустранно действие е подобна на тези с едностранно действие. При тях обаче няма възвратна пружина, а двата порта се използват алтернативно в ролята на захранващ (входящ) и изпускателен порт. Предимството на цилиндрите с двустранно действие е, че те могат да извършват работа и в двете посоки на движение. Така те са по универсални по отношение на възможностите за инсталация. Силата, предавана от буталния прът, е малко по-голяма при предния ход, отколкото при възвратния ход, тъй като ефективната площ на буталото е с по-малки размери откъм страната на буталния прът заради площта, заемана от напречното сечение на пръта (Фиг. 4.18).

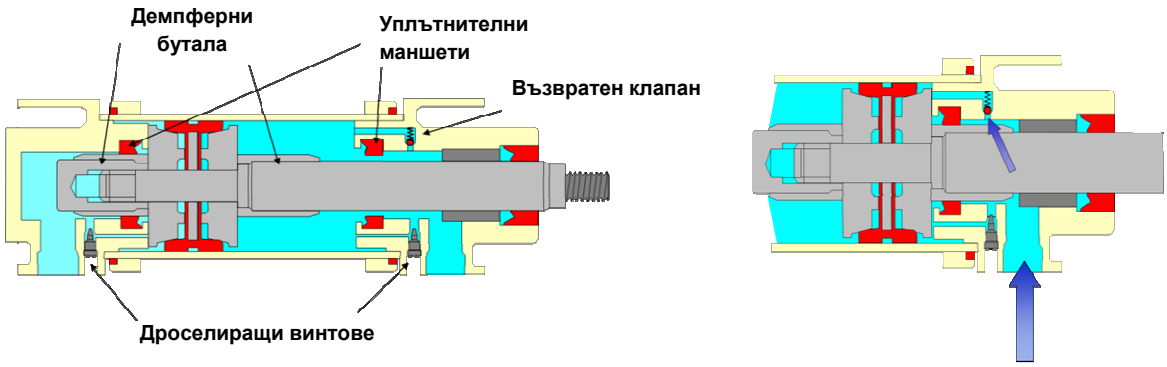


Фиг. 4.18. Цилиндър с двустранно действие

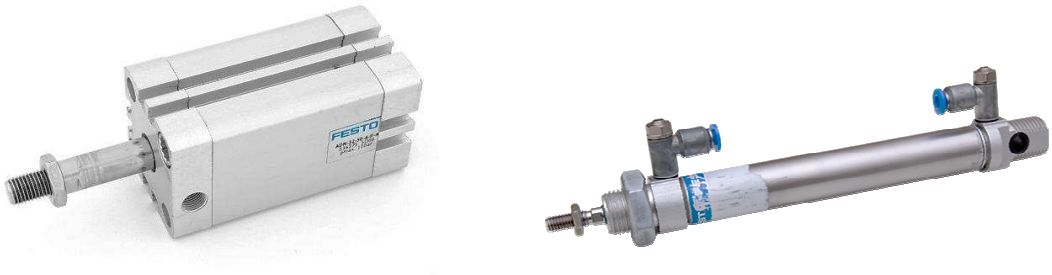
4.2.4. Цилиндър с демпфериране в крайните положения

При тези цилиндри в двете крайни позиции се използват демпфериращи устройства на принципа на амортисьорите. Ако цилиндърът движи големи маси, се използва демпфериране в крайните му позиции за предотвратяване на внезапни удари, които могат да го повредят. Сгъстеният въздух постъпва през входния порт и задвижва буталото. Преди достигането на крайната позиция, демпфериращото бутало прекъсва директния път на въздушния поток като затваря отвора. Останалият въздух може да излезе от цилиндъра през малък

допълнителен и обикновено регилируем отвор. Така наляганeто на останалия въздух се увеличава и упражнява спирачно действие върху буталото. Ако допълнителният отвор е твърде малък, буталото може да не достигне до крайната си позиция. Аналогично е решено демпфирането и от другата страна на буталото (Фиг. 4.19 и Фиг. 4.20).



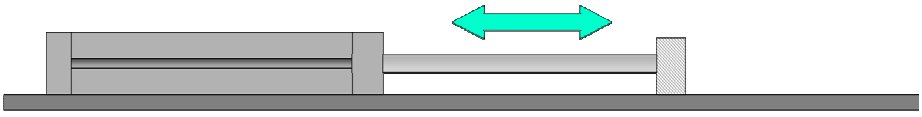
Фиг. 4.19. Цилиндър с двойно действие с настройваемо демпфериране в крайните позиции



Фиг. 4.20. Цилиндър с демпфериране в крайните положения

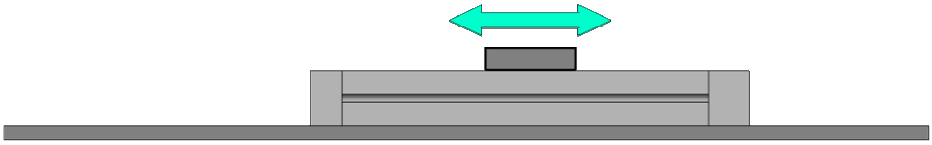
4.2.5. Цилиндри без бутален прът

Конвенционалните цилиндри с двойно действие изискват първо място за разполагане на самия цилиндър плюс място за извършване на работата (Фиг. 4.21)



Фиг. 4.21. Конвенционален цилиндър с двойно действие

По-ефективно използване на наличното пространство може да се постигне чрез използване на цилиндри без бутален прът (Фиг. 4.22)



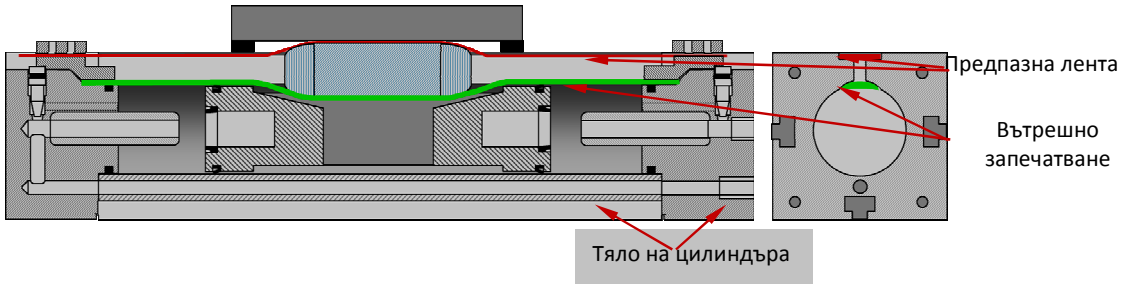
Фиг. 4.22. Цилиндър без бутален прът

При цилиндрите без бутален прът има три основни типа конструкции:

- слотови цилиндри с уплътняващи пояси;
- цилиндри с магнитно свързани плъзгачи;
- цилиндри с кабелна връзка.

В сравнение с конвенционалните цилиндри с двойно действие, цилиндрите без бутален прът са с по-малка дължина. При тях се елиминира риска от изкривяване на буталния прът, а движението може да се извършва по протежение на цялата дължина на хода. Такава конструкция може да се прилага при цилиндри с много големи дължини – до 10 m. При безпръстовите цилиндри товарите, устройствата и др., които трябва да бъдат преместени, могат да се разполагат върху специална монтажна повърхност, разположена върху носещо устройство (шейна) от външната страна на цилиндъра. При тези цилиндри силата е еднаква и в двете посоки на движение (Фиг. 4.23 и Фиг. 4.24) [8].

Безпръстов цилиндър	**С механична връзка**
Диаметри	от 16 mm до 80 mm
Дължина на хода	от 100 mm до 3000 mm
Сили	до 3,000 N при 6 Bar

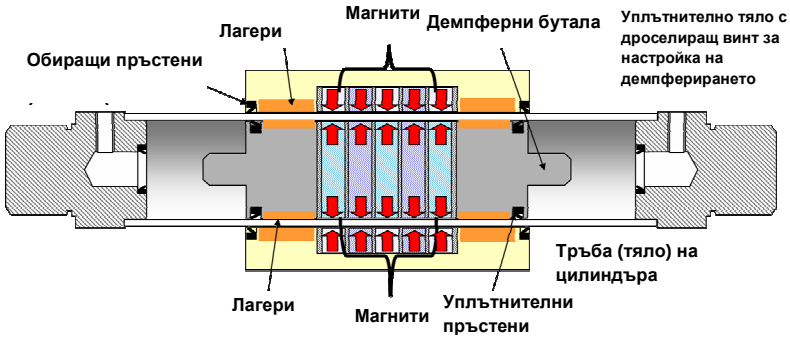


Фиг. 4.23. Безпръстов цилиндър

Фиг. 4.24. Безпръстов цилиндър

4.2.6. Цилиндри с магнитна връзка

Този тип двойно-действащи пневматични линейни изпълнителни устройства (безпръстови цилиндри) се състои от тяло на цилиндъра, бутало и два плъзгача. Буталото в цилиндъра може да се движи свободно според пневматичното задействане, но няма положителна външна връзка. Буталото и плъзгачите са снабдени с комплект пръстеновидни постоянни магнити. Така се осъществява магнитна връзка между плъзгача и буталото. Когато буталото се задвижи от сгъстения въздух, плъзгачът започва да се движи синхронно с него. Тялото на цилиндъра е херметически изолирано от външния плъзгач, тъй като няма механична връзка между тях, следователно няма да има и загуби от пропускане на въздух (Фиг. 4.25 и Фиг. 4.26) [8].



Фиг. 4.25. Цилиндър с магнитна връзка

Безпръстов цилиндър С магнитна връзка

Диаметри	от 12 mm до 40 mm
Дължина на хода	от 10 mm до 4000 mm
Сили N	750 N при 6 Bar, Сила на разрушаване до 1050

Фиг. 4.26. Цилиндър с магнитна връзка

4.2.7. Поясни цилиндри

При тези цилиндри силата на буталото се предава към плъзгач чрез специален уплътняващ пояс. Излизайки извън камерата на цилиндъра, поясът минава през уплъняване. В краищата на цилиндъра поясът се обръща от направляващи ролки. Монтирани са и устройства за почистване (чистачи) за да не се замърсяват направляващите ролки от евентуални замърсяващи обекти, идващи по пояса.

4.2.8. Ротационни цилиндри

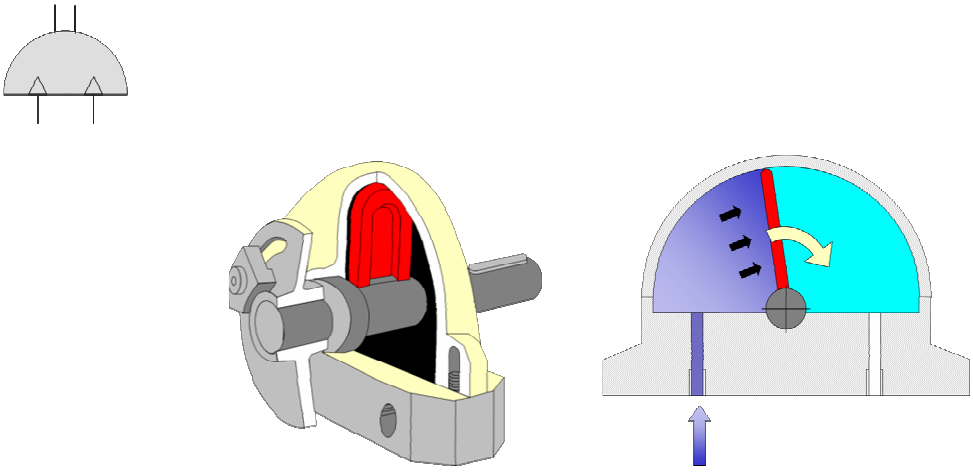
При този тип цилиндри с двойно действие буталният прът има зъбен профил. Прътът на буталото задвижва зъбно колело и така линейното движение на буталото се превръща във въртеливо движение. Обхватът на въртене варира от 45^o, 90^o, 180^o, 270^o до 360^o. Въртящият момент зависи от налягането, лицето на буталото и предавателното отношение. Възможно е постигането на стойности от около 150 Nm [8].

4.2.8.1. Ротационни цилиндри с лопатков механизъм

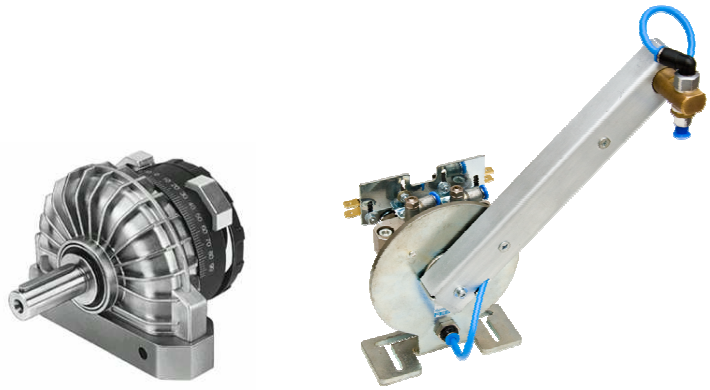
При ротационните изпълнителни устройства силата се предава към задвижващия вал посредством лопатка (Фиг. 4.27 и Фиг. 4.28).

Основните характеристики на пневматичните ротационни изпълнителни устройства са:

- малки размери и голяма здравина,
- възможност за безконтактна работа,
- настройваеми към различни ъгли,
- лесни за монтиране.



Фиг. 4.27. Лопатков механизъм



Фиг. 4.28. Лопатков механизъм

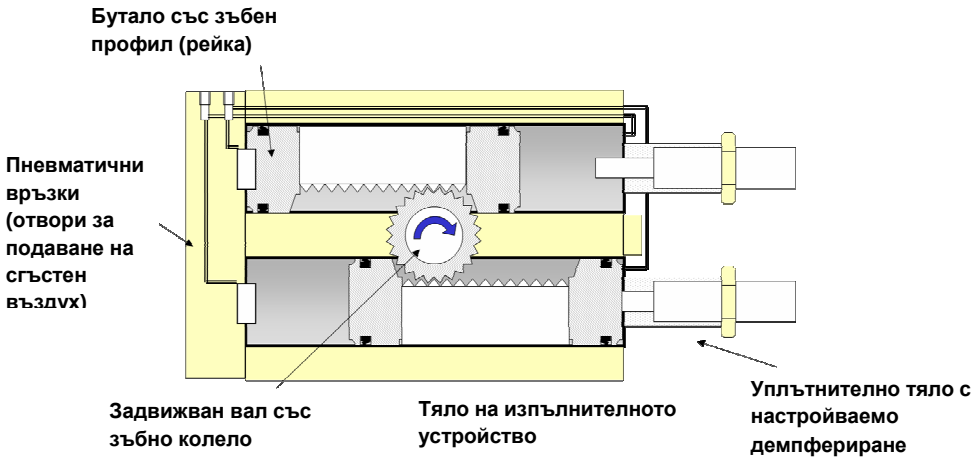
Еквивалентен диаметър на буталото от 16 mm до 40 mm

Ъгъл на завъртане от 0 до 180°, регулируем, при някои – до 270°

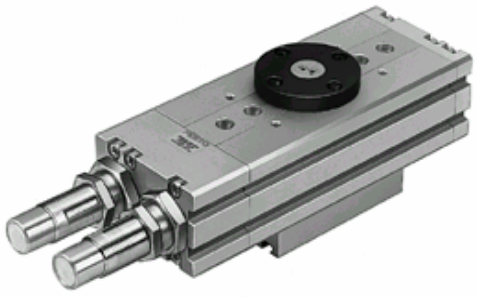
Въртящ момент до 20 Nm при 6 Bar

4.2.8.2. Ротационни цилиндри с рейка и пиньон

При този тип цилиндри с двойно действие има два цилиндъра с двойно действие, чиито бутални пръти са със зъбен профил. Те задвижват зъбно колело, като така линейното движение се трансформира във въртеливо движение (Фиг. 4.29 и Фиг. 4.30).



Фиг. 4.29. Конструкция с рейка и пиньон



Фиг. 4.30. Конструкция с рейка и пиньон

Диаметър на буталото	от 16 mm до 32 mm
Ъгъл на завъртане	от 0 до 360°, регулируем
Въртящ момент	до 12 Nm при 6 Bar

4.2.9. Работни характеристики на цилиндрите

Работните характеристики на цилиндрите могат да бъдат определени теоретично или с използване на данните от производителя. И двата метода са приемливи, но като цяло по-подходящ при конкретно приложение е подходът с данните от производителя.

Силата на буталото, упражнявана от цилиндъра, е зависима от налягането на въздуха, диаметъра на цилиндъра и съпротивлението от триенето на уплътняващите компоненти. Теоретичната сила на буталото се изчислява по формулата:

$$Fth = A \bullet p,$$

където *Fth* – теоретичната сила на буталото (N), *A* – полезна площ на буталото (m^2), *p* – работно налягане (Pa).

В практиката е важна ефективната сила на буталото. При нейното изчисляване се отчитат силите на триене. При нормални условия на работа (налягане в диапазона от 400 до 800 kPa / от 4 до 8 bar) може да се приеме средна сила на триене от около 10 % от теоретичната сила на буталото.

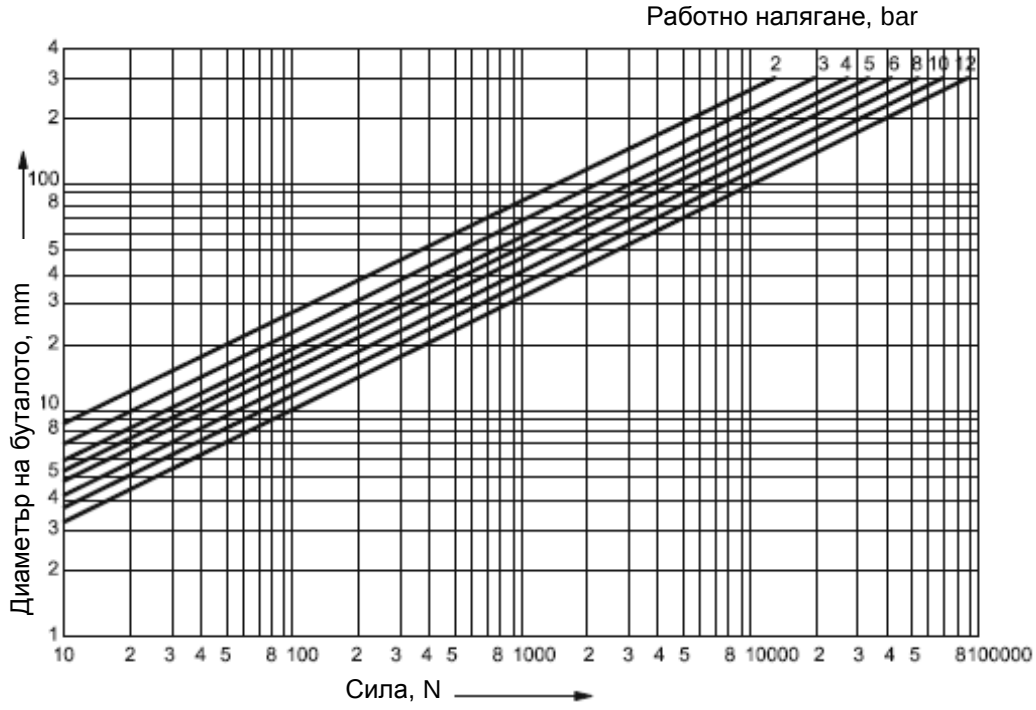
Цилиндър с едностранно действие:

$$Feff = (A \bullet p) - (FR + FF)$$

Цилиндър с двустранно действие:

- Преден ход $Feff = (A \bullet p) – FR,$
- Възвратен ход $Feff = (A' \bullet p) – FR,$

където *Feff* - ефективна сила на буталото (N), *A* - полезна площ на буталото (m^2), *A'* - полезна кръгова площ (m^2), *p* - работно налягане (Pa), *FR* - сила на триене (приблизително 10 % от Fth) (N), *FF* - възвратна сила на пружината (N).



Фиг. 4.31. Зависимост на налягането от силата

4.3. *Въздушни двигатели*

Устройства, които преобразуват пневматична енергия в механично въртеливо движение с възможност за непрекъснато движение, се наричат пневматични двигатели. Пневматичният двигател с неограничен ъгъл на завъртане е едно от най-широко разпространените устройства, работещи със сгъстен въздух. Пневматичните двигатели могат да се класифицират според конструкцията си на:

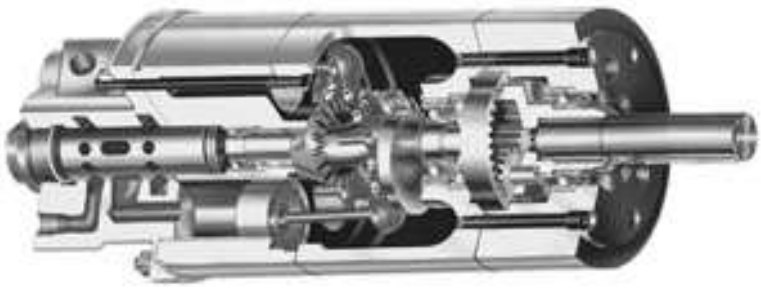
- бутални двигатели;
- лопаткови двигатели;
- двигатели със зъбна предавка;
- турбини (двигатели с голям поток).

4.3.1. Бутални двигатели

Двигателите от този тип могат да се разделят на радиални и аксиални бутални двигатели. Коляновият вал на радиалния бутален двигател се задвижва от въздух под налягане чрез бутала, извършващи възвратно-постъпателно движение, и свързващи бутални пръти. За гладка работа на двигателя са необходими няколко бутала. Мощността на двигателя зависи от налягането на входящия въздушен поток, от броя на буталата, площта им, хода им и тяхната скорост (Фиг. 4.32).

Принципът на работа на аксиалните бутални двигатели е подобен на този на радиалните. Те се състоят от пет аксиално разположени цилиндъра, чиято сила се преобразува във въртеливо движение посредством плъзгаща пластина (специална наклонена шайба). Компресираният въздух се подава едновременно към две бута-ла, като балансираният въртящ момент осигурява гладката работа на двигателя.

Тези пневматични двигатели се произвеждат с две възможни посоки на вър-тене – по часовниковата стрелка и обратно на часовниковата стрелка. Максимал-ната скорост е около 5000 об/мин, а мощността при нормално налягане варира от 1.5 до 19 kW (2 – 25 кс) [8].



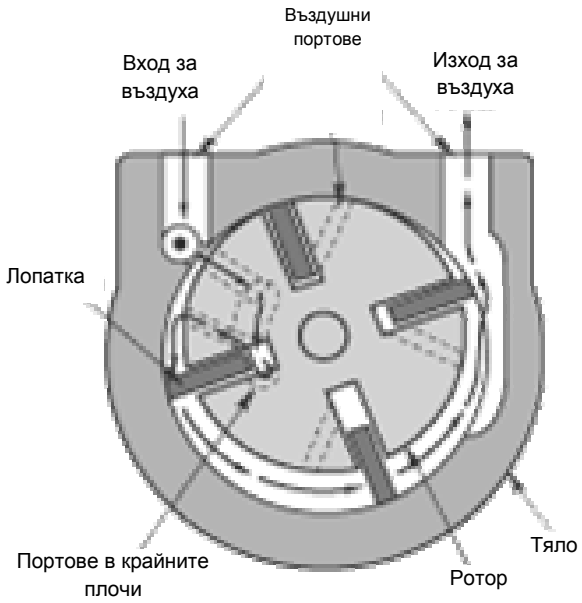
Фиг. 4.32. Аксиален бутален двигател

4.3.2. Лопаткови двигатели

Този тип двигатели са широко разпространени при ръчните инструменти заради простата си конструкция и ниското си тегло.

В основата на лопатковите двигатели е ексцентричен ротор, разположен в цилиндрична камера и лагеруван към нея. По ротора са разположени прорези. Лопатките се направляват в прорезите на ротора и се изтикват навън към вътреш-ната стена на цилиндъра от центробежната сила. При други типове на конструк-цията лопатките се задвижват чрез пружини. Това гарантира, че отделните камери

ще бъдат уплътнени. Скоростта на ротора е между 3000 и 8500 об/мин. И при тези двигатели има варианти с ротация по и срещу часовниковата стрелка. Мощността варива между 0.1 и 17 kW (0.14 – 24 кс) (Фиг. 4.33).



Фиг. 4.33. Лопатков двигател

Двигатели със зъбна предавка

При тази конструкция въртящият момент се генерира от прилагането на налягането на въздушния поток върху зъбните профили на две зацепени зъбни колела. Едното зъбно колело е захванато към вала на двигателя. Двигателите със зъбна предавка се произвеждат със зъбни колела с прави зъби и с шевронни зъбни колела. Редукторните двигатели се използват в приложения, изискващи висока мощност, тъй като мощността им е до 44 kW/60 кс). При тези двигатели посоката на въртене също може да се избира.

4.3.3. Турбини (поточни двигатели)

Турбинните двигатели могат да се използват в приложения, които изискват ниска мощност. Скоростта на въртене при тях е много висока. Например една

зъболекарска бормашина работи при 500 000 об/мин. Принципът на работа на турбините е обратен на този на поточните компресори.

Основните характеристики на пневматичните двигатели са:

- плавно регулиране на скоростта и въртящия момент;
- малки размери и тегло;
- защитени са от претоварване;
- не са чувствителни към прах, вода, топлина, студ;
- защитени са от експлозия;
- има възможност за избор на голям диапазон от скорости;
- изискват минимална поддръжка;
- има възможност за лесна промяна на посоката на въртене.

Въпроси за самопроверка

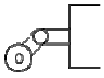
27. Какъв метод за управление на разпределител е показан на фигурата?

1. общ
2. с бутон
3. с ръчен лост върху плунжера
4. с педал

28. Какъв метод за управление на разпределител е показан на фигурата?

1. общ
2. с бутон
3. с ръчен лост върху плунжера
4. с педал

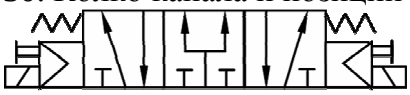
29. Какъв метод за управление на разпределител е показан на фигурата?



1. с възвратна пружина

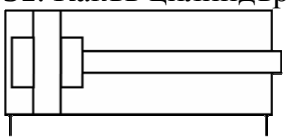
2. с центрираща пружина
3. с ролково управление
4. с ролково управление с еднопосочно действие

30. Колко канала и позиции има разпределителят, показан на фигурата?



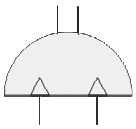
1. 5/3
2. 3/3
3. 3/5

31. Какъв цилиндър е показан на фигурата?



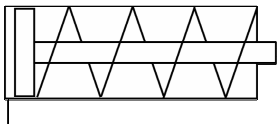
1. цилиндър с двустранно действие
2. цилиндър с едностранно действие
3. ротационен цилиндър

32. Какъв цилиндър е показан на фигурата?



1. цилиндър с двустранно действие
2. цилиндър с едностранно действие
3. ротационен цилиндър

33. Какъв цилиндър е показан на фигурата?

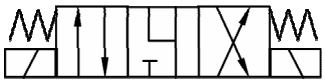


1. цилиндър с двустранно действие
2. цилиндър с едностранно действие
3. ротационен цилиндър

34. Колко порта и позиции има разпределителят, показан на фигурата?

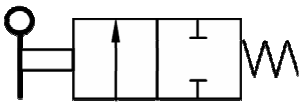
1. 2/2
2. 2/3
3. 3/2

35. Колко порта и позиции има разпределителят, показан на фигурата?



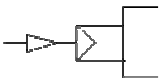
1. 4/4
2. 4/3
3. 4/5
4. 3/4

36. Колко порта и позиции има разпределителят, показан на фигурата?



1. 2/2
2. 4/2
3. 2/4
4. 4/4

37. Кой метод за управление на разпределител е показан на фигурата?



1. общ метод
2. с бутон
3. с ръчен лост върху плунжера
4. индиректно пневматично задействане
5. с педал

38. Кой метод за управление на разпределител е показан на фигурата?

1. общ метод
2. с бутон
3. с ръчен лост върху плунжера
4. с педал
5. електрическо управление

39. Кой метод за управление на разпределител е показан на фигурата?

1. общ метод
2. комбиниран метод
3. с бутон
4. с ръчен лост върху плунжера
5. с педал

40. Какви са предимствата на пневматичните двигатели?

1. плавно регулиране на честотата на въртене и на въртящия момент
2. малки рамери
3. защитени са от претоварване
4. ниска цена
5. в двигателя се използва течност

Хидравлични изпълнителни устройства и клапани

5.1. Хидравлични изпълнителни устройства

В хидравличните системи енергията се пренася между хидравличната помпа и устройството, консуматор на хидравлична енергия, посредством подходящи хидравлични линии. За да могат да се постигнат изискванията от съответното приложение стойности на силата, въртящия момент, скоростта или оборотите на въртене, както и да се поддържат препоръчителните работни условия на системата, е необходимо монтирането на клапани в хидравличните линии, които да служат за управление на енергийния поток. Тези клапани управляват налягането и дебита в хидравличните линии. В допълнение, всеки клапан представлява съпротивление по линията.

Таблица 5.1. Номинални параметри на хидравличните изпълнителни устройства

Номинални параметри	**Номиналните параметри на клапаните се определят от следните характеристични стойности**
Номинален размер NW	Номинален диаметър в mm 4; 6; 10; 16; 20; 22; 25; 30; 32; 40; 50; 52; 63; 82; 100; 102
Номинално налягане NP: (работно налягане)	Налягане в bar, при което хидравличните устройства и системи са проектирани да работят при дефинирани работни условия; Степените на налягането са дефинирани от стандарта VDMA 24312: 25; 40; 63; 100; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630
Номинален поток QTnT	Количеството хидравлична течност (l/min), което преминава през клапана при загуба на налягане Δp = 1 bar (вискозитет на течността 35 mmT 2T/s при 40 °C)
Максимален поток QTmaxT	Максималното количество хидравлична течност (l/min), което може да премине през клапана при относително голяма загуба на налягане

Диапазон на вискозитета	например 20 – 230 mmT 2T/s (cSt);
Температурен диапазон на хидравличната течност	например 10 – 80 °C;

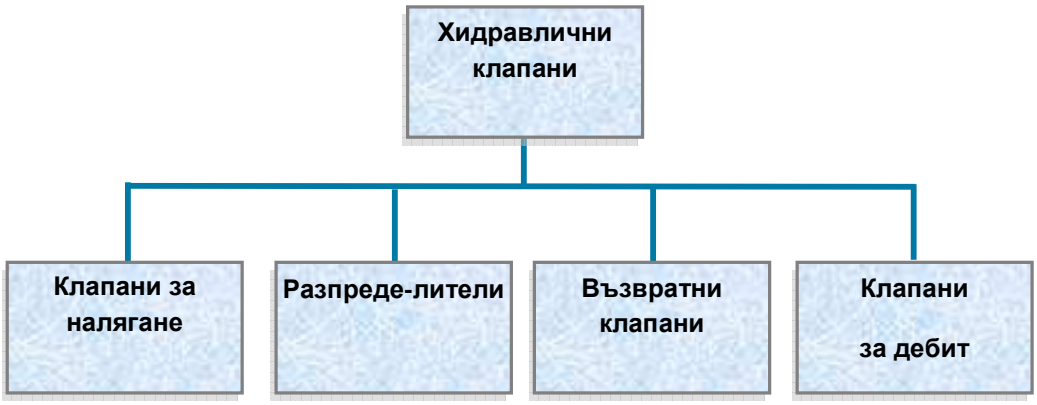
5.1.1. Изпълнителна сила

При някои видове тарелкови клапани изпълнителната сила, която зависи от налягането и от площта, може да бъде много голяма. За избягване на това в клапаните трябва да има компенсация на налягането. В повечето случаи обаче не могат да се конструират тарелкови клапани с компенсация на налягането. По тази причина се изискват големи сили на превключване за задействане на клапана, които могат да бъдат постигнати с лостова предавка или пилотно управление.

Управляващите части на клапана се обливат с хидравлична течност, като по този начин се отмиват евентуални замърсяващи частици (самоочистващ ефект). Затова тарелковите клапани са относително нечувствителни към замърсяване. Ако обаче замърсяващи частици се отложат върху седлото на клапана, то клапанът ще се затваря само частично, което ще доведе до кавитации. Клапаните могат да бъдат класифицирани по различни признаци:

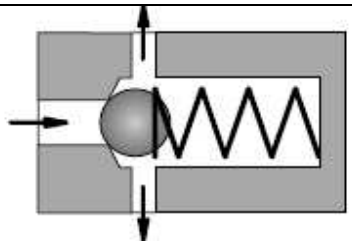
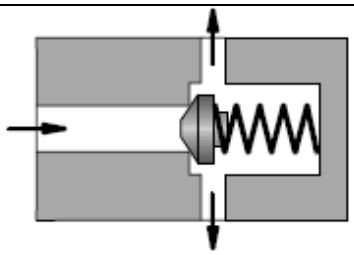
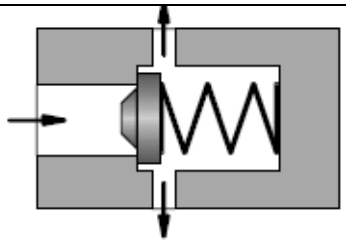
- функция;
- конструкция;
- метод на задействане.

В зависимост от задачите, които клапаните изпълняват в хидравличните системи, те могат да се класифицират на:



Фиг. 5.1. Видове хидравлични клапани

Тарелковите клапани и цилиндричните шибъри (бутални клапани) се различават по принципа на конструцията си. Препокриването и геометрията на управляващите повърхности също са от значение за характеристиките на превключване на клапана. В тарелковите клапани сачма (сфера), конус или по-рядко диск се притиска към седлото като затварящ елемент. Клапаните с тази конструкция се използват за спиране на хидравличната течност от линията, когато са в затворено положение [9].

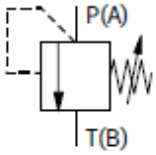
Тип клапан	Напречно сечение	Предимства и недостатъци/употреба
Сачмени тарелкови клапани		лесни за изработка; има тенденция сачмата да вибрира при преминаване на потока и да произвежда шум; възвратни клапани
Конусни тарелкови клапани		изисква се значителна точност при изработката на конусите; добри уплътняващи свойства; направляващи управляващи клапани (разпределители)
Дискови тарелкови клапани		имат малък ход; спирателни вентили (клапани)

Нагнетателните клапани (клапаните за налягане) имат за задача да управляват и регулират налягането в една хидравлична система или в части от системата.

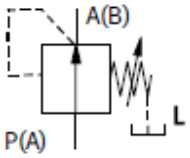
Регулаторите на налягане намаляват изходното налягане, когато е налице променящо се по-високо входно налягане. Налягането се измерва на изхода на клапана.

Символите, използвани за означаване на различните клапани за налягане са:

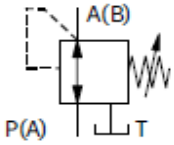
Предпазен клапан



Двустепенен регулатор на налягане



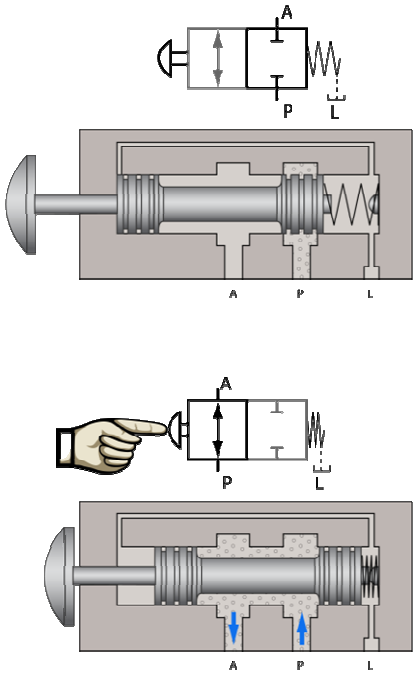
Тристепенен регулатор на налягане



Предпазните клапани регулират и ограничават налягането в системата. Налягането се измерва на входа P на клапана. Тези клапани се конструират във формата на тарелкови клапани или разпределителни шибъри. В нормалната позиция пружина притиска уплътняващият елемент към входния порт или плъзгач (шибър) се притиска към отвора на резервоар.

Регулаторите на налягане намаляват входното налягане до определена стойност, която се подава на изхода им. Налягането се измерва на изхода на клапана. Тези клапани се използват само за да подобрят функционирането на системи, в които се изисква поддържането на различни налягания.

Разпределителите са компоненти, които променят, отварят или затварят пътищата на потока в хидравличните системи. Те се използват за управляване на посоката на движение на различни управляващи механизми и на начина, по който те спират. На Фиг.5.2 са показани разпределители, като са използвани означенията, дефинирани от стандарта ISO 1219.



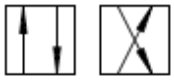
Фиг. 5.2. 2/2 разпределител

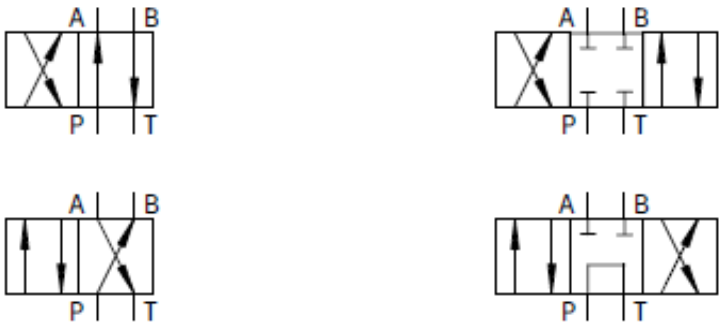
5.1.2. Символи, използвани за обозначаване на разпределители

При представянето на разпределителите със символи са приети следните правила:

- Всяка отделна позиция на превключване се визуализира с квадрат.
- Посоките на потока се означават със стрелки.
- Блокираните портове (затворените канали) се означават с хоризонтални линии.
- Портовете са показани със стрелки, които показват и посоката на движение на потока.
- Дренажните портове се означават с начупена линия и означават с „L”, за да се разграничават от управляващите портове (например на Фиг. 5.6).

Таблица 5.2. Символи, използвани при означаване на разпределители

Всяка отделна позиция на превключване се визуализира с квадрат	
Пътят на потока се означава със стрелка в квадрата	
Затворен канал	
Два отделни потока	
Два от портовете са свързани, два са затворени	
Три от портовете са свързани, един е затворен	
Всички портове са свързани	



Фиг. 5.3. Примери за различни позиции на превключване

Съществуват два типа разпределители: разпределители с непрекъсната работа и бинарни разпределители (при тях има две възможни позиции на изходните портове – 1 – портът е отворен, и 0 – портът е затворен).

Разпределителите с непрекъсната работа могат да имат произволен брой междинни положения на превключване, тоест променлив дроселен ефект.

Разпределителите с цифрово действие (бинарните разпределители) могат да приемат само по две стойности, съответно при тях портът или е напълно затворен, или е напълно отворен (Фиг. 5.4) [9].

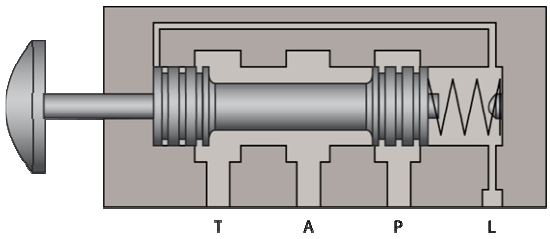
Фиг. 5.4. Видове разпределители с цифрово действие според броя на портовете

5.1.3. Разпределител 3/2

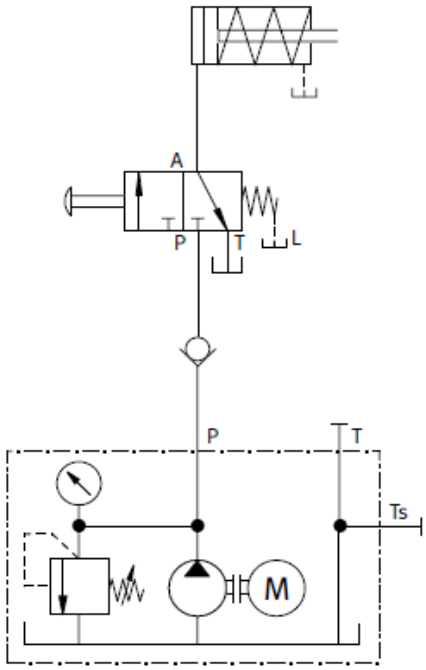
Разпределителят 3/2 има работен порт (A), порт за налягане (P) и порт за връзка към резервоар (T). Разпределителят управлява потока чрез следните позиции на превключване:

- Нормална позиция: P е затворен, пътят от A до T е отворен;
- Задействана позиция: изходът T е затворен, потокът се движи от P към A

3/2 разпределителят може да бъде нормално отворен, т.е. може да има поток от P към A.



Фиг. 5.5. Разпределител 3/2



Фиг. 5.6. Активиране на цилиндър с едностранно действие посредством 3/2 разпределител

5.2. Хидравлични цилиндри

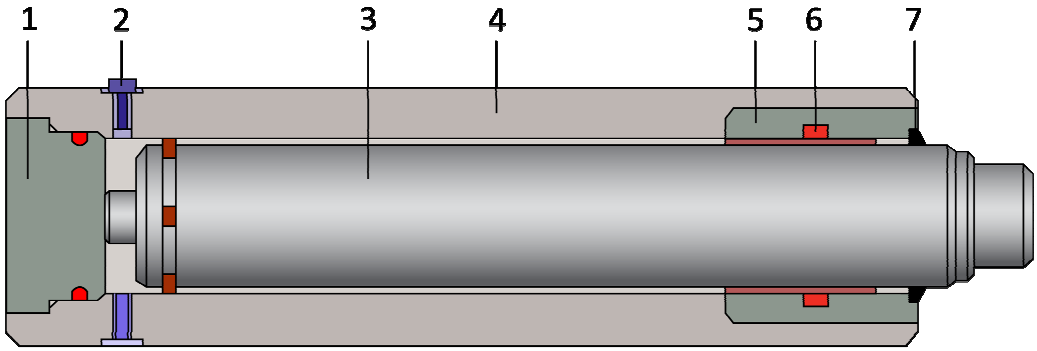
Хидравличният цилиндър преобразува хидравличната енергия в механична енергия. Той генерира линейни (постъпателни) движения. По тази причина хидравличните цилиндри са известни още като „линейни двигатели".

Има два основни типа хидравлични цилиндри:

- цилиндри с едностранно действие;
- цилиндри с двустранно действие.

По-долу са показани надлъжни сечения на двата типа хидравлични цилиндри.

5.2.1. Цилиндри с едностранно действие



Фиг. 5.7. Цилиндър с едностранно действие

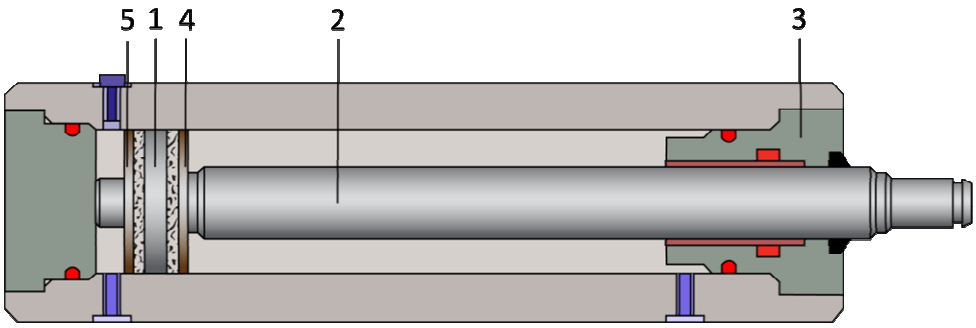
1-закрепващ винт, 2-винт за обезвъздушаване, 3-прът на буталото, 4-тяло на цилиндъра, 5 лагер на пръта на буталото, 6-уплътнение на пръта на буталото, 7-маслообиращ пръстен (чистач).

При цилиндрите с едностранно действие (Фиг. 5.7) само откъм страната на буталото постъпва хидравлична течност. Следователно цилиндърът може да извършва работа само в едната посока. Тези цилиндри работят на основата на следния принцип:

Хидравличната течност се влива в областта на буталото. Поради възникването на противодействаща сила (тегло/товар) в буталото се нагнетява налягане. След преодоляване на противодействието, буталото се задвижва към предна крайна позиция.

По време на обратния ход областта на буталото се свързва към резервоара чрез линията и разпределителя, докато линията за налягане е затворена от разпределителя. Обратният ход се предизвиква или от собственото тегло на механизмите, или от пружина, или от външна сила. По време на този процес тези сили (товарните сили) преодоляват силите на триене в цилиндъра и в хидравличните линии и клапаните и изместват хидравличната течност във връщателната линия [9].

5.2.2. Цилиндри с двустранно действие



Фиг. 5.8. Цилиндър с двустранно действие

1-Бутало, 2-Бутален прът, 3-Лагер на буталния прът, 4-Уплътнения на буталото, 5-Бутало

При цилиндрите с двустранно действие (Фиг. 5.7) и от двете страни на буталото може да се подава налягане (позволяват обемният поток да упражнява последователно налягане върху едното и другото чело на буталото). Следователно тези цилиндри могат да извършват работа и в двете посоки. Цилиндрите с двустранно действие работят на основата на следния принцип:

Хидравличната течност се влива в областта на буталото и подлага на налягане челото на буталото. Вътрешното и външното съпротивление причиняват повишаване на налягането. Теоретичната сила на изтегляне на буталото е:

$$F = p * A,$$

където силата на изтегляне се получава при упражняване на налягане p върху челото на буталото с лице A.

Следователно съпротивлението може да се преодолее и прътът на буталото се изтегля. Това става възможно заради преобразуването на хидравличната енергия в механична енергия, която след това се използва от устройството-консуматор на енергия, към което е свързан хидравличният цилиндър [9].

5.2.3. Хидравлични двигатели

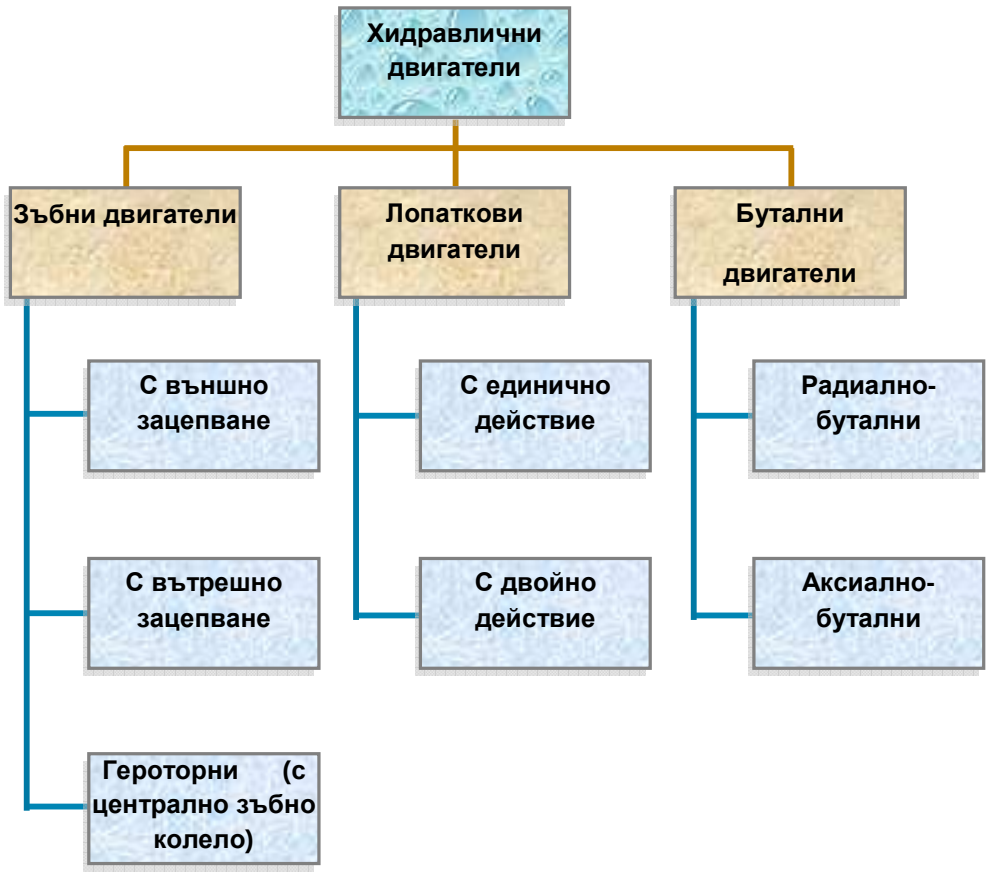
Хидравличните двигатели се използват като работни компоненти в различни системи. Те задвижват изпълнителните устройства в системата като преобразуват хидравличната енергия в механична енергия и генерират въртеливи движения (ротационни изпълнителни устройства). Ако ротационното движение покрива само ограничен диапазон от ъгли на завъртане, хидравличният двигател и

съответно изпълнителното устройство се наричат двигател (устройство) за ограничен ъгъл на въртене.

Най-общо хидравличните двигатели се конструират по същия начин като хидравличните помпи. Те се разделят на:

- Двигатели с постоянен работен обем;
- Двигатели с променлив работен обем.

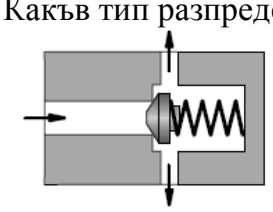
И двата типа хидравлични двигатели могат да бъдат с различни конструкции, показани на Фиг. 5.9.



Фиг. 5.9. Класификация на хидравличните двигатели според конструкцията им

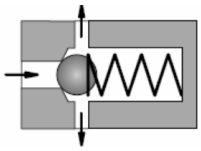
5.3. Въпроси за самопроверка

41. Какъв тип разпределител е показан на фигурата?



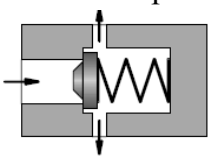
1. сачмен тарелков разпределител
2. конусен тарелков разпределител
3. дисков тарелков разпределител

42. Какъв тип разпределител е показан на фигурата?



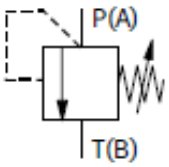
1. сферичен седлови клапан
2. конусовиден седлови клапан
3. дисков седлови клапан

43. Какъв тип разпределител е показан на фигурата?



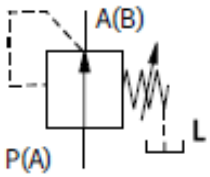
1. сферичен седлови клапан
2. конусовиден седлови клапан
3. дисков седлови клапан

44. Какъв клапан за налягане е показан на фигурата?



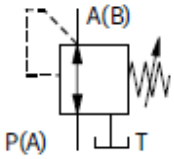
1. Предпазен клапан
2. Двустепенен регулатор на налягане
3. Тристепенен регулатор на налягане

45. Какъв клапан за налягане е показан на фигурата?



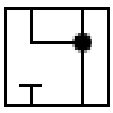
1. Предпазен клапан
2. Двустепенен регулатор на налягане
3. Тристепенен регулатор на налягане

46. Какъв клапан за налягане е показан на фигурата?



1. Предпазен клапан
2. Двустепенен регулатор на налягане
3. Тристепенен регулатор на налягане

47. Каква комбинация между портовете на един разпределител е показана със символа?



1. Три от портовете са свързани, а един е затворен.
2. Два от портовете са свързани, а два са затворени.
3. Всички портове са свързани.

Индустриални роботи

6.1. Същност на индустриалните роботи

В стандарта EN 775 индустриалният робот е дефиниран като автоматично управляема, програмируема многофункционална машина с няколко степени на свобода, която е инсталирана в автоматизирана производствена система. Накратко индустриалните роботи са машини със специално предназначение, които се използват при автоматизацията на производството [1].

Съвременните индустриални роботи се характеризират с:

- възможност да бъдат програмирани на различни програмни езици и в различни програмни среди,
- възможност за определяне на позиция на координатна система, следване на зададена траектория на движение и повтаряне на движенията с висока точност,
- способност на индустриалните контролери да управляват входове и изходи, да обработват информация, да комуникират с потребителя, както и с други контролери посредством полеви шини, да координират движенията на роботите с други устройства, както и да бъдат свързвани в локални мрежи.

Основните характеристики на съвременните индустриални роботи са показани в Табл. 6.1.

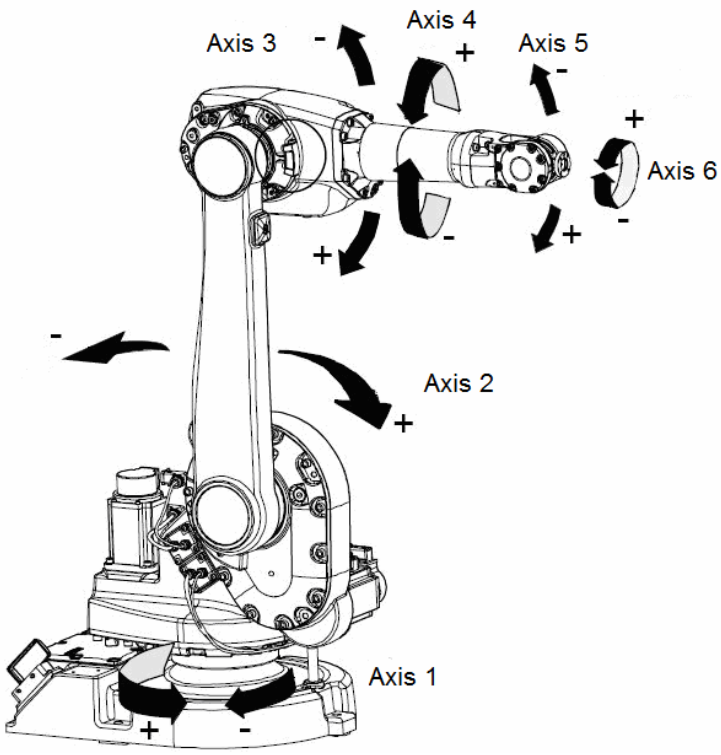
Таблица 6.1. Основни характеристики на съвременните индустриални роботи

Характеристика	Стойности
Степени на свобода	3-7
Скорост [m/s]	≤ 20 (средно 1-5)
Точност на повторение [mm]	0,005...2
Товароносимост [kg]	1...1000
Разрешаваща способност [mm]	0.001...0.5
Ускорение [m/s^2]	≤ 10g (средно: 3-4g)
Средна продължителност на жизнения цикъл [години]	12

В днешно време роботиката се развива много бързо, обединявайки мехатрониката, електроинженерството и информационните технологии. Поради високото качество на работа роботизираните системи (роботите) все по-често се използват в производствените системи.

Един индустриален робот (Фиг.6.1) се състои от шарнири (звена), въртящи се части и съединителни връзки. Шарнирните съединения се активират от изпълнително устройство, което може да бъде електродвигател (стъпков двигател, безчетков постояннотоков двигател, синхронен двигател), пневматичен или хидравличен цилиндър и др. Всяко звено е снабдено със спирачка, обикновено електромагнитна. Спирачките се използват за спиране и задържане в неподвижно състояние на шарнирните съединения и се захранват от +24 V постоянно напрежение. Шарнирите (звената) могат да бъдат ротационни или линейни. Работната област на всяко от звената на индустриалния робот е ограничена или с механична спирачка, или софтуерно. Важно е при движение роботът да не пресича установените гранични позиции. За намаляване на нужния въртящ момент в звената се използват различни редукторни устройства. Използването на редуктори позволява да се работи с по-малки двигатели.

Индустриалните роботи също така са оборудвани с много сензори, които им позволяват да работят безопасно и прецизно. Индустриалният робот е способен да идентифицира колизия (сблъсък) с някой от заобикалящите го обекти, превишаване на скоростта, отклонение от правилната позиция, грешни програмни параметри и др. В допълнение към робота могат да се добавят много допълнителни защитни функции.

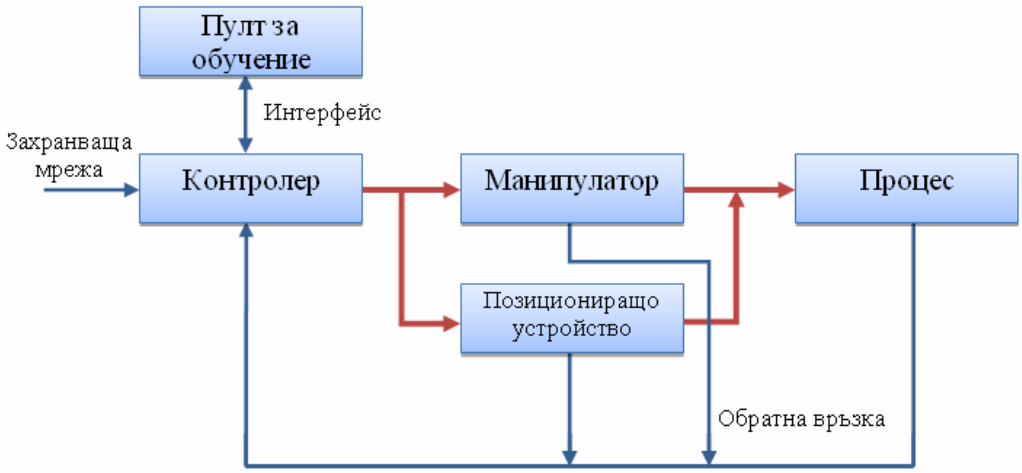


Фиг. 6.1. Манипулатор IRB 1600

6.2. Роботизирана система

Един робот не може да работи самостоятелно. За да може роботът да изпълни каквато и да е технологична операция са необходими и други машини и устройства. Детайлът, който ще се обработва, трябва да бъде подаден към робота, на робота трябва да се даде нужната информация за стартиране на работата и целият процес на работа на робота трябва да бъде подложен на мониторинг. Затова всяка производствена единица трябва да се разглежда като едно цяло, наречено роботизирана система. Роботизираната система е автоматично функциониращ производствен модул, който се състои от един или повече манипулатора, технологични машини и позициониращо устройство за фиксиране на детайла, който ще се обработва [10].

На Фиг. 6.2 е показана блокова схема на роботизирана система, като отделните блокове са обяснени подробно по-долу.



Фиг. 0.1. Блокова схема на роботизирана система

6.2.1. Контролер (управляващо устройство)

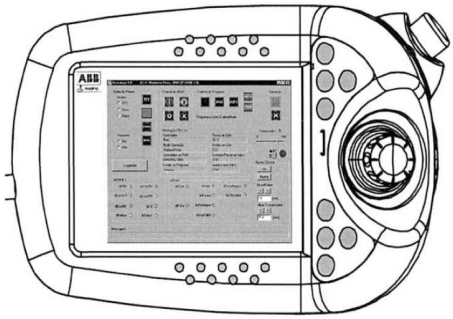
Управляващото устройство е част от роботизираната система, която управлява манипулатора и други устройства, събира и анализира информацията от преобразувателите на сигнали за състоянието на системата, а също така обменя данни между потребителите и други контролери посредством полева шина. Контролерът управлява едновременно манипулатора и позициониращото устройство според заложената програма и може да работи едновременно с други контролери.

На Фиг. 6.3 е показан контролер IRC 5 на фирмата ABB.

Фиг. 6.3. Контролер IRC 5 на фирмата AB B

6.2.2. Пулт за обучение

Пултът за обучение е ръчен пулт, чрез който може да се задейства манипулатора; който може да се използва за разучаване на целевите обекти (т.е. за обучение на робота); за програмиране; за тестване на програми и за конфигуриране. Комуникацията между потребителя и управляващото устройство (контролера) се извършва посредством пулта за обучение. Пултът за обучение не е подходящ за програмиране на по-сложни програми. В тези случаи вместо пулт за обучение трябва да се използва специална програмна среда (например *RobotStudio*). На Фиг. 6.4 е показан пример за пулт за обучение.



Фиг. 6.4. Пулт за обучение

6.2.3. Манипулатор

Манипулаторът е механизъм, състоящ се от няколко звена, двигателя и редуктора. Манипулаторът е изпълнителното устройство на роботизираната система, което използва различни механизми за решаване на задачата. Манипулаторът може да се завърти в различни посоки и да достигне до различни позиции в работното помещение. Колкото повече оси (степени на свобода) има роботът, толкова по-гъвкав е той. Всяка от осите се активира посредством

електрически двигател (или друго изпълнително устройство), който се управлява от контролер. Всеки двигател също така е оборудван с редуктор и преобразувател за обратна връзка, който е необходим за надеждното управление на манипулатора. Обработващият инструмент (наричан още крайно изпълнително устройство) се монтира в края на ръката на робота. На Фиг. 6.5 са показани различни манипулатори.

Фиг. 6.5. Примери за манипулатори

6.2.4. Позициониращо устройство

Позициониращото устройство (нарича се още позиционер или позиционен механизъм) е част от роботизираната система, която захваща и държи детайла, който ще се обработва, както и го позиционира в нужното положение, за да може манипулаторът да го обработи. Осите на позиционера могат да се разглеждат като допълнителни степени на свобода на цялата роботизирана система и могат да се управляват заедно с манипулатора от един контролер. На Фиг. 6.6 е показан позиционен механизъм IRBP 250 D на фирмата ABB.

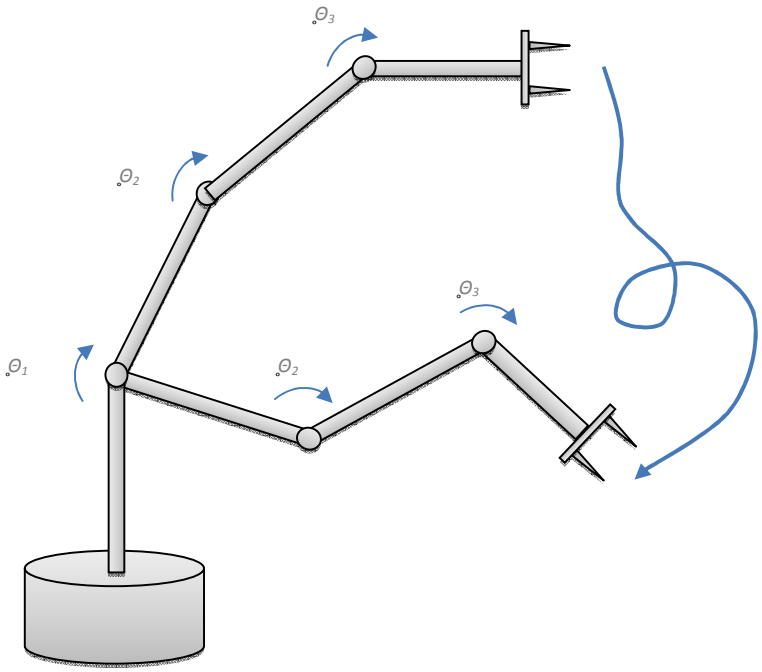
Фиг. 6.6. Позиционер IRBP 250 D на фирмата ABB

6.3. Управление на индустриалните роботи

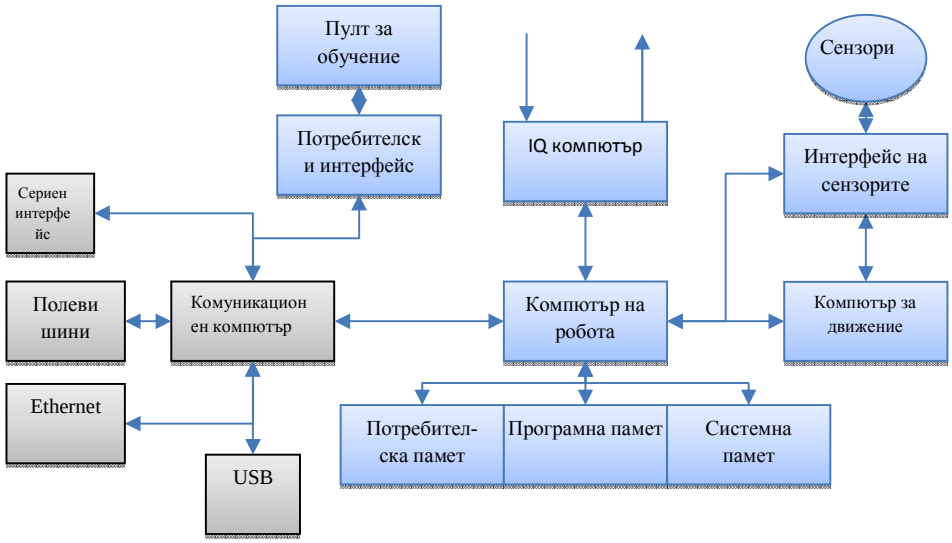
Управлението на един индустриален робот е много по-сложна задача от управлението на двигател или друг тип изпълнително устройство (цилиндър, транзистор и др.). Изискват се управляващи двигатели за управление на скоростта на въртене, на посоката и на въртящия момент. Управлението на цилиндрите се основава на превключване между включено и изключено състояние. Управлението на индустриалните роботи трябва да се реализира във вид на едновременно управление по много оси в триизмерното пространство, като се отчита и ориентацията на обработващия инструмент (крайното изпълнително устройство). Индустриалният робот движи обработващия инструмент така, че той да следва предварително програмирана траектория. За целта контролерът (управляващото устройство) първо трябва да изчисли траекторията, да изчисли характеристиката на всеки двигател и да следи целия процес (следене на траекторията). Ако информацията за действителната траектория, получена от сензорите в обратната връзка, се различава от зададената траектория, изпълнението на програмата спира.

Манипулаторът винаги се движи от една точка към друга. Движението между две точки може да бъде линейно или нелинейно. За да може манипулаторът да се придвижи между две точки, контролерът трябва да изчисли траекторията му. При изчисляването на траекторията се определят скоростта на въртене и посоката на въртене на всеки двигател, така че всички оси да достигнат до целта едновременно (тоест необходимото движение по всяка от осите трябва да бъде извършено за едно и също време от стартирането на движението до достигането до целта). На Фиг. 6.7 е показан пример за движение по траектория между две точки, в който един манипулатор с три оси се движи от началната до крайната точка по нерегулирана траектория.

За реализиране на гладко и точно следване на заложената траектория на движение, двигателите за всяка от осите се оборудват с преобразуватели (например резолвери или сензори за положение и др.), които дават информация на контролера за текущите позиция на вала на двигателя, скорост, ускорение и посока на въртене. На Фиг. 6.8 е показана блокова схема на контролер на индустриален робот.



Фиг. 6.7. Движение на манипулатор на робот между две точки

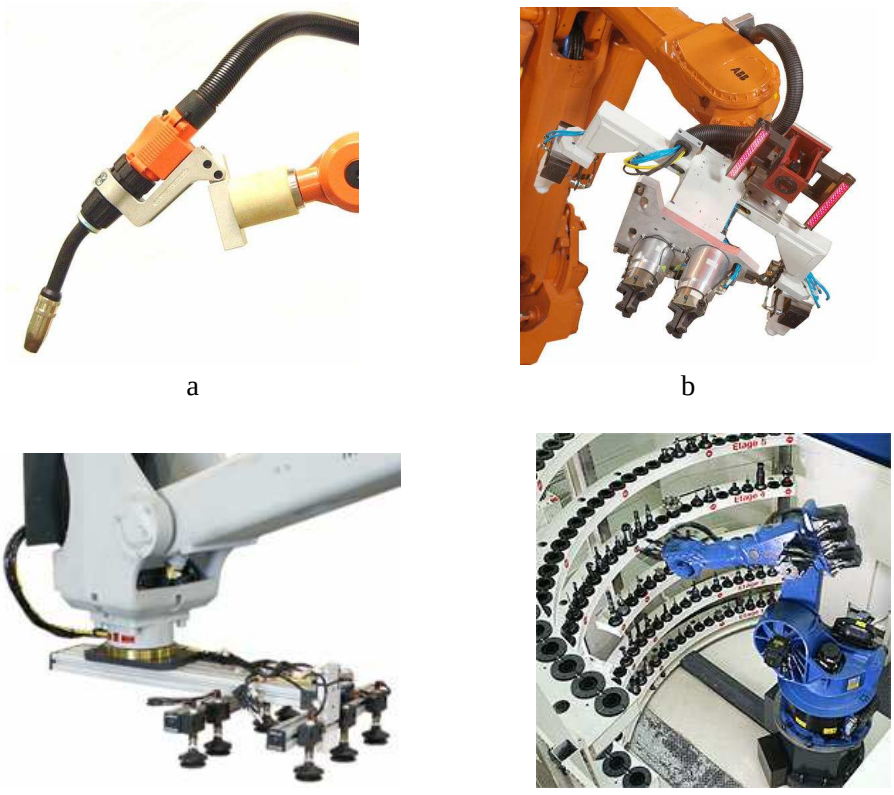


Фиг. 6.8. Блокова схема на контролер на индустриален робот

6.4. Крайни изпълнителни устройства

Индустриалните роботи винаги имат крайно изпълнително устройство (нарича се още обработващ инструмент), което се използва за изпълнението на определена задача. Например това може да бъде хващач, който се използва за вземане и позициониране на детайли, за държане на детайли или за захранване на други устройства с детайли. Друг тип крайно изпълнително устройство може да бъде уред за заваряване, който се използва в приложения, изискващи заваряване на детайли. Крайните изпълнителни устройства също се управляват с контролер (за тяхното управление може да се използва отделен контролер). Най-често срещаните обработващи инструменти са пневматични или електрически хващачи, заваръчни автомати, инструменти за пробиване, фрези и устройства за боядисване.

На Фиг. 6.9 са показани няколко крайни изпълнителни устройства.



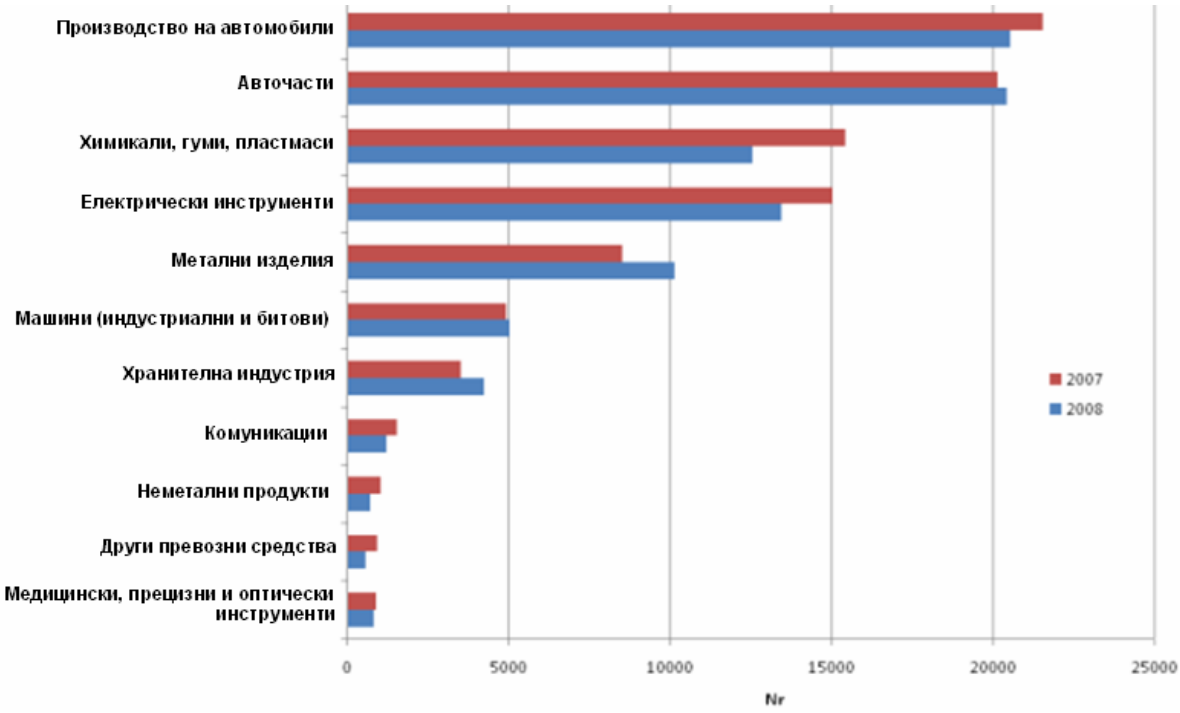
a b c d

Фиг. 6.9. Примери за крайни изпълнителни устройства: a – заваръчен автомат;
b – пневматичен хващач с камера; c – пневматичен хващач; d – фреза

6.5. Използване на индустриалните роботи в автоматизацията на производството

Най-голямото предизвикателство в съвременното производство е да се постигне високо качество при колкото е възможно по-ниска цена. Това означава, че всяка фирма, която работи с гъвкави производствени системи, няма да е конкурентноспособна без използването на индустриални роботи. Индустриалните роботи заменят хората в дейности, които са много трудоемки или опасни за хората, изискват висока точност или са твърде монотонни. Най-често това са дейности по дъгово и точково заваряване, боядисване, опаковане, леене под налягане, палетизиране, лепене и обработка на детайли.

Индустриалните роботи се използват главно за заваряване. В автомобилната индустрия широко се използват заваръчни роботи за заваряване на каросерията на автомобила. Процесът на заваряване е вреден за хората заради опасните газове, силната светлина и искрите. Разбира се тези фактори не могат да навредят на робота. Освен това индустриалният робот работи много по-бързо и по-прецизно от човека. На Фиг. 6.10 е показана употребата на индустриални роботи в различни области.



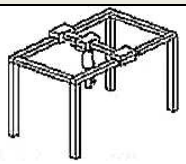
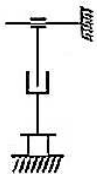
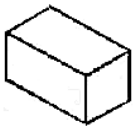
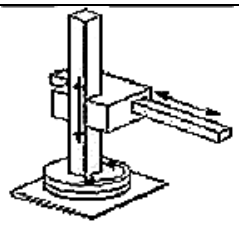
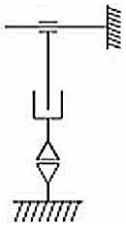
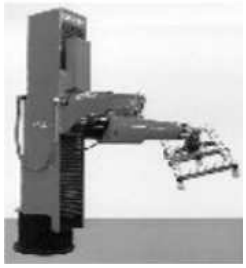
Фиг. 6.10. Употреба на индустриалните роботи в различни области

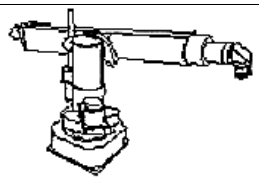
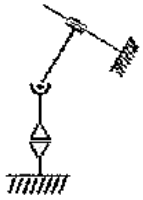
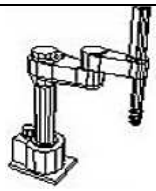
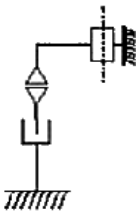
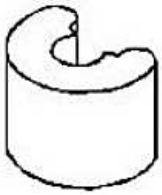
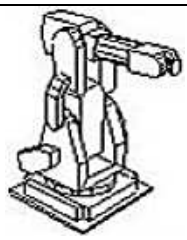
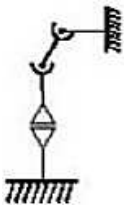
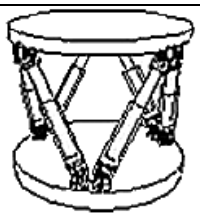
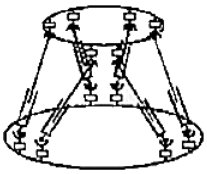
6.6. Класификация на индустриалните роботи

Различните приложения изискват специфични типове индустриални роботи, които се различават по своята конструкция, управление, мощност и по други технически характеристики. Например, ако един производствен процес изисква движение в три посоки, е уместно използването на индустриален робот с три степени на свобода. Ако за това приложение се използва робот с повече степени на свобода, това означава, че ресурсите на робота няма да бъдат използвани оптимално. Всяка степен на свобода означава прибавяне на ново звено към робота, което се състои от двигател, механична трансмисия, сензори за обратна връзка и кабели, което от своя страна увеличава както цената на робота, така и разходите по поддръжката му.

Индустриалните роботи могат да се класифицират по различни признаци като конструкция на манипулатора, тип на изпълнителните механизми на звената, принцип на управление и по вида на технологичния процес. В Табл. 6.2 е дадена класификация на индустриалните роботи според конструкцията на манипулатора.

Таблица 6.2. Класификация на индустриалните роботи
според конструкцията на манипулатора

Тип	Кинематична структура	Работен обхват	Пример
 Робот, работещ в правоъгълна координатна система			
 Цилиндричен робот			

 Сферичен робот			
 Робот от тип SCARA			
 Шарнирен робот			
 Паралелен робот			

6.7. Приложение на индустриалните роботи

В следващите точки ще бъдат описани накратко два технологични процеса, при които се използват индустриални роботи: шлифоване на алуминиеви джанти и металолеене под налягане.

6.7.1. Шлифоване на алуминиеви джанти

Производствената система се състои от индустриален робот, който хваща алуминиевата джанта от транспортната лента. След това, използвайки лазерна измервателна система, той я поставя във фиксирано положение, така че шлифовъчната машина да може да отдели остатъците (литъците), който са се образували при отливането на джантата. По време на шлифоването роботът завърта джантата в подходящата за шлифовъчната машина позиция. След като шлифоването приключи, роботът оставя джантата обратно на конвейера и взема следващата.

Предимствата на тази система са непрекъснат производствен процес и високо качество, постигано поради високата точност на робота.

6.7.2. Леене на метал под налягане

Леенето под налягане е един от най-опасните и вредни процеси за индустриалните роботи, тъй като се извършва в замърсена среда, в която температурата е висока и късчета разтопен метал под формата на искри попадат между движещите се части на звената на робота. В разглеждания пример роботът хваща детайл от въжен транспортьор с помощта на пневматичен хващач. Използвайки специална система от камери роботът след това прецизно позиционира детайла във вана с течен метал (например цинк), държи го в нея точно определено време и го изважда. След това го закача обратно на въжения транспортьор.

6.8. Въпроси за самопроверка

48. Кои са най-важните технически характеристики на индустриалните роботи?

1. точност на повторение
2. ускорение
3. брой на грешките

49. Какво устройство се използва за обучаване на робота за точките на позициониране?

1. контролер
2. персонален компютър
3. управляваща единица

50. Какво е резолвер?

1. сензор за обратна връзка от тип ротационен електрически трансформатор
2. сензор за измерване на ускорение
3. краен изключвател

51. Посочете кой от описаните типове роботи не съществува
    1. робот, работещ в правоъгълна координатна система
    2. SCARA робот
    3. шарнирен робот
    4. сферичен робот
    5. 2D робот

Терминологичен речник

Термин	Дефиниция
Асинхронен електродвигател	Асинхронният електродвигател е двигател за променлив ток, при който енергията от статора се предава към ротора чрез електромагнитна индукция.
Въздушен (пневматичен) двигател	Устройство, което преобразува пневматична енергия в механично въртеливо движение с възможност за извършване на постъпателно движение, се нарича пневматичен двигател.
Електрическо задвижване	Електрическото задвижване е управляема електромеханична система, състояща се от електрически двигател, преобразувател на мощност и механична трансмисия, която се използва за задвижване на механичен товар чрез електрическа енергия.
Изпълнително устройство	Изпълнително устройство се нарича управляемо механично устройство, предназначено за изпълнение на производствени операции. Изпълнителното устройство използва електрическа, хидравлична или пневматична енергия от външен източник, като я преобразува в енергия от тип механично движение (физическа работа).
Индустриален робот	Стандартът EN 775 дефинира индустриалният робот като автоматично управлявана, програмируема, мултифункционална машина с няколко степени на свобода, която се инсталира в автоматизирани производствени системи.

Терминологичен речник

Термин	**Дефиниция**
Контролер	Контролерът е част от системата, която управлява автоматично манипулатори на роботи и други устройства, събира и анализира информация от сензори за състоянието на системата и обменя данни между потребители и други контролери посредством полеви шини.
Крайно изпълнително устройство	Всеки индустриален робот е снабден с крайно изпълнително устройство, което се използва за изпълнението на определена задача. Например това може да е хващач, който се използва за вземане и преместване или държане на даден продукт.
Манипулатор	Манипулатор е механизъм, състоящ се от няколко звена, двигатели и предавки. Манипулаторът е изпълнителното устройство на една роботизирана система, което използва обработващ инструмент (нарича се още крайно изпълнително устройство) за изпълнение на конкретна задача.
Пневматичен клапан	Функцията на пневматичния клапан е да управлява налягането или дебита на пренасяния по пневматичните линии газ.
Пневматично изпълнително устройство	Пневматичното изпълнително устройство е изходно устройство за преобразуване на захранващата енергия (компресиран газ) в полезна механична работа.
Позиционер	Позиционерът е част от роботизирана система, която държи детайла и го позиционира на подходяща за манипулатора позиция.
Постояннотоков двигател	Постояннотоковият двигател е електрически двигател, който се задвижва от постоянен ток.

Терминологичен речник

Термин	**Дефиниция**
Променливотоков двигател	Електрически двигател, задвижван от променлив ток.
Сервозадвижване	Сервозадвижването е комбинация от серводвигател, сервоусилвател и система за автоматично управление. Точното управление на скоростта на въртене на серводвигателя се постига чрез обратна връзка за действителната скорост и позиция.
Соленоид	Соленоидът е намотка, навита във формата на права тръба със сърцевина от парамагнитен или феромагнитен материал.
Стъпков двигател	Стъпковият двигател е електрическа машина, която преобразува постояннотокови енергийни импулси в механична енергия на вала на двигателя.
Устройство за плавно пускане	Трансформатор за променлив ток, който се използва за плавно пускане на индукционни двигатели чрез временно намаляване на товара и въртящия момент на двигателя.
Хидравличен цилиндър	Хидравличният цилиндър преобразува хидравлична енергия в механична енергия.
Честотен преобразувател	Електронно устройство, предназначено за управление на скорост на въртене, въртящ момент, посока и други параметри на един променливотоков двигател посредством промяна на честотата и фазата на електрическото напрежение, подавано към двигателя.

Терминологичен речник

Термин	Дефиниция
Широчинно импулсна модулация	Широчинно импулсната модулация е управляваща техника, която се използва за генериране на променливо напрежение и честота чрез регулиране на процента на запълване (широчината на импулсите) на сигнали с постоянна амплитуда на напрежението и постоянна честота.

Литература

Терминологичен речник **Lehtla, T.** *Robotitehnika.* s.l. : Tallinn University of Technology, Department of Electrical Drives and Power Electronics, Tallinn. lk pp 104.

2. **Vodovozov, V, Vinnikov, D ja Jansikene, R.** *Elektriajamite elektroonsed süsteemid.* Tallinn : Tallinn University of Technology, Department of Electrical Drives and Power Electronics, 2008. lk pp 236.
3. **Lehtla, T.** *Elektriajamid.* Tallinn : . Tallinn University of Technology, Department of Electrical Drives and Power Electronics., 2007. lk pp 190.
4. **Kreith, F.** *Mechanical Engineerig Handbook.* s.l. : USA: CRC Press, 1999. lk pp 115.
5. **Naadel, R.** *Automaatjuhtimise Alused. Magistritöö.* [toim.] Elektriajamite ja jõuleketroonika instituut. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikoo, 2006. lk pp 140.
6. **Morriss, S. Brian.** *Automated Manufacturing Systems: Actuators, Controls, Sensors and Robotics.* McGraw-Hill : s.n., 1994.
7. **Bishop R, H.** *The Mechatronics Handbook.* s.l. : CRC Press, 2002. lk pp 1229.
8. **Vodovozov, V ja Jansikene, R.** *Electronic Engineering.* –.. Tallinn : Tallinn University ofTechnology, Department of Electrical Drives and Power Electronics., 2007. lk pp 148.
9. **Lahtmets, R.** *Elektrotehnika II, Vahelduvvool.* Tartu : Trükikoda Paar, 2002.
10. **Brosch, P, F.** *Frequenzumrichter. Prinzip, Aufbau, Einsatz.* Augsburg : Verlag Moderne Industrie, 2000. lk pp 83.
11. *Agrawal, K.C. Industrial Power Engineering and Applications Handbook.* Delhi : Butterworth-Heinemann, 2001. lk pp 973.
12. *Softstarter Handbook.* Västerås : ABB Automation Technology Products AB, 2004. lk pp 94.
13. **Lehtla, T.** *Jõuelektroonika ja Elektriajamid.* Tallinn : Tallinn University of Technology, Department of Electrical Drives and Power Electronics, 2003. lk pp 104.
14. **Lehtla, T.** *Sujuvkäivitid ja Sagedusmuundurid.* . 2003 : Tallinn University of Technology,Department of Electrical Drives and Power Electronics, Tallinn .
15. *Direct Torque Control.* Helsinki : ABB Industry Oy. lk pp 31.
16. **Garbrecht, F.W.** *Anwendungsbezogene Auswahl von Elektromotoren.* lk pp 239.
17. **Bird, J.** *Electrical Circuit Theory and Technology.* London : s.n., 2003. lk pp 984.
18. **Barnes, M.** *Variable Speed Drives and Power Electronics.* London : IDC Technologies, 2003. lk pp 286.
19. **Ashfal, C,R.** *Robots and Manufacturing Automation.* Canada : John Wiley & Sons Inc, 1992. lk pp 485.
20. **Norberto Pires, J., Loureiro, A. ja Bölmsjo, G.** *Welding Robots. Technology, System Issues and Applications.* London : Springer- Verlag, 2006. lk pp 180.
21. **Croser, P ja F., Ebel.** *Pneumatics Basic Level.* Denkendorf : Festo Didactic GmbH & Co, 2002.
22. **Merkel, D, Schrader, B ja Thomes, M.** *Hydraulics Basic Level.* Denkendorf : Festo Didactic GmbH & Co, 2003.

УЧЕБНА ПРОГРАМА

по ИЗПЪЛНИТЕЛНИ УСТРОЙСТВА В ИНДУСТРИАЛНАТА АВТОМАТИЗАЦИЯ
(за работещи в малки и средни предприятия)

А. Теоретично обучение

Номер	Тема	Часове за подготовка
1.	Въведение в индустриалната автоматизация. Същност на изпълнителните устройства. Класификация на изпълнителните устройства, използвани в автоматизацията на производството на продукти. Избор на механизмите на изпълнителното устройство.	2
2.	Електромеханични изпълнителни устройства. Електрическо задвижване. Преобразуване на електрическата в механична енергия. Електрически двигатели – принцип на работа, постояннотокови и променливотокови електродвигатели, електрически двигатели с импулсно управление. Загуби в електрическите двигатели, работни режими на електродвигателите, класове на защита.	2
3.	Асинхронни електродвигатели, конструкция и принцип на работа, таблични характеристики, начини на свързване на асинхронния електродвигател. Пускане и спиране на асинхронни двигатели.	2
4.	Електрическо задвижване с честотен преобразувател. Конструкция и принцип на работа на честотния	2

	преобразувател. Честотно управление. Широчинно-импулсна модулация. Директно управление на въртящия момент. Товар на двигателя и характеристики на товарите.	
5.	Функции на честотните преобразуватели. Пускане и спиране на електрическо задвижване. Компенсация на хлъзгането. Компенсация на вътрешното съпротивление. Компенсация на въртящия момент.	2
6.	Електрическо задвижване с устройство за плавно пускане. Свързване на устройство за плавно пускане към товар. Пускане на индукционен двигател с устройство за плавно пускане. Защитни функции на устройството за плавно пускане.	2
7.	Стъпкови двигатели. Конструкция и принцип на работа. Управление на стъпкови двигатели. Товар на стъпковите двигатели.	2
8.	Сервозадвижвания. Конструкция и принцип на работа. Двигатели на сервозадвижванията. Управление и обратна връзка при сервозадвижванията. Примери за приложения на сервозадвижванията.	2
9.	Електромагнитни изпълнителни устройства. Соленоиди. Класификация. Линейни еднопосочни и двупосочни соленоиди. Соленоиди с две устойчиви състояния. Ротационни соленоиди.	1
10.	Пневматични изпълнителни устройства и клапани. Пневматични клапани. Пневматични изпълнителни устройства. Въздушни двигатели.	1
11.	Хидравлични изпълнителни устройства и клапани. Хидравлични цилиндри.	1
12.	Индустриални роботи. Роботизирана система. Управление на индустриалните роботи. Крайни изпълнителни устройства. Класификация на индустриалните роботи. Приложение на индустриалните роботи.	1

Б. Упражнения

Номер	Тема	Часове за изпълнение
1.	Електромеханични изпълнителни устройства. Електрически двигатели – принцип на работа.	2
2.	Сервозадвижвания. Конструкция и принцип на работа. Двигатели на сервозадвижванията. Управление и обратна връзка при сервозадвижванията.	2
3.	Стъпкови двигатели. Конструкция и принцип на работа. Управление на стъпкови двигатели.	2
4.	Пневматични изпълнителни устройства и клапани. Пневматични клапани. Пневматични изпълнителни устройства.	2
5.	Хидравлични изпълнителни устройства и клапани. Хидравлични цилиндри.	2

Въведение

Съвременните индустриални технологии се развиват в посока, позволяваща производството на големи количества произвеждани продукти и продажбата им с голяма печалба. Тази еволюция се подпомага от индустриалната автоматизация. Програмируемите логически контролери (ПЛК) играят важна роля в индустриалната автоматизация. Те са елементите на системите за управление в автоматизираните производствени системи, които генерират управляващите сигнали за различни технологични процеси и машини на базата на написани програми за управление и входящи сигнали.

Основната цел на книгата „Приложение на програмируемите логически контролери в индустриалната автоматизация" е да даде базови знания на работещите в малки и средни предприятия в областта на програмируемите логически контролери, които се използват за управление автоматизирани (производствени) системи. Книгата е съставена от 12 глави.

В първа глава се дефинира целта на автоматизацията на индустриални приложения, показани са нивата на автоматизация и се дава определение за програмируем логически контролер. В глава 2 са описани хардуерните компоненти на ПЛК, основните съществуващи типове ПЛК и е показан принципът на работа на ПЛК на Siemens. В трета глава е направен преглед на програмните езици за ПЛК, структурата на програмите за ПЛК, типовете данни и адресирането на променливи. В глава 4 са разгледани основните принципи на булевата логика (наричана също битова логика) и съответните булеви логически функции. На тяхна база могат да бъдат написани прости управляващи програми за автоматизирани процеси и машини. В глава 5 са представени функции за трансфер на данни и за програмно управление на ПЛК. С тяхна помощ се изпълнява нелинейно редактиране на програмата или се изпълняват алтернативни програмни клонове (реализират се разклонения). В шеста глава се разглеждат допълнителни булеви логически функции. Те включват таймери, броячи, компаратори, функции за преместване и ротация. В седма глава са представени математически функции като събиране, изваждане, умножение, деление, натурален логаритъм, синус, аркустангенс, абсолютна стойност и др., както и функции за конвертиране на данни. В осма глава се разглеждат типовете пропорционално-интегрално-диференциални (ПИД) регулатори, техните управляващи части и поведение. Примерни приложения със съответните управляващи програми за ПЛК са дадени в глави 9, 10 и 11. Разгледаните примери са системи с един пневматичен цилиндър, система с два пневматични цилиндъра и приложение със честотен преобразувател. В последната глава са пояснени основните изискванията при избор на ПЛК и са разгледани мерките за безопасност при работа с ПЛК. Разгледани са въпроси, свързани с въвеждането в експлоатация на системите с ПЛК. Обикновено една програма за ПЛК никога не е изцяло завършена и е възможно в нея да се правят корекции и последващи адаптации към системата в зависимост от изискванията на клиента. За проверка на степента на усвояване на материала от читателите в края на повечето глави са дадени въпроси за самопроверка.

МОДУЛ 4: ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОГРАМИРУЕМИТЕ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕРИ В ИНДУСТРИАЛНАТА АВТОМАТИЗАЦИЯ

Въведение

Тази книга може да се използва в програми за обучение за повишаване на квалификацията и преквалификация на работещи в малки и средни предприятия, студенти, както и безработни. За да могат пълноценно да усвоят материала от книгата, читателите трябва да имат базови познания по математика, физика, сензори, изпълнителни устройства и програмиране. Книгата може да се използва от студенти и от специалисти при обучение в области, свързани с приложенията на програмируемите логически контролери в индустриалните управляващи системи.

Автоматизация на производствени устройства

1.1. Цел на автоматизацията на индустриални приложения

Думата „производство" е икономическият термин, който се използва за произвеждането на стоки и услуги за задоволяване на човешките нужди. Производството предполага създаване на стойност чрез прилагане на полезна умствена или физическа работа. Производствените процеси събрани заедно формират производствена система, на входа на която са суровините, а на изхода – продуктите за външния клиент. Производственото предприятие включва в себе си производствената система, както и всички други функционални области на планиране, проектиране, анализ и управление.

Преките разходи за производството на даден продукт обикновено формират около 40% от продажната му цена. При конкуренцията между отделните производители клиентът, който знае каква е стойността на продукта обикновено определя продажната цена. За да може производителят да има нормална печалба е необходимо да редуцира производствените си разходи в сравнение с конкурентите му. Това често може да се постигне чрез усъвършенстване и автоматизиране на технологичните процеси.

Автоматизирането се цели основно в рутинната работа, извършвана от човека. Увеличаването на продуктивността чрез автоматизация може да осигури на дадена компания значителна печалба, тъй като производителността може да се увеличи няколко пъти. Това позволява производството на повече продукти и съответно по-голям оборот. В резултат на това разходите от другите части на производствената система се разделят на по-голям брой произведени продукти – така производствената цена на отделния продукт пада. Следователно и продажната цена също може да се намали, което дава предимство пред конкурентите.

Трябва да се има предвид обаче, че автоматизацията на производството не означава само по-малко разходи за работна сила, но и повече разходи за закупуването и поддръжката на машините. Когато единственото, което тези машини правят, е да заменят хората, икономическите ограничения на автоматизацията са ясно видими – обикновено човешката работна ръка е по-евтина от автоматизацията. Следователно

автоматизацията трябва да включва нещо повече от простото заменяне на човешката работна сила.

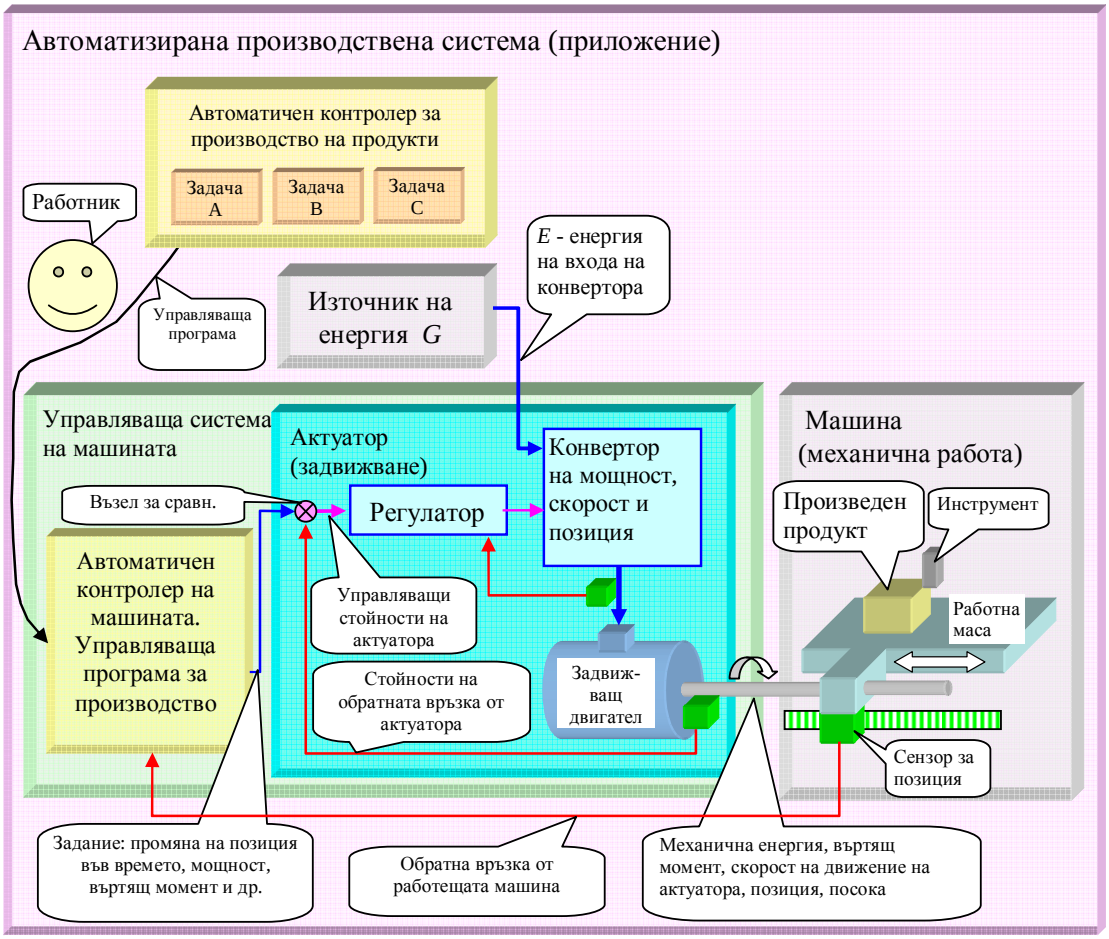
В заключение, главните цели на автоматизацията са:

- Автоматизираните производствени устройства трябва да увеличават производителността и качеството на продукцията,
- Автоматизацията позволява хората да бъдат освободени от извършване на рутинна физическа или застрашаваща здравето им работа, повишавайки качеството на техния живот,
- Автоматизацията позволява по-бързо производство на стоки и съответно по-голям оборот.

1.2. Автоматизация на производствени процеси

Автоматизацията на производствени процеси може да се дефинира като развитие на производствените устройства и производствените процеси чрез интегрирането им в едно цяло, където трансформирането и преноса на материали, енергия и данни се извършва без прякото участие на човека.

За да се опише конкретна система за автоматизация е необходимо да се опишат поне три части: управлението, реализирано от човек; управлението, реализирано от автоматизиращи устройства и същинското производство, извършвано от машините.



Фиг.1.1. Структурна схема на автоматизирана производствена система

Автоматично производство е производствен процес, при който човекът не участва – той се управлява от машини. При автоматизираното производство човекът все още участва в производственият процес, но вече не той извършва реалната работа, а наблюдава и оптимизира производствените процеси. Тези процеси са инициирани от човека. Механизация е заместване на физическата работа, извършвана от човек, от машина. Този процес е известен като първо ниво на автоматизация.

Един напълно автоматичен завод се състои от следните части:

• гъвкави производствени модули, където функциите и настройките могат да се препрограмират,

• транспортни системи, където маршрутът на произвеждания продукт може да се препрограмира,

• компютърно управлявани подсистеми: системи за управление на документи, системи за проектиране на продукта и системи за проектиране на производството – CAD (Computer Aided Design) и CAE (Computer Aided Engineering) системи.

В един напълно автоматичен завод производството трябва да се осъществява без участието на работници. За целта се използва CAM-система (Computer Aided Manufacturing – компютърно управлявано производство). Автоматизацията включва машини, които автоматично изпълняват нужните операции. С помощта на сензори и обратни връзки тези системи автоматично осъществяват нужните коригиращи настройки. От една страна потенциалното предимство на един напълно автоматизиран завод е огромно, но от друга страна са големите разходи за изграждането му и високата му сложност.

1.3. Нива на машинната автоматизация

През 1962, Амбър и Амбър представят книгата *Мярка за автоматизация*, която се базира на концепцията, че всяка работа изисква енергия и информация и определени функции трябва да бъдат осигурени от работниците или от машините [1]. Когато машина замества човешка функция, характеристика или атрибут се смята, че тя има определен „порядък” на автоматичност. Степените (нивата) на автоматизация са показани в табл. 1.1.

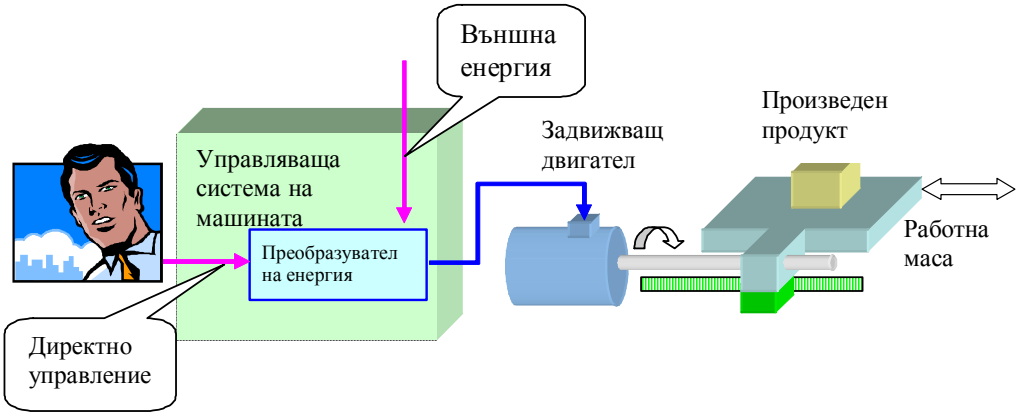
Таблица 1.1. Нива на автоматизация

	Замествана човешка характеристика	**Примери**
A(0)	Няма автоматизация: лост, отвертка, скрипец, клин	Ръчни инструменти, машина с ръчно управление
A(1)	Енергия: мускулна сила заменена от мощност	Електрически машини и инструменти
A(2)	Сръчност: самозахранване	Едноциклова автоматика
A(3)	Усърдие: няма обратна връзка, но автоматично се повтарят цикли	Повтарящи се цикли; отворени системи с цифрово управление, транспортни линии
A(4)	Преценка: позиционна обратна връзка	Затворени системи; цифрово управление, самоизмерване и настройване
A(5)	Оценяване: адаптивно управление; дедуктивен анализ; обратна връзка от процеса	Компютърно управление; изисква се модел на процеса за анализ и оптимизация

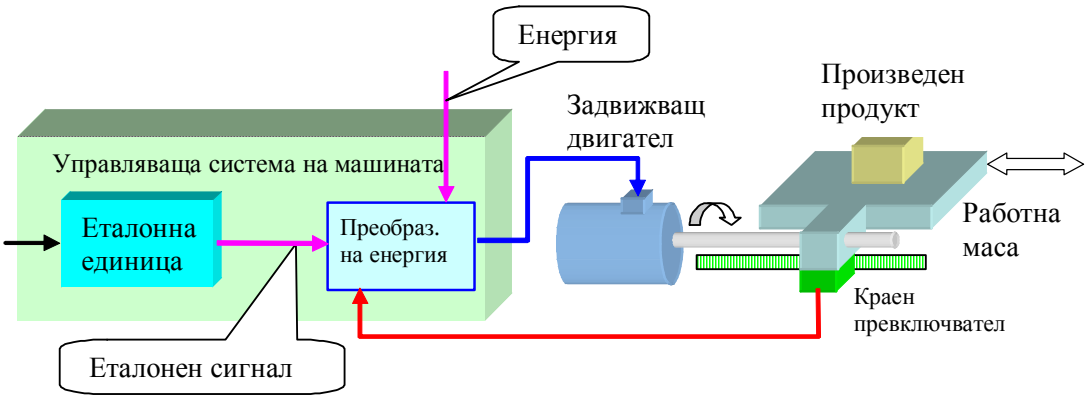
A(6)	Обучаване: на базата на опита	Ограничено самопрограмиране; частичен изкуствен интелект (ИИ), експертни системи
A(7)	Разсъждаване: проявяване на интуиция, свързване на причина и следствие	Индуктивно разсъждаване; повишен ИИ в управляващия софтуер
A(8)	Креативност: изпълнява проектиране без помощ	Оригиналност
A(9)	Господство, доминантност: супермашина, командва другите	Машината е господар

В тази таблица всяка степен или ниво на автоматизация е свързана с човешка характеристика, която е заменена или чрез механизация или чрез автоматизация от машината. Следователно на ниво на автоматизация A(0) никаква човешка характеристика не се механизира или автоматизира от машината. Това покрива периода между Каменната ера и Желязната ера.

Втората индустриална революция започва през 1775 година, когато Джон Уилкинсън конструира хоризонтална пробиваща машина за обработка на вътрешната повърхност на цилиндър. Това довежда до разработката на задвижвани машинни инструменти като машина за мелене, пробиваща преса, машина за заточване, машина за рязане. Първите фабрики се изграждат така, че задвижващата сила да може лесно да бъде приложена към съответните машини. Това представлява ниво на автоматизация A(1) (Фиг. 1.2) [2].



Фиг.1.2. Ниво на автоматизация A(1), при което производственият процес е механизиран (управление на машина от човек)

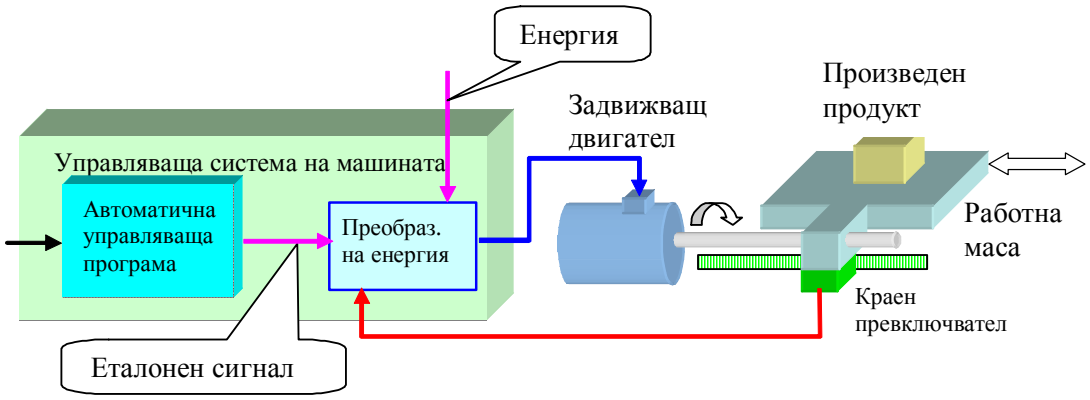


Фиг.1.3. Ниво на автоматизация А(2), при което човекът не участва директно в управлението на машината

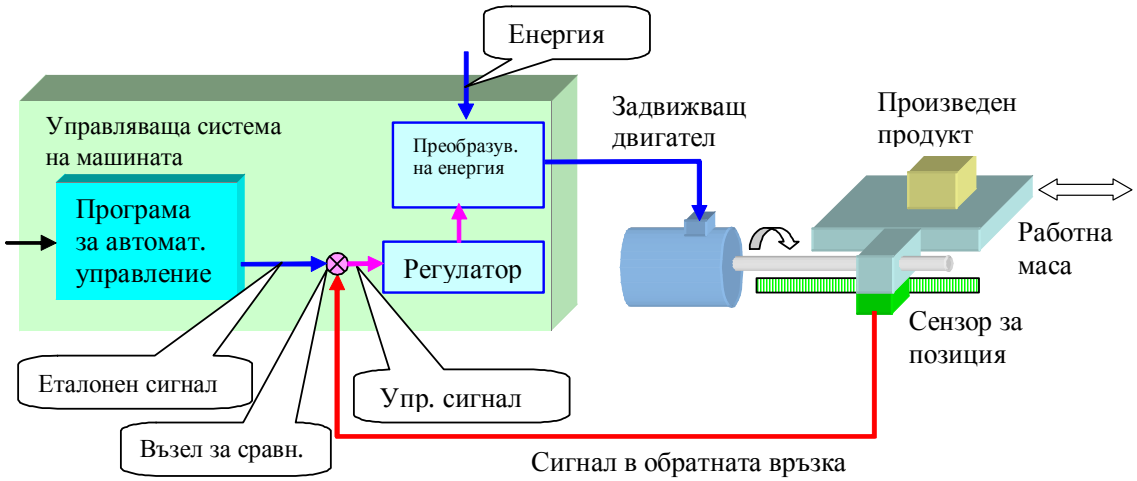
Когато машинните инструменти стават едноциклови, самозахранващи се машини (аналог на човешкото качество сръчност), говорим за ниво на автоматизация А(2) (Фиг. 1.3). Такава машина може да бъде заредена с една част от материала, след което работникът инициира работния цикъл. Машината довършва цикъла и спира автоматично.

Ниво на автоматизация А(3) изисква машината да повтаря работните цикли автоматично. Тези машини нямат обратна връзка и могат да бъдат или с твърда автоматизация, при която програмирането се състои от елементарни преходи, прекъсвания, електрически схеми, използващи релейна логика; или софтуерно автоматизирани, където управляващите инструкции могат лесно да се променят от софтуера, правейки системата много по-адаптируема (Фиг. 1.4). Автоматизацията в днешния й вид започва от ниво А(3) – автоматика от тип повтарящи се цикли.

Ниво на автоматизация А(4) изисква човешката преценка да бъде заменена от способността на машината да измерва и сравнява резултатите със желаните стойности (Фиг. 1.5). Това е управление с обратна връзка или управление по затворен цикъл.



Фиг.1.4. Ниво на автоматизация А(3), където единичен процес се управлява автоматично



Фиг.1.5. Ниво на автоматизация А(4) с управление по затворен цикъл

Следващото ниво – А(5), изисква машината да може да направи оценка на процеса. Тези машини са способни да адаптират самия процес, за да го оптимизират по време на работния цикъл. Това изисква в системата да има компютър, програмиран с математическите модели, които описват как всеки от параметрите влияе на процеса. Тези системи могат да бъдат наречени системи с адаптивно управление (САУ). Те имат следните основни елементи в управляващия си цикъл :

1. Идентификация: измервания от процеса, входния и изходния му сигнали чрез сензори
2. Анализ: оптимизация на процеса с помощта на компютър

3. Модификация: сигнал към контролера за промяна на входните сигнали
4. Наблюдение: непрекъснат контрол над процеса

При ниво на автоматизация A(6) имаме опит за търсене на причинно-следствена връзка. Такива системи обикновено се наричат експертни системи, при които софтуерът съдържа обобщеният опит на човешките експерти или на предишни реплики на същия процес. Това ниво маркира началото на изкуствения интелект. Много малко такива системи съществуват на ниво работещо предприятие.

Нивото A(7) отразява следващото ниво на изкуствен интелект (ИИ), където се използва индуктивно разсъждаване. Системният софтуер може да определи общия принцип (теорията) на базата на събрани определени факти (база данни).

Нива A(6) и A(7) са предмет на интензивни изследвания в световен мащаб, докато нива A(8) и A(9) принадлежат повече на книгите по научна фантастика.

1.4. Приложение на програмируемите логически контролери (ПЛК)

Най-важният компонент на една система за автоматично управление е ПЛК и неговата управляваща програма (потребителска програма). Днес програмируемите логически контролери формират важна част от всеки процес на автоматизация .

Всяка система или машина има контролер. В зависимост от типа на използваната технология контролерите могат да бъдат разделени на пневматични, хидравлични, електрически и електронни контролери. Често се използва комбинация от различни технологии. Освен това се прави допълнителна диференциация на твърдо-програмируеми (напр. свързване на електро-механични и електронни компоненти) и програмируеми логически контролери. Първите се използват основно при случаи, при които всяко препрограмиране от потребителя е изключено и мащабът на работата оправдава разработката на специален контролер.

Ако обаче размерът на работата не изисква разработката на специален контролер или ако потребителят трябва да може да прави прости или независими промени в програмата, се препоръчва използването на универсален контролер, при който програмата е записана в електронна памет. ПЛК е такъв универсален контролер. Под ПЛК се разбира електронно устройство, чрез което могат да се управляват всички функции на системата или машината, да се адресират или активират в логическа последователност. То може да се използва за различни приложения и осигурява потребителя с просто средство за промяна, разширяване и оптимизиране на управляващите процеси.

Първичната задача на ПЛК е свързването на входни сигнали според дадена програма и при наличие на логическа истина – превключването на съответния изход. Булевата алгебра формира математическите основи на тази операция, която разпознава с достатъчна точност две дефинирани състояния на една променлива: „0” и „1”. Съответно изходът може да приема само тези две състояния. Тази функция определя термина ПЛК: Програмируем логически контролер, т.е. входно/изходната динамика е подобна на тази при контролери от типа на електромагнитно реле или пневматичен превключващ клапан, а програмата се съхранява в електронна памет.

На практика задачите на ПЛК са доста по-големи: таймерни и броячни функции, запис и презапис на памети, математически изчислителни операции и др. са все функции, които могат да бъдат изпълнени от днешните ПЛК.

Затова стандартът IEC 61131 дефинира ПЛК като:

”Цифрова електронна система, проектирана за използване в индустриална среда, която използва програмируема памет за вътрешно съхраняване на потребителски-ориентирани инструкции за изпълняване на специфични функции като логика, редуване, синхронизиране, броене и аритметика, за управление с помощта на цифрови или аналогови входове и изходи на различни типове машини и процеси. Както ПЛК, така и съответните периферни устройства се проектират така, че да могат да бъдат лесно интегрирани в индустриални управляващи системи и да бъдат лесно използвани за всяка от целевите им функции” [3].

Изискванията към ПЛК продължават да нарастват по отношение на управлението, визуализацията и взаимната връзка между индивидуалните системи чрез технологиите на автоматизацията. Изграждат се мрежи от няколко ПЛК с помощта на специални комуникационни интерфейси.

В края на седемдесетте години двоичните входове и изходи са разширени с добавяне на аналогови входове и изходи, тъй като много от днешните технически приложения изискват аналогова обработка. В същото време аналоговите изходи позволяват сравняването на действителни и зададени стойности. Тази задача значително разширява понятието ПЛК.

Днес предлаганите на пазара ПЛК са адаптирани към изискванията на клиентите и са налични за почти всякакви приложения. Много ПЛК могат да бъдат усъвършенствани с помощта на допълнителни входно-изходни, аналогови и кому-

никационни модули. Има специални ПЛК за задачи, свързани с технологиите по безопасност, за корабното и минното дело. Освен това ПЛК са способни да обработват няколко програми едновременно, както и да бъдат свързвани с други автоматизационни устройства, като по този начин могат за изпълняват значително по-широк обхват задачи от областта на автоматиката.

1.5. Въпроси за самопроверка

1. Какъв е процентът на директни разходи за производството на даден продукт от продажната му цена?
   a. 25%
   b. 40%
   c. 80%
   d. 100%

2. Кое от следните твърдения не е вярно?
   a. Автоматизацията позволява по-бързото производство на стоки.
   b. Автоматизираните производствени устройства трябва да увеличават качеството на продукцията.
   c. Използването на автоматизация е винаги гаранция за по-ниска цена на продукта.
   d. Автоматизацията позволява хората да бъдат освободени от рутинна физическа работа.

3. Коя човешка характеристика (качество) се замества от ниво на автоматизация A(0)?
   a. Сръчност
   b. Енергия
   c. Преценка
   d. Никаква

4. Върху кои от нивата на автоматизация се работи активно днес в световен мащаб?
   a. A(2) и A(5)
   b. A(3), A(4) и A(5)
   c. A(6) и A(7)
   d. A(8) и A(9)

5. Кой е най-важният компонент на една автоматизирана система за управление?

a. ПЛК с управляващата му програма
b. ПЛК с входовете и изходите му
c. Сензорите
d. Актуаторите

6. ПЛК е ...
   a. микроконтролер, който е малък компютър, съставен от една интегрална схема, съдържаща процесорно ядро, памет и програмируема входно-изходна периферия.
   b. управление на жизнения цикъл на продукт, което е последователност от стратегии, аналогични на тези, използвани при управление на бизнеса.
   c. програмируем логически контролер, който е компютър, използван за управление на индустриални машини или процеси с помощта на цифрови и аналогови входове и изходи.
   d. комуникационна система, позволяваща осъществяването на комуникации (обмяна на информация) по електропроводи.

Програмируем логически контролер

2.1. Хардуерни компоненти на програмируемия логически контролер

Според т.1.4 един ПЛК не е нищо повече от един компютър (устройство), приспособен за извършване на определени задачи за управление с помощта на сензори и изпълнителни устройства (актуатори). Базовият ПЛК се състои от захранване, централен процесор (ЦП, CPU) и сигнален модул(модули).

Захранването (PS – Power Supply) осигурява ПЛК с вътрешно захранващо напрежение, което е конвертирано от 120/230 V променлив ток (AC) или 24 V прав ток (DC). Някои ПЛК не се нуждаят от допълнително захранване, ако ЦП има 24 V DC-вход (ПЛК може да се захранва през този вход).

Централният процесор (ЦП, CPU) е „мозъкът" на ПЛК, където автоматизираният процес или машинната управляваща програма се стартира и се съхранява (във вградената програмна памет). В допълнение към работата на програмата, ЦП задава параметри на ПЛК-модулите, поддържа комуникацията с програмиращите устройства, с разширителните (допълнителни) ПЛК модули, с други ПЛК и/или други устройства (като операторски панели на интерфейса човек-машина). ЦП може да има отделно захранване, слот за разширяема памет (от типа на SD-картите), както и комуникционен канал от тип полева магистрала (field bus).

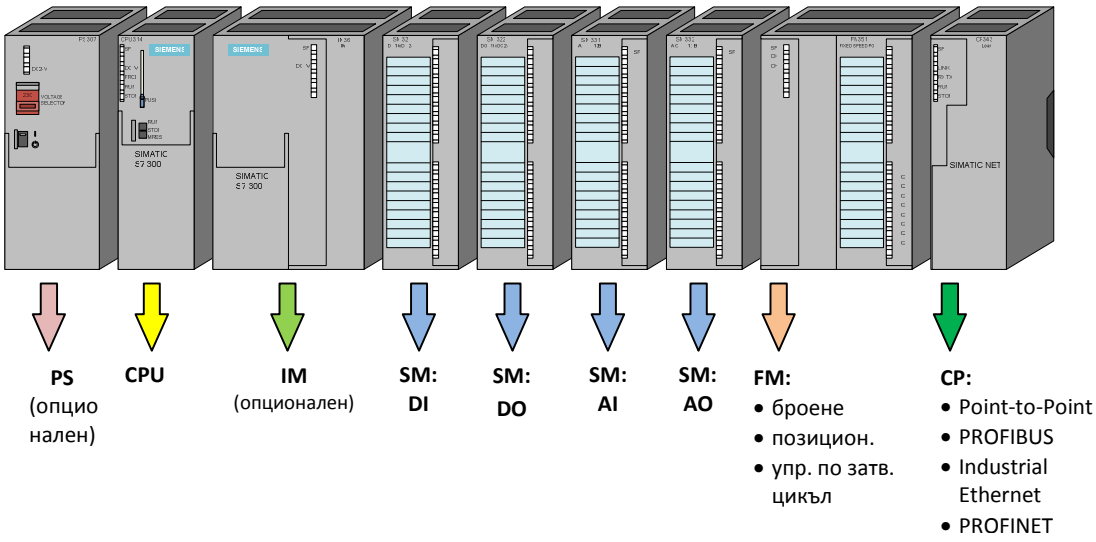
ЦП има превключвател за избор на работния режим на ПЛК. Съвременните ПЛК на фирмата SIEMENS имат два работни режима: режим RUN, при който се изпълнява потребителската програма; и режим STOP, при който потребителската програма се спира. И при двата режима потребителската програма може да бъде прехвърлена в ПЛК или ъплоудвана от ПЛК към програмиращо устройство (PC). По-старите SIEMENS ПЛК имат трети работен режим, наречен RUN-P режим. При тях потребителската програма може да бъде прехвърлена (даунлоудвана) в ПЛК в режими STOP и RUN-P. В режим RUN при тези контролери потребителската програма се изпълнява, но не могат да се правят промени в нея.

Сигналните модули (CM) са входно-изходни (I/O) модули за цифрови (DI, DO) и аналогови (AI, AO) сигнали, които идват от или отиват към сензори, превключватели, актуатори или други устройства в ПЛК. Сигналният модул адаптира входящият сигнал във вътрешни сигнали за ПЛК и прави обратното с изходящите

сигнали. Обикновено цифровите сигнални модули използват 24 V DC и 120/230 V AC. Аналоговите сигнални модули използват постоянно напрежение (напр. ±10 V, 0 – 10 V или 1 – 5 V) и постоянен ток (напр. 4-20 mA или 0-20 mA). При цифровите изходни сигнални модули се използват оптронно развързване, транзистори и релета за промяна на изходните състояния на сигнала. Те трябва да предпазят сигналния модул от късо съединение, претоварване или прекалено високо напрежение. Релетата позволяват превключване на различни изходни напрежения (DC и AC), както и протичането на по-голям ток от транзисторите. Но жизненият цикъл на релето (брой превключвания) е по-малък от този на транзисторите. Един цифров сигнален модул може да има до 8, 16 или 32 входа и/или изхода от един тип, а един аналогов сигнален модул – до 2, 4, 6 или 8 входа и/или изхода от един тип.

Освен това ПЛК може да съдържа релса, на която са разположени ПЛК-модули; интерфейсен модул (ИМ), който свързва няколко отделни релси с модули в едно ПЛК; функционален модул (ФМ), който обработва сложни или критични по време процеси независимо от ЦП, напр. бързо броене, PID регулатор или позиционно управление; комуникационен процесор (КП), който свързва ПЛК в индустриална мрежа, напр. Industrial Ethernet, PROFIBUS, AS – интерфейс, серийна връзка point-to-point; интерфейс човек-машина (HMI), напр. операторен панел; отдалечени входове/изходи; бързодействащи сигнални модули.

Всеки ПЛК-модул има базов HMI-интерфейс, който се използва за визуализация на грешки и състояния на комуникацията, батерията, входовете/изходите, работата на ПЛК и т.н. Малки дисплеи с течни кристали (LCD) или светодиоди (LED) се изпозлват за HMI-интерфейса.



Фиг.2.1. Хардуерен сетъп на ПЛК Siemens S7-300

На Фиг 2.1 е показана конфигурацията на ПЛК Siemens S7-300 [4]. Захранването (PS) трябва да е в първия слот, ЦП – във втория, а интерфейсният модул (IM) – в третия. Разположението им в ПЛК на SIEMENS не може да бъде променяно. Следват SM (сигналните модули), FM (функционалният модул) и CP (модулът на комуникационния процесор). Редът им няма значение, могат да бъдат и в друг ред по необходимост. Така ПЛК Siemens S7-300 може да бъде изграден от до 11 отделни модула на една шина (релса), а ПЛК като цяло може да има до 4 отделни релси.

Някои Siemens ПЛК не се нуждаят от захранващ модул ако автоматизираната система има отделно 24 V DC захранване, чийто напреженов изход се свързва директно към ЦП. Също така няма нужда от IM, ако ПЛК е изграден само върху една шина.

За някои ПЛК разположението на модулите ЦП (CPU) и/или PS не е от значение, напр. при ПЛК Allen-Bradley CompactLogix PS може да се разположи на различни позиции (до 4 модула могат да се разположат преди PS). Но CPU-модулът трябва да е на първа позиция при CompactLogix контролерите.

2.2. Типове ПЛК

В Зависимост от това кое устройство се използва за ЦП и как ЦП е свързан с други ПЛК-модули, ПЛК могат да се класифицират на следните типове: компактни

ПЛК, модулни ПЛК, рамкови ПЛК, ПЛК с интегриран операторски панел, индустриални компютри, слотови ПЛК и софтуерни ПЛК.

Компактният ПЛК обединява CPU-то, PS, входните и изходните модули в един компактен корпус. Най-често той има фиксиран брой цифрови входове/изходи (не повече от 30), един или два комуникационни канала (един за програмиране на ПЛК и един за връзките на полевата шина) и HMI. Понякога може да има един вход за бърз брояч и един или два аналогови входове/изходи. За увеличаване на броя на входовете/изходите към компактния ПЛК могат да се свързват отделни add-on (допълнителни) модули. Те се разполагат в корпус, който прилича на самия компактен ПЛК [5].

Компактните ПЛК се използват в автоматизацията като заместител на релета. Един ПЛК не струва повече от няколко релета и програмирането му е също толкова гъвкаво като свързването на релетата. Недостатъците на този тип ПЛК са малката памет за програми и данни, малката производителност на процесора, малкия брой ПЛК-таймери и броячи и липсата на някои типове данни (като тип плаваща запетая и тип стринг) [5]. От друга страна, днешните по-скъпи компактни ПЛК имат същата функционалност като други типове ПЛК, като единственият им недостатък е фиксираният брой входове/изходи.

Примери за компактни ПЛК са Festo FEC PLC, Siemens Logo и S7-200 PLC (Фиг. 2.2).

Фиг.2.2. Примери за компактни ПЛК. Festo FEC FC660 PLC (в ляво), Siemens Logo (в средата) и S7-200 PLC (в дясно)

Модулният ПЛК е по-мощен и има повече функции от компактния ПЛК. Неговите части като CPU, SM, CP, управляващи модули за серво двигател, позициониращи модули са разположени предимно в отделни корпуси. Всички модули са разположени заедно на DIN шина или на шина със специална форма и комуникират с ЦП чрез системна шина. Системната шина може да бъде част от ЦП, да има отделен корпус или да бъде плосък кабел. Системната шина има ограничен брой места за модули, но в повечето случаи е разширяема чрез използване на отделни модули от тип системна шина (напр. интерфейсен модул). Следователно модулният ПЛК може да бъде изграден според изискванията на автоматизираната машина или процес.

В сравнение с компактните ПЛК, модулните ПЛК могат да използват по-голям брой входове и изходи, да поддържат по-големи програми, да съхраняват повече данни и да работят в режим на многозадачност.

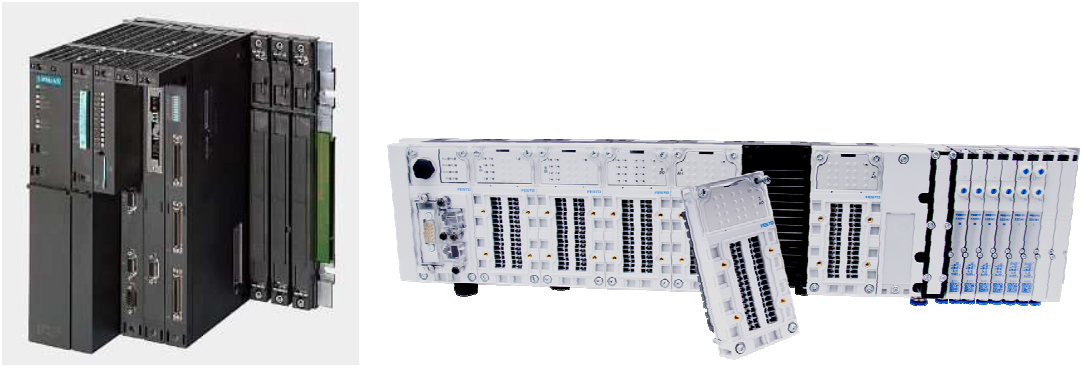
Днес модулните ПЛК се използват главно за следните задачи: управление, регулиране, позициониране, обработка на данни, манипулиране, комуникация, мониторинг, web-сървъри и др. [5].

Примери за модулни ПЛК са Siemens S7-300 PLC и Allen-Bradley CompactLogix PLC (Фиг. 2.3).

Рамковият ПЛК има почти същите възможности и функции като модулният ПЛК. Единствената разлика е в шината или рамката, на която са разположени ПЛК-модулите. Рамката има гнезда (слотове) за модули и интегрирана системна шина за обмен на информация между различните модули. Повечето ПЛК-модули нямат собствени корпуси, а имат само фронтален панел с HMI-интерфейс. Главното предимство на тези системи е, че те позволяват по-бърз обмен на данни между модулите и имат по-малко време за реакция на модулите [5].

Примери за рамкови ПЛК са Siemens S7-400 PLC и Festo CPX PLC (Фиг. 2.4).

Фиг.2.3. Примери за модулни ПЛК. Siemens S7-300 PLC (в ляво) и Allen-Bradley CompactLogix PLC (в дясно)



Фиг.2.4. Примери за рамкови ПЛК. Siemens S7-400 PLC (в ляво) и Festo CPX PLC (в дясно)

ПЛК с интегриран операторски панел (OPLC) има HMI-интерфейс за работа с и наблюдение (мониторинг) на автоматизирани процеси или машини. HMI се състои основно от дисплей и клавиатура или тъчскрийн. Дисплеят може да бъде текстов или графичен. Основното предимство на тази система пред ПЛК с отделен операторски панел е, че отпада необходимостта този панел да се програмира отдел-

но. Цялото програмиране се извършва с помощта на един софтуерен инструмент, което спестява от разходите за разработка на системата.

Примери за OPLC са Unitronics M-90 и Vision (Фиг. 2.5)

Фиг.2.5. Пример за OPLC Unitronics M-90

Индустриалният компютър (индустриално PC) е устройство, което комбинира нормално PC и ПЛК в едно. ПЛК-частта може да бъде хардуерно-базирана (слотов ПЛК) или софтуерно-базиран виртуален ПЛК (софтуерен ПЛК). Индустриалните компютри се използват при средни и големи приложения от автоматизацията, където има изиквания за бързо управление на процесите, за бързо събиране на данни и обмяна с OPC и/или SQL сървъри (могат да бъдат интегрирани в PC-то), да бъдат лесни за работа и наблюдения, да имат голям жизнен цикъл. В повечето случаи индустриалните PC използват полева шина за управление на автоматизираните процеси и/или машини. Някои имат вградени входове/изходи, както и други вградени ПЛК модулни части.

Недостатъкът на индустриалните PC е, че след определен период от време не могат да се намерят определени сменяеми части (като памет, процесор, видео-карта и др.). Причината е, че тези компоненти са спрени от производство и на тяхно място се произвеждат нови по-добри продукти.

Слотовият ПЛК е специална карта, която има всички функции на ЦП на нормален ПЛК. Тя се слага в PC (на празен слот от дънната платка), което позволява директен обмен на информация между съществуващите PC HMI-приложения

и/или други софтуерни приложения. Слотовата ПЛК-карта има поне един комуникационен канал за връзка към полевата шина (за връзка с отдалечени входове/изходи или с други ПЛК-устройства).

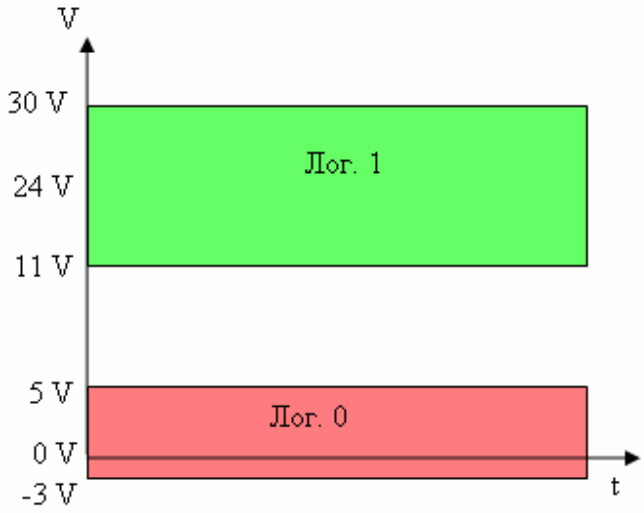
Софтуерният ПЛК е виртуален ПЛК, работещ на персонален компютър. За управлението на машини или процеси той използва комуникационните портове на PC (Ethernet, COM) или специални карти от тип системна шина (които се слагат в PC) за комуникация с отдалечени входове/изходи и с други устройства за автоматизация. Недостатъкът на софтуерните ПЛК е липсата на отделна памет за съхраняване на данни [5]. Това означава, че при прекъсване на захранването всички данни от управлението на процеса се губят. В допълнение, при промяна на операционната система винаги съществува риск виртуалният ПЛК да не бъде съвместим с новата система. Освен това няма гаранция, че други приложения като HMI или OPC сървъри, работещи едновременно със софтуерния ПЛК, ще работят без проблеми и че тяхната работа няма да влияе на работата на софтуерния ПЛК (например може да падне скоростта на управление на процеса, да се загуби за известно време връзката по полевата шина и др.).

Пример за индустриално PC е рамковият Siemens индустриален PC (слага се в рамка 19), индустриално PC от тип кутия (box), както и панелно индустриално PC (Фиг. 2.6). Пример за софтуерен ПЛК е Siemens SIMATIC WinAC RTX, който изисква отделна карта от тип полева шина за PC-то.

Фиг.2.6. Примери за индустриални PC на фирмата Siemens

2.3. Типове сигнали за ПЛК

При автоматизираните процеси се измерват физични величини като температура, налягане и електрическо напрежение. Обикновено ПЛК възприема и подава само електрически сигнали. Следователно е необходим преобразувател на сигнали в сигналните модули, който да приема и задава стойности на физичните величини. В ПЛК има три типа сигнали: двоични, цифрови и аналогови сигнали [6].



Фиг. 2.7. Нива на двоичен сигнал при 24 V DC

Двоичният сигнал е еднобитов сигнал със само 2 дефинирани стойности (състояния „0” – ниско ниво, неистина или „1” – високо ниво, истина). Тези сигнали се кодират от бутон или ключ. Задействан нормално отворен контакт съответства на лог. „1”, а незадействан – на лог. „0”. При работа с безконтактни компоненти се дефинират толерансни граници. Тогава определени нива на напрежението се дефинират като лог. „0” или лог. „1”. IEC 61131 дефинира диапазона -3 - +5 V за сигнал от тип лог. „0”, а 11 - 30 V като лог. „1” (за безконтактни сензори) при 24 V DC (Фиг. 2.7). При 230 V AC IEC 61131 дефинира диапазона 0 – 40 V за лог. „0”, а 164 – 253 V за лог. „1” [7].

Цифров сигнал е поредица от двоични сигнали, разглеждани като едно цяло. Всяка позиция в цифровия сигнал се нарича бит. Типични формати на цифрови сигнали са: тетрада – 4 бита (използва се рядко), байт – 8 бита, дума – 16 бита, двойна дума – 32 бита, двойна дълга дума – 64 бита (използва се рядко).

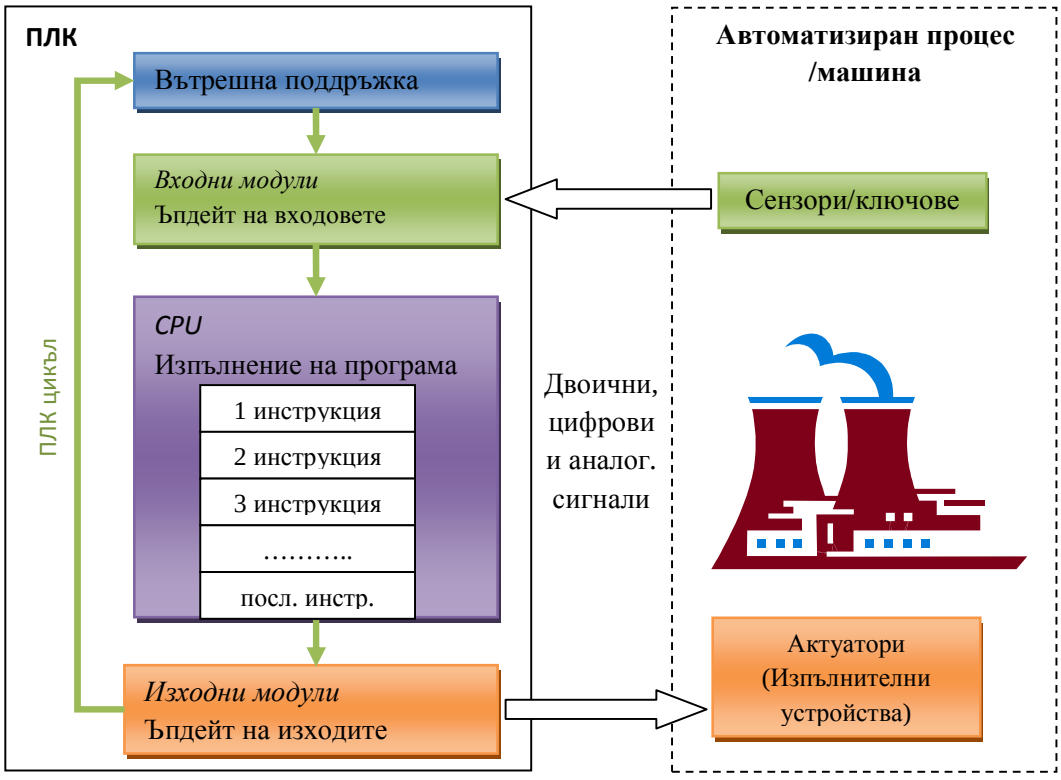
Аналоговите сигнали имат непрекъснати стойности, те се състоят от безкрайно много стойности (например в диапазона 0 – 10 V). Към настоящия момент ПЛК не могат да обработват реални аналогови сигнали. Затова входящите аналогови сигнали се конвертират в цифрови сигнали и обратно при изходящите аналогови сигнали. Конвертирането се извършва от аналогови СМ. По-високата резолюция и точност на аналогивия сигнал може да се постигне с използване на повече битове в цифровия сигнал. Например, типичен 0 – 10 V аналогов сигнал мо-

же да бъде с точност (стъпки при трансформирането му в цифров сигнал) от 0.1 V, 0.01 V или 0.001 V според броя битове в цифровия сигнал [8].

2.4. Как работи ПЛК?

ПЛК работи циклично (Фиг.2.8). Всеки цикъл започва с вътрешна работа за поддръжка на ПЛК като управление на паметта, диагностика и т.н. Тази част от цикъла се изпълнява много бързо, така че потребителят не я забелязва.

Следващата стъпка е ъпдейт (актуализация) на входовете. Прочитат се входните състояния на СМ и се конвертират в двоични или цифрови сигнали. Тези сигнали се изпращат към ЦП и се съхраняват в паметта за данни. След това ЦП изпълнява потребителската програма, която е заредена в паметта, последователно (всяка инструкция индивидуално). Програмните инструкции на ПЛК на Siemens се обработват в машинен код MC7 (наподобява програмния език на Siemens, наречен „списък с правила") [10]. Това означава, че всички програми, написани на други програмни езици, се конвертират в MC7 инструкции. При изпълнението на програмата се генерират нови изходни сигнали.



Фиг.2.8. Работен цикъл на ПЛК

Последната стъпка е ъпдейт (актуализация) на изходите. След изпълнението на последния програмен ред, изходните сигнали (двоични, цифрови или аналогови) от паметта за данни се изпращат към СМ. Тези сигнали след това се конвертират в подходящи сигнали за актуаторите. След края на един цикъл ПЛК стартира нов. ПЛК Siemens S7-300 работи по този начин.

При първия ПЛК работен цикъл Siemens S7-300 изпълнява стартова програма (нарича се студен старт или топъл старт), ако има такава. След първия цикъл ПЛК на Siemens изпълнява главната потребителска програма. Понякога изпълнението на главната програма е прекъсвано от програми за прекъсвания при възникване на събитие (натиснат е авариен бутон), хардуерно (при проблем с входен модул) или в даден момент от деня (при необходимост от изпълнение на по-малка програма). ПЛК продължава изпълнението на главната програма след края на работата на програмите за обработка на прекъсването.

Работните цикли на ПЛК на други производители могат да бъдат различни. Например при ПЛК на Allen-Bradley CompactLogix ъпдейта на входовете и изходите се извършва директно при изпълнението на програмата (не преди или след това).

2.5. Многозадачност

Днешните ПЛК имат възможност да работят в режим на многозадачност. Това означава, че ПЛК може да работи едновременно по различни задачи (различни потребителски програми). На практика ПЛК може да изпълнява само една задача в даден момент. Но тъй като ЦП на ПЛК работят много бързо, изглежда, че ПЛК изпълнява различни задачи в един и същи момент.

Стандартът IEC 61131 дефинира задачата като изпълнителен управляващ елемент, който е способен да причини, или на базата на периодичност (периодична задача) или на базата на събитие (непериодична задача), изпълнението на поредица от програмни организационни единици (дефинирани програми) [11]. Периодичните задачи се изпълняват периодично през определено време, зададено от потребителя. Непериодичните задачи се изпълняват при възникване на събитие, свързано със задачата. Събитието и задачата са свързани с булева променлива.

При многозадачността се използва т.н. блок за приоритет на задачите, който установява график за приоритетите на задачите. Приоритетите започват от номер нула, което е най-високия приоритет, като по-големият номер означава по-нисък

приоритет. Приоритетите на задачите се задават от потребителя. Ако ПЛК се опита да изпълни две или повече задачи едновременно (няколко задачи се опитват да използват ЦП по едно и също време), приоритетът на задачите определя коя задача ще се изпълни първа. Нормално се изпълнява задачата с най-висок приоритет, а другите са в изчакващ режим. Но ако две или повече чакащи задачи имат еднакъв приоритет, при освобождаване на ЦП (приключило е изпълнението на предишната задача) се изпълнява задачата, която е изчаквала най-дълго време.

Ако някои програми не са включени в рамките на никоя задача, те ще имат най-нисък приоритет и ще се изпълнят след освобождаване на ЦП (след като вече не се изпълняват задачи и има свободно време за изчисления) [5].

На базата на прекъсването на изпълнението на задачите многозадачността в ПЛК се разделя на два типа: неприоритетна и приоритетна многозадачност. При първия тип задачата се изпълнява докрай дори ако е възникнала задача с по-висок приоритет, след което се изпълнява задачата с най-дълго изчакване и с най-висок приоритет. При втория тип задачата се изпълнява докато се активира задача с по-висок приоритет. Тогава задачата с по-нисък приоритет се спира до завършване на задачата с по-висок приоритет. При този тип многозадачност задачи със същия или с по-нисък приоритет не могат да прекъсват изпълняваната задача. Те трябва да изчакат завършването ѝ. След завършване на прекъснатата задача, се изпълнява задачата с най-дълго изчакване и с най-висок приоритет.

Стандартът IEC 61131 дефинира някои правила за определяне на „правата” за изпълнение на задачите, които потребителят трябва да знае, за да може да ползва многозадачността [5, 11].

1. Една задача ще бъде изпълнена, ако е извикана (периодично или при възникване на събитие) и другите правила (по-долу) не се прилагат. Това означава, че ПЛК има свободно изчислително време за изпълнение на задачата.
2. Ако са извикани две или повече задачи, се изпълнява задачата с най-висок приоритет. При приоритетна многозадачност изпълняваната задача се спира, ако ново активираната задача е с по-висок приоритет от нея. При неприоритетна многозадачност активираната задача с по-висок приоритет трябва да изчака завършването на изпълняваната задача преди да започне да се изпълнява. Ако извиканата задача (и при двата типа многозадачност) има същия или по-нисък приоритет от изпълняваната в момента, тя трябва да изчака изпълняваната задача да завърши.

3. Ако активна задача и задача в режим на изчакване споделят дадени програмни части (програма, функционален блок, функция), тези части се изпълняват. Другите части на изчакващата зачача остават в изчакващ режим.

4. Ако ПЛК има изчакващи задачи с еднакви приоритети, ще се изпълни тази с най-дълго време на изчакване след освобождаване на процесора.

5. Програми, които не са свързани с никоя задача, имат най-нисък приоритет. Те ще се изпълнят при освобождаване на процесора.

Централните процесори на някои ПЛК могат да имат два или повече отделни процесора в централната опериращa единица. Тези ПЛК могат да изпълняват различни (две или повече) задачи едновременно (многозадачност в реално време) без времезакъснение. Това позволява ПЛК да реагира много бързо на процеси или нерегулярно поведение на машини, ако това е било предвидено.

2.6. Въпроси за самопроверка

1. Сигналните модули на ПЛК са ...
   a. входно/изходни модули за цифрови и аналогови сигнали.
   b. устройства за конвертиране на цифрови сигнали в аналогови и обратно.
   c. входно/изходни модули на честотен конвертор.
   d. комуникационни модули за обмяна на информация между автоматизирани системи.
2. Кой от следните ПЛК хардуерни сетъпи съответства на сетъпа на ПЛК от серията Siemens S7-300?
   a. захранване, сигнален модул, ЦП и комуникационен процесор
   b. ЦП, сигнален модул и интерфейсен модул
   c. ЦП, сигнален модул, захранване и сигнален модул
   d. ЦП, комуникационен процесор и сигнален модул
3. Един базов ПЛК се състои от ...
   a. захранване, ЦП и сигнален модул (модули).
   b. ЦП и сигнален модул (модули).
   c. ЦП, захранване, сигнален модул (модули), HMI-модул, комуникационен процесор и отдалечен входно/изходен модул (модули).
   d. захранване, комуникационен процесор и сигнален модул (модули).
4. Стандартът IEC 61131 дефинира логическата „1” (при 24 V DC) като ...
   a. напреженов обхват 0 – 40 V.
   b. напреженов обхват 11 – 30 V.
   c. напреженов обхват 13 – 30 V.
   d. напреженов обхват 0 – 11 V.

5. OPLC е ...
   a. ПЛК, който се състои от дистрибутивна управляваща система.
   b. ПЛК, който в добавка към основните ПЛК-модули има и интерфейс човек-машина (HMI-интерфейс).
   c. ПЛК с web сървър.
   d. компютърно базиран ПЛК, който има интерфейс човек-машина.
6. Софтуерният (т.н. „мек") ПЛК е ...
   a. платков (картов) ПЛК, който се слага в PC и управлява автоматизирани процеси чрез дистрибутирани входове/изходи.
   b. виртуален ПЛК, който се използва за тестване на ПЛК програми.
   c. софтуерен ПЛК за работа в реално време, който се инсталира в PC и управлява автоматизирани процеси чрез дистрибутирани входове/изходи.
   d. ПЛК, изготвен от мек материал.
7. Многозадачност означава ...
   a. че ПЛК може да работи едновременно върху различни задачи.
   b. че потребителската програма се разделя на по-малки програмни части.
   c. че един човек може да изпълнява различни задачи по едно и също време.
   d. потребителската програма се изпълнява само ако е активирана от събитие.
8. Кое от следните твърдения е вярно?
   a. При многозадачността поне две задачи се изпълняват по едно и също време в ПЛК.
   b. При многозадачността задачата с най-нисък приоритет се изпълнява, а останалите задачи трябва да изчакат изпълнението ѝ да завърши.
   c. При многозадачността задачата с най-висок приоритет се изпълнява, а останалите задачи трябва да изчакат изпълнението ѝ да завърши.
   d. При многозадачността задачата с най-висок приоритет се изпълнява, а останалите задачи могат да прекъснат изпълнението ѝ, ако приоритета на новата задача е най-нисък.

Програмиране на ПЛК

3.1. Стандарт IEC 61131-3

Съвременните програмни средства трябва да отговарят на определени изисквания за да могат да позволят разработката на широк обхват от софтуерни решения на ниска цена. Често се налага едновременното използване на няколко програмни езика за ПЛК за ефикасното управление на голям брой различни обработващи хардуерни компоненти. За по-лесно разработване и модификация на програмите са необходими характеристики като офлайн тестване и симулация, онлайн модификации в ПЛК и обратна документация на програмите от ПЛК. Програмните блокове на ПЛК трябва да са ре-използваеми, трябва да се използват и програмни системи с отворен интерфейс. С въвеждането на международния стандарт IEC 61131 е направена голяма крачка към покриването на тези изисквания. Целта на този стандарт е да се намалят разходите за обучение, разходите за създаване на големи програми, както и прилагането на по-сложни програмни системи.

Тъй като това е много подробен стандарт, програмните системи не могат да изпълняват всичките му параграфи. Вместо това стандартът използва характеристични таблици с изисквания, като производителят трябва да отбележи дали неговите инструменти ги изпълняват и до каква степен. Много производители на ПЛК поддържат този стандарт, но нивото на съвместимост може да варира в широки граници. Тъй като стандартът е относително нов и постигането на пълна съвместимост е трудно, повечето производители не изпълняват изцяло всички характеристики на стандарта.

Трета част на стандарта (IEC 61131-3) е адресирана към програмните езици чрез координиране на широко използвани езици в една хармонизирана версия със заложена възможност за бъдещи нови възможности и тенденции [11].

3.2. Програмна организационна единица (POU)

При IEC 61131-3 блоковете, от които се изграждат програми и проекти се наричат Програмни организационни единици (Program Organization Units, POU). Те съответстват на програмните блокове, организационните блокове и функционалните блокове от конвенционалните програми [12]. Една много важна цел на стандарта е да се ограничи многообразието на типовете блокове и да се опрости тяхната

употреба. Трите POU типа, декларирани от стандарта са Функция (FUN), Функционален блок (FB) и Програма (PROG).

Функцията е POU, която може да има назначени параметри (аргументи), но няма статични променливи, т.е. няма памет – с едни и същи входни параметри тя винаги дава една и съща изходна стойност.

Функционалният блок има статични променливи (памет). Изходът му зависи от състоянието на неговите вътрешни и външни променливи, чиито стойности се запазват между отделните изпълнения на функционалния блок. Това са и основните блокове, изграждащи една ПЛК програма.

Програмата е тип POU, която представя главната програма. Няколко главни програми могат да се изпълняват едновременно при многозадачни ПЛК. Всички променливи, записани на физически адреси (напр. входовете и изходите на ПЛК), трябва да бъдат декларирани тук. По отношение на останалата част от функционалността програмата наподобява FB.

За програмиране на ПЛК S7-300 и S7-400 фирмата Siemens е разработила програмен инструмент, наречен STEP 7 [9]. В програмната среда на STEP 7 POU са малко по-различни. Функцията е същата, но функционалният блок има определено място за съхраняване на данни – Блок за данни (Data Block, DB), който е интегрална част от функционалния блок при IEC 61131-3. Вместо програма, както е при стандарта IEC 61131-3, при STEP 7 се използва понятието Организационен блок (Organization Block, OB). Той се извиква циклично от операционната система на ПЛК и формира интерфейса между потребителската програма и операционната система на контролера.

OB осигуряват структурно средство за управление на обработващите изисквания на една програма. Те осигуряват интерфейса между операционната система на ПЛК и потребителската програма. OB се пишат от потребителя, но се извикват от операционната система на ПЛК на базата на определени условия. На пример при всяко стартиране на ПЛК (включване на режим RUN) се извикват OB 100 или OB 101. Операционната система отговаря на определени събития чрез извикване на специфични OB. В табл. 3.1 е направен преглед на различните типове OB според тяхната функция и условия за задействане.

Таблица 3.1. Организационни блокове в STEP 7

Тип OB	**Номер на OB**	**Събитие за извикване на блока и описание на приложението**
Нормална циклична обработка	1	Извиква се след всяко стартиране на ПЛК и впоследствие – циклично, за обработка на главната потребителска програма.
Прекъсване в определено време на деня	10 - 17	Извиква се в зададено от потребителя време на деня за обработка на прекъсване, при което се обработва потребителският код, който трябва да бъде обработен в точно определено време от деня.
Прекъсвания за времезакъснение	20 - 23	Извиква се след изтичане на зададено от потребителя времезакъснение за изпълнение на части от програмата, които трябва да се изпълнят след изтичане на закъснението.
Циклични прекъсвания	30 – 38	Извиква се циклично през дефинирани интервали от време (напр. 500ms) за изпълнение на код (напр. PID управление), който трябва да се изпълнява през точни интервали от време.
Хардуерни прекъсвания	40 – 47	Извиква се при възникване на зададени прекъсвания на процеса или при модулно генерирани прекъсвания за обработка на потребителски програмираната сервизна процедура.
Мултипроцесорно прекъсване	60	Извиква се при прекъсване, което е генерирано от кой да е от ЦП на една многопроцесорна конфигурация, за обработка на потребителски дефинирана синхронизирана реакция.
Прекъсвания, породени от грешки от тип редундантност	70 - 73	Извиква се при възникване на грешка тип редундантност в система S7-400 H (един ПЛК има няколко ЦП-модули), за обработка на потребителски дефинирана реакция.
Прекъсвания от асинхронни грешки	80 - 87	Извиква се при възникване на системна грешка (напр. срив в захранването или повреда на модул), за обработка на потребителски дефинирана процедура.
Работа във фонов режим	90	Извиква се за обработка на некритично приложение, когато действителното време на цикъл на текущия цикъл е по-малко от потребителски дефиниран минимум.

Тип OB	Номер на OB	Събитие за извикване на блока и описание на приложението
Стартиране на ЦП	100 - 101	Извиква се при всяко стартиране на ЦП преди извикването на OB 1 за обработка на инициализиращ код, който трябва да се изпълни при всяко стартиране.
Прекъсвания от синхронни грешки	121 - 122	Извиква се при възникване на свързани с програмата runtime грешки за обработка на потребителски програмирана сервизна процедура за синхронни грешки.

Функционалните блокове (FB) на STEP 7 са предназначени за генериране на алгоритми, където генерираните или използваните данни трябва да бъдат налични от едно извикване на блока до друго. За удовлетворяване на това изискване е необходимо в STEP 7 на всеки FB да се зададе съответен блок за данни (DB). При нужда на един FB могат да се зададат няколко блока за данни.

В допълнение, освен ползваните от потребителите блокове (OB, FB и FC), STEP 7 има и три типа системни блокове (SFB, SFC и SDB), които са интегрирана част от ПЛК, но могат да се извикват и от потребителски програми. Системните блокове решават някои често изисквани задачи и функции, следователно те могат да намалят значително времето за разработка на програмата. Потребителят не може да променя и да вижда системния блок в програмата.

Функцията (FC) не изисква блок данни за съхраняване (памет), но тя може да осъществява достъп до глобални DB за четене и запис на данни. Във FC могат да се дефинират само временни променливи. В STEP 7 и FB, и FC могат да се извикват от други FB, FC и OB (Фиг. 3.1)

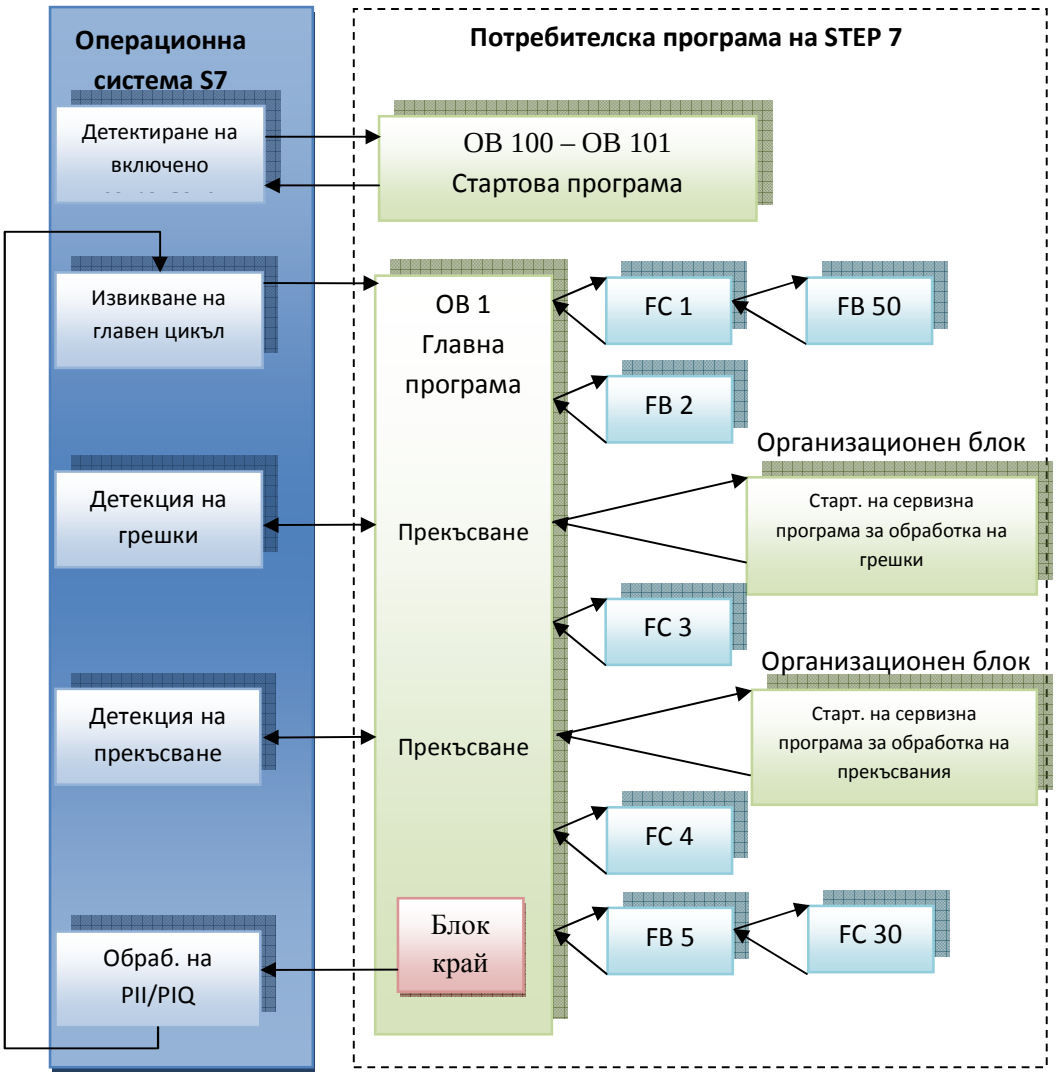
Всеки блок се състои от мрежи. Максималният брой мрежи за един блок е 999. В езика STL всяка мрежа може да съдържа максимум 2000 командни реда.

При ПЛК S7-300 и S7-400 нормалната циклична програмна обработка се управлява от OB 1. След включване на захранването и след включване на ЦП в режим RUN, се извиква OB 1 и се обработва на всеки ПЛК цикъл до спирането на ЦП или до изключване на захранването. Тъй като OB 1 се обработва непрекъснато, повечето от другите блокове трябва да бъдат извиквани от него. Ако даден блок е извикан от OB 1, след като приключи изпълнението му програмното управление се предава обратно на OB 1. ПЛК използва нива на приоритети – ако е извикан OB с

по-висок приоритет, се прекъсва изпълнението ОВ с по-нисък приоритет. На фиг. 3.1 е показана схемата на циклична програмна обработка.

3.3. Типове данни, използвани в ПЛК

Стандартът IEC 61131-3 дефинира множество стандартизирани типове данни (табл. 3.2), наречени елементарни типове данни. Те се характеризират с брой битове и допустим диапазон на стойностите. В допълнение към тях могат да се създават и използват по аналогичен начин потребителски дефинирани типове данни.



Фиг. 3.1. Циклична програмна работа при ПЛК на PLC

Таблица 3.2. Елементарни типове данни според IEC 61131-3

Булеви	**Целочислени със знак**	**Целочислени без знак**	**Реални**	**Време, дата, продължителност, текстов стринг**
BOOL BYTE WORD DWORD LWORD	INT SINT DINT LINT	UINT USINT UDINT ULINT	REAL LREAL	TIME DATE TIME_OF_DAY DATE_AND_TIME STRING

Елементарните типове данни, използвани при програмиране на ПЛК със STEP 7 са дадени в Табл. 3.3 [13]. Някои от типовете данни от елементарните типове данни на IEC 61131-3 се наричат комплексни типове данни в STEP 7. Те позволяват дефинирането на променливи от други типове данни и са изградени от повече от един елемент данни. В STEP 7 има също данни от тип параметър, които позволяват таймери, броячи и блокове да бъдат използвани като формални параметри във FC или FB.

Таблица 3.3. Типове данни в STEP 7

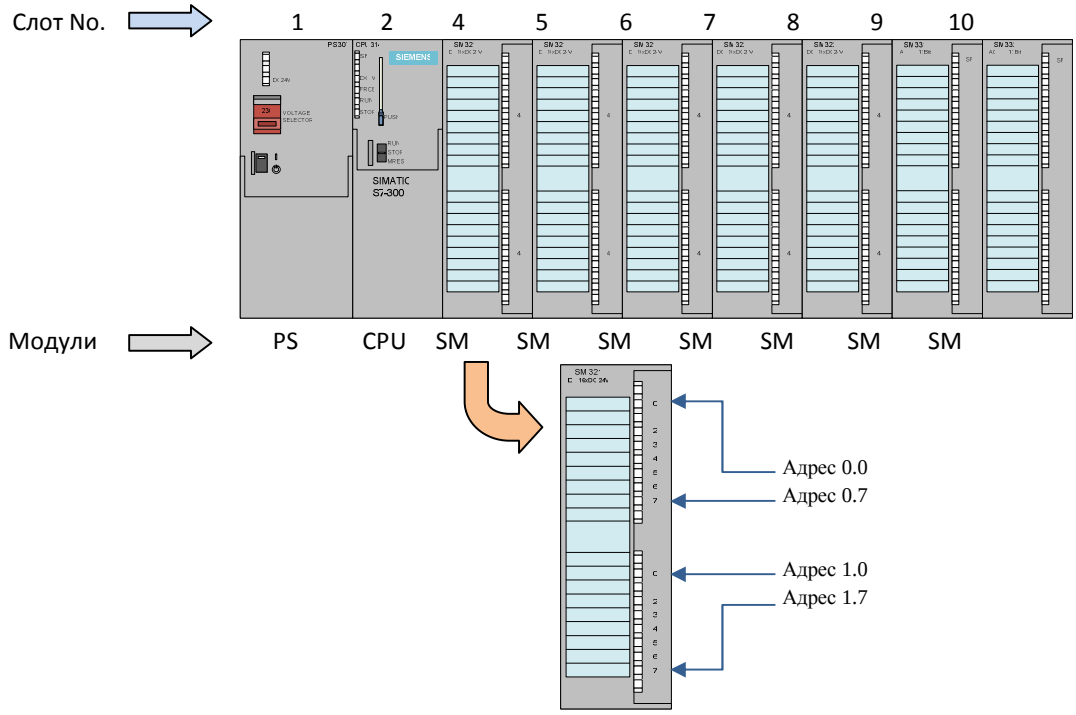
Тип и описание	**Големина в битове**	**Формат/ Опции**	**Обхват, бройна система (от най-малката до най-голямата стойност)**	**Пример**
BOOL (Бит)	1	Булев текст	TRUE (сигнал “1”)/FALSE (сигнал “0”)	TRUE
BYTE (Байт)	8	Шестнадесетично число	B#16#0 до B#16#FF	B#16#10
WORD (Дума)	16	Двоично число	2#0 до 2#1111_1111_1111_1111	2#0001_0000_0000_0000

Тип и описание	**Големина в битове**	**Формат/ Опции**	**Обхват, бройна система (от най-малката до най-голямата стойност)**	**Пример**
		Шестнадесетично число	W#16#0 до W#16#FFFF	W#16#1000
		BCD	C#0 до C#999	C#998
		Десетично число без знак	B#(0,0) до B#(255,255)	B#(10,20)
DWORD (Двойна дума)	32	Двоично число	2#0 до 2#1111_1111_1111_1111_1111_1111_1111_1111	2#1000_0001_0001_1000_1011_1011_0111_1111
		Шестнадесетично число	DW#16#0000_0000 до DW#16#FFFF_FFFF	DW#16#00A2_1234
		Десетично число без знак	B#(0,0,0,0) до B#(255,255,255,255)	B#(1,14,100,120)
INT (Цяло число)	16	Десетично число със знак	-32768 до 32767	1
DINT (Цяло число, 32 бита)	32	Десетично число със знак	L#-2147483648 до L#2147483647	L#1
REAL (Число с плаваща запетая)	32	IEEE Число с плаваща запетая	Горна граница: +/- 3.402823e+38 Долна граница: +/- 1.175495e-38	1.234567e+13
S5TIME (Simatic-Време)	16	S7-Време в стъпки по 10 ms	S5T#0H_0M_0S_10MS до S5T#2H_46M_30S_0MS и S5T#0H_0M_0S_0MS	S5T#0H_1M_0S_0MS S5TIME#1H_1M_0S_0MS
TIME (IEC-Време)	32	IEC-Време в стъпки по от 1ms, цяло число със знак	-T#24D_20H_31M_23S_648MS до T#24D_20H_31M_23S_647MS	T#0D_1H_1M_0S_0MS TIME#0D_1H_1M_0S_0MS

Тип и описание	**Големина в битове**	**Формат/ Опции**	**Обхват, бройна система (от най-малката до най-голямата стойност)**	**Пример**
DATE (IEC-Дата)	16	IEC-Дата в стъпки от 1 ден	D#1990-1-1 до D#2168-12-31	DATE#1994-3-15
TIME_OF_DAY (Време)	32	Време в стъпки по 1ms	TOD#0:0:0.0 до TOD#23:59:59.999	TIME_OF_DAY#1:10:3.3
CHAR (Символ)	8	ASCII-Символи	´A´, ´B´ и т.н.	´B´

3.4. Адресиране на променливи при STEP 7

Променливите за данните на конкретни приложения се декларират заедно с типа на данните във вид на „рамки” в паметта на ПЛК. Използва се символно адресиране за по-лесно разбиране на адресите и програмата. По този начин е възможно да се присвои символно име на даден абсолютен адрес. Глобални символи се декларират в символна таблица на STEP 7 и могат да се използват във всички блокове на потребителската програма. Името в символната таблица трябва да е уникално, то трябва да се среща само веднъж в таблицата. Локални символи се декларират в частта за деклариране на блок (OB, FC и FB). Те могат да се използват само в рамките на дадения блок като същото символно име може да се използва отново в друг блок (където трябва да бъде отново декларирано).



Фиг.3.2. Адресиране на модулите на ПЛК Siemens S7-300

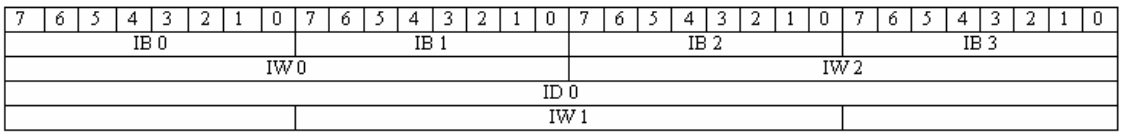
Номерацията на слотовете на рамката на ПЛК S7-300 улеснява адресирането на входовете/изходите – позицията на модул върху рамката определя първия адрес на модула [14]. Слот 4 е първият слот, който може да се използва за входно/изходни модули. Следователно един цифров входен модул (Digital Input, DI) в слот 4 започва с байтов адрес 0. Трябва да се отбележи, че при използване на 16-канални DI/DQ модули се губят по два байтови адреса за всеки слот. Затова следващият адрес на DI/DQ модула започва с 4. Принципът на адресиране на модулите на S7-300 е показан на Фиг. 3.2.

Адресиране на области от паметта при S7

ПЛК от серията S7 имат области от паметта, до които потребителската програма има достъп. При S7-300 тези области включват област за образ на входа (I), за образ на изхода (O), за битова памет (M), за периферен вход (PI), за периферен изход (PQ), за локални части (L), за таймер (T) и за брояч (C).

Всяка област от паметта е организирана в байтове и позволява достъп до бит, байт (8 бита), дума (16 бита) и двойна дума (32 бита). Следователно една двойна дума адресира 4 байта от байт n до байт n+3. Битовият адрес винаги се достъпва с уникален символен идентификатор, базиран на областта от паметта (виж по-горе),

следван от байта и номера на бита, разделени с точка (напр. I 28.3). При байт, дума или двойна дума буквите B, W или D се добавят към идентификатора на паметта (напр. IB 7, IW 7, ID 7). Всички области от паметта освен локалната памет са достъпни от всеки блок. Разполагането на данни в паметта е показано на Фиг. 3.3. Вижда се, че трябва да се внимава да не се презапишат неумишлено данни в грешни байтове. Например, при използване на образи на вход IW 0 и IW 1 в програмата и задаване на стойност на IW 0, стойността на IW 1 се променя дори програмата да не я променя. Следователно в програмата трябва да се използва IW 2 вместо IW 1.



Фиг.3.3. Разполагане на данните в паметта

Преди всеки програмен цикъл ЦП прочита статуса на цифровите входове и съхранява информацията в т.н. образ на входовете (PII- process image of inputs). Също така по време на всеки цикъл ЦП определя статуса на всеки изход и го съхранява в аналогичен образ на изходите (PIQ- process image of outputs).

Периферната памет (PI/PQ) позволява записа и четенето на данни директно от и в модула. Така се елиминира закъснението в ъпдейта (актуализирането) на входно/изходните данни в края на всеки цикъл. Периферната памет може също да се използва за четене на данни от аналогови модули и за запис на данни в тях – аналоговите модули не прочитат/записват автоматично между циклите.

Таймерната област от памет (T) от паметта на STEP 7 съхранява всеки таймер в една дума и съдържа базата на времето и предварително зададената стойност на времето. От първата локация нататък таймерите се адресират T0, T1 и т.н. Областта от паметта за броячи (C) съдържа броячни инструкции и се адресира аналогично: C0, C1 и т.н. Броячните и таймерните адреси могат да се използват при битови операции за проверка на текущия статус и при операции от тип дума за проверка на оставащото време или на текущата преброена стойност.

Една област от таймерната памет трябва да се използва само веднъж с даден таймер. Ако областта от паметта се предаде на друг таймер, може и двата таймера да не работят или да имат неочаквано поведение. Същото важи и за броячната област от паметта.

Локалната памет (L) се използва за временни локални променливи и когато изпълнението на дадения блок завърши, тя е налична за следващия извикан блок, при което временните данни се презаписват. Адресирането е подобно на входно/ изходната памет (напр. L 31.5, LB 3, LW 3, LD 3).

3.5. Програмни езици за ПЛК

Стандартът IEC 61131-3 предлага пет програмни езика за ПЛК, подходящи за различни задачи.

Списъкът с инструкции (Instruction List, IL) е машинно-ориентиран език от ниско ниво, предлаган от повечето програмни системи. Той е универсален и често се прилага като общ междинен език, към който се транслират останалите езици. IL е език, ориентиран към използване ред по ред. Една инструкция, която е изпълнима команда за ПЛК, се описва точно на един ред. Състои се от елементите, показани на Фиг. 3.4. Инструкцията започва с операция или команда и един или няколко операнда, разделени със запетаи. Инструкциите може да се предхождат от етикети, следвани от двоеточие. Етикетът играе ролята на адрес на преход. Ако се използва коментар, той трябва да е последния елемент от реда. Коментарите започват със стринга „(*” и завършват с „*)”. При STEP 7 се използва символът „//” за указване началото на коментар.

Етикетите са необходими, за да позволяват преходи в изпълнението на програмата от редове на други позиции в програмата. Това всъщност не е одобрено от стандарта, но се позволява в много програмни системи за подобряване на читаемостта.

В STEP 7 езикът се нарича STL (Statement List, списък с правила, инструкции). На Фиг. 3.5. е даден пример.

```
M001:   A     I 0.0     //Part present
        A     M 3.7     //Drill OK
        S     Q 0.1     //Drill
```

Фиг.3.4. Структура на IL (също STL)

Структуриран текст (Structured Text, ST) е език от високо ниво за задачи за управление и сложни математически изчисления. Предимствата му пред IL са доста компресираната формулировка на програмните задачи, ясна конструкция на програмата в блокове с правила (инструкции) и мощни конструкции за управление на командния поток. Един ST алгоритъм се разделя на няколко стъпки (правила), които се използват за изчисляване и присвояване на променливи, за управление на командния поток и за извикване или напускане на POU. За разлика от IL, едно правило при ST може да бъде от няколко реда или няколко правила могат да се запишат на един ред.

```
      A     I     10.0
      AN    I     10.1
      JNB   _001
      L     IW    0
      T     QW    0
      SET
      SAVE
      CLR
_001: A     BR
      =     L     0.0
      AN    L     0.0
      JNB   _002
      L     MW    2
      T     QW    0
_002: NOP   0
      A     L     0.0
      BLD   102
      =     Q     10.1
```

Фиг.3.5. Пример за езика STL на STEP 7

Стандартът позволява също използването на други програмни езици (като C++), ако те отговарят на някои базови изисквания на стандарта.

```
Q 4.0 := I 0.0 AND I 1.1 OR NOT I 0.1

IF Q 4.0 == 1 THEN GOTO M001

ELSE Q 1.0 = NOT Q 4.0;

END_IF;

M001  MW 2= 1+MW 2;
```

Фиг.3.6. Пример за езика SCL на STEP 7

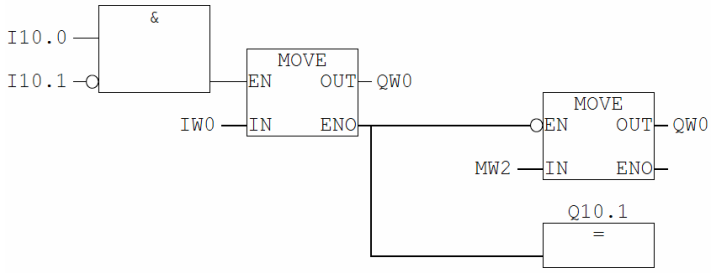
В STEP 7 този език се нарича SCL (Structured Control Language, структуриран управляващ език). Той наподобява програмния език PASCAL (Фиг. 3.6).

Функциналната блокова диаграма (Function Block Diagram, FBD) е графическо свързване на аритметични, булеви или други функционални елементи и блокове-функции. FBD произлиза от областта на обработката на сигнали, където целочислените или реалните стойности са важни. Той се е наложил като универсално използваем език за ПЛК.

Кодът, написан на FBD, е разделен на секции, известни като мрежи, което е полезно за структурирането на управляващия поток на POU. Графичните елементи на FBD мрежата включват правоъгълни елементи и правила на управляващия поток, свързани с хоризонтални и вертикални линии (Фиг. 3.7). Несвързаните вхо-

дове могат да имат прикрепени към тях променливи или константи или да останат отворени.

FBD използва хоризонтални и вертикални свързващи линии, които могат да бъдат разделени на няколко връзки. Не е позволено свързването на няколко изхода с един вход, тъй като ще има противоречивост. За да се управлява изпълнението на програмата са предвидени извиквания за напускане на POU и за промяна на последователността на обработваните мрежи.



Фиг.3.7. Пример за езика FBD на STEP 7

Една мрежа във FBD се обработва по следните правила:

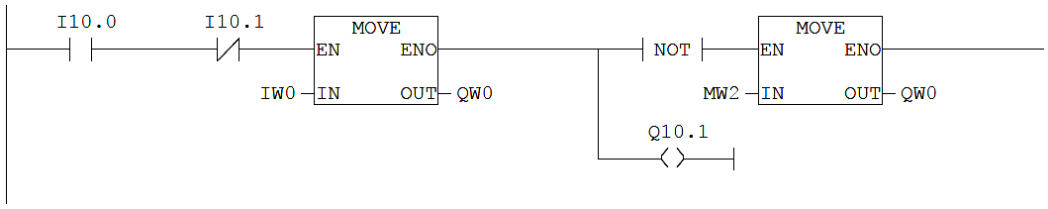
1. Оценяват се всички входове преди изпълнение на елемента.
2. Оценяването на елемент не е приключило докато не са оценени всички изходи.
3. Оценката (обработката) на мрежа не е приключила докато не са оценени всички изходи на всички елементи от мрежата.

Стълбичната диаграма (Ladder Diagram, LD) е графическо свързване между булеви променливи, сравнимо с по-стария тип релейно управление и представя потока на енергия в диаграмите на електрически схеми. Този програмен език е проектиран главно за обработка на булеви сигнали (TRUE, Истина / FALSE, Неистина). Т.н. шини или релси ограждат една LD мрежа отляво и отдясно. От лявата шина, „захранена” с логическия сигнал „1”, „енергията” достига до всички свързани елементи. В зависимост от тяхното състояние елементите пропускат енергията към следващите елементи или прекъсват потока.

Както FBD, така и LD има вертикални и хоризонтални линии за свързване на елементите, като включва и пресечни точки. Даден контакт изпълнява логическа

операция върху стойността от идващата линия и стойността на асоциираната променлива. Типът логическа операция зависи от типа на контакта. Изчислената като резултат стойност се подава на дясната свързваща линия.

Всички променливи са от булев тип (TRUE / FALSE) и съответните връзки предават само булеви стойности.



Фиг.3.8. Пример за LAD език на STEP 7

В STEP 7 езикът е известен като LAD (Ladder Logic). На Фиг. 3.8 е показан пример за LAD програма.

Последователната (секвенциалната) функционална диаграма (Sequential Function Chart, SFC) се използва за разбиване на управляващата задача на приложението на по-малки части и управление на тяхното изпълнение. Програмният поток се илюстрира от графично програмно представяне и затова това е полезен инструмент за структуриране на ПЛК-програмите. С използването на SFC е възможно проектирането на последователни и паралелни процеси на дадено приложение.

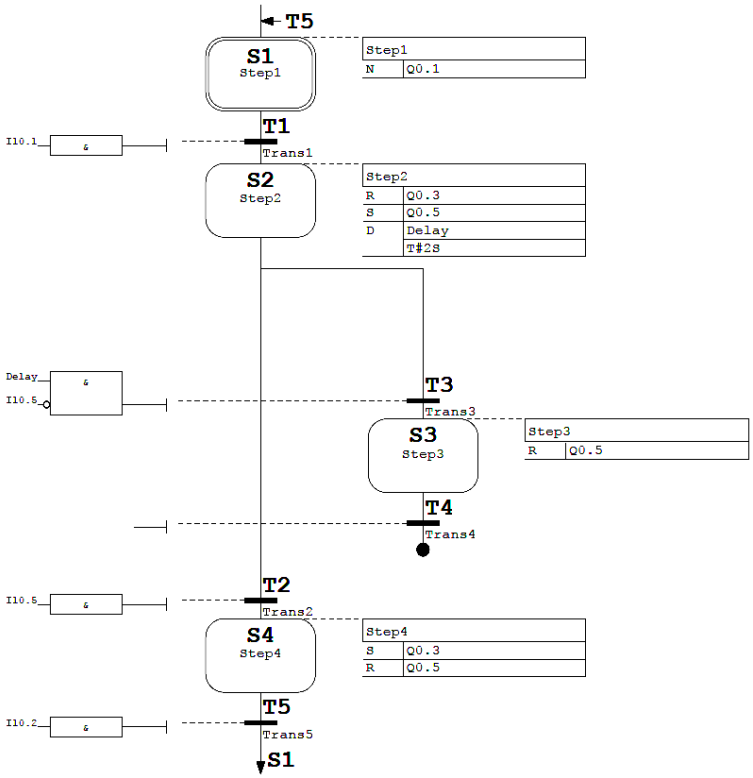
Изпълнението на по-малки програмни единици (напр. процеси, задачи) зависи от условията, дефинирани от програмата и от поведението на входовете-изходите. Самите програмни единици се програмират на някой от другите езици на стандарта IEC 61131-3. Особено подходящи за програмиране на SFC са процеси от тип стъпка по стъпка.

Първото ниво на структуриране при SFC е мрежата, която е изградена от елементи, наречени стъпки и преходи (Фиг. 3.9). Стъпката може да е активна и

неактивна. Когато е активна, асоциираните инструкции се изпълняват докато стъпката стане неактивна. Промяната на статуса й се дефинира от условие за преход, което е булев израз. Ако условието за преход стане TRUE се активира следващата стъпка, а предходната се деактивира. Със задействането на прехода „активният" атрибут се предава от активната стъпка към следващия я елемент/елементи и следователно се придвижва през стъпките, изграждайки мрежата. Този атрибут може да бъде разединен при случая на паралелни клонове и да бъде съединен отново след края на паралелния клон.

В STEP 7 този език се нарича графичен програмен език (S7-GRAPH).

Стандартната версия на програмиращия инструмент на ПЛК на Siemens STEP 7 включва стандартни езици като STL, FBD и LAD. Другите езици като SCL и S7-GRAPH трябва да бъдат закупени отделно.



Фиг.3.9. Пример за езика S7-GRAPH на STEP 7

3.6. Програмиране чрез конфигуриране с IEC 61499

Потокът на данните и логическата последователност на изпълнение могат да бъдат програмирани и документирани с графичните езици на стандарта IEC 61131-3 (LD, FBC, SFC), но е необходимо също да могат да се визуализират по графичен начин топологическото разпределение на програмите (управляващите единици), тяхната обобщена конфигурация и взаимните връзки с други части на един разпределен проект за автоматизация. Това се реализира на едно по-високо и по-абстрактно ниво от програмирането на програмни организационни единици (POU).

Инструментите за конфигуриране на комлексни разпределени приложения се наричат конфигурационни редактори. Програмните части се съчетават в по-големи единици чрез взаимосвързване на функционални блокове. Комплексните разпределени задачи за автоматизация имат обширна комуникационна и изпълнима структура, където се извършва интензивен обмен на данни между географски разделени управляващи единици. За да се направи това програмите се присвояват на задачи от мрежови възли и входовете и изходите на програмите се свързват.

Създаването на разпределени решения по автоматизация, т.е. конфигурирането на функционални блокове за физически различен и географски разделен хардуер и синхронизацията на изпълнението им е предмет на стандарта IEC 61499 [15].

Стандартът IEC 61499 използва модел с няколко йерархични нива за да опише взаимодействието между програмните части и елементите на управляващия хардуер на една рапределена система за автоматизация:

- Система
- Устройство
- Ресурс
- Приложение
- Функционален блок

В една реална автоматизационна среда няколко управляващи единици (устройства) изпълняват приложения паралелно и образуват **система**. **Устройството** се състои от нейните приложни програми, интерфейс към комуникационната мрежа, интерфейс към автоматизирания процес и хардуер, върху който работят ресурсите.

Ресурсът е независима изпълняема единица с параметри. На всяко устройство могат да работят по няколко ресурса. Ресурсът се състои от функционални блокове, които обменят информация за събития и данни като използват специални интерфейси. Функционалният блок за сервизен интерфейс се формира от интерфейсите на автоматизирания процес и комуникационната мрежа. Другият тип – потребителски дефинирани FB – реализира действителния алгоритъм.

Приложното ниво формира реалното програмно ниво, тъй като там функционалните блокове се свързват един с друг, независимо от ресурсите, на които те ра-

ботят. Следователно то описва приложението, което може да бъде разпределено между няколко ресурси.

Функционалните блокове са най-малките програмни единици. В стандарта IEC 61499 те се състоят основно от две части:

1. Управление на изпълнението: създаване и обработка на събития с управляващи входове и изходи
2. Алгоритъм (потребителска програма) с входове, изходи и вътрешни данни

Алгоритъмът (процесът, задачата) се програмира на език, дефиниран от IEC 61131-3, а управляващата част се програмира чрез диаграма на състоянията на SFC. Диаграмите за управление на изпълнението (Execution control charts, ECC) управляват времената за изпълнение на алгоритъма или части от него в зависимост от действителното състояние на входящите събития.

3.7. Създаване на ПЛК програма – фазов модел

Създаването на една ПЛК програма (фазов модел) се състои от следните фази (Фиг. 3.10) [8]:

- Спецификация: описание на задачата;
- Проектиране: описание на решението;
- Реализация: изпълнение на решението;
- Интеграция/преглед: интегриране в средата и тестване на решението.

Фиг.3.10. Фазов модел на създаване на програма

Фаза 1: Спецификация (формулиране на задачата)

В тази фаза се създава подробно описание на задачата за изпълнение. Така се виждат евентуалните конфликтни изисквания или спецификации, които са непълни или заблуждаващи. Крайните резултати от изпълнението на тази фаза са:

- описание на управляващата задача,
- структура, оформление
- грубо структуриране на решението.

Фаза 2: Проектиране (конкретна форма на концепцията за решението)

В тази фаза се разработва концепция за решение на задачата на базата на резултатите от първата фаза. Тя трябва да описва поведението на управляващата система и да бъде независима от техническата реализация. Функционалната схема

(GRAPHCET) отговаря на тези изисквания. Решението може да бъде рафинирано стъпка по стъпка докато се включат всички детайли. Ако управляващата задача е много сложна, тя се разделя на индивидуални модули, които да осъществяват работните стъпки на управляващата система. Това могат да бъдат специални функции като например реализация на интерфейс за визуализация или комуникционни системи [8].

Фаза 3: Реализация (програмиране на концепцията за решението)

Транслирането на концепцията за решението в управляваща програма се прави с помощта на програмните езици, дефинирани в стандарта IEC 61131-3 (SFC, FBD, LD, IL и ST). Управляващите системи, работещи във времеви и логически режим, могат лесно да бъдат програмирани на SFC. Езиците LD, FBD and IL са подходящи за формулиране на основни операции, както и за управляващи системи, които могат да бъдат описани от прости логически операции или булеви сигнали. Езикът от високо ниво ST се използва основно за създаване на софтуерни модули с математическо съдържание, като например за описание на управляващите алгоритми [8].

Ако ПЛК или програмиращият софтуер на ПЛК позволяват, е желателно симулирането на управляващите програми или на частите от програми, създадени до този момент, преди да се премине към следващата фаза. Това позволява откриването и елиминирането на грешки още на първоначалния етап на работа. Тази процедура може да бъде много по-трудна и по-скъпа, ако се извършва на по-късен етап.

Фаза 4: Интегриране/преглед (изграждане и тестване на управляващата задача)

В тази фаза се тества взаимодействието между системата за автоматизация, създадена в първите три стъпки и действителните инсталации и съоръжения, предмет на автоматизация. Както и при предните фази, когато задачите са прекалено сложни и комплексни, тази задача трябва да се решава систематично, стъпка по стъпка. Ако тестването се извърши правилно, могат лесно да се открият и отстранят грешки в управляващата програма и в системата.

Много важен и критичен компонент на системата е **документацията**. Тя е съществено изискване за по-нататъшната поддръжка и разширяване на системата.

Документацията, включително документацията на управляващите програми, трябва да се изготви както на хартия, така и в електронен вид, за постигане на удобство на използване и възможност за архивиране. Документацията се състои от документирането на индивидуалните фази, разпечатки на управляващите програми и всякакви допълнителни описания, отнасящи се до управляващата програма, като [8]:

- описание на задачата
- позиционна схема или технологичен пример
- схемна диаграма
- терминална диаграма
- разпечатки на управляващите програми
- списък на входовете и изходите
- всякаква допълнителна документация

3.8. Въпроси за самопроверка

1. Кои от следните понятия са програмни организационни единици (POU) по стандарта IEC 61131 (възможни са повече правилни отговори)?
   a. Блок за данни
   b. Функция
   c. Функционален блок
   d. Организационен блок
   e. Програма
2. Една програма за ПЛК Siemens S7-300 трябва да бъде записана поне в … за да бъде изпълнена от ПЛК.
   a. OB 1
   b. FB 1
   c. OB 101
3. Какъв е адреса на първия вход на един цифров входен модул, разположен в слот 7 на рамката на S7-300 в случай, че се използват само 16-канални модули?
   a. I 3.0
   b. I 7.0
   c. I 12.0
4. Каква част от паметта заема една двойна дума?
   a. 1 бит

b. 8 бита
c. 16 бита
d. 32 бита

5. В една ПЛК програма са дефинирани две променливи MW 0 и MW 1 от тип WORD. Ако в програмата се промени стойността на MW 0, то стойността на MW 1 …
   a. също ще се промени, тъй като тези променливи не споделят обща област от паметта
   b. остава непроменена.
   c. също ще се промени, тъй като тези променливи споделят обща област от памет.

6. Свържете програмните езици на стандарта IEC 61131 с техните аналози на STEP 7:

IEC61131	STEP 7
a. Структуриран текст	1. Списък с правила
b. SFC	2. Структуриран управляващ език
c. Списък с инструкции	3. S7-GRAPH

7. На фигурата е представена програма на езика:

```
A     I     10.0
AN    I     10.1
JNB   _001
L     IW     0
T     QW     0
```

   a. LAD
   b. FBD
   c. SCL
   d. ST

8. Функционална блокова диаграма е …
   a. графичен език за програмиране на ПЛК, базиран на диаграми на електрически схеми.
   b. машинно-ориентиран програмен език за ПЛК от ниско ниво.
   c. графически-ориентиран програмен език за ПЛК, базиран на блок-схеми на логически функции.

Основни булеви логически функции

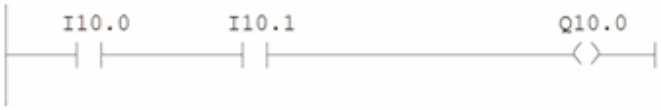
Основните булеви логически операции (наричат се също битова логика) могат да бъдат реализирани с помощта на съответстваща конфигурация от контакти (конекции, връзки).

4.1. Операции AND и OR

Една връзка или операция от тип AND (логическо И) ще има състояние „1” на изхода само когато на всички входове на AND-операцията състоянието е „1”. Ако само един вход е със състояние „0”, то изходният сигнал също ще е „0”. На фиг. 4.1 са показани примери за операция AND на езиците LAD, FBD и STL. Една конекция от тип AND може да има повече от два входа.

I 10.0	I 10.1	Q10.0
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

```
A     I     10.0
A     I     10.1
=     Q     10.0
```

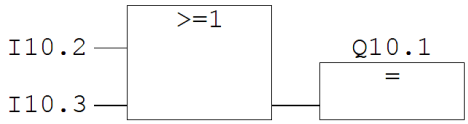


Фиг.4.1. Логическа връзка от тип AND с означени състояния на сигналите и реализация на езиците FBD, STL и LAD

Една връзка или операция от тип OR (логическо ИЛИ) ще има състояние „1” на изхода, когато състоянието дори само на един от входовете на OR-операцията е „1”. Изходът ще бъде в състояние „0” само ако на всички свързани входове състоянието е „0”. На фиг. 4.2 са показани примери за операция OR на езиците LAD, FBD и STL. Една конекция от тип OR може да има повече от два входа.

I 10.2	I 10.3	Q 10.1
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

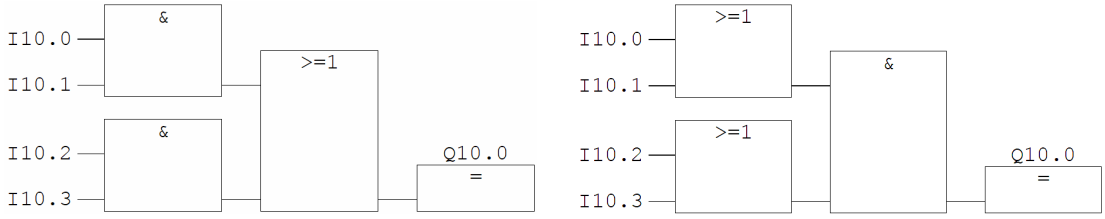
```
O     I     10.2
O     I     10.3
=     Q     10.1
```



Фиг.4.2. Логическа връзка от тип OR с означени състояния на сигналите и реализация на езиците FBD, STL и LAD

В STEP 7 резлутатите от прилагането на операциите AND и OR се съхраняват в бита RLO (Result of the Logic Operation, резултат от логическата операция). Битът RLO е бит от думите за състояние (status words), който може да приема стойности „1” или „0” [6]. При първата операция от тип AND или OR се проверява състоянието на операнда и резултатът от операцията се съхранява директно в бита RLO. Втората операция също проверява за състоянието на операнда. След това резултатът от втората операция се свързва със стойността на бита RLO по правилата на булевата алгебра и резултатът се съхранява отново в бита RLO. Тази последователност от действия приключва при присвояването на стойността от бита RLO на операнд/операнди или с помощта на условен преход. Понякога е необходимо битът RLO да се установи в „0” или в „1” без използването на операнди. Командите на STEP 7 *CLR* и *SET* извършват това действие в езика STL.

В една програма връзките от тип AND и OR могат да бъдат комбинирани в по-сложни операции от типа на връзки AND-преди-OR и OR-преди-AND [16]. При операцията AND-преди-OR изходът на елемент AND се свързва към вход на елемент OR. По аналогичен начин се реализира операцията OR-преди-AND. На Фиг. 4.3. е показана реализацията на тези операции на езика FBD.



Фиг.4.3. Реализация на операциите AND-преди-OR и OR-преди-AND на езика FBD

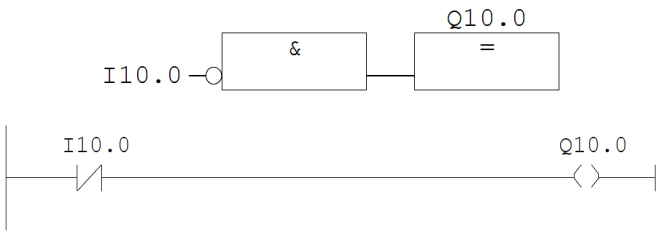
Изходът на конекция от тип AND-преди-OR е „1”, ако поне един от резултатите на изходите на елементите AND е „1”. Изходът на елемент OR-преди-AND е „1” ако и двата елемента OR имат сигнал „1” на изхода.

4.2. Логическо отрицание

Логическото отрицание се използва за инвертиране на състоянието на операнд или променлива. Това означава, че изходният сигнал на елемент от тип логическо отрицание ще бъде „1” при „0” на входа и обратно. Реализацията на логическо отрицание на езиците LAD, FBD и STL е показана на Фиг. 4.4.

I 10.0	Q 10.0
0	1
1	0

```
AN      I       10.0
=       Q       10.0
```

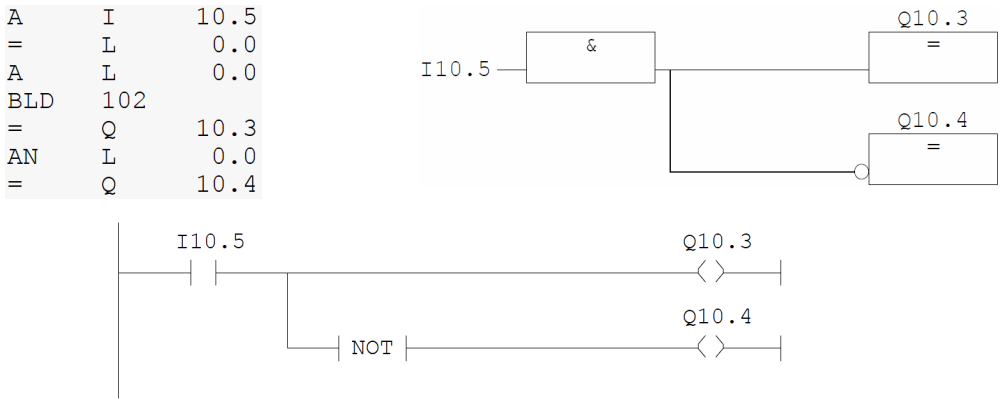


Фиг.4.4. Представяне на операцията логическо отрицание на езици FBD, STL и LAD

Логическото отрицание може да се използва и свързано към изходите на конекции от типа AND и OR (Фиг. 4.5). Връзка от тип AND с логическо отрицание се нарича NAND, а връзка от тип OR с логическо отрицание – NOR [6].

Фиг.4.5. Реализация на операциите NAND и NOR на езика FBD

Изходният сигнал от дадена логическа операция също може да се инвертира с използване на операцията Булево отрицание (NOT). На Фиг. 4.6 е инвертиран изходният сигнал Q 10.3.

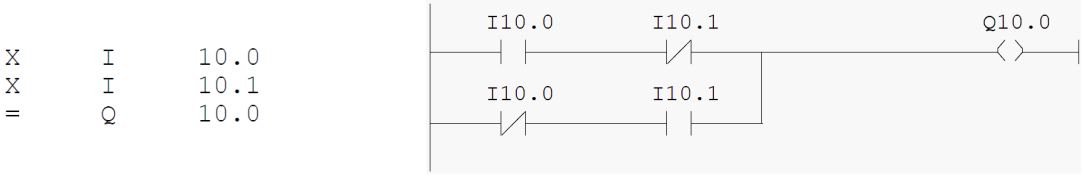


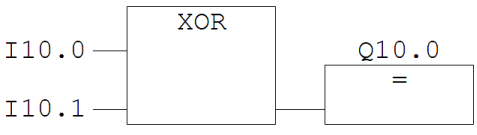
Фиг.4.6. Операция NOT, реализирана на езиците STL, FBD и LAD

4.3. Операция Изключващо ИЛИ (XOR)

Булевият елемент с два входа XOR (Exclusive-OR , Изключващо ИЛИ) има изходен сигнал „1”, ако двата входа са с различни състояния на сигналите. Това означава, че ако на единия вход сигналът е „1”, а на другия – „0”, операцията XOR ще даде резултатен сигнал „1”. Реализацията на операция XOR на езиците LAD, STL и FBD е показана на Фиг. 4.7.

I 10.0	I 10.1	Q 10.0
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0





Фиг.4.7. Операция XOR (Изключващо ИЛИ), реализирана на езиците FBD, STL и LAD

Един XOR елемент може да има повече от два входа. В този случай сигналът на изхода му е „1”, ако броят на входовете, които имат сигнал с ниво „1”, е нечетно число.

Връзка от тип XOR може да бъде използвана съвместно с операциите AND и OR.

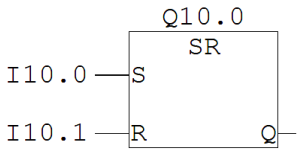
4.4. SR и RS тригери

SR и RS тригерите се използват за удължаване на жизнения цикъл на сигнал, появил се за кратко време, до един програмен цикъл. Затова SR и RS тригерите се наричат също функции за съхранение.

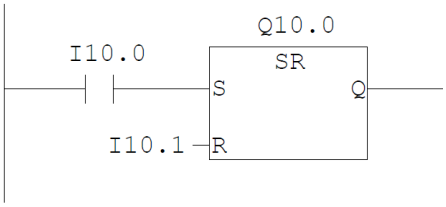
Използването и работата на SR тригер (доминиращо нулиране) и на RS тригер (доминиращо установяване в „1”) са показани на Фиг. 4.8 и 4.9.

При SR тригера ако входът S (Set) е в ниво „1”, а входът R (Reset) – в ниво „0”, изходът Q се установява в „1” и остава в това състояние докато не бъде ресетиран (нулиран). Евентуална промяна на вход S няма да повлияе на изхода Q, ако той е в състояние „1”. Изходът Q се нулира, ако на вход R се подаде сигнал „1”, без значение какво е текущото състояние на вход S. Затова SR тригерите се наричат тригери с доминиращо нулиране.

Q 10.0	I 10.0	I 10.1	Q 10.0
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	1	0	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	1	0

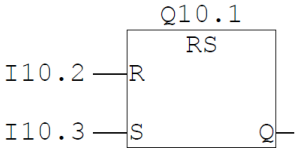



```
A     I     10.0
S     Q     10.0
A     I     10.1
R     Q     10.0
NOP   0
```

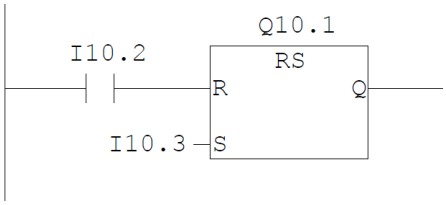


Фиг.4.8. Нива на сигналите при SR тригер и реализация на езиците FBD, STL и LAD

Q 10.1	I 10.2	I 10.3	Q 10.1
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	1	0	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	1	1



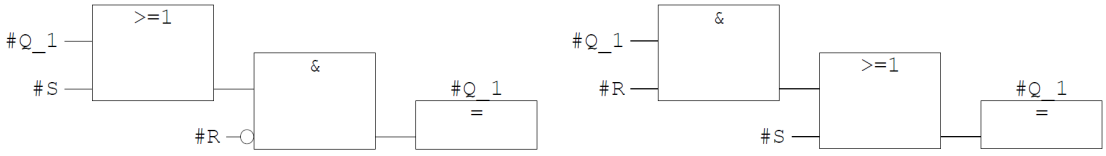

```
A     I     10.2
R     Q     10.1
A     I     10.3
S     Q     10.1
NOP   0
```



Фиг.4.9. Нива на сигналите при RS тригер и реализация на езиците FBD, STL и LAD

При RS тригерите ако вход R е в ниво „1”, а вход S – в ниво „0”, изходът Q се установява в „0” и остава в това състояние, докато не бъде установен в „1”. Изходът се установява в „1”, ако на вход S се подаде сигнал „1”, без значение какво е текущото състояние на вход R. Затова тези тригери се наричат тригери с доминиращо установяване в „1”. Промяна на сигнала на вход S не оказва влияние на изхода Q, ако той е в състояние „1”, а вход R – в „0”.

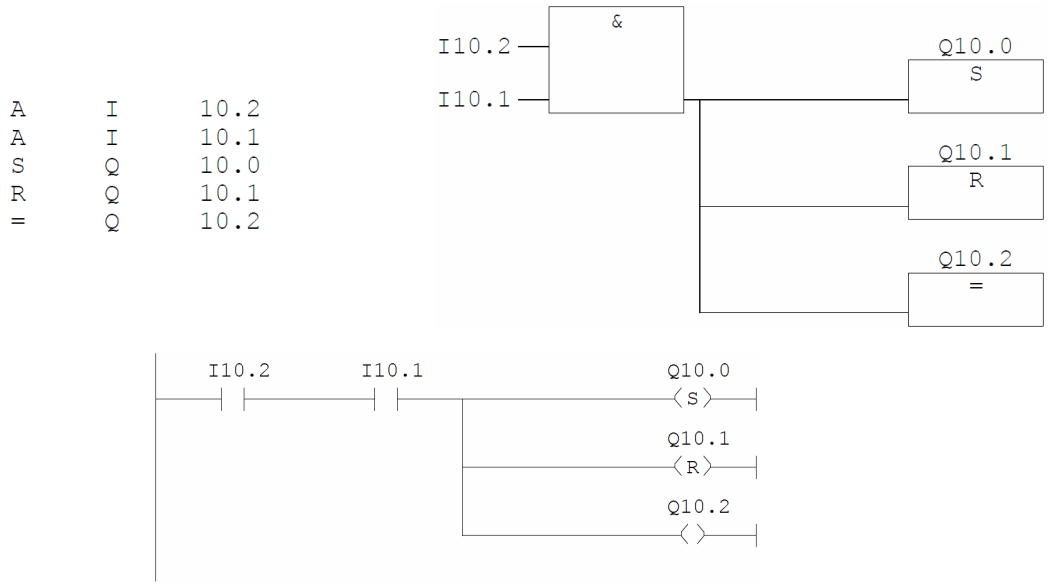
RS и SR тригерите могат да се реазизират с елементи AND и OR (Фиг. 4.10).



Фиг.4.10. SR (a) и RS (b) тригери, реализирани с елементи AND и OR на езика FBD

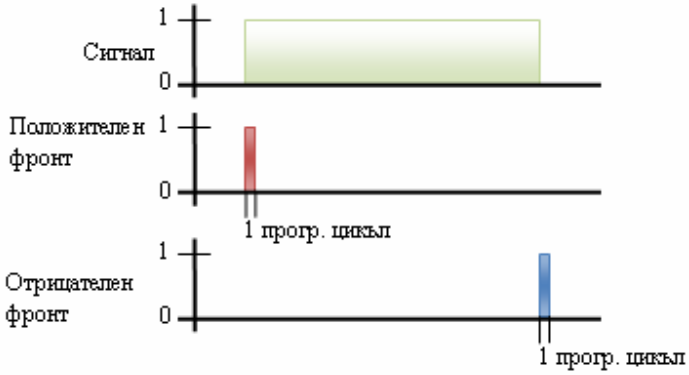
Установяването (в „1”) и нулирането на операнд или променлива може да бъде извършено в различни части на потребителската програма чрез функциите

SET (S) и RESET (R) [6]. С помощта на тези функции RS и SR тригерите се разделят на отделни операции SET и RESET. Недостатъкът на такова разделяне е, че се губи погледа върху програмата по отношение на това при какво условие даден операнд се установява или нулира. От друга страна, едно условие може да се използва за повече от една SET и/или RESET операции (Фиг. 4.11).



Фиг.4.11. Използване на функциите SET и RESET в езиците STL, FBD и LAD

4.5. Детекция на фронт



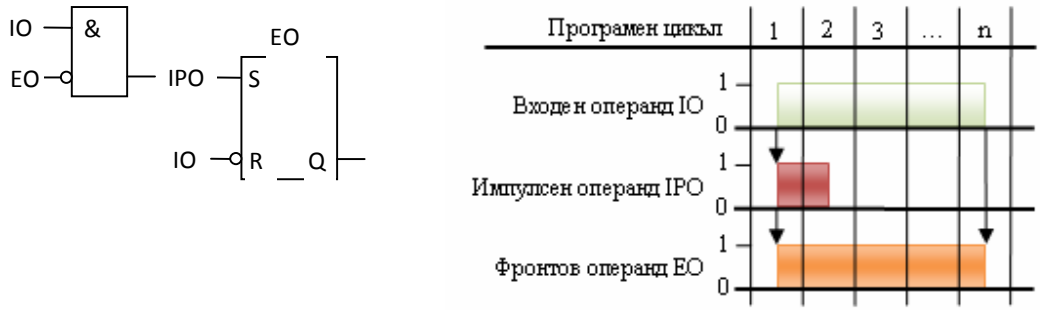
Фиг.4.12. Продължителност на сигналите за детекция на фронт

Детекцията на фронт се използва за откриване на промени в състоянието на сигнали. Предният фронт на сигнал (когато сигналът се променя от „0” в „1”) се нарича положителен фронт, а задният (промяна от „1” в „0”) – отрицателен фронт [6]. Сигналът за детекция на фронт (импулс) се формира от непрекъснат сигнал с дължина от един програмен цикъл (Фиг. 4.12).

За реализиране на детекцията на фронт с ПЛК се изисква операнд (променлива), който съхранява състоянието на сигнала от предишния програмен

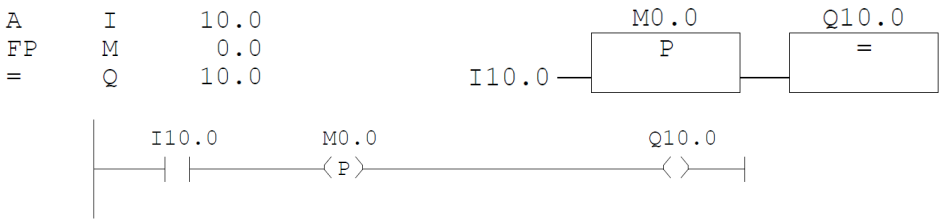
цикъл. Съществуват стандартни функции за детекция на промяна на фронт. Освен това детекцията на фронт може да се реализира с операция AND и SR/RS тригери.

Функцията за детекция на преден фронт открива промяна на състоянието на сигнал от „0” в „1” чрез входния операнд IO (Фиг. 4.13). Текущото състояние на сигнала на входния операнд IO в RLO бита се сравнява със състоянието на сигнала на входния операнд от предишния програмен цикъл (операнд EO). Ако предишното състояние на сигнала на входния операнд е било „0” и RLO битът е „1”, то RLO битът ще бъде „1” (импулс) и импулсният изходен IPO сигнал се установява в „1” за един програмен цикъл. При всички останали случаи състоянията на RLO и на импулсния операнд IPO са „0”. Стойността на RLO бита от детекцията на заден фронт на предишния програмен цикъл се съхранява в операнда на фронт EO [6].



Фиг.4.13. Детекция на преден фронт с операнд AND и SR тригер и състояния на сигналите на операндите

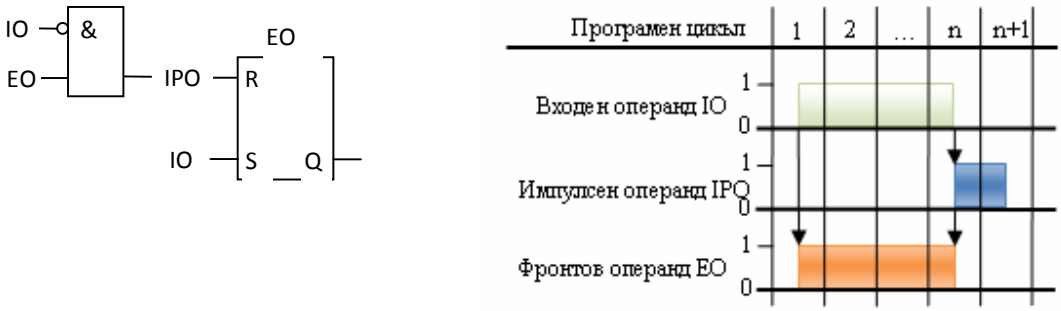
Функцията за детекция на преден фронт на STEP 7 е показана на Фиг.4.14.



Фиг.4.14. Детекция на преден фронт на езиците STL, FBD и LAD

Функцията за детекция на заден фронт открива промяна в състоянието на сигнала от „1” към „0” чрез специфицирания входен операнд IO (Фиг. 4.15).

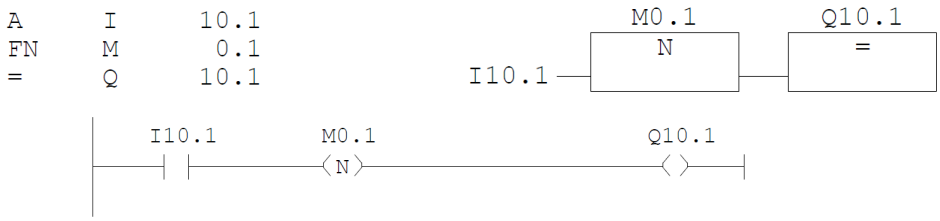
Текущото състояние на сигнала на входния операнд в RLO се сравнява със състоянието на сигнала на входния операнд IO при предишния програмен цикъл (фронтов операнд EO). Ако предишното състояние на сигнала на входния операнд е било „1” и RLO е „0”, то RLO ще стане „1” (импулс) и импулсният изходен IPO сигнал се установява в „1” за един програмен цикъл. При всички останали случаи състоянията на сигналите на RLO и на импулсния операнд IPO са „0”. Резултатът от RLO от детекцията на заден фронт на предишния програмен цикъл се съхранява в операнда на фронт EO [6].



Фиг. 4.15. Детекция на заден фронт с операнд AND и SR тригер
и състояния на сигналите на операндите

Функцията за детекция на заден фронт на STEP 7 е показана на Фиг.4.16.

При стандарта IEC 61131 се използват командите R_TRIG (преден фронт) и F_TRIG (заден фронт) за детекция на промени в нивата на сигнали.



Фиг.4.16. Детекция на заден фронт на езиците STL, FBD и LAD

4.6. Логически връзки

Два операнда/променливи или един операнд/променлива и една константа се свързват с помощта на логически връзки. Логическата връзка не предава стойности на битове към следващата бинарна позиция.

Стандартът IEC 61131 използва базови булеви логически функции за логическите връзки. Това са AND, OR, XOR (Изключващо ИЛИ) и NOT (Отрицание).

Логическите връзки в STEP 7 са винаги логически операции тип „дума", които сравняват двойки операнди по правилата на булевата логика (бит по бит). Операндите или константата трябва да бъдат данни тип дума (WORD, 16 бита) или двойна дума (DWORD, 32 бита). В таблица 4.1 са показани функциите за логически връзки в STEP 7 на езиците STL, FBD и LAD.

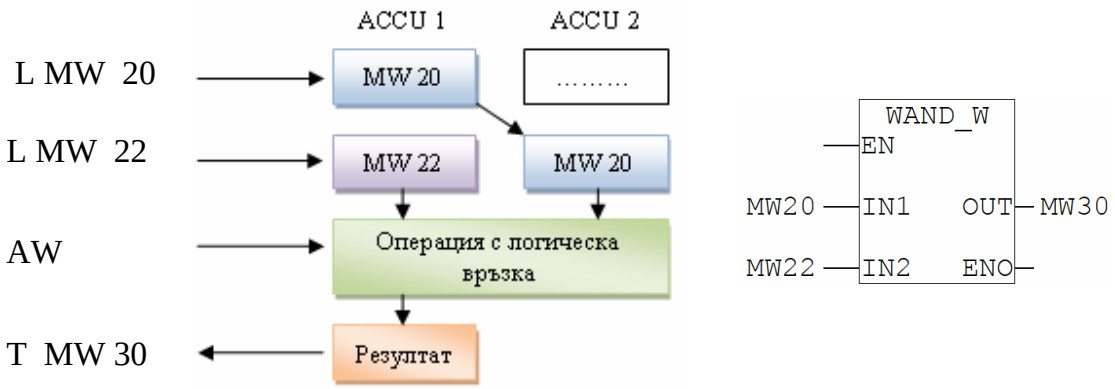
Таблица 4.1 Функции за логически връзки в STEP 7

Име	**Дума**		**Двойна дума**		**Коментар**
	STL	**FBD/LAD**	**STL**	**FBD/LAD**	
AND	AW	WAND_W	AD	WAND_DW	Логическа връзка И
OR	OW	WOR_W	OD	WOR_DW	Логическа връзка ИЛИ
XOR	XOW	WXOR_W	XOD	WXOR_DW	Логическа връзка Изключващо ИЛИ
NOT	INVI	INV_I	INVD	INV_DI	Логическо Отрицание

STEP 7 използва акумулаторите ACCU 1 и ACCU 2 (Фиг. 4.17) за операциите с логически връзки. Акумулаторите са специални регистри в ЦП, които се използват като буфери за данните, използвани при операциите с логически връзки (Повече по този въпрос може да прочетете в модул 5.1). Това означава, че първо данните за операнд 1 (IN 1) се зареждат в ACCU 1. При зареждане на данните за операнд 2 (IN 2), данните в ACCU 1 се преместват в ACCU 2 и тогава данните за операнд 2 се зареждат в ACCU 1. Върху съдържанието на ACCU 2 (операнд 1) и съдържанието на ACCU 1 (операнд 2) се прилага конкретната операция за логическа връзка. Резултатът от операцията се съхранява в ACCU 1, чието съдържание се прехвърля на изходния операнд (OUT) [6].

При логическа връзка от тип AND резултантният бит на думата (двойната дума) е "1", когато съответните битове на двата входни операнда в операцията за

логическа връзка са „1” (Табл. 4.3). Логическата връзка AND може да се използва за скриване на двоични числа, които не са необходими или са неприложими. За целта се използва маска, където необходимите или приложимите двоични позиции имат състояние „1”, а тези, които трябва да бъдат скрити – „0”. Маската може да е константа или променлива. Маската и операнда за маскиране са свързани логически с функция AND, като така ненужните двоични цифри се скриват (ниво „0”), а нужните остават непроменени. В Табл. 4.3 са маскирани битове 2 и 3 на входния операнд IN 1. Входният операнд IN 2 е използван като маска.



Фиг.4.17. Операция с логическа връзка AND в STEP 7
и визуализация на езиците STL и FBD

При логическата връзка OR резултантният бит на думата (двойната дума) е ”1”, когато поне един от съответните битове на двата входни операнда в операцията за логическа връзка е „1” (Табл. 4.3). Тази операция се използва за допълване на битови шаблони. Една или няколко двоични позиции със състояние на сигнала „1” се вмъкват в даден битов шаблон с логическа връзка от тип OR. В Табл. 4.3 е показан пример, при който е необходимо битове 2 и 3 на входния операнд IN 1 да бъдат „1”. Затова битовият шаблон на входния операнд IN 1 се допълва със състояние „1” в битове 2 и 3.

При логическата връзка XOR резултантният бит на думата (двойната дума) е ”1”, когато само един от съответните битове на двата входни операнда в операцията за логическа връзка е „1” (Табл. 4.3). Тази операция позволява откриването на промени в състоянието на сигнала на една или няколко двоични позиции на

операнда. За целта новите и старите състояния на сигнала се свързват с логическа функция XOR. На всяка позиция, на която нивото се е променило от „0” в „1” или от „1” в „0”, операцията XOR ще осигури ниво „1”. В Табл. 4.3 може да се види, че промяна на сигнала (нивото) е настъпила в бит 1 (от „1” в „0”) и в бит 2 (от „0” в „1”). Входният операнд IN 1 съдържа старите състояния, а входният операнд IN 2 – новите. Ако след операция XOR се приложи операция AND върху новите състояния на сигнала (Табл 4.2), ще могат да се открият само промените от „0” към „1”. За промените от „1” към „0” трябва да се използва операция AND със старите състояния на сигнала след операцията XOR (Табл. 4.2).

Таблица 4.2. Откриване на промени от “1” в “0” и от “0” в “1”

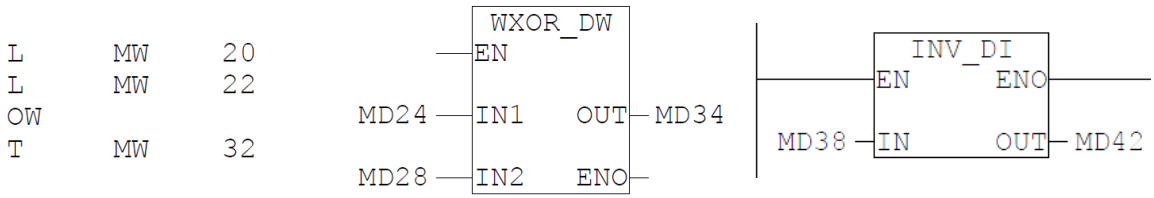
Откриване на промяна в сигнал	**Команди**	**Пример**	**Коментар**
Търсят се само преходите от „0” в „1”	L MW 20	…. 1010	Дума със старите състояния
	L EW 10	…. 1100	Дума с новите състояния
	XOW	…. 0110	Модиф. битов шаблон в ACCU 1
	L EW 10	…. 1100	Дума с новите състояния
	UW	…. 0100	Краен резултат в ACCU 1
Търсят се само преходите от „1” в „0”	L MW 20	…. 1010	Дума със старите състояния
	L EW 10	…. 1100	Дума с новите състояния
	XOW	…. 0110	Модиф. битов шаблон в ACCU 1
	L MW 20	…. 1010	Дума със старите състояния
	UW	…. 0010	Краен резултат в ACCU 1

При логическа връзка от тип NOT (отрицание) резултатът е инвертираната стойност на входния операнд (Табл. 4.3). Повече по този въпрос може да прочетете в модул 7.3.4.

Таблица 4.3. Примери за операции с логически връзки (функции)

Функция	AND	OR	XOR	NOT
Пример	IN 1: …. 1010 IN 2: …. 1100 OUT: …. 1000	IN 1: …. 1010 IN 2: …. 1100 OUT: …. 1110	IN 1: …. 1010 IN 2: …. 1100 OUT: …. 0110	IN 1: …. 1010 OUT: …. 0101

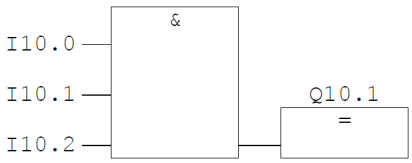
На Фиг. 4.18 са показани примери за логически връзки на STEP 7. Показани са логическа връзка от тип OR с променливи от тип дума на езика STL, логическа връзка от тип XOR с променливи от тип двойна дума на езика FBD и логическа функция „допълване на единици” (логическо отрицание) с променлива от тип двойна дума на езика LAD.



Фиг.4.18. Примери за фунцкии за логически връзки на езиците STL, FBD и LAD

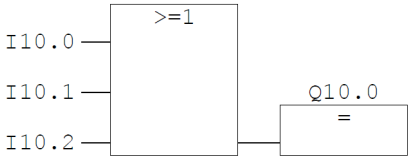
4.7. Въпроси за самопроверка

1. Кои от следните твърдения за логическата връзка от тип AND, показана на фигурата, са верни (възможни са повече правилни отговори)?



   a. Изходът е “1”, ако един от входовете е “1”.
   b. Изходът е “1”, ако всички входове са “1”.
   c. Изходът е “1”, ако точно един от входовете е “1”.
   d. Изходът е “0”, ако всички входове са “0”.

2. Кои от следните твърдения за логическата връзка от тип OR, показана на фигурата, са верни (възможни са повече правилни отговори)?



a. Изходът е “1”, ако един от входовете е “1”.
b. Изходът е “1”, ако всички входове са “1”.
c. Изходът е “1”, ако точно един от входовете е “1”.
d. Изходът е “0”, ако всички входове са “0”.

3. Една логическа връзка от тип NAND е реализирана на езика STL на …

a.
```
A     I     10.0
AN    I     10.1
NOT
=     Q     10.0
```

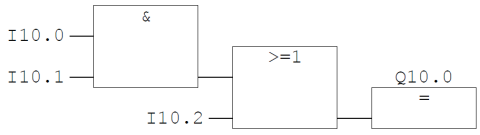
b.
```
A(
ON    I     10.0
O     I     10.1
)
NOT
=     Q     10.0
```

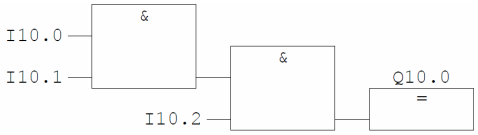
c.
```
A(
O     I     10.0
O     I     10.1
)
NOT
=     Q     10.0
```

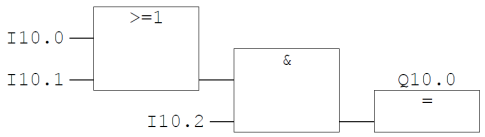
d.
```
A     I     10.0
A     I     10.1
NOT
=     Q     10.0
```

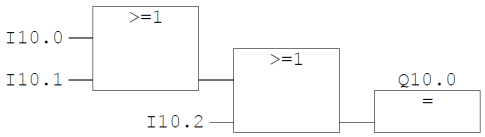
4. По-долу е показана програма на езика STL. Как изглежда същата програма на езика FBD?

```
A(
O     I     10.0
O     I     10.1
)
A     I     10.2
=     Q     10.0
```

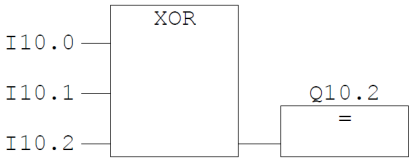
a.


b.


c.


d.


5. Кои от следните твърдения за логическата връзка от тип XOR, показана на фигурата, са верни (възможни са повече правилни отговори)?



   a. Изходът е “1”, ако поне един от входовете е “1”.
   b. Изходът е “1”, ако всички входове са “1”.
   c. Изходът е “1”, ако точно един от входовете е “1”.
   d. Изходът е “0”, ако всички входове са “0”.

6. Как е известен още RS тригерът (възможни са повече правилни отговори)?
   a. тригер с доминиращо установяване.
   b. тригер с доминиращо нулиране.
   c. функция за съхранение.

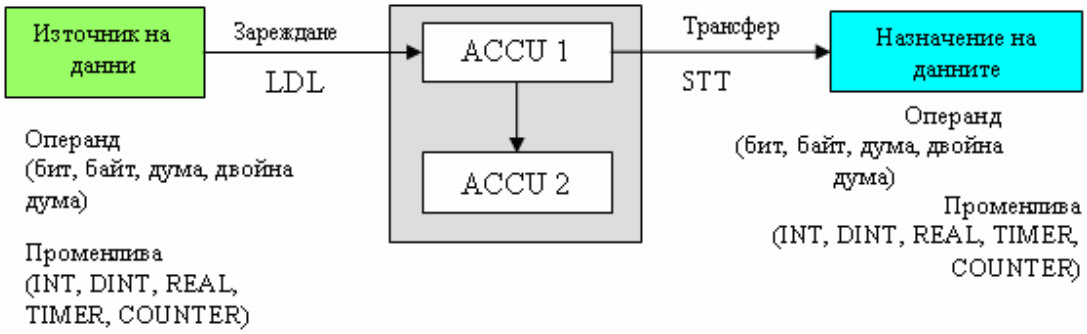
7. Заден фронт е:
   a. сигнал “0”
   b. сигнал “1”
   c. промяна в нивото на сигнал от “1” в “0”
   d. промяна в нивото на сигнал от “0” в “1”

8. Логическата връзка AND, приложена върху променливи от тип дума, може да се използва за …
   a. скриване на ненужни стойности на променлива.
   b. скриване на двоични цифри в даден битов образец, които не са необходими или са неприложими.
   c. намиране на преходите от “1” в “0” на даден сигнал.
   d. намиране на преходите от “0” в “1” на даден сигнал.

Функции за трансфер на данни и за програмно управление

5.1. Функции за трансфер на данни

С помощта на тези функции (Фиг. 5.1) данните могат да бъдат зареждани и прехвърляни от акумулаторите на ЦП (ACCU) в операнди и променливи. С тези функции може също да се извършва и обмен на данни между акумулаторите. Акумулаторът е специален регистър в процесора, който се използва за буфериране на обработваните данни (на данните, използвани от даден процес или операция). При ПЛК на SIEMENS акумулаторната област сумарно е 32 бита, които се поделят от два акумулатора. Това е необходимо, тъй като при аритметичните и цифровите операции се обработват два входни операнда и се получава един резултат. Първият операнд се зарежда в ACCU 1. При зареждането на втория операнд, съдържанието на ACCU 1 се прехвърля в ACCU 2, след което операндът се зарежда в ACCU 1. При този процес се губи предишното съдържание на ACCU 2. След това се извършва желаната операция. Резултатът от изпълнението й се разполага в ACCU 1, откъдето се прехвърля в изходния операнд. Само съдържанието на ACCU 1 може да бъде прехвърляно на операнди [6].

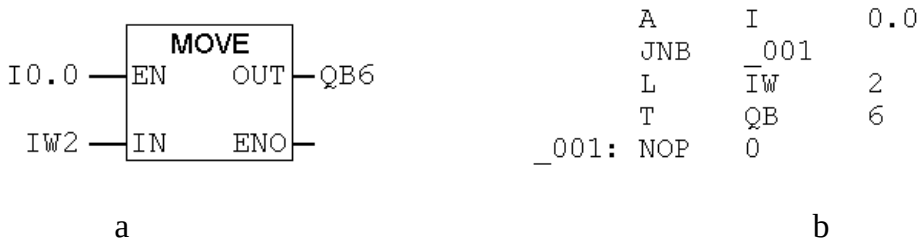


Фиг.5.1. Функции за трансфер на данни

В IEC 61131 на езика IL се използват командите *LD* и *ST* за зареждащи и прехвърлящи функции. В STEP 7 те са съответно *L* и *T* на езика STL. На езиците FBD и LAD се използва функцията MOVE за прехвърляне на стойности между операнди (тя комбинира командите за зареждане и прехвърляне). В STEP 7 функциите за трансфер не могат да се използват с битови операнди.

В Табл. 5.1 са показани командите за зареждане и прехвърляне на STEP 7 заедно с допустимите операнди на езика STL. С „n” е означен байтовия адрес на операнда в паметта, а с „x” – номер на блок с данни (DB). Изискванията към функциите за зареждане и трансфер на данни на езика STL, показани в Табл. 5.1, се отнасят също и за функцията MOVE.

На Фиг. 5.2 е показана функцията за трансфер MOVE на езиците FBD и STL. При този пример стойността на операнда IW 2 се прехвърля на операнда QB 6, ако входният операнд EN I 0.0 е „1”.



a b

Фиг.5.2. Функция за трансфер на езиците FBD (a) и STL (b)

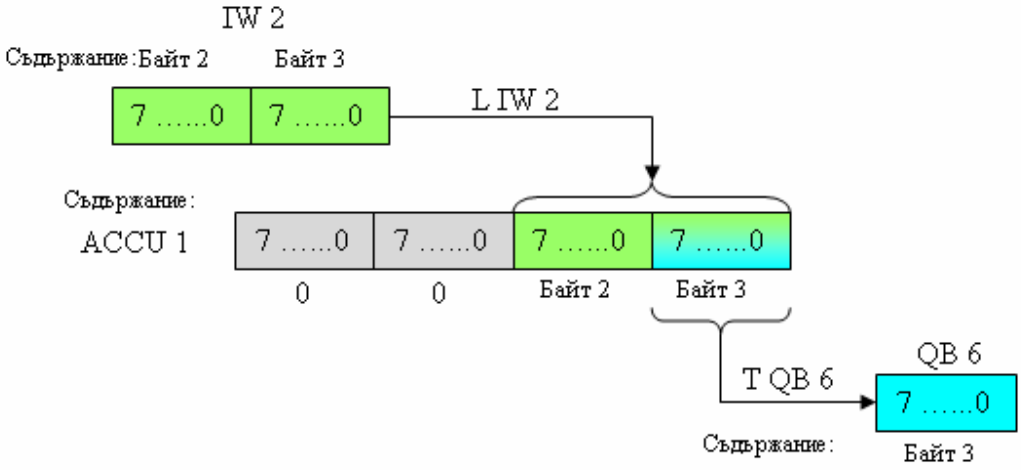
Таблица 5.1 Преглед на командите за зареждане и прехвърляне на данни

Зареждане от: Трансфер към:	**Команда за зареждане**	**Команда за трансфер (прехвърляне)**	**Коментар**
Входове	L IB n	T IB n	Зареждане от (транфер към) един входен байт
	L IW n	T IW n	Зареждане от (транфер към) една входна дума
	L IW n	T ID n	Зареждане от (транфер към) една входна двойна дума
			Стойностите на входовете се променят от командата за трансфер само за един цикъл на ПЛК.

Зареждане от: Трансфер към:	**Команда за зареждане**	**Команда за трансфер (прехвърляне)**	**Коментар**
Изходи	L QB n L QW n L QW n	T QB n T QW n T QD n	Зареждане от (транфер към) един изходен байт Зареждане от (транфер към) една изходна дума Зареждане от (транфер към) една изходна двойна дума
Периферия	L PIB n L PIW n L PIW n	T PQB n T PQW n T PQD n	Зареждане от (транфер към) един периферен байт Зареждане от (транфер към) една периферна дума Зареждане от (транфер към) една периферна двойна дума
Памет	L MB n L MW n L MW n	T MB n T MW n T MD n	Зареждане от (транфер към) един байт от паметта Зареждане от (транфер към) една дума от паметта Зареждане от (транфер към) една двойна дума от паметта
Константа	L B#16#F5 L -50 L L#-400 L 2.5 L S5T#2S500MS L C#250		Зареждане на шестнадесетична конст. Зареждане на целочислена конст. Зареждане на константата от тип double integer Зар. на конст. от тип реално число Зареждане S5 таймерна константа Зареждане S5 броячна константа
Таймер	L T n LC T n		Зареждане на целочислена стойност от таймера Зареждане на BCD стойност от таймера
Брояч	L C n LC C n		Зареждане на шестнадесетична стойност от брояча Зареждане на BCD стойност от брояча

Зареждане от: Трансфер към:	**Команда за зареждане**	**Команда за трансфер (прехвърляне)**	**Коментар**
Данни	L DB x. DBB n L DB x. DBW n L DB x. DBD n L DBB n L DBW n L DBD n	T DB x. DBB n T DB x. DBW n T DB x. DBD n T DBB n T DBW n T DBD n	С адрес на блока данни (DB) Зареждане от (транфер към) един байт данни Зареждане от (транфер към) една дума данни Зареждане от (транфер към) една двойна дума данни Без адрес на блока данни Зареждане от (транфер към) един байт данни Зареждане от (транфер към) една дума данни Зареждане от (транфер към) една двойна дума данни
Променливи	L #Speed	T #Speed	Зареждане от (транфер към) променлива „Speed”

Ако е разрешен трансферът (на вход I 0.0 има „1”), съдържанието на операнда IW 2, което е с дължина от една дума, се зарежда (с дясно подравняване) в ACCU 1 (Фиг. 5.3). Най-високият адресиран байт (байт 3) остава отдясно. Останалите два байта от ACCU 1 ще бъдат запълнени с нули. След това съдържанието на ACCU 1 се прехвърля към операнда QB 6, който е с дължина от един байт. Съдържанието на най-десния байт на ACCU 1 (байт 3) се записва в операнда. Например ако операндът IW 2 е 0100 1001 1110 0110, стойността на QB6 ще бъде 1110 0110.



Фиг.5.3. Стъпки на зареждане и трансфер при STEP 7

При функцията MOVE входът EN може да не бъде свързан (без сигнал). Това означава, че командата *MOVE* се изпълнява при всеки работен цикъл на ПЛК и не е необходимо да се изчаква разрешаващ сигнал на вход EN.

5.2. Функции за управление на програмата

При много програми за ПЛК е необходимо прекратяване на линейния ход на програмата и изпълнението на алтернативни програмни клонове (разклонения). В рамките на един блок това може да стане с преходи, цикли или чрез блокови операции. Условното извикване на функции, блокове или алтернативни програмни клонове също води до нелинеен ход на програмата [6].

5.2.1. Функции за безусловен и условен преход

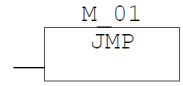
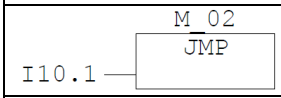
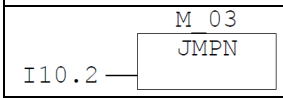
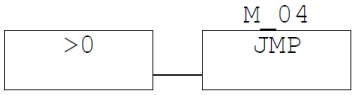
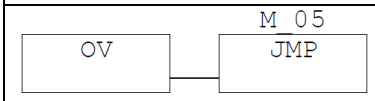
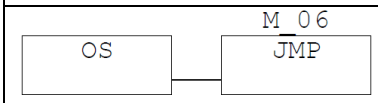
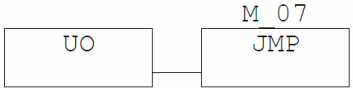
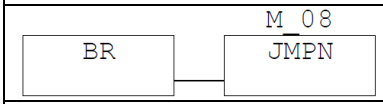
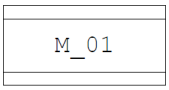
С функциите за преход изпълнението на програмата може да се прехвърли към друга нейна част. Стандартът IEC 61131 използва за функция за преход командата *JMP* с етикет. Етикетът указва позицията на прехода в програмата на ПЛК. Програмният преход може да бъде изпълнен безусловно или условно.

В Табл. 5.2 и 5.3 са показани функциите за преход на STEP 7 на езиците STL и FBD [6, 17]. На езика LAD правоъгълните елементи (блоковете) от Табл. 5.3 се заменят от контакти от лявата част и навивки от дясната част. Описанието на статусните битове, използвани в FBD и LAD, може да бъде намерено в глава „Статусни битове” на ръководството за STEP 7.

Таблица 5.2. Команди за преход на STEP 7 на езика STL

Команда (операция)	**Операнд**	**Коментар**
JU	Етикет	Безусловен преход.
JC	Етикет	Преход, ако резулатът от логическа операция (*RLO*) е 1.
JCN	Етикет	Преход, ако RLO = 0.
JCB	Етикет	Преход, ако RLO = 1. Съдържанието на бита RLO се копира в бит BR.
JNB	Етикет	Преход, ако RLO = 0. Съдържанието на бита RLO се копира в бит BR
JBI	Етикет	Преход, ако статусният бит BR е 1.
JNBI	Етикет	Преход, ако статусният бит BR е 0.
JO	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция нахвърля максималния диапазон (oversize). Статусният бит OV е 1.
JOS	Етикет	Преход, ако един от резулатите от предишната аритметична операция нахвърля максималния диапазон (oversize). Статусният бит OS е 1.
JZ	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция е равен на 0.
JN	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция не е равен на 0.
JP	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция е по-голям от 0.
JM	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция е по-малък от 0.
JPZ	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция е по-голям от или равен на 0.
JMZ	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция е по-малък от или равен на 0
JUO	Етикет	Преход при непозволена аритметична операция. Статусните битове CC1 и CC0 са 1.
LOOP	Етикет	Преход към цикъл. Декрементиране на съдържанието на ACCU 1-L и преход ако съдържанието на ACCU 1-L е различно от нула.

Таблица 5.3. Команди за преход на STEP 7 на езика FBD

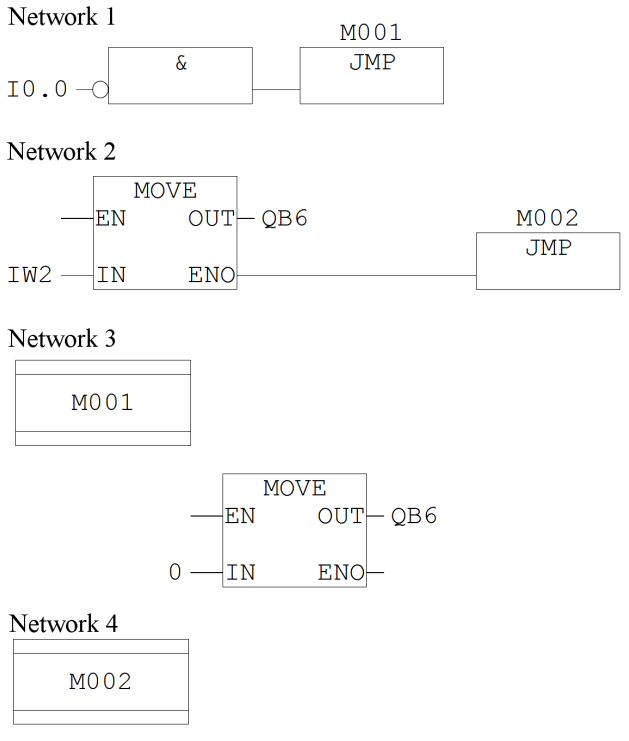
Команда (операция)	**Операнд**	**Коментар**
	Етикет	Безусловен преход.
	Етикет	Преход, ако RLO = 1.
	Етикет	Преход, ако RLO = 0.
	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция е по-голям от 0. Аналогично се организират преходите при < 0, == 0, <> 0, >= 0 и <= 0.
	Етикет	Преход, ако резулатът от предишната аритметична операция нахвърля максималния диапазон (oversize). Статусният бит OV е 1.
	Етикет	Преход, ако един от резулатите от предишната аритметична операция нахвърля максималния диапазон (oversize). Статусният бит OS е 1.
	Етикет	Преход при непозволена аритметична операция с променливи с плаваща запетая.
	Етикет	Преход, ако статусния бит BR е 1.
		Адрес на прехода. Тук се записва етикета на прехода.

Адресът на прехода се означава с етикет на прехода. Етикетът се състои от максимум четири символа. Първият символ трябва да е буква; останалите символи може да са букви, цифри или долна черта (напр. M_01). При етикетите на преход се прави разлика между малки и големи букви. При една инструкция за преход етикетът се слага след командата за преход (на STL) и над командния блок за преход (на FBD). В STL адресът на прехода се дефинира с етикет, следван от двоеточие (напр. M_01: A I1.0). Във FBD адресът на прехода се дефинира с блок (етикетът се записва вътре) в началото на мрежата. Един етикет на преход може да

съдържа само един адрес на преход, но преходи към един и същи адрес могат да се осъществяват от различни места. Команди за преход се изпълняват само в рамките на същия програмен блок. В един програмен блок могат да се правят преходи както напред, така и назад.

На Фиг. 5.4 е показана програма, написана съответно на FBD и STL, в която са използвани функции за преход. Операндът QB 6 получава стойност от операнда IW 2, ако входният операнд I 0.0 има стойност (сигнал на входа) „1”. Стойността на операнда QB 6 ще бъде 0, ако входният операнд I 0.0 има стойност „0”.

Важно е да се знае, че в подобни програмни фрагменти присвояванията на променливи остават, както са били направени при последното изпълнение на програмния фрагмент, дори ако тази програмна част не се изпълнява повече (програмата прави преход извън тази част) или ако са били променени условията за присвояване.



a

```
      A     I     0.0
      JNB   M001
      L     IW    2
      T     QB    6
M001: JU    M002
      L     0
      T     QB    6
M002: NOP   0
```

b

Фиг.5.4. Примерна програма с функции за преход на езиците FBD (a) и STL (b)

5.2.2. Функции за извикване на блокове

Стандартът IEC 61131 използва командата *CAL* за условно или безусловно отваряне на функционални блокове. С тази команда не могат да се отварят функции в една програма на ПЛК.

В Табл. 5.4 и 5.5 са показани функциите за извикване на блокове в STEP 7 за езиците STL и FBD. С командата *CALL* се отварят блокове и се обменят (актуализират) стойностите на блоковите параметри. Тези параметри са изброени под командата *CALL* (Фиг. 5.5 b). Командите *UC* и *CC* се използват за извикване на блокове без параметри.

В езика LAD правоъгълните елементи от Табл. 5.5 се заменят с навивки.

Таблица 5.4. Функции за извикване на блокове в STEP 7 на езика STL

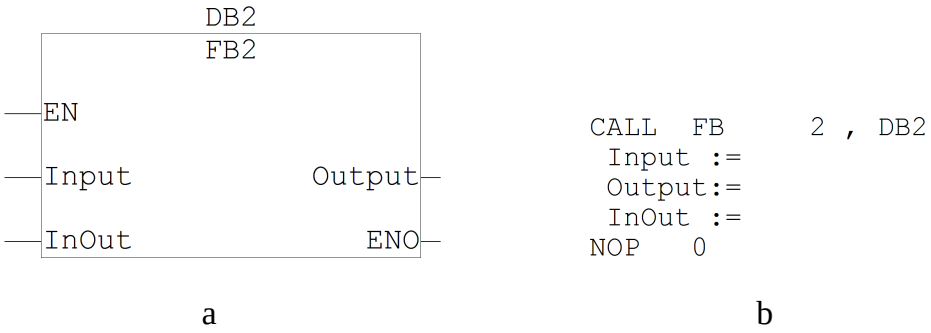
Команда (операция)	**Операнд**	**Коментар**
CALL	FB, FC, SFB, SFC	Безусловно извикване на блокове
UC	FB, FC	Безусловно извикване на блокове без параметри
CC	FB, FC	Условно извикване на блокове без параметри
OPN	DB, DI	Отваряне на блокове данни (DB)

В езиците FBD и LAD функцията за извикване на блок е самият правоъгълен елемент на блока (Фиг. 5.5 a). В него са името на блока и параметрите му. В STEP 7 функционалните блокове (FB) се извикват заедно с конкретни блокове данни (DB) (те принадлежат на FB). В сравнение с функциите (FC), параметрите на функционалните блокове не трябва да бъдат свързвани с операнди. Параметри, които не са свързани, запазват текущите си стойности.

Командата *OPN* се изпълнява безусловно. Един отворен блок данни остава активен докато се отвори друг блок данни.

Таблица 5.5. Функции за извикване на блокове в STEP 7 на езика FBD

Команда (операция)	**Операнд**	**Коментар**
FC1 CALL	FC, SFC	Безусловно извикване на функции без параметри
DB1 OPN	DB	Отваряне на блокове данни (DB).



Фиг.5.5. Извикване на блок на езиците FBD (a) и STL (b)

В езиците FBD и LAD функционалните блокове (FB) (Фиг. 5.5 a), функциите (FC) и много стандартни функции (Фиг. 5.2 a) имат вход EN (enable) и изход ENO (enable output), които могат да влияят върху тяхното изпълнение. Ако входът EN не е свързан или на него има сигнал „1”, то блокът се извиква или се изпълнява функцията. На изхода ENO също има сигнал „1”. Ако по време на изпълнението на блока или функцията възникне грешка, сигналът на изхода ENO става „0”, дори на входа EN да има „1”. Ако на входа EN сигналът е „0”, блокът не се извиква или функцията не се изпълнява, а сигналът на изхода ENO също е „0” [6].

Важно е да се знае, че при работа на ПЛК (ПЛК е в режим RUN) всички извикани и отворени блокове в програмата трябва да бъдат в ПЛК. В противен случай се прекъсва изпълнението на програмата и ЦП преминава в режим STOP.

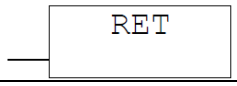
5.2.3. Функции за край на блок

Стандартът IEC 61131 Използва команда *RET* за безусловно или условно връщане от (затваряне на) функции или блокове. При връщане в прекъснатия блок

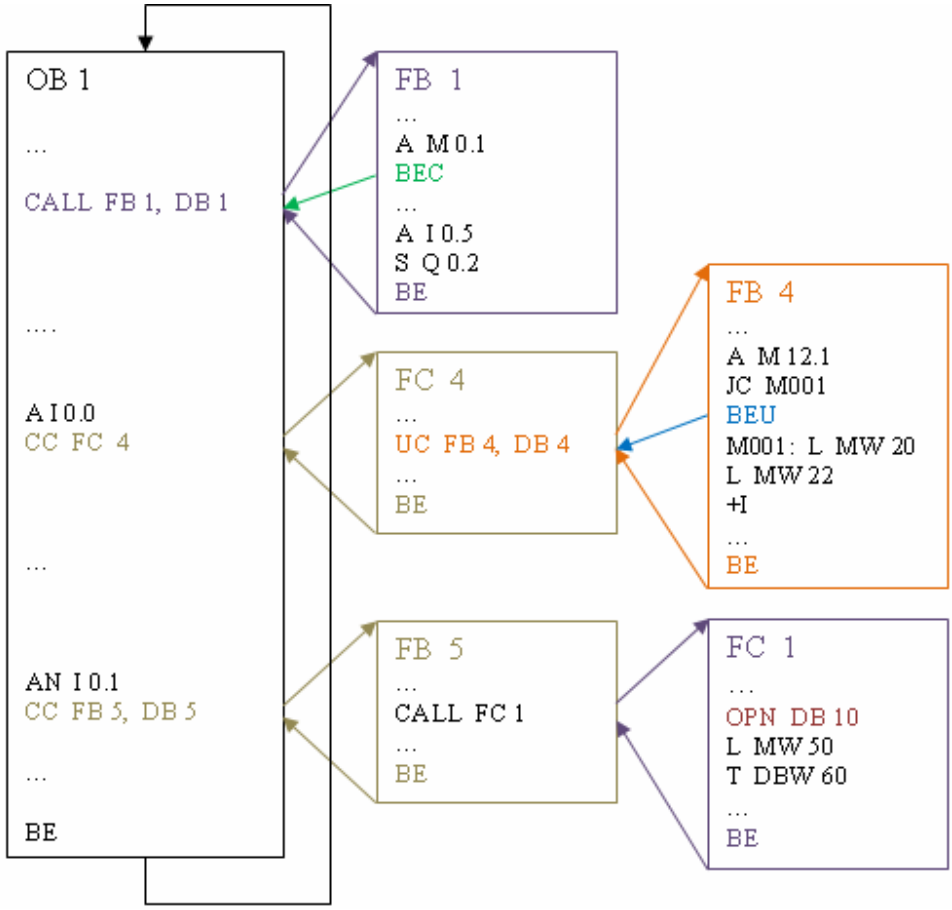
изпълнението на програмата продължава от мястото, където е била извикана функцията и е било прекъснато изпълнението на програмата.

В Табл. 5.6 са показани функциите за край на блок на STEP 7 на езиците STL и FBD. На езика LAD правоъгълният елемент от Табл. 5.6 се заменя с навивка. С командите *BEU*, *BEC* и *RET* изпълнението на блок може да бъде прекратено преждевременно. С командите *BEC* и *RET* изпълнението се прекратява, ако битът RLO преди командите е бил „1”. С командата *BEU* прекратяването на изпълняваната програма може се предотврати с функции за преход (реализира се скок, „прехвърлящ” командата).

Таблица 5.6. Функции за край на блок в STEP 7 на езиците STL и FBD

Команда (операция) на STL	**Команда (операция) на FBD**	**Коментар**
BE		Маркира край на блока
BEC		Маркира условен край на блока (RLO = 1)
BEU		Маркира безусловен край на блока
		Маркира условен край на блока (RLO = 1)

На Фиг. 5.6 е показана примерна програма за ПЛК на езика STL. Програмата е структурирана в различни блокове. Използвани са функции за преход, за извикване и за край на блокове. В този пример блокът FB 1 винаги се извиква от OB 1 и програмата вътре в него се изпълнява. Ако в клетката от паметта M 0.1 има „1”, изпълнението на програмата от FB 1 се прекратява с командата *BEC*. Блоковете FC 4 и FB 5 се извикват само ако условията за извикване в OB 1 са изпълнени. Това означава, че за изпълнението на програмата във FC 4 входният сигнал I 0.0 трябва да бъде „1”, а за FB 5 входният сигнал I 0.1 трябва да бъде „0”. И в двата блока се извикват безусловно други блокове (във FC 4 – FB 4, а във FB 5 – FC 1). Изпълнението на програмата от FB 4 се прекратява от команда *BEU*, акофункцията за преход JC M001 не се изпълни (при RLO=0). Това означава, че условието за преход на функцията JC не е изпълнено (в случая – в клетката от паметта M 12.1 има „0”) и изпълнението на програмата FB 4 спира преди блока за край BE. В FC 1 се отваря блок данни DB 10 за съхраняване на дадена информация в него.



Фиг.5.6. Структурирана програма за ПЛК, написана на езика STL

5.3. Въпроси за самопроверка

1. Акумулаторът е ...
   a. регистър в ЦП, използван за буфериране на обработваните данни
   b. регистър, в който се съхранява резултатът от програма за ПЛК
   c. област от паметта, където може да бъде съхранена потребителска програма
   d. промяна на сигнал от “0” в “1”

2. Кой (кои) тип (типове) данни изключва(т) употребата на функцията MOVE?
   a. BYTE (байт)
   b. BOOL
   c. WORD (дума)
   d. INT

3. Функцията за преход, показана по-долу, ще се изпълни …

   a. винаги, ако някои условия са преди нея
   b. само ако условието пред нея е невярно
   c. винаги, ако няма условия
   d. само ако условието пред нея е вярно

4. Коя функция се използва за отваряне на блок данни (DB) в STEP 7?
   a. OPN
   b. OPEN
   c. DB 1
   d. CALL

5. Как вход EN влияе върху изпълнението на блокове и функции?
   a. Не влияе.
   b. Ако с него е свързано условие, блоковете и функциите се изпълняват, ако условието е невярно.
   c. Ако с него е свързано условие, блоковете и функциите се изпълняват, ако условието е вярно.
   d. Ако с него е свързано условие, блоковете и функциите се изпълняват винаги.

6. Коя функция може да се използва в езика LAD за прекратяване изпълнението на блок преждевременно?
   a. BE
   b. BEC
   c. RET
   d. BEU

Допълнителни булеви логически функции

6.1. Бройни системи, използвани при програмирането на ПЛК

STEP 7 може да използва числа от различни бройни системи като десетични, двоични, BCD, шестнадесетични, реални числа и двоични числа със знак. Използваната бройна система се означава с долен индекс (напр. 1354_{10}, $1111\ 0011_2$, 0011_{BCD}**).**

6.1.1. Десетична бройна система

Основата на десетичната бройна система е наличието на 10 различни цифри, които позволяват броенето от 0 до 9. Ако броенето надхвърли цифрата 9 се осъществява преход към цифра на следваща позиция. Стойността става 10, а следващия подобен преход се извършва при достигане на числото 99 [8]. Например числото 1354 може да се представи като

$$1354_{10} = 1 \text{ x } 1000 + 3 \text{ x } 100 + 5 \text{ x } 10 + 4 \text{ x } 1$$

Въпреки, че изглежда много прост, това е добър механизъм за запис на числа с цел сравняване на различни бройни системи.

6.1.2. Двоична бройна система

Тъй като електрическите сигнали позволяват броенето само на две цифри (отчитане само на две състояния), т.е. включено и изключено (за напрежение, ток), числата 1 и 0 се използват за индикация на тези две състояния (стойности).

Тъй като се използват само две цифри, мястото за преход не се изчислява на база 10x, а на база 2x. Оттук най-малкото възможно число (най-вдясно) е $2^0 = 1$, следва $2^1 = 2$ и т.н. Заради употребата само на две цифри тази системи е позната като двоична бройна система [8]. В Табл. 6.1 е показан пример за числото $1001\ 1101_2$ в двоична бройна система.

Таблица 6.1. Представяне на десетично число с двоичен код

2^7=128	2^6=64	2^5=32	2^4=16	2^3=8	2^2=4	2^1=2	2^0=1
1	0	0	1	1	1	0	1

Резултатът в десетична бройна система е: $1x2^7 + 0x2^6 + 0x2^5 + 1x2^4 + 1x2^3 + 1x2^2 + 0x2^1 + 1x2^0 = 157_{10}$

Следователно най-голямото десетично число, което може да се запише с 8 бита, е 255 ($1111\ 1111_2$).

В една потребителска програма за ПЛК двоичното число $1001\ 1101_2$ се записва като 2#10011101, където символите 2#, показващи, че числото е представено в двоичен код, се записват преди числото.

6.1.3. Бройна система BCD

Двоичните числа са трудни за разчитане, тъй като хората са свикнали да работят с десетични числа. По тази причина е създадена бройната система BCD (Binary deCoded Decimal, двоично кодирана десетична бройна система). При нея всяка от цифрите 0-9 се представя с 4-цифрено двоично число, както е показано на Табл. 6.2. Тази система е по-ясна за разчитане, но е необходимо повече място – двоичната система позволява записа на числата от 0 до 9 с 4 цифри. Двоичните числа от 1010_2 до 1111_2 не се използват в BCD системата. Ако някое от тези числа се появи в един BCD код, ПЛК ще даде грешка.

Таблица 6.2. Представяне на десетичните числа с BCD код

0_{10}	0000_{BCD}
1_{10}	0001_{BCD}
2_{10}	0010_{BCD}
3_{10}	0011_{BCD}
4_{10}	0100_{BCD}
5_{10}	0101_{BCD}
6_{10}	0110_{BCD}
7_{10}	0111_{BCD}
8_{10}	1000_{BCD}
9_{10}	1001_{BCD}

Например десетичното число 1847 ще бъде записано по следния начин в BCD код:

$1 \quad 8 \quad 4 \quad 7_{10}$

$0001\ 1000\ 0100\ 0111_{BCD}$

Следователно са необходими 16 бита за представянето на едно 4-цифрено десетично число в BCD код. В ПЛК се използва шестнадесетичната бройна система за представяне на BCD кода, като се използват само числата от 0 до 9. Така в

една програма за ПЛК десетичното число 1847 ще бъде записано като: W#16#1847.

Отрицателни числа също могат да бъдат представяни в BCD код. Знакът на числото се отбелязва в най-левия бит на числото, записано в BCD код. Така само 3 бита се използват за представяне на най-лявото от четирите възможни десетични числа [6]. Ако стойността на най-левия бит е „1”, числото е отрицателно (съответства на знак „-”) , а ако е „0” – числото е положително (знак „+”). Например отрицателното десетично число -1847 в BCD код ще бъде записано като:

$$-1 \quad 8 \quad 4 \quad 7_{10}$$

$$1001\ 1000\ 0100\ 0111_{BCD}$$

6.1.4. Шестнадесетична бройна система

Двоичните числа често са трудни за разчитане, а BCD кодът заема много място. За преодоляване на тези недостатъци е разработена шестнадесетичната бройна система (HEX). При нея се ползват 4 бита за едно число, което позволява представянето на числата от 0 до 15, т.е. имаме „броене” до 16. Цифрите от 0 до 9 представят съответните числа, както в десетичната система, следват буквите A, B, C, D, E и F, където A = 10, B = 11, C =12, D = 13, E = 14 и F = 15. Нарастването на броя на цифрите на едно шестнадесетично число става на база 16 [8].

Например в Табл. 6.3 е дадено числото $C53B_{HEX}$. Това число се разчита като:

$$12 \times 16^3 + 5 \times 16^2 + 3 \times 16^1 + 11 \times 16^0 = 14491_{10}$$

Таблица 6.3. Пример за шестнадесетично число

$16^3 = 1096$	$16^2 = 256$	$16^1 = 16$	$16^0 = 1$
C	5	3	B

В една потребителска програма за ПЛК шестнадесетичното число $C53B_{HEX}$ се записва като W#16#C35B, където префиксът W#16# се добавя пред числото. Буквата W показва, че числото заема 16 бита от паметта. Числото може да бъде записано и като DW#16#C35B, където DW показва, че числото заема 32 бита от паметта.

6.1.5. Двоични числа със знак

За да стане възможна работата с отрицателни числа е прието най-левият бит на едно двоично число да бъде използван за означаване на знака на числото: „0”

съответства на „+”, а „1” – на „-” [8]. Това означава, че първият бит най-отляво не се използва за представянето на стойността на числото.

Отрицателните двоични числа се създават на базата на инвертирането на съответните положителни двоични числа, последвано от прибавяне на „1”. Под инвертиране се разбира замяната на „1” с „0” и на „0” с „1”. Например десетичното число -3 се представя като: $1111\ 1101_2$.

-3	десетично число
$0000\ 0011_2$	двоичен код на положителното число 3
$1111\ 1100_2$	инвертирано двоично положително число
$1111\ 1101_2$	отрицателно двоично число

Преобразуването на отрицателни двоични числа обратно в десетична бройна система се извършва на база „0”, т.е. за изчисляването на десетичния аналог се използват само битовете със стойност „0”. Към получения резултат се прибавя „1”. Например отрицателното двоично число 1111_2 ще се преобразува така:

$$((-1) \times 1) \times (0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1) = -1_{10}$$

Следователно: $1000\ 0001_2 = -127_{10}$ и $0111\ 1111_2 = +127_{10}$

6.1.6. Реални числа

С двоичните числа със знак целочислените положителни и отрицателни десетични числа могат да бъдат представени с „0” и „1”, но остава нуждата от представяне на реалните числа с десетична запетая. За представянето на едно реално число с двоичен код, то се разделя на две групи, съответно степен на числото 10 и коефициент на умножение. Това преставяне е известно като представяне с плаваща запетая или научен формат на числата [8].

Например числото 3.14 се представя като: 314×10^{-2}. Следователно за представянето на едно реално число са необходими две целочислени числа със знак.

В една потребителска програма за ПЛК реалното число 31.4 се записва или като 31.4 или като 3.14e+001, където e+001 е 10^{+1}.

6.1.7. Представяне на числата в паметта на ПЛК

Повечето числа, които са записани като десетични целочислени числа, се съхраняват в паметта на ПЛК като двоични числа със или без знак. На Фиг. 6.1 са показани области от паметта на ПЛК за данни от тип INT и DINT, които са представени в ПЛК паметта като двоични числа със знак. Типът данни INT заема 16 бита от паметта, а DINT – 32 бита. Най-високият (най-левият, най-старшият) бит (бит 15 при тип INTeger и бит 31 при тип DoubleINTeger) се използва за знака на

числото. По-долу този бит ще бъде означаван като PS (Preceding Sign, предхождащ знак). Ако този бит е „1", съхраненото в паметта на ПЛК целочислено число е отрицателно. Битове от 0 до 14 за тип данни INT и от 0 до 30 за тип данни DINT се използват за изчисляване на целочисленото число, което се съхранява в паметта на ПЛК.

Типът данни REAL се използва за десетични числа с плаваща запетая (реални числа). Типът REAL заема 32 бита от паметта на ПЛК (Фиг.6.1) и се състои от три части: предхождащия знак PS (знакът на мантисата) е най-старшия бит (бит 31); битове от 23 до 30 (т.е. следващите 8 бита) формират стойността на експонентата E за изчисляване на 2^{E-127}; битове от 0 до 22 се използват за изчисляване на мантисата M [4]. С помощта на тези три части реалните числа, съхранени в паметта на ПЛК, се изчисляват по формулата:

Стойност на реалното число = (*PS*) x (1 + *M*) x (2^{E-127}).

Фиг.6.1. Представяне на числата в паметта на ПЛК

Ако например в паметта на ПЛК е съхранено числото от тип REAL 01000000011000000000000000000000$_2$, стойността 0 на най-високия бит показва, че реалната стойност е положителна (+1). Стойността на експонентата E е 10000000$_2$ в двоичен код, което е равно на десетичното число 128. Стойността на мантисата M е 11000000000000000000000$_2$ в двоичен код, което е равно на десетичното число 0.75. За изчисляването на стойността на мантисата M се използват само битове 22 и 21, тъй като само техните стойности са „1". Съответстващата стойност на бит 22 се изчислява като 2^{-1} (т.е. 0.5), а на бит 21 – като 2^{-2} (т.е. 0.25):

Стойност на реалното число = (+1) x (1 + 0.5 + 0.25) x ($2^{128-127}$) = (1 + 0.75) x 2^1 = 1.75 x 2 = 3.5

Следователно в паметта на ПЛК е съхранено реалното число 3.5.

6.2. Таймери

В задачите за управление често се използват различни таймерни функции. Задаването на съответната таймерна функция, стойност на таймера и стартирането на таймерната функция трябва да бъде направено от потребителя в програмата. Таймерите в STEP 7 са базирани на таймерите на STEP 5 и затова често се означават като S5 таймери. В Табл. 6.4 са показани наличните в STEP 7 пет различни типа таймери. Стандартът IEC 61131 има само 3 таймерни (времеви) функции: Pulse (TP), On-delay (TON) и Off-delay (TOF). В STEP 7 те се представят като системни фукционални блокове: TP – SFB 3, TON - SFB 4, TOF – SFB 5.

Таймерите в STEP 7 се означават с комбинация от буквата „T" и число (T0, T1, T2 и т.н.). На всеки таймер в потребителската програма трябва да се присвои различна комбинация. Ако една комбинация се използва отново с друг таймер, то или и двата таймера няма да работят, както би трябвало, или резултатите ще са непредсказуеми. Точният брой налични таймери зависи от ЦП.

Таблица 6.4. Таймери в STEP 7 със съответните им съкращения на езиците STL, FBD и LAD

Име	**В STL**	**Във FBD и LAD**
Таймер ON-Delay	SD	S_ODT
Таймер OFF-Delay	SS	S_OFFDT
Таймер Retentive ON-Delay	SF	S_ODTS
Импулсен таймер	SP	S_PULSE
Разширен импулсен таймер	SE	S_PEXT

На Фиг. 6.2 е показан таймер ON-Delay, реализиран на езиците STL, FBD и LAD. Всички останали таймери се представят по аналогичен начин, като единствената различна част е командата за тип на таймера (Табл. 6.4). Например за реализиране на таймер от тип OFF-Delay на езика STL е необходимо само командата *SD* от Фиг. 6.2 да се замени със *SS*.

Всички таймерни блокове имат по 3 входа и 3 изхода (Фиг. 6.2):

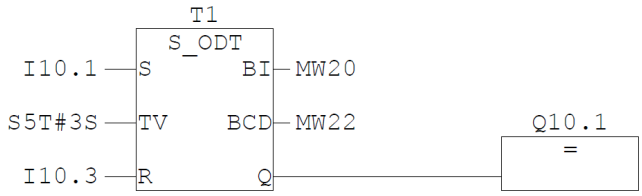
- S – булев вход за стартиране на таймера (Start)
- TV – задава предварително дефинирана стойност на времето на работа на таймера (Time Value)
- R - булев вход за спиране на таймера (Reset)
- Q – булев изходен сигнал за статус на таймера
- BI – изход за оставащото време, положително целочислено число от тип дума, без времевия период

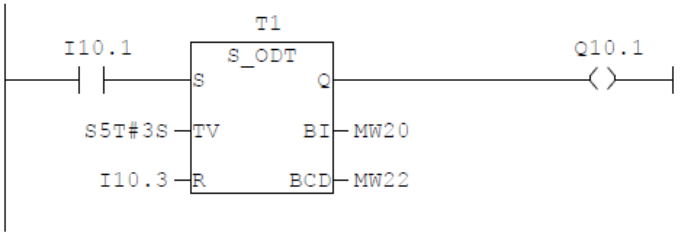
- BCD – изход за оставащото време, BCD число от тип дума

Един таймер винаги работи точно определено време. Най-лесният начин за задаване на големината на това време е да се подаде (запише) тази стойност (константа) на входа TV на таймера от програмата. Форматът за таймерите на STEP 7 е:

S5T#aHbbMccSdddMS,

```
      //Стартиране на
таймера
            A    I    10.3
            L    S5T#3S
            SD   T    2
      //Спиране на
таймера
            A    I    10.1
            R    T    2
      //Прочитане на
оставащото време на
таймера
            L    T    2
            T    MW   28
            LC   T    2

            T    MW   30

      //Прочитане на
битовия изход на
таймера
            A    T    2
            =    Q    10.2
```



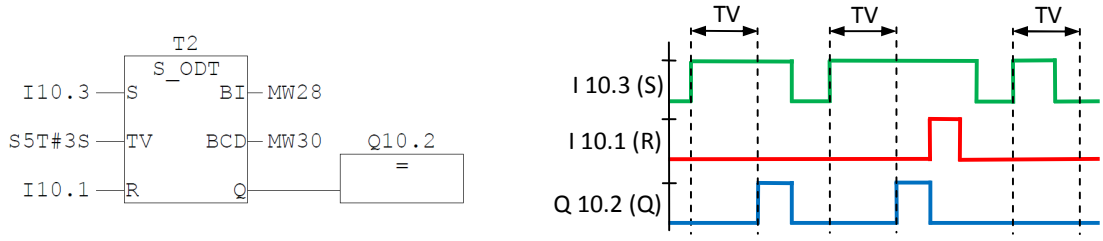


Фиг.6.2. ON-Delay таймер в STEP 7 на езиците STL, FBD и LAD

където „a” са часове, „bb” - минути, „cc” – секунди, а „ddd” – милисекунди [16]. Максимално допустимата стойност на времето е: S5T#2h46m30s. Предварително зададената стойност на времето може да се дефинира и с променлива, която е декларирана като S5TIME.

6.2.1. Таймер ON-Delay

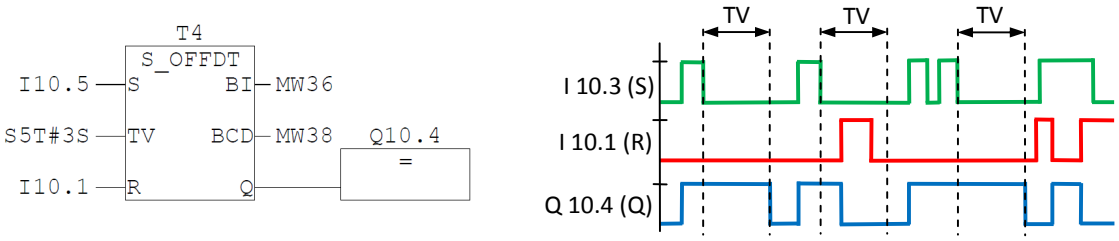
Когато сигналът на вход S (START) на таймера премине от ниво „0” в „1”, таймерът започва да отчита времето и продължава докато сигналът на вход S стане „0” или докато сигналът на вход R (Reset) премине от ниво „0” в „1”. Изходът Q се активира след изтичане на зададеното време. Той остава активиран, докато сигналът на вход S от „1” стане „0” или докато таймерът се спре от вход R. Ако сигналът на вход S премине от ниво „1” в „0” преди таймерът да е завършил отчитането на времето, изходът Q няма да се активира. На Фиг. 6.3 са показани символът за ON-Delay таймер на езика FBD и времедиаграма на състоянията на сигналите му, където TV е предварително зададената стойност на времето на таймера.



Фиг.6.3. Таймер ON-Delay на езика FBD и времедиаграма на сигналите му

6.2.2. Таймер OFF-Delay

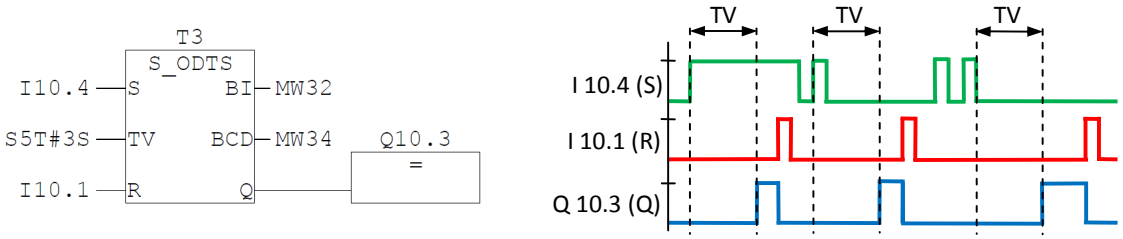
Когато сигналът на вход S (START) на таймера премине от ниво „0” в „1”, изходът Q се активира. Таймерът започва отчитане на времето, когато сигналът на стартовия вход отново стане „0”, като работата му ще продължи до изтичане на времето, зададено от TV. След изтичане на времезакъснението (delay), изходът Q се деактивира (преминава от „1” в „0”). Ако на вход R сигналът премине от ниво „0” в „1”, таймерът спира и изходът му се деактивира. Ако сигналът на вход S премине от ниво „0” в „1” преди изтичане на зададената времева стойност, таймерът спира отчитането на времето. Отчитането на времето ще започне отначало, когато сигналът на вход S отново стане „0”. На Фиг. 6.4 са показани символът за OFF-Delay таймер на езика FBD и времедиаграма на състоянията на сигналите му, където TV е предварително зададената стойност на времето на таймера.



Фиг.6.4. Таймер OFF-Delay на езика FBD и времедиаграма на сигналите му

6.2.3. Таймер Retentive ON-Delay (Задържащ ON-Delay)

Когато сигналът на вход S (START) на таймера премине от ниво „0” в „1”, таймерът започва отчитане на времето и продължава дори ако сигналът на вход S премине в ниво „0”. Изходът Q се активира след изтичане на зададеното време и остава активиран до спиране на таймера (reset). Таймерът се спира (изходът Q се деактивира) ако сигналът на вход R се промени от „0” на „1”. Ако на стартовия вход постъпят няколко импулса преди изтичане на зададеното време, таймерът винаги ще рестартира отчитането на времето от последния преход от „0” в „1” на вход S. На Фиг. 6.5 са показани символът за Retentive ON-Delay таймер на езика FBD и времедиаграма на състоянията на сигналите му, където TV е предварително зададената стойност на времето на таймера.



Фиг.6.5. Таймер Retentive ON-Delay на езика FBD и времедиаграма на сигналите му

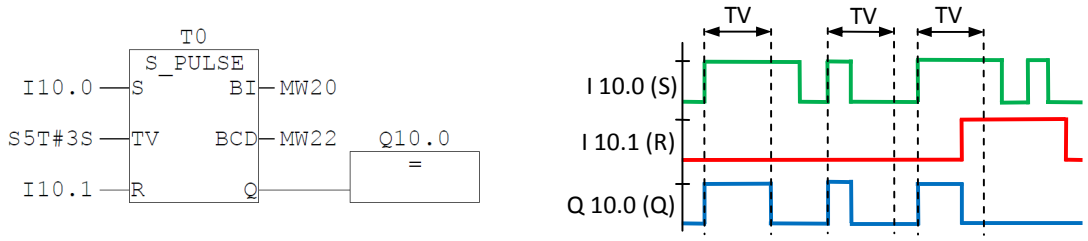
6.2.4. Импулсен таймер

Когато сигналът на вход S на този таймер премине от ниво „0” в „1”, таймерът започва да отчита времето и продължава докато сигналът на вход S е в ниво „1” или до изтичане на зададеното време. Докато таймерът работи, изходът Q е активен, докато стойността на времето на таймера не стане нула. Ако сигналът на стартовия вход на таймера стане „0” преди изтичане на зададеното време TV или ако се детектира преход от „0” в „1” на вход R, таймерът спира и изходът се деактивира. На Фиг. 6.6 са показани символът за импулсен таймер на езика FBD и времедиаграма на състоянията на сигналите му, където TV е предварително зададената стойност на времето таймера.

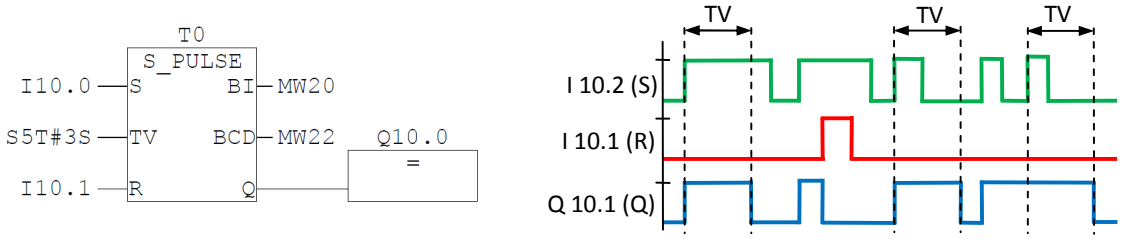
6.2.5. Разширен импулсен таймер

Когато сигналът на вход S на този таймер премине от ниво „0” в „1”, таймерът започва отчитане на времето и продължава дори ако сигналът на вход S премине отново в ниво „0”. Изходът Q е активиран, докато таймерът работи. Изходът Q се деактивира, ако се установи преход от „0” в „1” на вход R или при изтичане на зададеното време. Ако на стартовия вход постъпят няколко импулса преди изтичане на зададеното време, таймерът винаги ще рестартира отчитането на времето от последното активиране (преход от „0” в „1”) на вход S. На Фиг. 6.7 са показани символът за разширен импулсен таймер на езика FBD и времедиаграма на състоянията

на сигналите му, където TV е предварително зададената стойност на времето на таймера.



Фиг.6.6. Импулсен таймер на езика FBD и времедиаграма на сигналите му



Фиг.6.7. Разширен импулсен таймер на езика FBD и времедиаграма на сигналите му

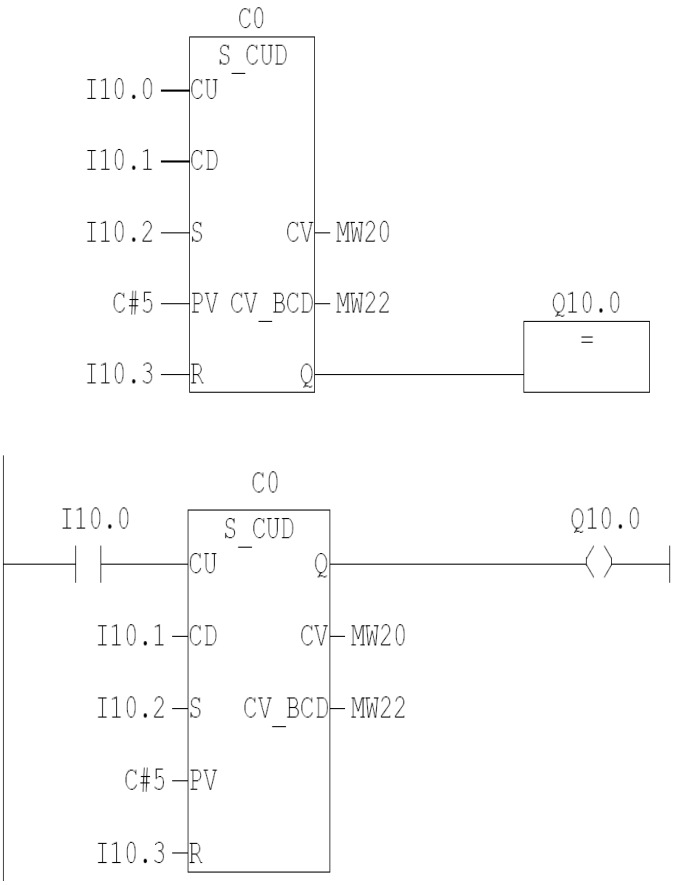
6.3. Броячи

При програмиране често са необходими броячни функции за отброяване на импулси (напр. за броене на произведените детайли на една производствена линия) или за измерване на разстояние или позиция. Стандартът IEC 61131 има 3 броячни функции: Брояч нагоре (CTU), Брояч надолу (CTD) и Брояч нагоре-надолу (CTUD). Броячите на IEC 61131 са представени в STEP 7 като системни функционални блокове: CTU – SFB 0, CTD – SFB 1, CTUD – SFB 2.

STEP 7 има свои броячни функции (броячи): Нагоре (S_CU), Надолу (S_CD) и Нагоре-надолу. Тези броячи отброяват стойности между 0 и 999. Всеки брояч се специфицира с операнд (буквата „C” и пореден номер – C0, C1, C2 и т.н.), който заема една дума от областта от паметта, заделена за броячи. Точният брой налични броячи зависи от типа на ЦП.

На Фиг. 6.8 е показан брояч от тип Нагоре-надолу, реализиран на езиците STL, FBD и LAD. Останалите броячи се представят аналогично с единствената разлика, че при тях липсва или командата *CU*, или командата *CD*. Например при брояча нагоре липсва командата *CD* (Count Down, броене надолу). Всичко останало е аналогично на показаното на Фиг. 6.8.

```
//Броене нагоре
    A   I   10.0
    CU  C   0
//Броене надолу
    A   I   10.1
    CD  C   0
//Задаване на
предварително
дефинирана стойност
    A   I   10.2
    L   C#5
    S   C   0
//Спиране на
брояча
    A   I   10.3
    R   C   0
//Прочитане на
преброената стойност
    L   C   0
    T   MW  20
    LC  C   0
    T   MW  22
//Прочитане на
битовия изход на брояча
    A   C   0
    =   Q   10.0
```



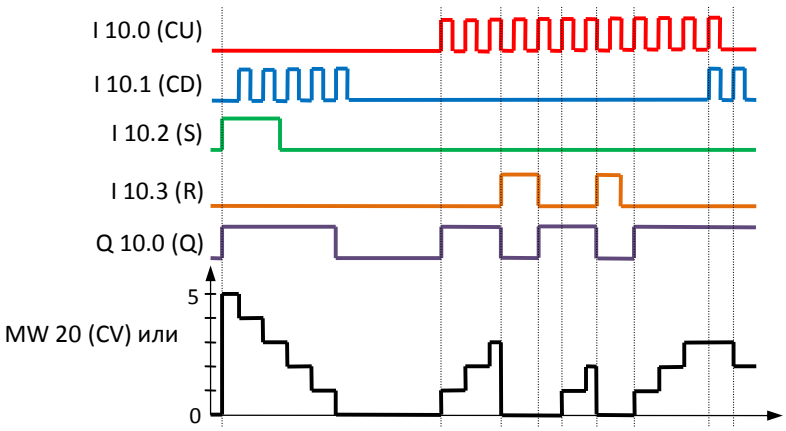
Фиг.6.8. Брояч от тип „Нагоре-надолу” в STEP 7, реализиран на STL, FBD и LAD

Броячите могат да имат следните входове и изходи (Фиг. 6.8):

- CU – булев вход за броене нагоре (Count Up), стойността се увеличава
- CD – булев вход за броене надолу (Count Down), стойността намалява
- S – булев вход за зареждане на брояча с предварително дефинирана стойност
- PV – предварително зададената стойност се подава на брояча. Стойността може да се зададе като константа „C#value” (value е десетично число между 0 и 999) или като променлива от тип дума
- R - булев вход за нулиране на брояча (стойността на брояча се нулира)
- Q – булев изходен сигнал за статус на брояча (ако преброената стойност е по-голяма от 0, изходният сигнал е „1”)
- CV – изходен сигнал от тип дума за преброената стойност, която е шестнадесетично число
- CV_BCD – изходен сигнал от тип дума за преброената стойност, която е число от тип BCD.

Представеният на Фиг. 6.8 брояч се инкрементира с 1 в моментите, когато сигналът на вход CU преминава от ниво „0” в ниво „1”. При достигане на стойността 999 инкрементирането се преустановява и тази стойност се запазва непроменена, дори при нов преход от „0” в „1” на сигнала на вход CU.

Когато сигналът на вход CD преминава от ниво „0” в ниво „1”, броячът се декрементира с единица. При достигане на стойност 0 тя остава непроменена, дори при нов преход от „0” в „1” на сигнала на вход CD. Ако и на двата входа CU и CD има преход от „0” в „1”, се изпълняват едновременно и двете команди за броене нагоре и надолу, следователно стойността на брояча ще остане непроменена. Подаването на сигнал на вход S задава конкретна стойност на брояча (подадена на вход PV – C#5). Подаването на сигнал на вход R нулира брояча. Долната и горната граници на броене са съответно 0 и 999. На Фиг. 6.9 е показана времедиаграма на брояча от тип Нагоре-надолу.

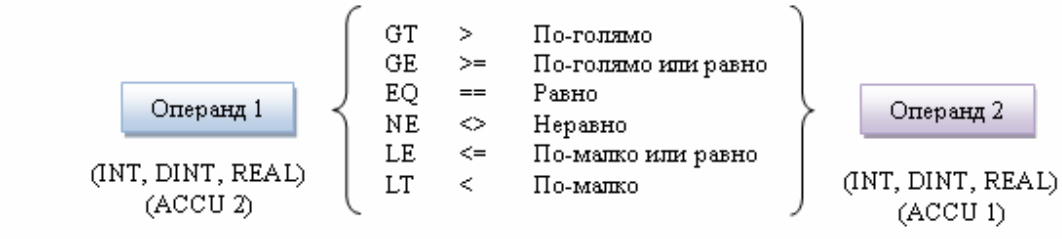


Фиг.6.9. Времедиаграма на брояч от тип Нагоре-Надолу

Броячите за броене само нагоре и само надолу работят почти по същия начин като разгледания брояч от тип Нагоре-надолу. Единствената разлика е, че при брояча Нагоре липсва частта за броене надолу и при брояча Надолу липсва частта за броене нагоре.

6.4. Компаратори

С помощта на компараторите се сравняват два операнда/входа от един и същи тип данни. Резултатът от сравнението се получава като булев изход на компаратора [6]. Изходът е „1”, ако сравнението (съотношението) е вярно и „0”, ако не е вярно. Стандартът IEC 61131 използва компараторите, показани на Фиг. 6.10.

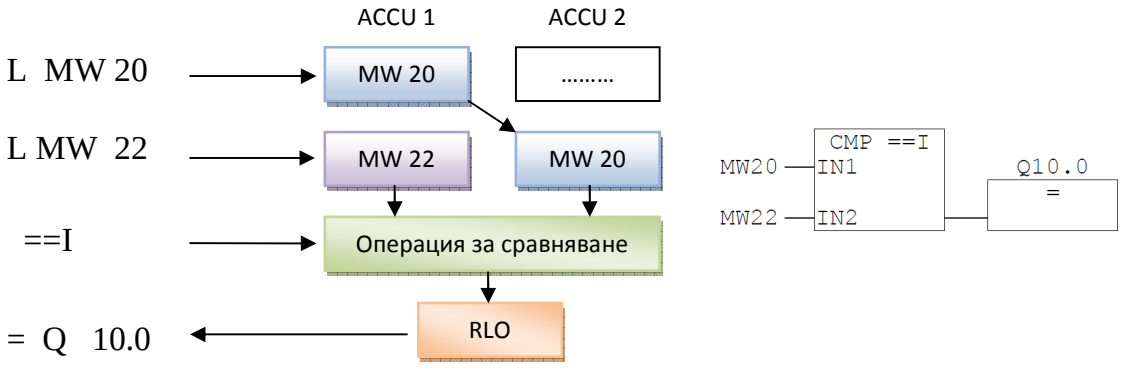


Фиг.6.10. Компаратори на IEC 61131

В STEP 7 се използват същите 6 компаратора за действия с числа. При сравняването се използват акумулаторите на ЦП ACCU 1 и ACCU 2 (повече за тях може да прочетете в модули 4.6 и 5.1). Резултатът от сравнението се съхранява в бита RLO (резултат от логическата операция), който е свързан с изхода на компаратора Q (Фиг. 6.11). Ако съотношението е вярно, RLO е „1”, съответно сигналът на изход Q също ще е „1”.

Важно е да се знае, че могат да бъдат сравнявани операнди (числа) само от един и същи тип. Могат да се сравняват операнди (числа), които са в един от следните формати, като са възможни 6 различни типа сравняване (6 оператора за съотношение):

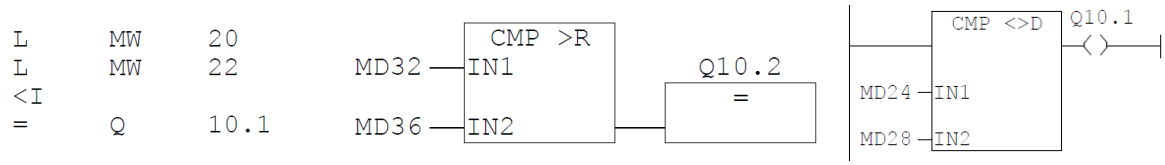
- Целочислени числа (16 бита, символ I - Integer)
- Числа тип Double integer (32 бита, символ D)
- Реални числа (Числа с плаваща запетая, 32 бита, символ R)



Фиг.6.11. Операция за сравняване в STEP 7 и визуализация на езиците STL и FBD

Могат да се сравняват и данни от типове BOOL, BYTE, WORD и DWORD, но само с функциите (операторите за съотношение) „равно” и „неравно”.

На Фиг. 6.12 са показани примери за употреба на компараторите на STEP 7. Показано е сравнение с оператора „по-малко” на целочислени променливи на езика STL, сравнение с оператора „по-голямо” на променливи от тип REAL на езика FBD и сравнение с оператора „неравно” на променливи от тип двойна дума на езика LAD.



Фиг.6.12. Примери за компаратори на езиците STL, FBD и LAD

6.5. Функции за преместване и ротация

Функциите за преместване и ротация се използват за преместване на съдържанието на променлив битов шаблон наляво или надясно с определен брой позиции. При функциите за преместване освободените при преместването позиции в шаблона се запълват от нули. При функциите за ротация освободените при преместването позиции в шаблона се запълват от битовете, които при преместването са излезли извън рамките на шаблона [6].

Стандартът IEC 61131 предлага четири функции за преместване и ротация: SHL (shift left, преместване наляво), SHR (shift right, преместване надясно), ROL (rotate left, ротация наляво) и ROR (rotate right ,ротация надясно).

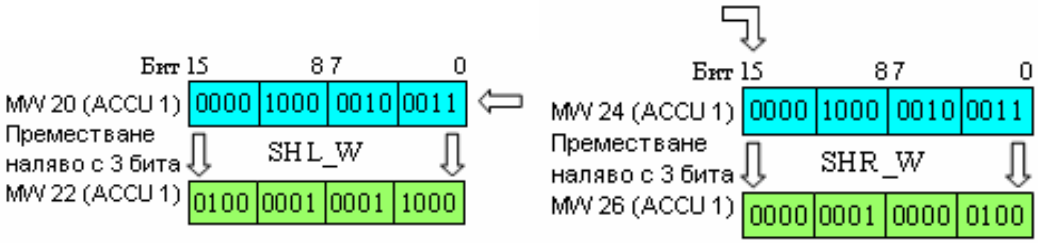
В STEP 7 има функции за преместване и ротация за различни типове данни (Табл. 6.5), които са аналогични на дефинираните от стандарта IEC 61131. STEP 7 използва акумулатора ACCU 1 за операции по преместване и ротация (повече за него може да прочетете в модули 4.6 и 5.1). Тези функции изискват и число на преместване или ротация (операнд N) за указване колко битови позиции на входния операнд от тип битов шаблон трябва да бъдат преместени или ротирани (Фиг. 6.16). При операнди от тип дума или при целочислени операнди N може да приема стойности между 0 и 15, а при операнди от тип двойна дума или тип double integer

– стойности между 0 и 31. В езика STL N се записва след командата SLW като в примера от Фиг. 6.16. В този пример е показано също, че числото на преместване или ротация в езиците FBD и LAD се записва като константа B#16#3.

Таблица 6.5. Функции за преместване и ротация в STEP 7

Име	Дума		Двойна дума		Integer		Double Integer		Коментар
	STL	FBD/ LAD	STL	FBD/LAD	STL	FBD/ LAD	STL	FBD/ LAD	
SHL	SLW	SHL_W	SLD	SHL_DW	-	-	-	-	Преместване наляво
SHR	SRW	SHR_W	SRW	SHR_DW	SSI	SHR_I	SSD	SHR_DI	Преместване надясно
ROL	-	-	RLD	ROL_DW	-	-	-	-	Ротация наляво
ROR	-	-	RRD	ROR_DW	-	-	-	-	Ротация надясно

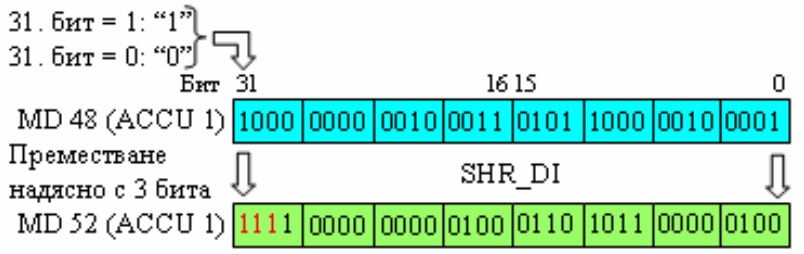
Съдържанието на операндите от тип дума или двойна дума се премества надясно или наляво бит по бит. Освободените при преместването позиции се запълват с нули (Фиг. 6.13).



Фиг.6.13. Функции за преместване на данни от тип дума в STEP 7

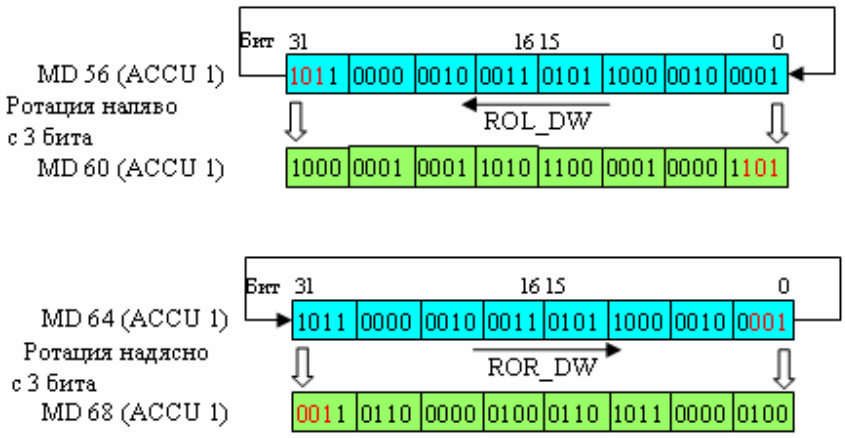
Върху операнди от тип integer или double integer може да се осъществява само преместване надясно бит по бит. Освободените при преместването битови позиции се запълват със състоянието на предшестващия бит за знак (при integer това е бит 15, а при double integer – бит 31). Ако знаковият бит е „0” (операндът е положително число), освободените битове се запълват с нули. Респективно, ако знаковият бит е „1”, освободените битове се запълват с единици. Показаната на Фиг. 6.14 променлива MD 48 е отрицателна. Това означава, че бит 31 на променливата MD 48

от тип double integer е „1”. Следователно освободените битови позиции при преместването със съответната функция за преместване се запълват с единици.



Фиг.6.14. Функции за преместване на данни от тип double integer в STEP 7

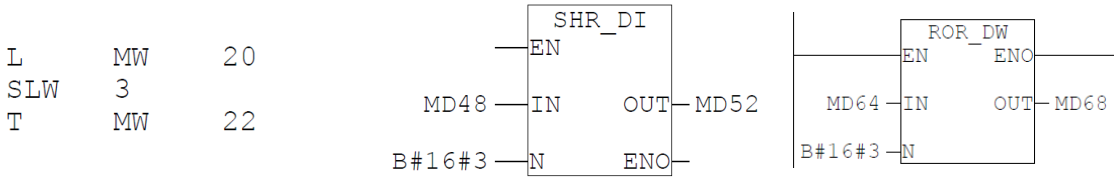
Функциите за ротация се използват само при променливи (операнди) от тип двойна дума. Функцията за ротация ротира цялото съдържание на операнда наляво или надясно бит по бит (Фиг. 6.15). Освободените при ротацията битови позиции се запълват със стойностите на битовете, които са били най-отляво или най-отдясно и при ротацията излизат извън заеманата от операнда памет.



Фиг.6.15. Функции за ротация в STEP 7

На Фиг. 6.16 са показани примери за употребата на функциите за преместване и ротация на STEP 7. Показана е функция за преместване наляво с променлива от тип дума на езика STL, функция за преместване надясно с променлива от тип

double integer на езика FBD и функция за ротация надясно с променлива от тип двойна дума на езика LAD.



Фиг.6.16. Примери за функции за преместване и ротация на езиците STL, FBD и LAD

6.6. Въпроси за самопроверка

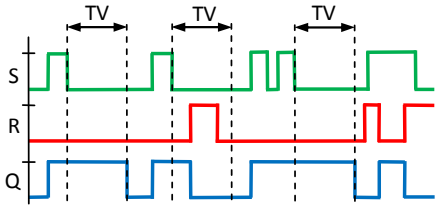
1. Как се обозначава едно число, записано с двоичен код?
   a. С долен индекс bin в края на числото
   b. С долен индекс 10 в края на числото
   c. С долен индекс 2 в края на числото
   d. С долен индекс BCD в края на числото

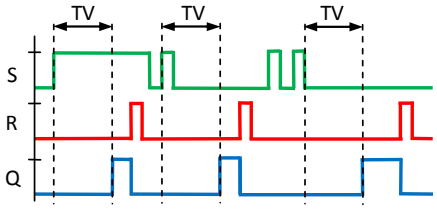
2. Колко бита са необходими за представянето на едно трицифрено десетично число в BCD код?
   a. 3
   b. 9
   c. 12
   d. 16
3. Кое е максималното число, което може да се запише в двоичен код с 8 бита?
   a. 9
   b. 15
   c. 255
   d. 256

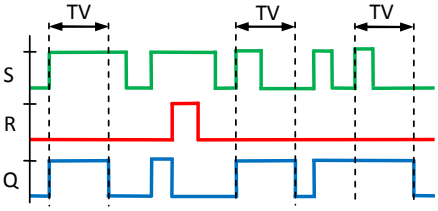
4. Кое десетично число представя буквата F в шестнадесетична бройна система?
   a. 0
   b. 1
   c. 15
   d. 16
5. Коя е максимално допустимата стойност, която може да бъде зададена на един таймер в STEP 7?
   a. 1h59m59s
   b. 2h46m30s

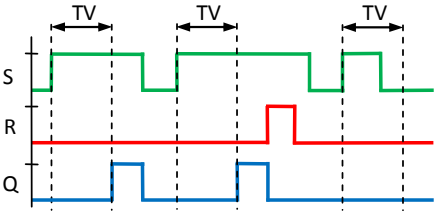
c. 999h
d. 999h59m59s

6. Коя времедиаграма представя таймер ON-Delay?

a.


b.


c.


d.


7. Кой тип таймер е описан по-долу?
При активиране на стартовия вход S изходът Q не е активиран, таймерът стартира и след изтичане на зададеното време изходът Q се активира. Ако входът се деактивира преди таймерът да достигне 0, изходът пак ще се активира при достигане на 0.
   a. Таймер ON-Delay
   b. Таймер OFF-Delay
   c. Таймер Задържащ ON-Delay
   d. Импулсен таймер

8. Коя е горната граница при броячите на STEP 7?
   a. -9
   b. 0
   c. 99
   d. 999

9. Коя команда се използва за определяне дали стойността на операнд 2 е по-голяма или равна на стойността на операнд 1?
   a. GT
   b. GE
   c. LE
   d. LT

10. Коя от следните функции може да се използва с целочислени променливи?
   a. Преместване наляво (SHL_W)
   b. Преместване надясно (SHR_I)
   c. Ротация наляво (ROL_I)
   d. Ротация надясно (ROR_WD)

Математически функции и функции за конвертиране

При математическите функции се използват само променливи с числен формат на данните и/или числа (константи). Числата могат да бъдат цели или реални. Целите числа са цели двоични числа със знак (- или +). Има два типа цели числа: тип integer (INT) и тип double integer (DINT). Реалните числа са числа с плаваща запетая със знак (- или +). Променливи от тип реално число се декларират като тип данни REAL. В Табл. 7.1 са показани числените типове данни, обхвата (диапазона) им, заеманата памет в битове и примери, показващи как съответните числа се записват в една потребителска програма.

Таблица 7.1. Целочислени и реални числа

Тип на данните	INT	DINT	REAL
Допустим диапазон	-32 768 до 32 768	-214 783 648 до +214 783 647	$\pm 1.75495e^{-38}$ до $\pm 3.402823e^{+38}$
Заемана памет	16 бита = 1 дума	32 бита = 2 думи	32 бита = 2 думи
Примерни константи	234 -15 674	L#25 000 L#-345 764	1.578 -2345.0 1.2e3 (1200) 3.5e-2 (0.035)

7.1. Аритметични функции

Стандартът IEC 61131 предлага следните аритметични функции: събиране (ADD), изваждане (SUB), умножение (MUL), деление (DIV), деление с остатък (MOD) и експонента (EXPT).

STEP 7 има четири аритметични функции за стандартни аритметични изчисления с цели (INT), double integer (DINT) и реални (REAL) числа и променливи/операнди, декларирани с тип на данните INT, DINT или REAL. Това са събиране, изваждане, умножение и деление. Делението с числа от тип INT (DIV_I) и DINT (DIV_DI) дава като резултат само частното. Делението с числа от тип DINT

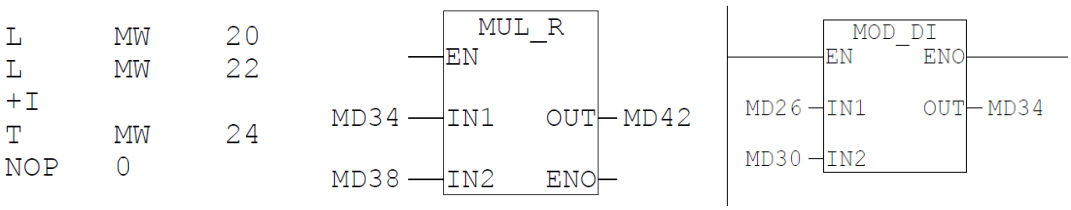
може да даде и остатъка от делението, ако се използва функцията MOD_DI. Аритметичните функции за трите типа числени формати в STEP 7 са показани в Табл. 7.2. Аритметичните функции се изпълняват само върху операнди, числа или променливи с един и същи тип на данните – входните и изходните операнди трябва да са от един тип данни.

Таблица 7.2. Аритметични функции за целочислени и реални числа в STEP 7

Операция	**Аритметични функции за отделните типове данни**					
	INT		**DINT**		**REAL**	
	STL	FBD/ LAD	STL	FBD/ LAD	STL	FBD/ LAD
Събиране	+I	ADD_I	+D	ADD_DI	+R	ADD_R
Изваждане	-I	SUB_I	-D	SUB_DI	-R	SUB_R
Умножение	*I	MUL_I	*D	MUL_DI	*R	MUL_R
Деление	/I	DIV_I	/D	DIV_DI	/R	DIV_R
Деление с остатък	-	-	MOD	MOD_DI	-	-

STEP 7 използва акумулаторите на ЦП ACCU 1 и ACCU 2 за аритметичните операции. Повече за тях може да прочетете в раздели 4.6 и 5.1.

На Фиг. 7.1 са показани примери за употребата на аритметични функции на STEP 7. Показана е функцията събиране с целочислени (INT) променливи на STL, функцията умножение с реални променливи на FBD и функцията деление с остатък с променливи от тип DINT на LAD.



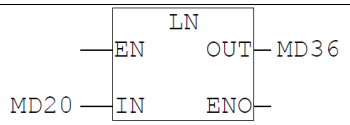
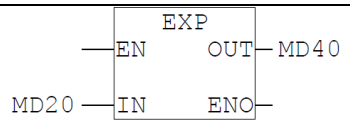
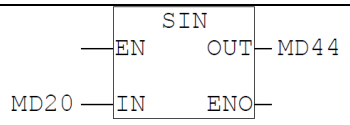
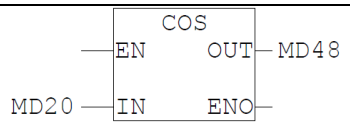
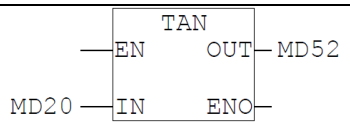
Фиг.7.1. Примери за аритметични функции на езиците STL, FBD и LAD

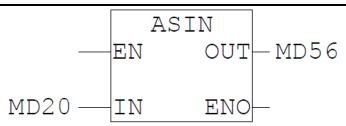
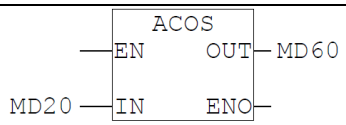
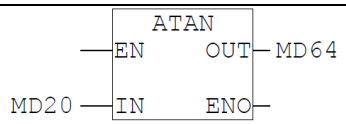
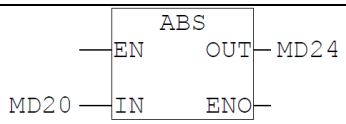
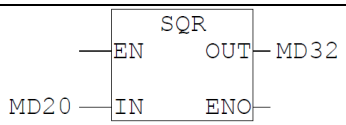
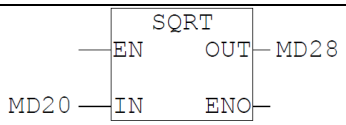
7.2. Числени функции

Числените функции имат само един входен операнд [6]. IEC 61131 дефинира следните функции като числени функции: абсолютна стойност (ABS), квадратен корен (SQRT), натурален логаритъм (LN), логаритъм (LOG), експонента (EXP), синус (SIN), косинус (COS), тангенс (TAN), аркус синус (ASIN), аркус косинус (ARCOS) и аркус тангенс (ARTAN). IEC 61131 изисква числените функции да имат едни и същи типове входни и изходни операнди. При повечето числени функции могат да се използват само данни от тип REAL. Единственото изключение е функцията за абсолютна стойност, която може да работи и с данни от тип INT и DINT. STEP 7 поддържа повечето числени функции, дефинирани от стандарта IEC 61131 – липсва само функцията за логаритъм.

В Табл. 7.3 са показани числените функции на STEP 7 за езиците STL и FBD. В STEP 7 всички числени функции използват реални числа на входовете (IN) и изходите (OUT) си. При числените функции се използва само акумулаторът ACCU 1. Повече за него може да прочетете в глави 4.6 и 5.1.

Таблица 7.3. Числени функции в STEP 7

Име	**STL**	**FBD/LAD**
LN (натурален логаритъм)	L MD 20 LN T MD 36	
EXP (експоненциална стойност)	L MD 20 EXP T MD 40	
SIN (Синус)	L MD 20 SIN T MD 44	
COS (Косинус)	L MD 20 COS T MD 48	
TAN (Тангенс)	L MD 20 TAN T MD 52	

Име	STL	FBD/LAD
ASIN (Аркус синус)	L MD 20 ASIN T MD 56	
ACOS (Аркус косинус)	L MD 20 ACOS T MD 60	
ATAN (Аркус тангенс)	L MD 20 ATAN T MD 64	
ABS (Абсолютна стойност)	L MD 20 ABS T MD 24	
SQR (Повдигане на квадрат)	L MD 20 SQRT T MD 28	
SQRT (Квадратен корен)	L MD 20 SQR T MD 32	

Функцията LN изчислява натуралният логаритъм (логаритъм с основа e = 2.718282) на реалното число на входа (IN). Следното уравнение може да се използва за изчисляване на логаритъм с всяка друга възможна основа ($Log_b a$) с помощта на натурален логаритъм:

$$Log_b a = \frac{Ln\ a}{Ln\ b.}$$

Логаритъм с основа 10 може да се изчисли със следното уравнение:

$$Log\ a = \frac{Ln\ a}{Ln\ 10.}$$

Функцията EXP изчислява експоненциалната стойност (стойността при основа *e*) на реално число. Следното уравнение може да се използва за изчисляване на експонента при всяка друга основа (b^a):

$$b^a = e^{a*Ln\ b}$$

Функциите SIN, COS и TAN изчисляват съответно синуса, косинуса и тангенса на ъгъл, зададен в радиани. Стойността на ъгъла трябва да бъде в диапазона от 0 до 2π (π = 3.14). Ако ъгълът е по-голям от 2π, от него трябва да се изважда 2π докато стойността стане по-малка или равна на 2π.

Функциите ASIN, ACOS и ATAN изчисляват съответно аркус синуса, аркус косинуса и аркус тангенса на реално число. Резултатът е ъгъл в радиани. При функциите ASIN и ACOS стойността на входния операнд IN трябва да е по-голяма или равна на -1 и по-малка или равна на +1. На Фиг. 7.2 са показани възможните стойности за изходите на функциите ASIN, ACOS и ATAN в радиани.

Диапазон на изходните стойности на функцията ASIN:	$-\frac{\pi}{2} < arcsin(IN) < +\frac{\pi}{2}$
Диапазон на изходните стойности на функцията ACOS	$0 < arccos(IN) < \pi$
Диапазон на изходните стойности на функцията ATAN	$-\frac{\pi}{2} < arctan(IN) < +\frac{\pi}{2}$

Фиг.7.2. Допустими стойности в радиани за функциите ASIN, ACOS и ATAN

Функцията ABS намира абсолютната стойност на реално число, функцията SQR изчислява квадрата на реално число, а функцията SQRT – квадратния корен на реално число. Резултатът от функцията SQRT е положителен, ако входният операнд е със стойност по-голяма или равна на нула.

7.3. Функции за конвертиране

Функциите за конвертиране се използват за преобразуване на данни от един тип в друг [6]. Например един операнд в BCD формат трябва да се използва в дадена аритметична функция. Необходимо е първо стойността на операнда да се

преобразува във формат INT или REAL. След това преобразуваната стойност може да се използва за аритметични изчисления. Ако е необходимо резултатът също да е в BCD формат, той се конвертира в BCD формат след изпълнението на арит-метичната функция.

В Табл. 7.4 са показани някои функции за конвертиране на IEC 61131.

Таблица 7.4. Функции за конвертиране на IEC 61131

Име	**Коментар**
BCD_TO_INT	Стойност в BCD формат на входа на функцията се конвертира във формат INT.
INT_TO_BCD	Стойност във формат INT на входа на функцията се конвертира във формат BCD.
INT_TO_REAL	Стойност във формат INT на входа на функцията се конвертира във формат REAL.
REAL_TO_INT	Стойност във формат REAL на входа на функцията се конвертира във формат INT. Получената стойност се закръгля към най-близкото цяло число.
TRUNC	Стойност във формат REAL на входа на функцията се конвертира във формат INT. Получената стойност е цялата част на реалното число. Десетичната запетая на реалното число се изтрива.

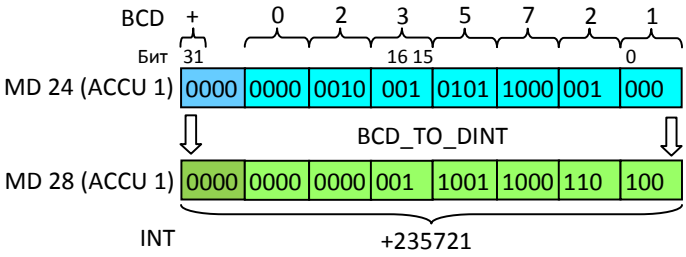
В Табл. 7.5 са показани функциите за конвертиране на STEP 7 за езиците STL, FBD и LAD. STEP 7 използва само акумулатора ACCU 1 при конвертирането. Повече за него може да прочетете в раздели 4.6 и 5.1.

Таблица 7.5. Функции за конвертиране на STEP 7

Име	**STL**	**FBD/LAD**	**Коментар**
BCD_TO_INT	BTI	BCD_I	Стойност в BCD формат се конвертира в 16-битова стойност от тип INT.
BCD_TO_DINT	BTD	BCD_DI	Стойност в BCD формат се конвертира в 32-битова стойност от тип DINT.
INT_TO_BCD	ITB	I_BCD	16-битова стойност от тип INT се конвертира в BCD формат.
INT_TO_DINT	ITD	I_DI	16-битова стойност от тип INT се конвертира в 32-битова стойност от тип DINT.
DINT_TO_BCD	DTB	DI_BCD	32-битова стойност от тип DINT се конвертира в BCD формат.
DINT_TO_REAL	DTR	DI_R	32-битова стойност от тип DINT се конвертира в тип REAL.
REAL_TO_INT	RND	ROUND	Стойност от тип REAL се закръгля до 32-битова стойност от тип DINT.
	RND+	CEIL	Стойност от тип REAL се закръгля до 32-битовата стойност от тип DINT, която е по-голяма или равна на изходното реално число.
	RND-	FLOOR	Стойност от тип REAL се закръгля до 32-битовата стойност от тип DINT, която е по-малка или равна на изходното реално число.
	TRUNC	TRUNC	Стойност от тип REAL се закръгля до 32-битова стойност от тип DINT. Резултатът е цялата част на реалното число
INVI	INVI	INV_I	Допълване с единици за тип INT (16 бита).
INVD	INVD	INV_DI	Допълване с единици за тип DINT (32 бита).
NEGI	NEGI	NEG_I	Допълване с 2 за тип INT (16 бита).
NEGD	NEGD	NEG_DI	Допълване с 2 за тип DINT (32 бита).
NEGR	NEGR	NEG_R	Промяна на знака на реално число

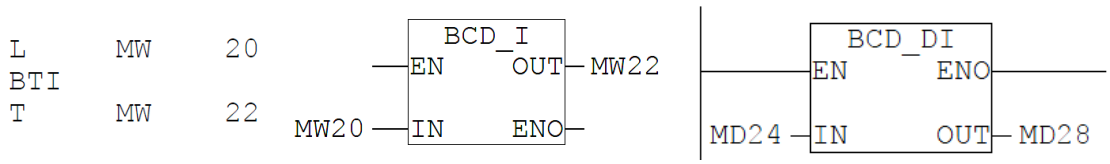
7.3.1. Преобразуване на стойности в BCD формат

Стойности в BCD формат се преобразуват в типове INT и DINT с функциите BCD_TO_INT и BCD_TO_DINT (Табл. 7.5). Преобразуват се само стойности с 3 (за INT) и 7 (за DINT) декади (Фиг. 7.3). Предшестващият знак на BCD стойността се съхранява съответно в бит 15 или в бит 31 („0” за положително, „1” за отрицателно). При преобразуването на число от BCD формат ще възникне грешка, ако една от декадите на BCD числото съдържа стойност от 10 до 15. При грешка ПЛК може да премине в режим STOP.



Фиг.7.3. Преобразуване на BCD стойност към тип DINT

На Фиг. 7.4 са показани примери за употребата на функции за преобразуване на BCD стойности в STEP 7. Показана е функцията BCD_TO_INT на STL и FBD и функцията BCD_TO_DINT на LAD.

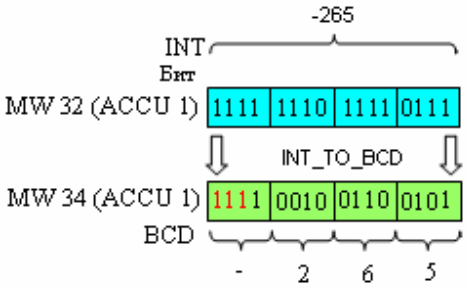


Фиг.7.4. Примери за преобразуване на BCD стойности на езиците STL, FBD и LAD

7.3.2. Преобразуване на стойности от тип INT и DINT

Стойности от типовете INT и DINT могат да се преобразуват (конвертират) в стойности от тип INT, DINT, REAL и BCD с помощта на функциите INT_TO_BCD, INT_TO_DINT, DINT_TO_BCD, DINT_TO_INT и DINT_TO_REAL (Табл. 7.5).

Функциите INT_TO_BCD и DINT_TO_BCD се използват за конвертиране на стойности от тип INT и DINT в BCD формат (Фиг. 7.5). Знакът на съответното число от тип INT или DINT се съхранява в битове от 12 до 15 за INT и от 28 до 31 за DINT („0” – положително число, „1” – отрицателно число). Ако стойността в INT формат е по-голяма от 999 или по-малка от -999, преобразуването от тип INT към тип BCD не се извършва. Същото се отнася и за преобразуването на стойност от тип DINT, която е по-голяма от 9999999 или по-малка от 9999999.



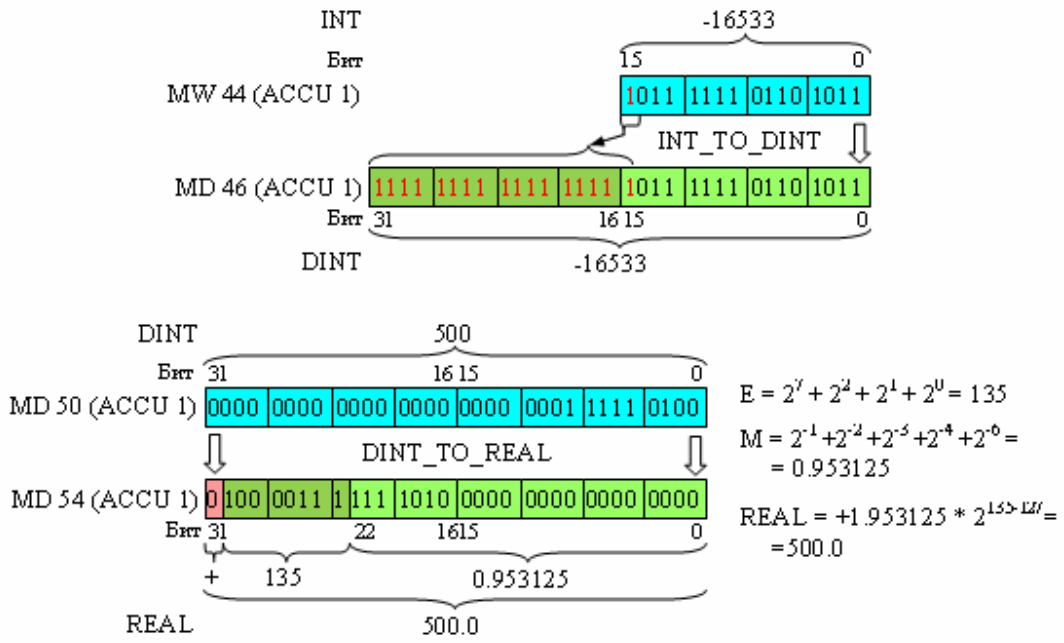
Фиг.7.5. Преобразуване на стойности от тип INT в тип BCD

Преобразуването на данни от тип INT в тип DINT се извършва от функцията INT_TO_DINT. Първите 15 бита на стойността от тип INT се прехвърлят директно в първите 15 бита на резултата от тип DINT (Фиг. 7.6). Последният бит (бит 15) също се прехвърля, но се замества последователно във всички битове от 15 до 31 на резултата от тип DINT. За обратно преобразуване от тип DINT към тип INT в STEP 7 се използват функциите MOVE. При това ако стойността от тип DINT надхвърля допустимия диапазон от стойности на типа INT, като резултат се получава случайно число от тип INT.

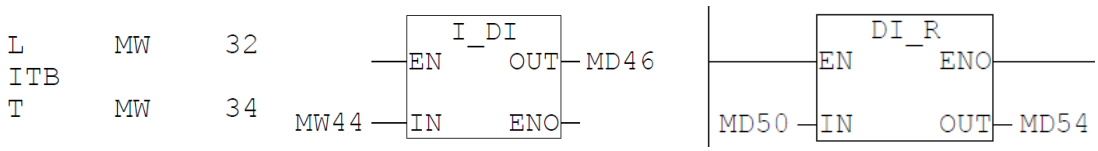
С функция DINT_TO_REAL се извършва преобразуване на данни от тип DINT в тип REAL (Фиг. 7.6).

На Фиг. 7.7 са показани примери за употребата на функциите за преобразуване на стойности от типове INT и DINT в STEP 7. Показана е функцията

INT_TO_BCD на езика STL, функцията INT_TO_DINT на езика FBD и функцията DINT_TO_REAL на езика LAD.



Фиг.7.6. Преобразуване на данни от тип INT в тип DINT и от тип DINT в тип REAL



Фиг.7.7. Примери за употреба на функциите за преобразуване
на типове INT и DINT на езиците STL, FBD и LAD

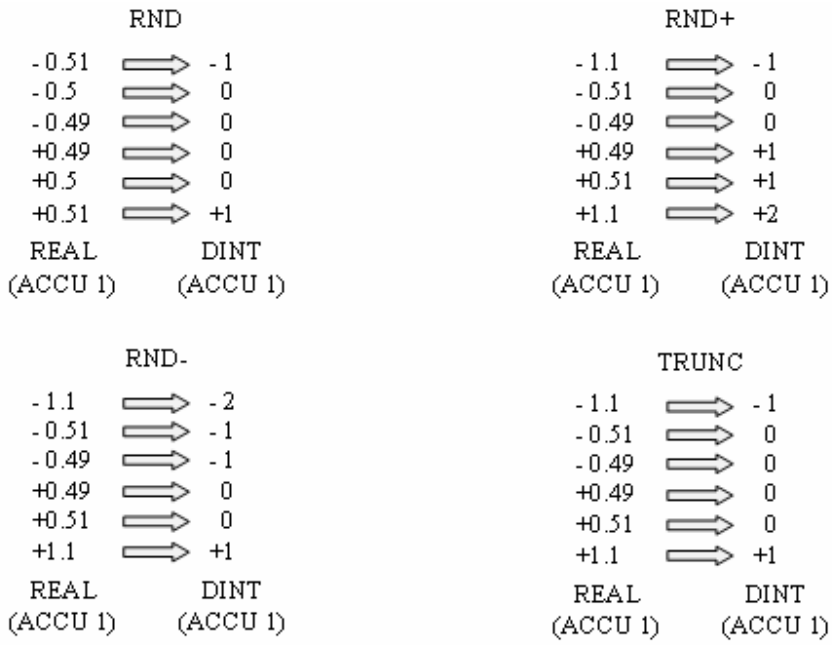
7.3.3. Преобразуване на реални числа

STEP 7 предлага 4 функции за конвертиране на реални числа към числа от тип DINT. Те се различават по начина на изпълнение на преобразуването или по закръглянето на резултата.

Функцията **ROUND** (RND) закръгля резултата към най-близкото цяло число. Ако дробната част на преобразуваното число е точно по средата между четен и нечетен резултат, функцията избира четния резултат (Фиг. 7.8) [6].

Функцията **CEIL** (RND+) закръгля резултата към най-малкото цяло число, което е по-голямо или равно на реалното число, което се преобразува (Фиг. 7.8).

Функцията **FLOOR** (RND-) закръгля резултата към най-голямото цяло число, което е по-малко или равно на реалното число, което се преобразува (Фиг. 7.8).

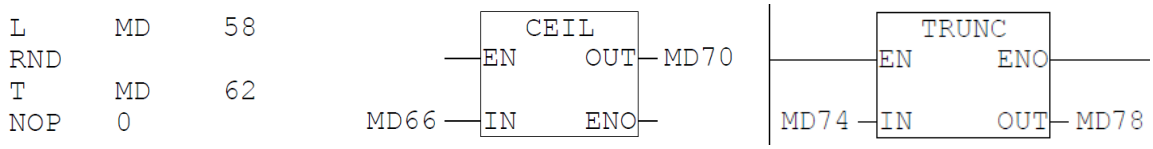


Фиг.7.8. Преобразуване на реално число във формата DINT с различни функции за преобразуване на STEP 7

Функцията **TRUNC** (TRUNC) връща като резултат цялата част на реалното число, което се преобразува (Фиг. 7.8).

Преобразуване на реалното число не се извършва, ако стойността му е извън допустимия диапазон на числата от тип DINT.

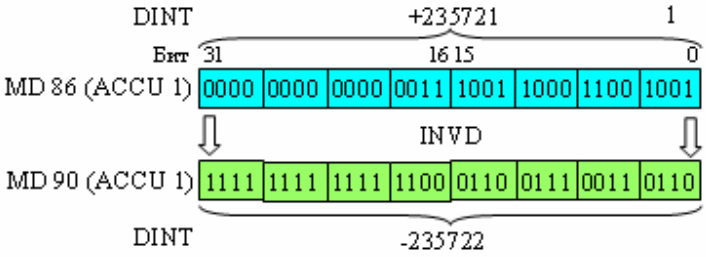
На Фиг. 7.9 са показани примери за употребата на функциите за преобразуване на реални числа в STEP 7. Показана е функцията ROUND на езика STL, функцията CEIL на езика FBD и функцията TRUNC на езика LAD.



Фиг.7.9. Примери за преобразуване на реални числа на езиците STL, FBD LAD

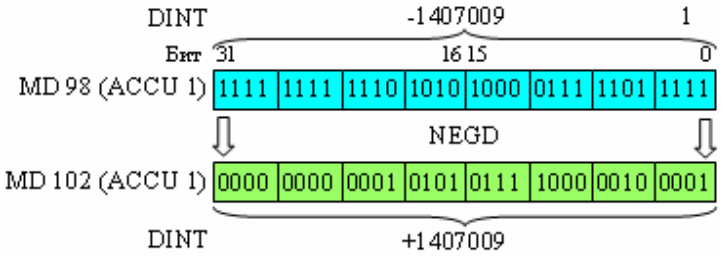
7.3.4. Преобразуване чрез допълване

В цифровата техника са познати два типа действия за индивидуално допълване. Допълването с единици инвертира всеки регистров бит индивидуално. Допълването с 2 произлиза от допълването с единици, като към него се прибавя 1. Допълването с единици се реализира с функция NOT. Реализацията на допълване с 2 се извършва с умножение с -1 [6]. Тези функции не са включени в стандарта IEC 61131. И двата типа допълване обаче съществуват в езиците на STEP 7 STL, FBD и LAD, където се реализират с функции за инвертиране и отрицание.



Фиг.7.10. Допълване с единици на стойност от тип DINT

Функциите за допълване с единици (INVI, INVD) инвертират стойност от тип съответно INT и DINT бит по бит, т.е. нулите се заместват с единици, а единиците – с нули (Фиг. 7.10). Функцията INVI инвертира само първите 16 бита на ACCU 1.

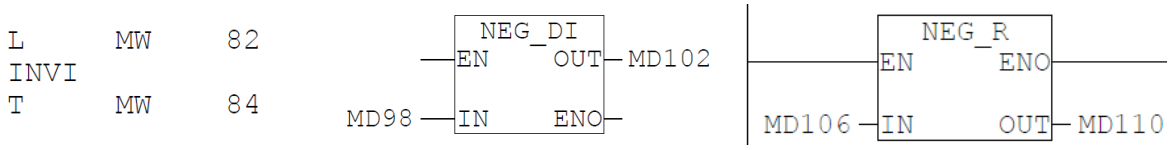


Фиг.7.11. Допълване с 2 на стойност от тип DINT

Функциите за допълване с 2 (NEGI, NEGD), съответно за стойности от типове INT и DINT, се изпълняват на две стъпки. На първата стъпка битовете на числото се инвертират (имаме допълване с единици). На втората стъпка към инвертираната стойност се прибавя +1 (Фиг. 7.11). При функциите NEG_INT се използват само първите 16 бита на ACCU 1 за допълването с 2.

Функцията NEGR променя знака на реална стойност. При изпълнението на тази функция се променя само бит 31 (знакът на мантисата) на числото.

На Фиг. 7.12 са показани примери за употребата на функциите за допълване в STEP 7. Показано е допълване с единици за променлива от тип INT на езика STL, допълване с 2 за променлива от тип DINT на езика FBD и допълване с 2 за променлива от тип REAL на езика LAD.



Фиг.7.12. Примери за употреба на функциите за допълване в езиците STL, FBD и LAD

7.3.5. Преобразуване на типове BYTE, WORD и DWORD

Функциите за трансфер на данни в STEP 7 (MOVE) могат да се използват за конвертиране на данни от типове BYTE, WORD и DWORD в други типове данни като BYTE, WORD, INT, DWORD, DINT и т.н. в езиците STL, FBD и LAD. Понякога, когато входната стойност е извън допустимия диапазон за изходния тип данни, е възможно като резултат да се получи случайно число.

7.4. Въпроси за самопроверка

1. Кой е допустимият диапазон от стойности за данни от тип DINT?
   a. от -32 768 до 32 768
   b. от -214 783 648 до +214 783 647
   c. от 0 до 65 535
   d. от ±1.75495e-38 до ±3.402823e+38

2. Коя от следните функции не може да се използва с данни от тип INT (възможни са повече правилни отговори)?
   a. Събиране
   b. Умножение
   c. Деление с остатък
   d. Синус
   e. Повдигане на квадрат
   f. Абсолютна стойност

3. Коя от тези числени функции не е налична в STEP 7 (възможни са повече правилни отговори)?
   a. Тангенс
   b. Котангенс
   c. Аркус тангенс
   d. Аркус котангенс

4. В какъв формат е резултатът от функцията ACOS?
   a. В градуси
   b. В радиани
   c. Цяло число
   d. Реално число

5. Коя от следните функции се използва за преобразуване на стойност от тип DINT в тип INT в STEP 7?
   a. DINT_TO_INT
   b. INT_TO_DINT
   c. BCD_TO_INT
   d. MOVE

6. Резултатът от изпълнението на функцията TRUNC с аргумент едно реално число е…
   a. цялата част на реалното число.
   b. най-голямото цяло число, което е по-малко или равно на реалното число.
   c. най-близкото цяло число.

d. най-малкото цяло число, което е по-голямо или равно на реалното число.

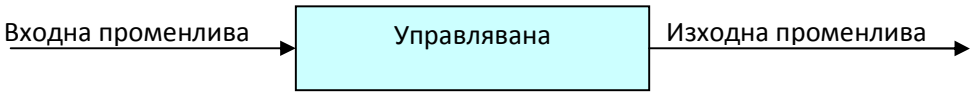
7. Допълването с единици означава …
   a. конвертиране на числа с плаваща запетая в BCD код.
   b. инвертиране на цели числа.
   c. прилагане на действието отрицание върху цели числа.
   d. инвертиране на реални числа.

Управление с ПИД регулатор

Пропорционално-интегрално-диференциалният (ПИД) регулатор е регулатор с три съставящи, който се използва от дълго време в областта на автоматичното управление (от началото на 20-ти век). Заради интуитивността си и относителната си простота, той се е превърнал в стандартния регулатор за индустриалните приложения. Освен задоволителната си работа, ПИД регулаторът осигурява широк обхват от процеси. Регулаторът се е развивал заедно с развитието на технологиите и днешните му реализации много често са в цифрова форма вместо реализациите с пневматични или електрически компоненти. Той може да бъде открит на практика при всички типове управляващо оборудване или като самостоятелен регулатор или като функционален блок в ПЛК и в разпределените системи за управление. Успехът на ПИД регулаторите се дължи също и на факта, че те често са един фундаментален компонент от по-усъвършенстваните управляващи системи, който може да бъде приложен, когато основният закон за управление не е достатъчен за постигане на изискваните експлоатационни качества или трябва да бъде решена по-сложна задача за управление [18].

8.1. Управлявана система

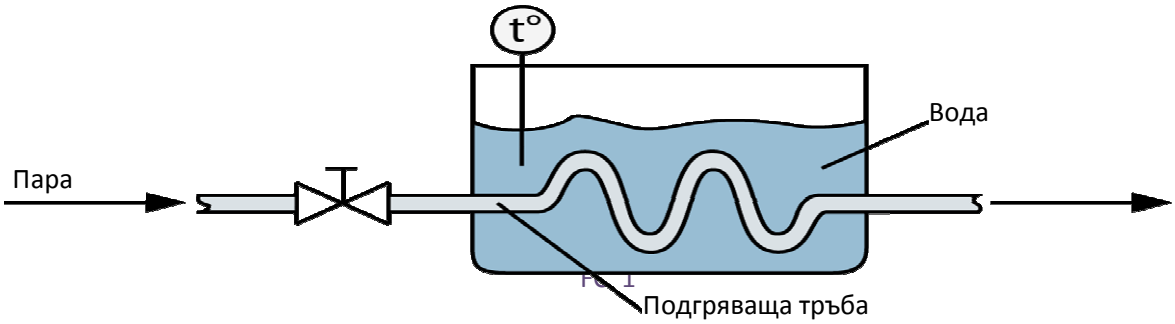
Управляваната физическа система се описва с входни и изходни променливи. Реакцията й се описва като зависимост между изходната променлива и входната променлива. Тези зависимости между една или повече променливи обикновено могат да се опишат с помощта на математически уравнения, базиращи се на физичните закони. Физичните взаимовръзки могат да бъдат определени чрез експеримент.



Фиг.8.1. Блокова схема на управлявана система

Управляваните системи се представят с блокове със съответните входни и изходни променливи (Фиг. 8.1).

Например, в един воден резервоар (воден басейн) трябва да се поддържа постоянна температура (t^0). Резервоарът се подгрява от тръба, по която тече пара (Фиг. 8.2). Дебитът на парата може да се регулира ръчно от управляващ клапан. Тук системата за управление се състои в позиционирането на управляващия клапан, което ще влияе върху температурата в резервоара. В резултат имаме управлявана система с входна променлива „позиция на управляващия клапан" и изходна променлива „температура във водния резервоар".



Фиг.8.2. Управлявана система от тип воден резервоар

В управляваната система се наблюдава следната последователност от процеси:

- Моментното положение на управляващия клапан определя дебита на парата в подгряващата тръба.
- Дебитът на парата определя количеството топлина, предавано към водния резервоар.
- Температурата в резервоара се увеличава ако входната топлина е по-голяма от топлинните загуби и намалява в обратния случай.

Тази последователност дава взаимоотношението между входната и изходната променливи.

Преди проектирането на автоматичен регулатор за управляваната система е необходимо детайлното познаване на нейното поведение.

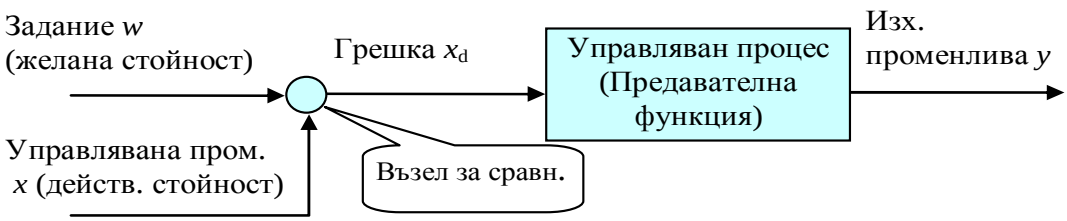
8.2. Принцип на затворената система (затворен контур)

При големите машини и системи често е необходимо задаването на конкретни физични променливи като налягане, температура или дебит. Зададените стойности на тези променливи не трябва да се променят при действието на външни фактори върху системата. Този тип задачи за стабилизация се решават с регулатор на **принципа на затворената система**.

Променливата, която подлежи на управление се нарича **управлявана променлива *x***. Примери за такива променливи са **Error! Reference source not found.**:

- Налягане в пневматичен акумулатор,
- Налягане в хидравлична преса,
- Температура в галванизиращ басейн,
- Дебит на охлаждащ флуид в топлообменник,
- Концентрация на химикал в съд за смесване,
- Скорост на машинна част с електрическо задвижване.

Необходимо е първо да се измери управляваната променлива и да се създаде съответен електрически сигнал, за да може да се изгради регулатор на принципа на затворената система, който да има възможност да управлява изходната променлива y. Измерената стойност на променливата x в системата трябва да се сравни със зададената (желаната) стойност w или със желаното изменение на поведението на тази величина. Стойността ***w*** се нарича **задание**. В резултат от сравнението между заданието и действителната стойност на управляваната променлива се получава сигналът на **грешката (отклонението)** x_d. Той определя действието, което трябва да бъде предприето.



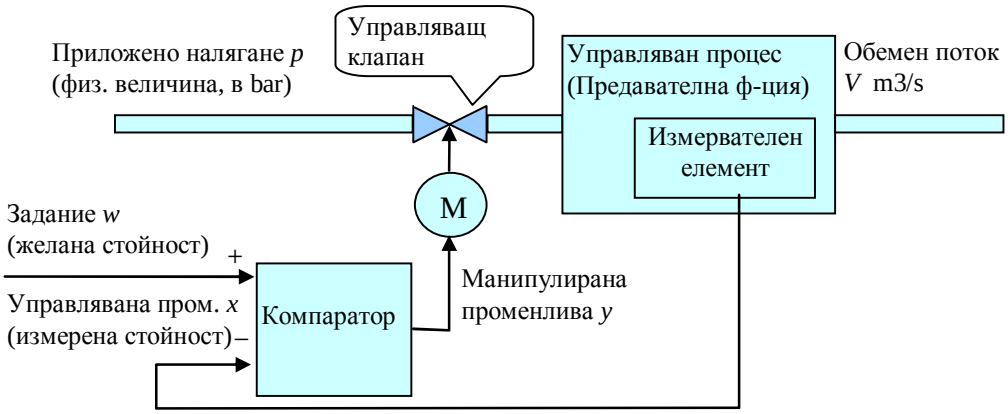
Фиг.8.3. Управление по принципа на затворената система

При управлението по принципа на затворената система задачата е да се поддържа стойността на управляваната променлива на желано ниво или да се следва желана линия на изменение на тази величина.

Управляваната променлива на всяка система може да бъде манипулирана или от система за управление или непосредствено от човека. Това позволява тя да бъде променяна, така че да съвпадне със заданието (желаната стойност). Променлива, върху която се въздейства по този начин, се нарича **манипулирана променлива *y***. Примери за манипулирани променливи са:

- Позиция на управляващ клапан на въздушен резервоар,

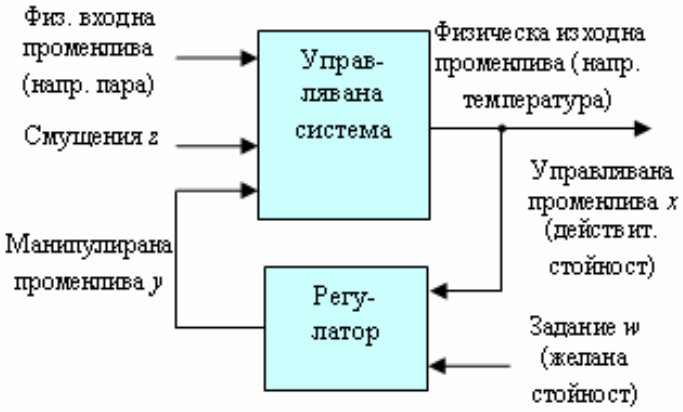
- Позиция на пневматичен клапан за регулиране на налягане,
- Приложено напрежение към електрическия нагревател на галванизиращ басейн,
- Позиция на управляващ клапан в охладителна система,
- Позиция на клапан в химически смесителен резервоар.



Фиг.8.4. Управление по принципа на затворената система на обемен поток

Между манипулираната и управляваната променливи съществуват взаимовръзки, които могат да бъдат прости или по-сложни. Тези връзки произтичат от физическата взаимна зависимост на двете променливи. Частта от управляваната система, която описва физическите процеси, се нарича **измервателен елемент** (Фиг. 8.4).

Във всяка управлявана система възникват смущения. В действителност често причината, обуславяща управление по принципа на затворената система, е именно наличието на нежелани смущения. В примера с водния резервоар приложеното налягане



Фиг.8.5. Управление на затворена система с регулатор

променя обемния поток и това налага промяна в настройката на управляващия клапан. Такъв тип влияние се нарича **смущение z**. Затворената система съдържа всички необходими компоненти за автоматично управление по затворен цикъл (Фиг. 8.5).

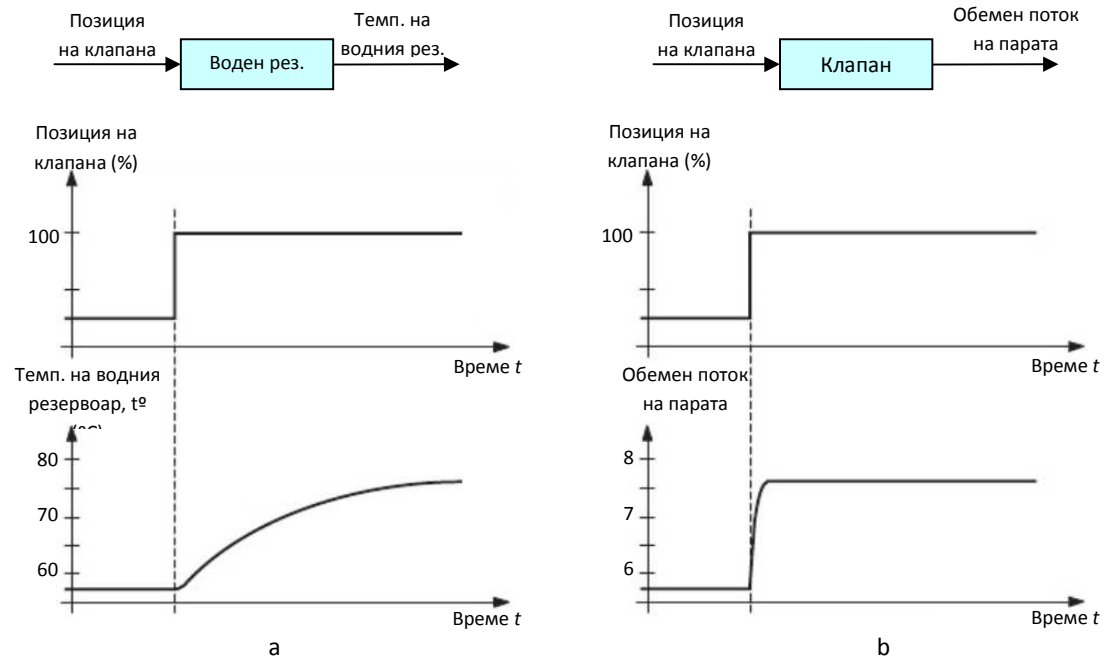
Задачата на регулатора е да поддържа управляваната променлива възможно най-близо до променливата на заданието. Регулаторът непрекъснато сравнява стойността на управляваната променлива с тази на заданието. На базата на това сравнение регулаторът определя и променя стойността на манипулираната променлива.

Динамичната реакция на една система (**реакция във времето**, **времева характеристика**) е важен аспект от описанието на системата. Това е времевата характеристика на изходната променлива (управляваната променлива) и входната променлива. Особено важно е поведението на управляваната система при промяна на манипулираната променлива. Всяка система има характерна динамична реакция (динамика) [18].

В примера с водния резервоар (Фиг. 8.2) промяна в позицията на клапана за парата няма да доведе веднага до промяна на изходната променлива (температурата). Вместо това топлинният капацитет на целия воден резервоар ще причини бавно „пълзене" на температурата до достигане на ново равновесно състояние (Фиг. 8.6 а).

При управлението на обемен поток динамичната реакция е бърза. Една промяна в позицията на клапана ще има незабавен ефект върху дебита на парата, така

че промяната на дебита на изхода следва почти незабавно промяната на входния сигнал (промяна в положението на клапана) (Фиг. 8.6 b).



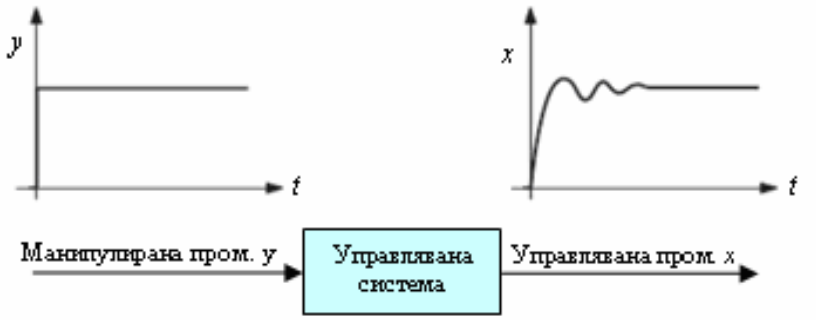
Фиг.8.6. Динамична реакция на управлявана система от тип воден резервоар (a) и „клапан” (b)

8.3. Описание на динамичната реакция на управлявана система

В примерите от Фиг. 8.6 е показана реакцията на системата при внезапна промяна на стойността на входната променлива. Това е често използван метод за определяне на динамичната реакция на система.

Реакцията на системата на рязка промяна на стойността на входната променлива се нарича **преходна функция**. Всяка система може да бъде характеризирана с нейната преходна функция. Преходната функция позволява също една система да бъде описана с математически уравнения.

Този тип описание на система е известен и като динамична реакция, която е показана на Фиг. 8.7. Вижда се, че манипулирната променлива *y* рязко нараства (лявата графика). Преходната функция на управляваната променлива x е всъщност затихващият преходен процес до установяването й. [18].



Фиг.8.7. Преходна функция

Друга характеристика на системата е поведението й в равновесното състояние, т.н. **статична характеристика**. Тя се получава, когато нито една от системните променливи не се изменя във времето. Равновесното състояние се достига, когато системата се установи в състояние на покой. Това състояние може да се поддържа за неограничено време. Изходната променлива пак е зависима от входната – тази зависимост се вижда от статичната характеристика на системата.

Статичната характеристика на системата от Фиг. 8.2 показва връзката между обемния поток и позицията на клапана (Фиг.8.8).

Характеристиката показва дали системата е линейна или нелинейна. Ако характеристиката е права линия, системата е линейна. В разглеждания пример характеристиката е нелинейна. Голяма част от управляваните системи в практиката са нелинейни. Те обаче често могат да бъдат апроксимирани с линейна характеристика в работния им диапазон.

Фиг.8.8. Пример за статична характеристика

8.4. Регулатори

В предните точки се разглеждаше управляваната система – тази част от системата, която се управлява от регулатор. В тази точка се разглеждат типовете регулатори.

Регулаторът е устройство в една затворена система за управление, което сравнява измерената стойност (действителната стойност) със зададената (желаната) и изчислява и подава на изхода си манипулираната променлива *y*. Беше показано, че управляваната система може да има много различни по тип изходни реакции. Има системи с бърза реакция, системи с много бавна реакция, както и системи със свойството да съхраняват информация [18].

При всяка от тези управлявани системи промените на манипулираната променлива *y* трябва да се извършват по различен начин. По тази причина на пазара има различни типове регулатори, всеки с определен тип управляващо въздействие. Инженерът по автоматика има задачата да подбере регулатора с най-подходящ тип управляващо въздействие за конкретната управлявана система. Управляващото въздействие се определя от начина, по който регулаторът изработва манипулираната променлива на базата на сигнала на входа му.

8.4.1. Времева характеристика на ПИД регулатор

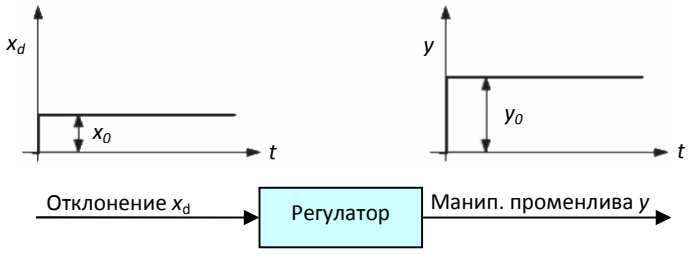
Всяка управлявана система има индивидуална времева характеристика. Тя зависи от устройството на машината или системата и инженерът по автоматика не може да влияе върху нея. Тази характеристика се определя чрез експеримент, симулация или теоретичен анализ. Регулаторът сам по себе си също е система и има собствена времева характеристика. Тя се определя от инженера така, че да се постигне добро управление (регулиране).

Времевата характеристика на типичен непрекъснат (ПИД) регулатор се определя от трите му основни съставящи (компоненти):

- Пропорционална съставяща (**P** компонент),
- Интегрална съставяща (**I** компонент),
- Диференциална съставяща (**D** компонент).

8.4.2. Пропорционален регулатор

Пропорционалният (P) регулатор генерира сигнал, пропорционален на отклонението от заданието. Ако отклонението (грешката) x_0 е голямо, стойността на манипулираната променлива y_0 също е голяма. Съответно при малко отклонение тази стойност е малка. Времевата характеристика на P регулатора в идеалния случай е същата като на входната променлива (Фиг. 8.9).



Фиг.8.9. Времева характеристика на P регулатор

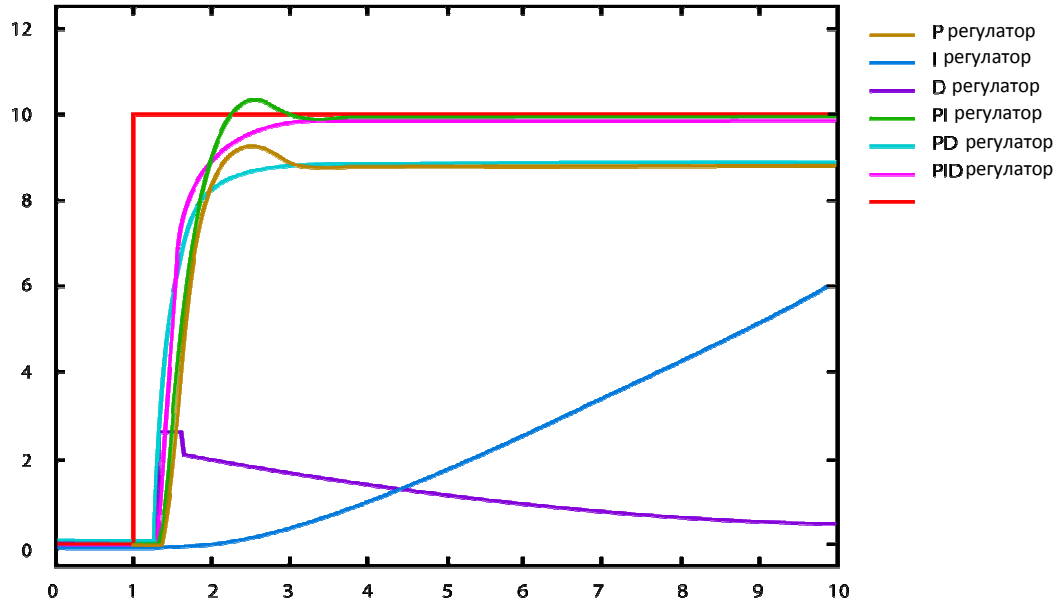
Отношението на манипулираната променлива към отклонението дава коефициента на пропорционалност или коефициента на усилване K_p. Тази стойност може да бъде задавана на P регулатора. Тя определя как се изчислява манипулираната променлива от системното отклонение. Коефициентът на усилване на регулатора се изчислява по формулата:

$$K_p = y_0 / x_0,$$

където y_0 е манипулираната променлива, а x_0 е отклонението от заданието.

Ако коефициентът на усилване е прекалено голям, регулаторът ще прави големи промени върху манипулираната променлива при малки отклонения на управляваната променлива. Ако коефициентът K_p е прекалено малък, реакцията на регулатора ще бъде прекалено слаба за постигане на задоволително управление.

Стъпаловидно изменение на отклонението ще предизвика стъпаловидно изменение на изходната величина. Амплитудата на последното зависи от големината на коефициента на регулатора.

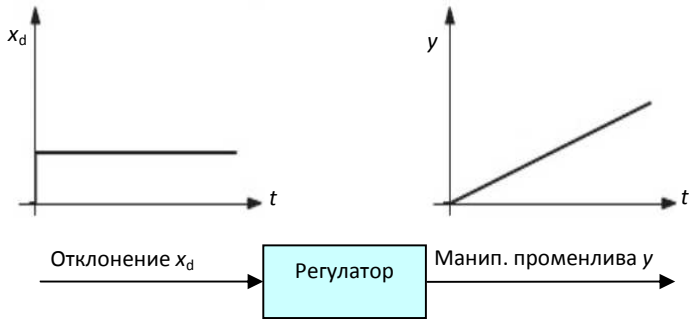


Фиг.8.10. Характеристики на различните регулатори

Важна характеристика на P регулатора е, че в резултат на грубата (твърдата) връзка между отклонението и манипулираната променлива винаги остава ненулева грешка в установен режим (разликата между сигнала на регулатора и заданието), както може да се види на Фиг. 8.10. P регулаторът не може да компенсира тази разлика.

8.4.3. Интегрален регулатор

Интегралният (I) регулатор интегрира системното отклонение (сумира стойностите му във времето при дискретните системи). В резултат степента на изменение на манипулираната променлива (а не абсолютната ѝ стойност) е пропорционална на отклонението. Това се вижда ясно от преходната функция на I регулатора: ако отклонението „скочи” от 0 до определена стойност, манипулираната променлива започва да се увеличава непрекъснато (Фиг. 8.10 и



Фиг.8.11. Времева характеристика на I регулатор

8.11). Колкото по-голямо е отклонението, толкова по-стръмно ще нараства характеристиката на манипулираната променлива.

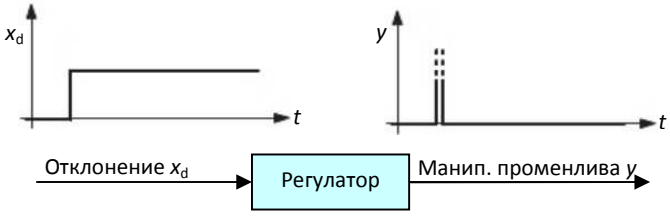
По тази причина I регулаторът не е подходящ, ако е необходимо пълното компенсиране на отклонението. Ако то е голямо, манипулираната променлива ще се изменя бързо. В резултат отклонението ще става по-малко, съответно и манипулираната променлива ще се изменя по-бавно до достигане на равновесие [18].

Интегралният регулатор не е подходящ за повечето управлявани системи, тъй като той или предизвиква осцилации (колебания) в затворената система или реагира прекалено бавно на отклонението от заданието в системи с големи преходни процеси. На практика почти не се използват чисти I регулатори.

8.4.4. Диференциален регулатор

Диференциалният (D) регулатор изчислява скоростта на изменение на отклонението. Това се нарича диференциране на отклонението. Ако отклонението от заданието се променя бързо, манипулираната променлива е с голяма стойност.

Ако отклонението се променя бавно, стойността на манипулираната променлива е малка. Регулатор само с D съставяща е неизползваем, тъй като манипулираната променлива ще съществува само при промени в отклонението (Фиг. 8.10 и Фиг. 8.12) [18].

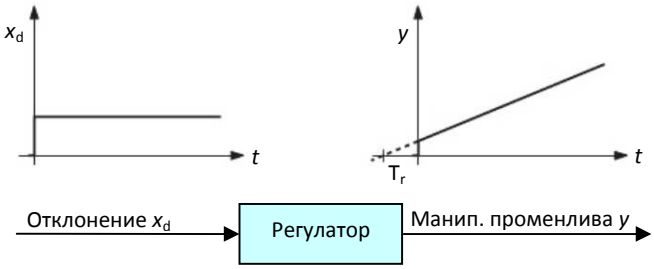


Фиг.8.12. Времева характеристика на D регулатор

8.4.5. Комбинации от няколко регулатора (съставящи)

PI регулаторът комбинира поведението на P и на I регулаторите. Това позволява съответно и съчетаване на предимствата на двата регулатора: бърза реакция и компенсиране на грешката в установен режим. По тази причина PI регулаторът се използва при голям брой системи за управление. Освен коефициента на усилване (пропорционалната съставяща), PI регулаторът има още един коефициент, който характеризира поведението на I компонентата – времеконстантата на интегриране T_r.

Времеконстантата Tr е мярка за това колко бързо регулаторът ще промени манипулираната променлива (в допълнение към генерирането на манипулираната променлива от P съставящата) за да компенсира грешката в установен режим. С други думи: Tr е степента, с която един PI регулатор е по-бърз от чистия I регулатор. Поведението на PI регулатора може да се види на Фиг. 8.10 и Фиг. 8.13 [18].



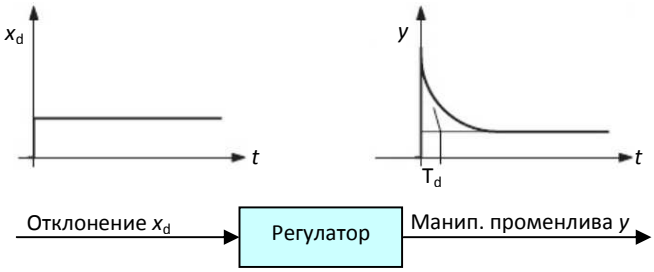
Фиг.8.13. Времева характеристика на PI регулатор

Времеконстантата е функция на коефициента K_p, тъй като скоростта на промяна на манипулираната променлива е по-бърза за по-големи стойности на K_p. При големи времеконстанти ефектът на интегралната съставяща е малък, тъй като сумирането на стойностите на отклонението ще се извършва бавно. Обратно, при малки времеконстанти ефектът на интегралната компонента е голям.

Ефективността на PI регулатора нараства при увеличаване на коефициента на усилване на пропорционалната съставяща K_p, както и при увеличаване на I съставящата (т.е. намаляване на времеконстантата T_r). От друга страна, ако тези два коефициента са прекалено големи, работата на PI регулатора ще бъде прекалено „груба” и в цялата затворена система ще възникнат разходящи колебания, т.е. системата ще стане неустойчива. Затова е необходимо предварително да се изчислят граничните стойности на коефициентите, при надхвърлянето на които системата ще стане неустойчива.

PD регулаторът е комбинация от P и D регулатори. D съставящата му описва скоростта на промяна на отклонението от заданието. Колкото по-голяма е тази скорост, толкова по-голяма е и D компонентата. В допълнение към стандартната реакция на P регулатор, при PD регулатора на големи стойности на отклонението се реагира с много кратки, но големи реакции. D съставящата се характеризира с времеконстанта на диференциране T_d.

Времеконстантата на диференциране T_d е мярка за това колко по-бързо един PD регулатор компенсира промяната в управляваната променлива спрямо чистия P регулатор. Скокът в изменението на манипулираната променлива ще компенсира голяма част от отклонението, преди съответният чист P регулатор още да е



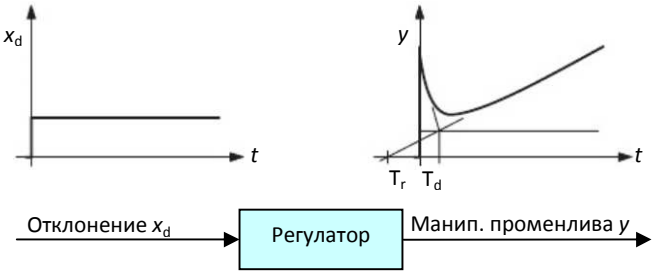
Фиг.8.14. Времева характеристика на PD регулатор

достигнал до тази стойност. Така при PD регулатора P съставящата реагира T_d пъти по-бързо (Фиг. 8. 14) [18].

PD регулаторът се използва рядко заради два свои основни недостатъка. Първо, той не може да компенсира изцяло остатъчната грешка (Фиг. 8.10). Второ, много малко нарастване на D съставящата може да причини неустойчивост на затворената система, при което в нея ще възникнат колебания (осцилации).

PID (ПИД) регулаторът съчетава предимствата на PI регулатора с тези на D регулатора. Отчита се степента на изменение на отклонението от заданието. Ако отклонението е голямо, D съставящата осигурява моментна много голяма промяна на стойността на манипулираната променлива. Докато влиянието на D съставящата пада веднага след това, под влиянието на I съставящата стойността на манипулираната променлива бавно ще нараства. Ако отклонението е малко, влиянието на D съставящата е пренебрежимо малко.

Този тип поведение има две предимства – по-бърза реакция и по-бързо компенсиране на отклонението в случай, че се промени стойността на заданието или стойността на смущаващия сигнал. Недостатъкът е, че управляващият контур е предразположен към възникване на осцилации и затова настройката е по-трудна [18]. На Фиг. 8.15 е показана характеристиката на PID регулатор.



Фиг.8.15. Времева характеристика на PID регулатор

Под влиянието на D съставящата този регулатор е по-бърз от P и PI регулаторите (Фиг. 8.10). Времеконстантата на диференциране T_d е мярка за това колко по-бърз е един PID регулатор спрямо съответен PI регулатор.

8.5. Критерии за настройка на регулаторите

Един от най-важните аспекти на управлението по затворен контур е правилната настройка на параметрите на регулатора.

Настройка на регулатора означава „напасване” (пригаждане) на регулатора към конкретния технически процес, който той ще управлява. Параметрите на регулатора трябва да бъдат така подбрани, че да се постигне най-изгодното (най-

доброто) управляващо действие в затворения контур на управление при дадени условия на работа.

8.5.1. Две крайности: неустойчивост или липса на реакция

Работата на затворената система трябва да попада между две крайности. Първо, затвореният контур трябва да реагира на промени в заданието и на смущенията. Това означава, че възникването на грешка (разлика между заданието и текущата стойност на изхода) трябва да предизвика манипулиране на изхода по такъв начин, че грешката да се елиминира. Ако коефициентът на пропорционалност и времеконстантите на интегриране и диференциране се направят равни на нула, реакция няма да има. Другата крайност е неустойчивостта. Една неустойчива затворена система ще извършва колебания с нарастваща теоретично до безкрайност амплитуда. Някои промени в заданието могат да предизвикат възникването на незатихващи колебания в системата или дори до колебания с нарастваща амплитуда.

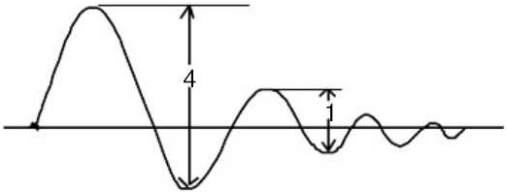
Подходящата настройка на параметрите на регулатора ще позволи регулаторът да реагира на промените в заданието и на смущенията без да има опасност цялата система да стане неустойчива.

8.5.2. Неформални методи

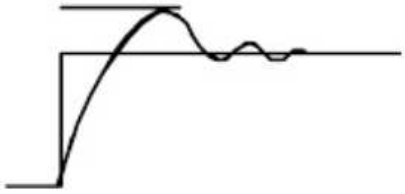
Известни са някои правила за определяне на качеството на управлението на една затворена система **Error! Reference source not found.**.

Традиционно затихването от тип „четвърт вълна” (Фиг. 8.16) се смята за оптимална степен на затихване. Този критерий се използва от метода за настройка на регулатори на Ziegler Nichols, както и от други методи. Няма точно определена комбинация от настройваемите параметри, която да осигури затихване до четвърт вълна. Ако коефициентът на пропорционалност се увеличи, а времеконстантата на интегриране се намали с правилната стойност, степента на затихване ще остане същата. Този метод не е най-добрият както за отработка на смущения, така и за реакция на промяна в заданието, но е добър компромис между случаите на неустойчивост и на липса на реакция.

При някои системи целта на настройката е да се минимизира пререгулирането в динамиката на изходната променлива на управляваната системна, която следва промяната на стойността на заданието (Фиг. 8.17).



Фиг.8.16. Затихване до четвърт вълна



Фиг.8.17. Пререгулиране при следване на промяна в заданието

Изборът на метод за настройка на параметрите на регулатор зависи от мястото на контура за управление в процеса и от връзката му с други контури [19].

8.6. Управление с PID регулатор в STEP 7

STEP 7 предлага специални функционални блокове за управление с PID регулатор, които са: функционален блок (ФБ) за непрекъснато управление (CONT_C), ФБ за стъпаловидно управление (CONT_S) и ФБ за импулсна модулация (PULSEGEN) [20].

Блоковете, реализиращи отделните регулатори, реализират чисто софтуерен регулатор, като даденият блок осигурява цялата функционалност на регулатора. Данните, използвани за управлението с PID регулатор, се съхраняват в блокове данни (DB), които са свързани със съответния функционален блок. Това позволява ФБ да бъдат извиквани колкото пъти е необходимо. Регулатор, реализиран с блоковете за регулатори, не е ограничен за използване само с конкретно приложение. Работата на PID регулатора и скоростта му зависят единствено от скоростта на избрания централен процесор (CPU).

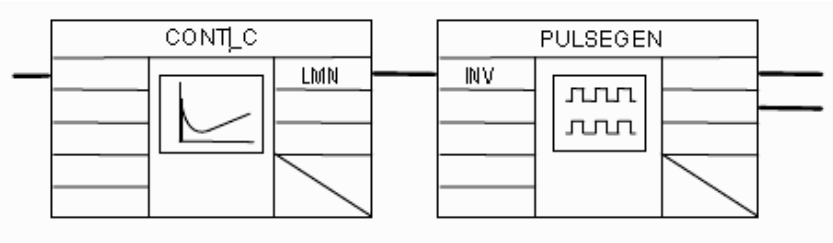
Функционалният блок **FB41 “CONT_C”** за **непрекъснато управление** се използва за управление на технически процеси с непрекъснати входни и изходни променливи. По време на присвояването на параметри е възможно да се активират или деактивират подфункции (напр. диференцилен регулатор, интегрален регулатор) на PID регулатора, за да се адаптира по-добре регулаторът към процеса.

PID алгоритъмът работи като позиционен алгоритъм. P, I и D регулаторите са свързани паралелно и могат да бъдат активирани или деактивирани индивидуално. Това позволява конфигурирането на P, PI, PD и PID регулатори. Възможно е и конфигуриране на чисти I и D регулатори. Има възможност за превключване между ръчен и автоматичен режим [20].

Функционалният блок **FB42 “CONT_S”** за **стъпаловидно управление** се използва за управление на технически процеси с цифрови изходни сигнали за интегриращи изпълнителни устройства. По време на присвояването на параметри могат да се активират или деактивират подфункции на PI стъпаловидния регулатор за по-доброто адаптиране на регулатора към автоматизирания процес.

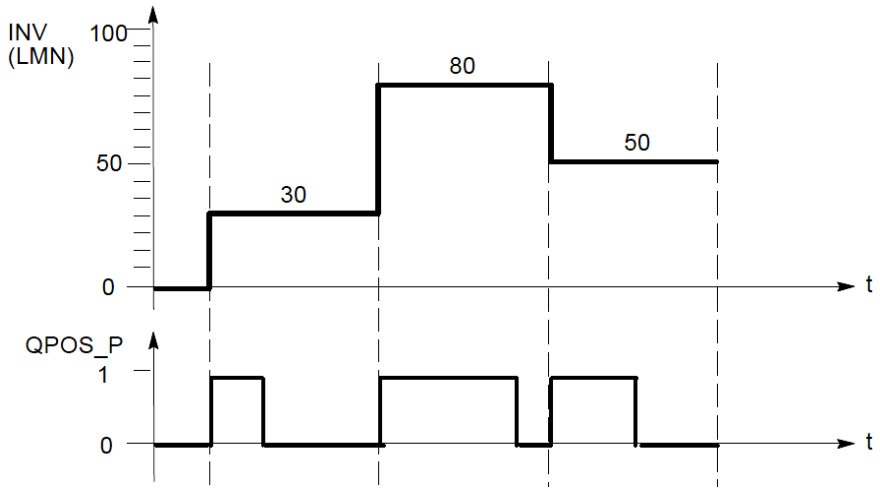
Функционалният блок **FB43 “PULSEGEN”** за **генериране на импулси** се използва за структуриране на PID регулатор с импулсен изход за пропорционални изпълнителни устройства. Използвайки FB43 “PULSEGEN” могат да бъдат конфигурирани дву- или тристъпални PID регулатори с импулсна модулация. При двустъпалното управление само положителният импулсен изход QPOS_P на FB43 “PULSEGEN” се свързва към on/off актуатора. При тристъпалния управляващ режим задействащият сигнал (сигналът към изпълнителното устройство) може да приема три състояния. Стойностите на двоичните сигнали на изходите QPOS_P и QNEG_P на FB43 “PULSEGEN” се присвояват на състоянията на изпълнителното устройство.

Блокът FB43 “PULSEGEN” обикновено се използва заедно с блока за непрекъснато управление FB41 ”CONT_C” (Фиг. 8.18) [20].



Фиг.8.18. Комбинация от блоковете "CONT_S" и "PULSGEN"

Непрекъснатият регулатор FB41 “CONT_C” формира манипулираната променлива LMN, която се конвертира в импулсни сигнали QPOS_P или QNEG_P от импулсния генератор FB43 “PULSEGEN”. Продължителността на отделния импулс в рамките на периода (коефициента на запълване) (QPOS_P) е пропорционална на входната променлива INV (Фиг. 8.19) [20].



Фиг.8.19. Импулсна модулация (модулация на продължителността на импулс)

8.7. Въпроси за самопроверка

1. Коя от следните задачи е свързана с управление на процес (възможни са повече правилни отговори)?
   a. Измерване
   b. Сравнение
   c. Анализ на качеството
   d. Настройване
   e. Изчисление

2. Отклонението от заданието под влияние на смущаващи фактори се нарича …
   a. Грешка.
   b. Отместване.
   c. Степен на изменение.
   d. Неизправност.

3. Как се нарича грешката, възникваща поради неспособността на една система за управление да поддържа измерваната изходна променлива на нивото на заданието?
   a. Остатъчна грешка
   b. Изместване
   c. Налягане
   d. Манипулирана стойност

4. Кое от следните твърдения е вярно?

a. Смущенията са нежелани промени, които могат да въздействат на заданието.
b. Смущенията са нежелани промени, които могат да въздействат на манипулираната променлива.
c. Смущенията са нежелани промени, които могат да въздействат на регулатора.
d. Смущенията са нежелани промени, които могат да въздействат на управляваната система (процес).

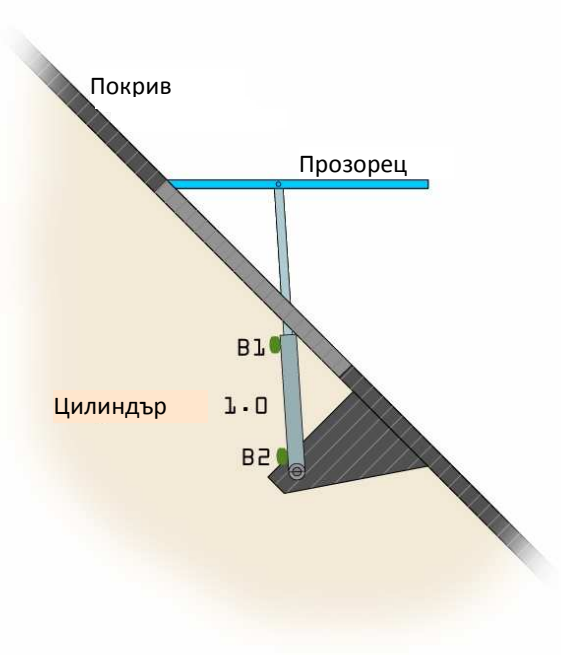
5. Кой регулатор елиминира грешката в установен режим?
   a. P
   b. PI
   c. PD
   d. D

6. При кой регулатор се диференцира отклонението от заданието?
   a. P
   b. I
   c. PI
   d. D

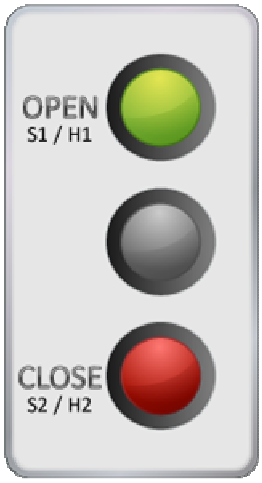
7. Кои от следните променливи обикновено се измерват или наблюдават в системите за управление (възможни са повече правилни отговори)?
   a. Налягане
   b. Вискозитет
   c. Съдържание на азот
   d. Дебит
   e. Температура

Управление на система с един пневматичен цилиндър

На Фиг. 9.1 е показан прозорец на покрива на сграда, който е прекалено високо, за да бъде отварян и затварян ръчно. Предполага се, че в сградата е инсталирана мрежа със сгъстен въздух, така че можем да използваме пневматичен цилиндър за отваряне и затваряне на прозореца. Ще използваме ПЛК Siemens S7-300 за управлението на тази система.



Фиг.9.1. Схема на приложението



Фиг.9.2. Управляващ панел

Управляващият панел (Фиг. 9.2) има два бутона:

1. Бутон S1 – за отваряне на прозореца
2. Бутон S2 – за затваряне на прозореца

Под всеки от бутоните има светодиод, който показва състоянието на прозореца – например при затворен прозорец ще свети бутонът H2.

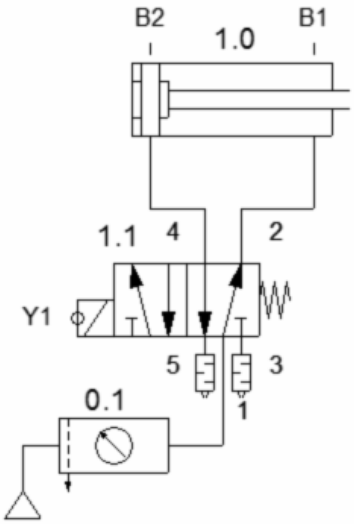
Тъй като прозорецът има две състояния (отворен и затворен), ще бъдат необходими и два сензора (B1 и B2) при цилиндъра.

9.1. Пневматична схема

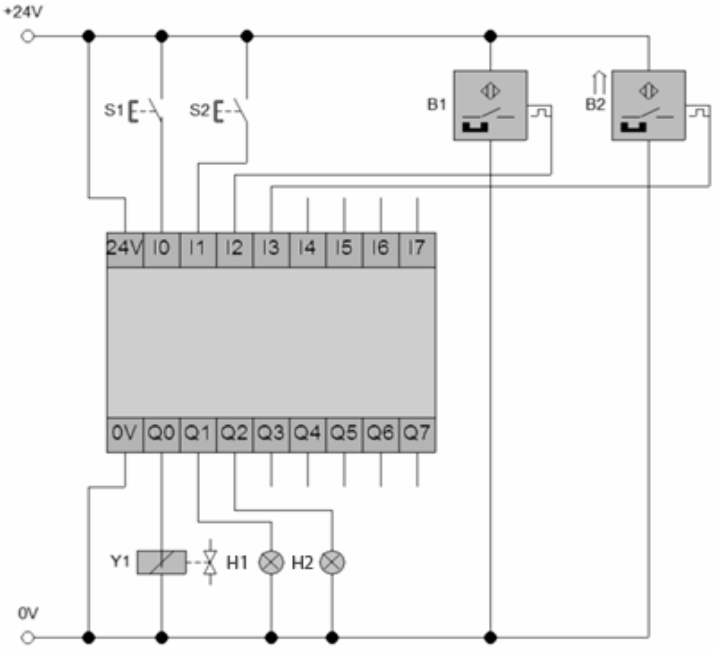
За пневматичната част на системата (Фиг. 9.3) е необходим двойно действащ цилиндър (1.0) с достатъчно дълго бутало (бутален прът), за да може прозорецът да се отвори изцяло, 5/2 единичен соленоиден клапан (1.1) и снабдяване с въздух (0.1).

9.2. Електрическа схема

Електрическата част на системата (Фиг. 9.4) се състои от два ключа (бутона) (S1, S2), два сензора (B1, B2), два светодиода (H1, H2), един соленоид (Y1) и един ПЛК Siemens S7-300 (с цифрови входно-изходни модули).



Фиг.9.3. Пневматична схема



Фиг.9.4. Електрическа схема

9.3. Програма за ПЛК

При натискане на бутона S1 се активира соленоида Y1. Продължителното натискане на бутона S1 няма да държи активиран соленоида S1, тъй като е била използвана детекция на преден фронт (команда *FP* или *P*). Командата *FP* (*P*) установява в единица бита M 0.0, като по този начин се помни, че вече е бил детектиран преден фронт. Битът M 0.0 няма да се нулира, докато не се отпусне бутона S1.

При натискане на бутона S2, соленоидът Y1 се деактивира. Отново се използва детекция на преден фронт, така че деактивирането се извършва само веднъж. Цифровите стойности от сензорите B1 и B2 се предават директно към H1 и H2.

В Табл. 9.1 са показани променливите, използвани от програмите на ПЛК.

Таблица 9.1. Използвани променливи

Символ	Адрес	Тип данни	Коментар
S1	I 0.0	BOOL	Бутон за отваряне на прозореца
S2	I 0.1	BOOL	Бутон за затваряне на прозореца
B1	I 0.2	BOOL	Сензор B1 – прозорецът е отворен
B2	I 0.3	BOOL	Сензор B2 – прозорецът е затворен
Y1	Q 0.0	BOOL	Отваряне на прозореца
H1	Q 0.1	BOOL	Зелен светодиод
H2	Q 0.2	BOOL	Червен светодиод
Tmp1	M 0.0	BOOL	Бит от паметта за командата P/FP
Tmp2	M 0.1	BOOL	Бит от паметта за командата P/FP

Програмите за ПЛК са написани на езиците STL, LAD и FBD. По-долу са показани разпечатки на тези програми.

STL

Мрежа 1: *Изваждане на цилиндъра*

```
A    "S1"
FP   M    0.0
S    "Y1"
```

Мрежа 2: *Прибиране на цилиндъра*

```
A    "S2"
FP   M    0.1
R    "Y1"
```

Мрежа 3: *Зелен светодиод*

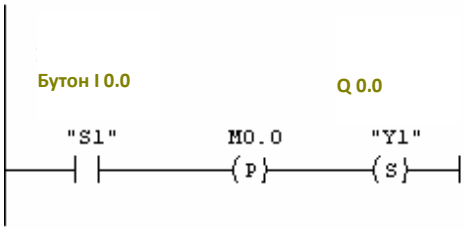
```
A    "B1"
=    "H1"
```

Мрежа 4: *Червен светодиод*

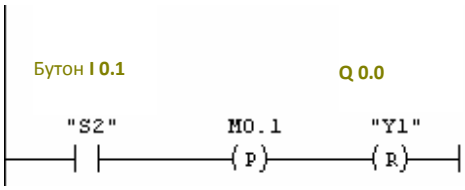
```
A    "B2"
=    "H2"
```

LAD

Мрежа 1: *Изваждане на цилиндъра*

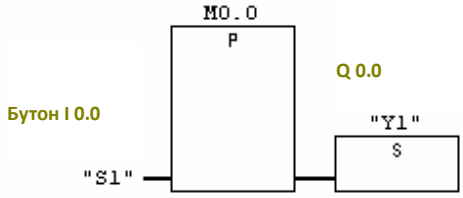


Мрежа 2: *Прибиране на цилиндъра*

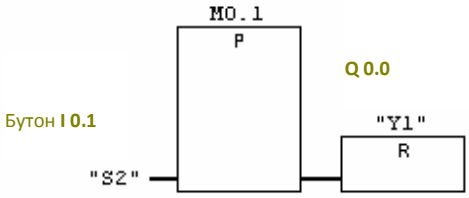


FBD

Мрежа 1: *Изваждане на цилиндъра*

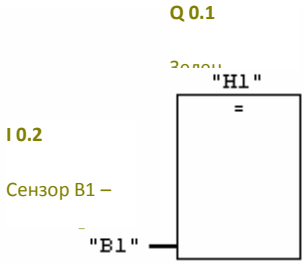


Мрежа 2: *Прибиране на цилиндъра*



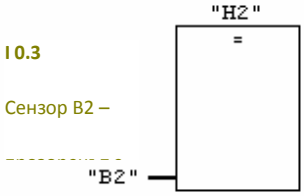
Мрежа 3: *Зелен светодиод*

Мрежа 3: *Зелен светодиод*



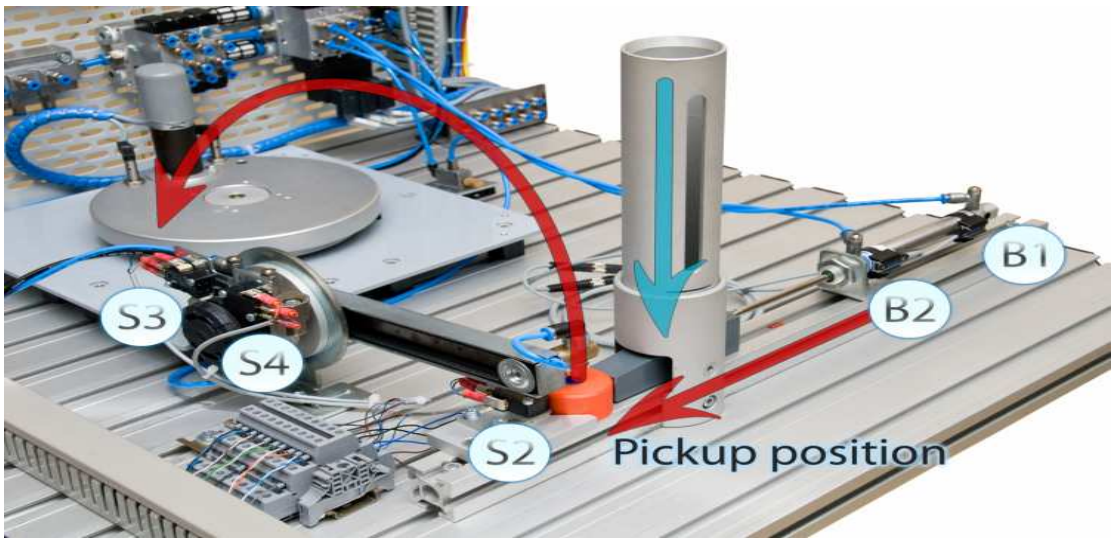
Мрежа 4: *Червен светодиод*

Мрежа 4: *Червен светодиод*



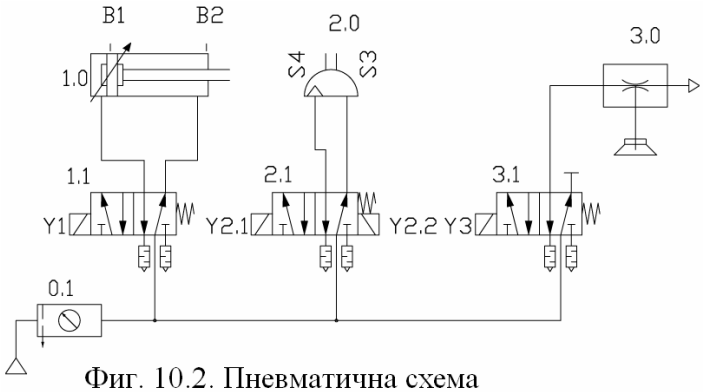
Управление на система с два пневматични цилиндъра

В примера, показан на Фиг. 10.1 един цилиндър с двустранно действие изхвърля произведени от дадена машина детайли един по един, а ротационен актуатор (изпълнително устройство) задвижва въртящо се рамо, което взема отделните детайли с помощта на засмукващ хващач. След вземане на детайла рамото го оставя на друго място. Програмата е едноциклова, тъй като след пускането на детайла на новото място не е предвидено махането му оттам.



Фиг.10.1. Система с два цилиндъра

10.1. Пневматична схема



Фиг. 10.2. Пневматична схема

Пневматичната част на системата (Фиг. 10.2) се състои от един линеен цилиндър с двустранно действие (1.0), ротационен актуатор с двустранно действие (2.0), вакуумен генератор (3.0), засмукващ хващач, два 5/2 единични соленоидни клапана (1.1 и 3.1), един 5/2 двоен соленоиден клапан (2.1) и захранване със сгъстен въздух (0.1).

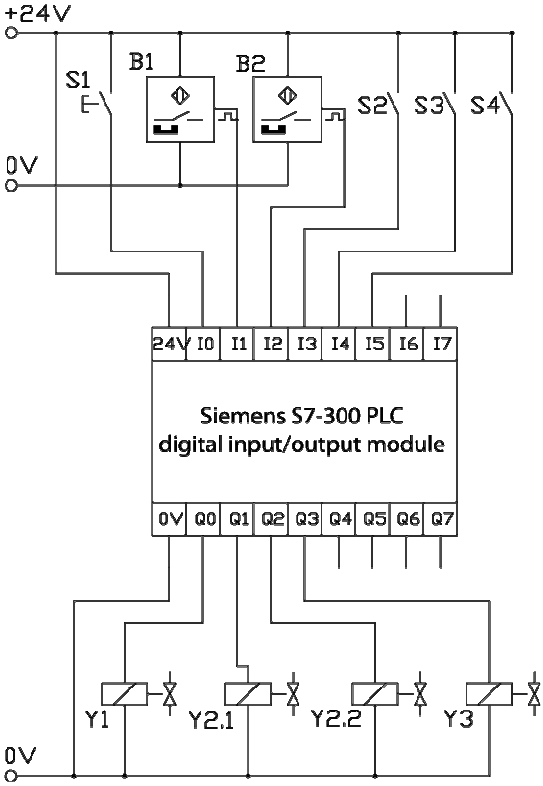
В системата може да се използва и единичен соленоиден клапан вместо двойния клапан (2.1), като за целта е необходима малка модификация в схемата.

Фиг.10.3. Ротационен актуатор с двустранно действие (2.0)

Фиг.10.4. Линеен цилиндър с двустранно действие (1.0)

10.2. Електрическа схема

Електрическата част на системата (Фиг. 10.5) се състои от един бутон S1, два сензора (B1 и B2), три крайни изключвателя (S2, S3, S4), четири соленоида (Y1, Y2.1, Y2.2, Y3) и един ПЛК Siemens S7-300 (с цифрови входно-изходни модули).



Фиг.10.5. Електрическа схема

10.3. Програма за ПЛК

Програмата за това приложение е написана възможно най-просто. Използва се само проста логика без таймери или памет (с изключение на изходните регистри).

За описание на управляващия алгоритъм на това примерно приложение на ПЛК, а така също и на програмата на ПЛК, е използван международният стандарт IEC 60848 “GRAFCET спецификационен език за последователностни функционални схеми” (Фиг. 10.6) [21].

Основните правила на GRAFCET [21, 22] са:

- Програмата за ПЛК се разбива на отделни стъпки и преходи.
- Стъпките и преходите винаги трябва да се редуват.
- Първата (началната) стъпка става активна при включване на контролера.
- Една стъпка става активна веднага щом като при активна предишна стъпка е било изпълнено условието за преход.
- Само една стъпка може да бъде активна в даден момент от времето.
- Произволен брой действия могат да бъдат свързвани с една стъпка (от 0 до неограничен брой действия).
- Може да има стъпки без действия, свързани с тях.
- Действията се делят на:
  - непрекъснати действия,
  - действия за съхраняване.
- Една променлива, операнд или изход може да бъде използван само с непрекъснато действие или само с действие за съхраняване, но не и с двете заедно.
- Последователностите могат да се разклоняват и сливат отново като:
  - алтернативни разклонения,
  - паралелни разклонения.

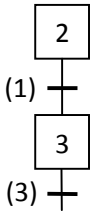
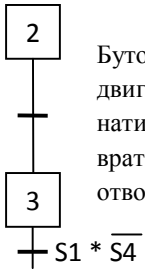
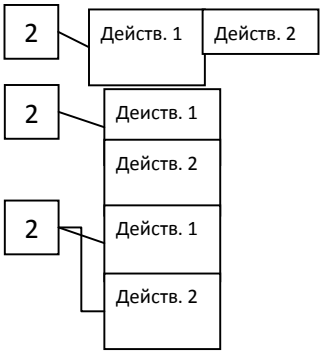
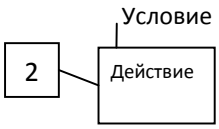
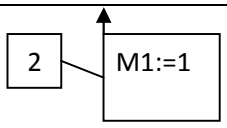
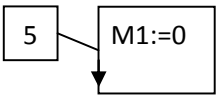
GRAFCET е език от спецификации и не трябва да се бърка с програмния език за ПЛК SFC.

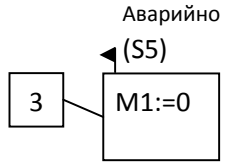
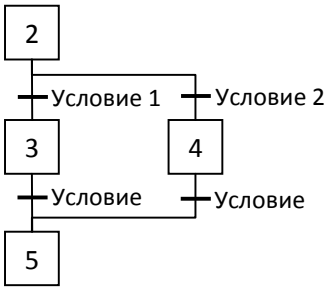
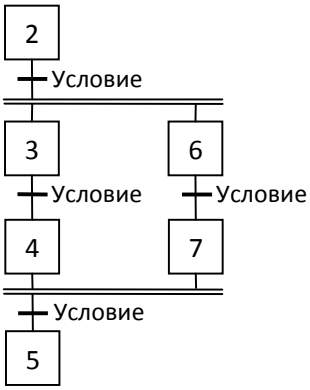
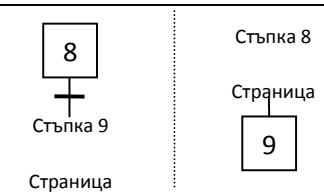
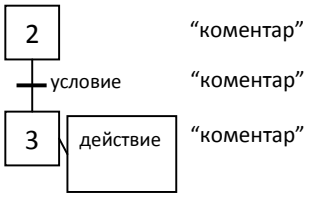
В Табл. 10.1 са дадени символите на GRAFCET и техните описания.

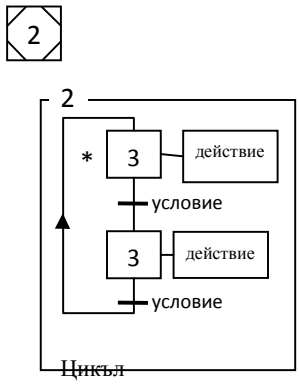
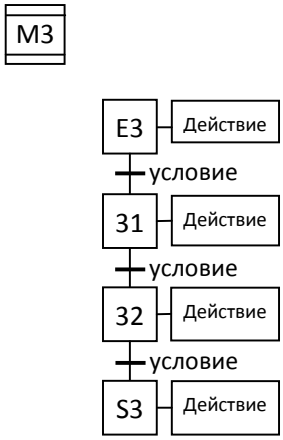
Таблица 10.1. Символи в GRAFCET

Име	**Символ**	**Описание**
Стъпка	2 99	Всяка стъпка се представя като блок (квадрат). В него се записва цифров идентификатор (етикет) на стъпката.
Променлива на стъпката	X2 X99	Това е булева променлива, която представя активното или неактивното състояние на дадена стъпка.Числото или етикета след „X” показва на коя стъпка принадлежи променливата.
Начална стъпка	1	Всяка последователност започва с начална стъпка, която се активира след включването на ПЛК. Началната стъпка се означава с блок с двойна рамка.

Глава X Управление на система с два пневматични цилиндъра

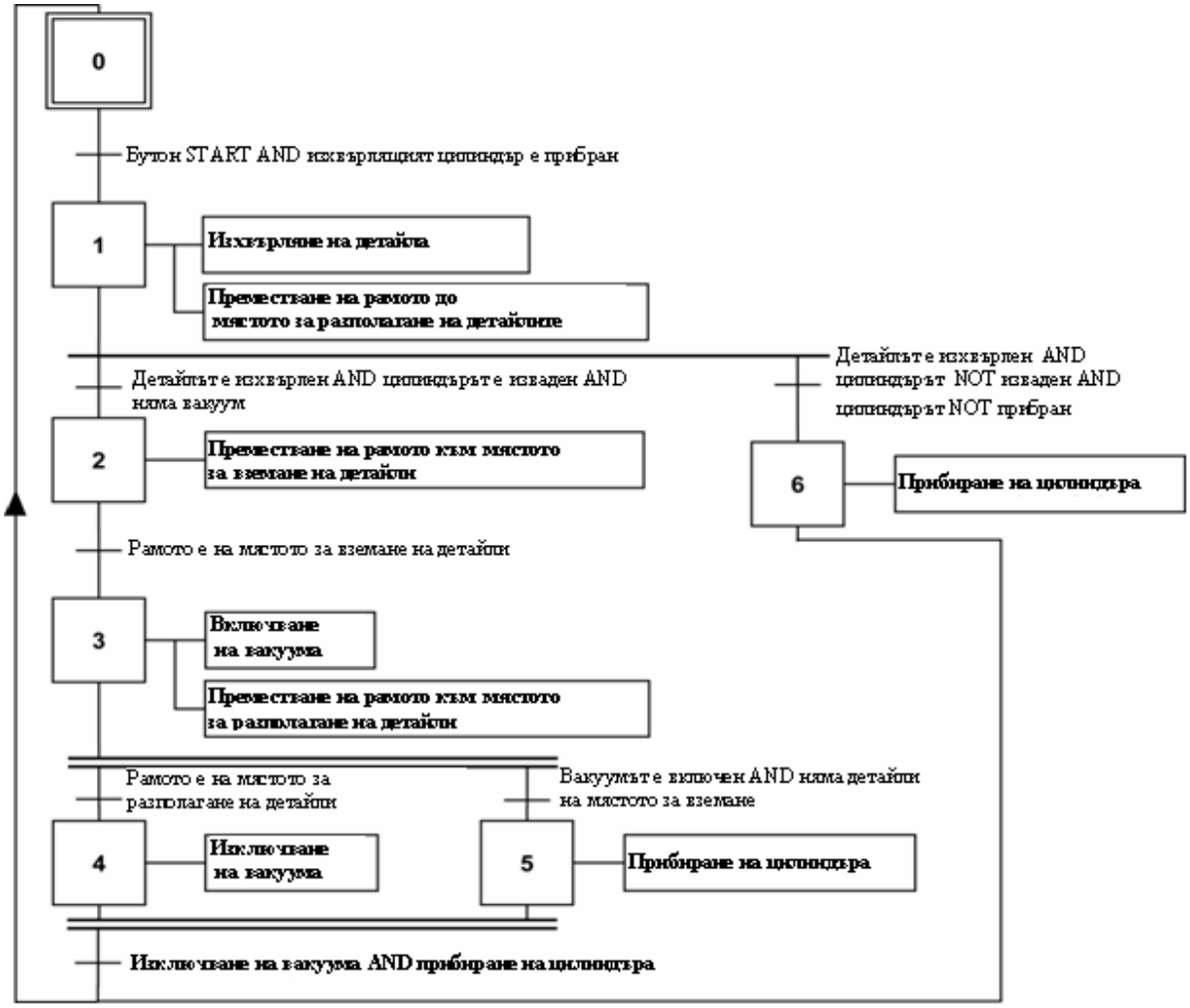
Име	Символ	Описание
Преход		Преходът е връзката между две стъпки. Той се представя с линия, която е перпендикулярна на линията между двете стъпки. На прехода може да се присвои име, което се позиционира вляво и се поставя в скоби. Текстът или цифрите в името може да се различават от текста или цифрите на стъпките.
Условие за преход		Всеки преход има условия за прехода, позиционирани вдясно от него. Условието за преход е логическо условие, което може да има стойности „1” (вярно) или „0” (невярно). Ако има повече от едно условия за преход, те се комбинират с операция AND (отбелязва се със символа „*”) и/или с операция OR (отбелязва се със символа „+”). Логическото отрицание се представя с хоризонтална черта над условието за преход. За промени на нивото на сигнал се използват стрелки (↑ за промяна от “0” в “1”, ↓ за промяна от “1” в “0”).
Действие (непрекъснато действие)		Действието се представя с правоъгълник. Самото действие (командата) се записва вътре в правоъгълника. Ако една стъпка се състои от няколко действия, те се представят с различни правоъгълници. Представяното действие се нарича още непрекъснато действие, което означава, че стойността (сигнала) „1” се присвоява на указаната променлива за цялото време на активност на асоциираната стъпка. На променливата се присвоява стойност „0”, ако стъпката повече не е активна.
Непрекъснато действие с условие за назначаване		Описаното действие е активно, ако съответната стъпка е активна и назначеното условие е изпълнено. Ако условието не е изпълнено, действието няма да е активно.
Действие за съхраняване при активиране на стъпка		В момента на активирането на асоциираната с действието стъпка, стойността, зададена в действието се присвоява на променлива. Новата стойност на променливата се съхранява в паметта докато не бъде презаписана от друго действие.
Действие за съхраняване при деактивиране на стъпка		В момента на деактивирането на асоциираната с действието стъпка, стойността, зададена в действието се присвоява на променлива. Новата стойност на променливата се съхранява в паметта докато не бъде презаписана от друго действие.

Име	Символ	Описание
Действие за съхраняване при възникване на събитие		Зададената в действието стойност се присвоява на променливата ако стъпката е активна и се появи преден фронт за израза, който представя събитието или събитията. Новата стойност на променливата се съхранява в паметта докато не бъде презаписана от друго действие.
Алтернативно разклонение		При алтернативното разклонение стъпката може да бъде последвана от два или повече прехода. Разклонението, чиито условие за преход първо се изпълни, се активира и изпълнява. Само едно разклонение може да е активно. Затова всички клонове на условието за преход трябва да са взаимно изключващи се. Алтернативното разклонение може да се запази и да се свърже на друго място.
Паралелно разклонение		При паралелното разклонение две или повече стъпки могат да следват един преход. Изпълнението на условието за преход води до активиране на няколко клона. Всички стъпки в отделните клонове се активират едновременно, но клоновете се изпълняват независимо един от друг. Всички паралелни клонове трябва да са свързани заедно. Краят на клон не може да се остави отворен. Ако условието за преход след паралелното разклонение се изпълни и всеки от клоновете на последната стъпка е активен, се активира следващата стъпка
Скок (преход)		Скокът се използва за прекъсване на потока на GRAFCET, защото е твърде сложен или се простира на няколко страници. В точките на прекъсване (в целевата и в стартовата точка) трябва да се включи целевата стъпка и номера на страницата. Скоковете трябва да се използват само ако не могат да бъдат използвани отделни редове.
Коментар		Коментарите се записват в кавички и се разполагат в дясната част на стъпка, действие, преход и т.н.

Име	Символ	Описание
Включваща стъпка		Включващата стъпка указва, че тя включва в себе си допълнителни стъпки, представени с отделни суб-GRAPHCET елементи и заградени с рамки. Номерът на включващата стъпка се въвежда в горния ляв ъгъл на суб-GRAPHCET рамката, а обозначението й – в долния ляв ъгъл. Стъпката, която е текущо активирана вътре във включващата стъпка, се означава с „*”. Суб-GRAPHCET елементът се изпълнява докато е активна включващата стъпка.
Начална включваща стъпка		Има същото действие като включващата стъпка. Единствената разлика е, че тази стъпка се използва за означаване на първата стъпка, която има включени в нея подстъпки в GRAFCET.
Макростъпка		Макростъпките се използват за обобщаване на една подструктура на GRAFCET. Идентификаторът на макро стъпката в главния GRAFCET започва с буквата „M”, следвана от цифра. Първата стъпка на подструктурата започва с аналогичен идентификатор, но буквата „M” се заменя с буквата „E”. Последната стъпка има същото означение като макро стъпката, но буквата е „S”. Макростъпката не може да бъде деактивирана докато подструктурата на GRAFCET не бъде напълно обработена (докато последната стъпка с буква „S” е активна).

На Фиг. 10.6 е показан алгоритъмът за управление на приложението в GRAFCET.

Глава X Управление на система с два пневматични цилиндъра



Фиг.10.6. GRAFCET диаграма на приложението с два пневматични цилиндъра

В табл. 10.2 са декларирани променливите в първична символна таблица.

Таблица 10.2. Променливи на проекта

Символ	Адрес	Тип данни	Коментар
S1	I 0.0	BOOL	Бутон START
B1	I 0.1	BOOL	Изхвърлящият цилиндър е прибран
B2	I 0.2	BOOL	Изхвърлящият цилиндър е отворен
S2	I 0.3	BOOL	Детайлът е изхвърлен
S3	I 0.4	BOOL	Въртящото рамо е в позиция за вземане
S4	I 0.5	BOOL	Въртящото рамо е в позиция за пускане
Y1	Q 0.1	BOOL	Изхвърляне на детайла
Y2_1	Q 0.2	BOOL	Въртящото рамо към позиция за вземане
Y2_2	Q 0.3	BOOL	Въртящото рамо към позиция за пускане
Y3	Q 0.4	BOOL	Включване на вакуума

Програмите за ПЛК са написани на езиците STL, LAD и FBD. По-долу с дадени разпечатки от програмите заедно със съответните коментари.

STL

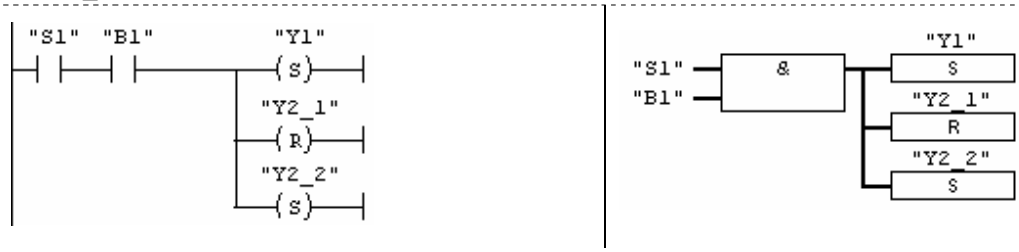
```
Мрежа 1: Изхвърляне на детайла
A     "S1"                      // Ако е натиснат стартовия бутон и изхвър-
A     "B1"                      // лящият цилиндър е прибран, то следва
S     "Y1"                      // изхвърляне на детайла, спиране движението
R     "Y2_1"                    // на въртящото рамо към позицията за
S     "Y2_2"                    // вземане и преместването му към позицията
                                // за пускане

Мрежа 2: Преместване на въртящото се рамо към мястото с детайли
A     "B2"                      // Ако цилиндърът е отворен
A     "S2"                      // и детайлът е изхвърлен
AN    "Y3"                      // и вакуумът е изключен
R     "Y2_2"                    // то следва спиране на движението към позицията за
                                пускане
S     "Y2_1"                    // и придвижване на рамото към позицията за вземане

Мрежа 3: Хващане на детайла и преместване
A     "S3"                      // Ако рамото е близо до мястото с детайли
S     "Y3"                      // следва включване на вакуума
R     "Y2_1"                    // и спиране движението на рамото към позицията за
                                вземане
S     "Y2_2"                    // и преместването му в обратна посока

Мрежа 4: Пускане на детайла
A     "S4"                      // Ако въртящото се рамо е на позицията за пускане
R     "Y3"                      // следва изключване на вакуума

Мрежа 5: Издърпване обратно на изхвърлящия цилиндър
AN    "S2"                      // Ако няма контакт на детайла с хващача (детайлът е
                                изхвърлен)
A     "Y3"                      // и вакуумът е включен
R     "Y1"                      // цилиндърът се прибира

Мрежа 6: Ако два детайла се заклещят следва връщане в изходна позиция
AN    "B1"                      // Ако цилиндърът не е прибран
AN    "B2"                      // и не е отворен
A     "S2"                      // но крайният ключ е изключен
R     "Y1"                      // следва прибиране на цилиндъра
```

Глава X Управление на система с два пневматични цилиндъра

LAD | **FBD**

Мрежа 1: *Изхвърляне на детайла*

Ако бутонът за старт (S1) е натиснат и цилиндърът е прибран (B1), детайлът се изхвърля, премества се въртящото рамо към позицията за пускане чрез нулиране на Y2_1 и установяване на Y2_2.



Мрежа 2: *Преместване на въртящото се рамо към мястото с детайли*

Ако цилиндърът е отворен (B2), и детайлът е изхвърлен (S2) и вакуумът е изключен (Y3), то следва спиране на движението към позицията за пускане на детайли и придвижване на рамото към позицията за вземане на детайли.

Мрежа 3: *Хващане на детайла и преместване*

Ако рамото е близо до мястото с детайли следва включване на вакуума, спиране движението на рамото към позицията за вземане и преместването му в обратна посока.

Мрежа 4: *Пускане на детайла*

Ако въртящото се рамо е достигнало до позицията за пускане на детайлите, вакуумът се изключва.

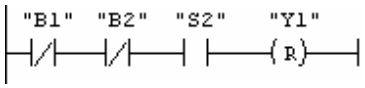
Мрежа 5: *Издърпване обратно на изхвърлящия цилиндър*

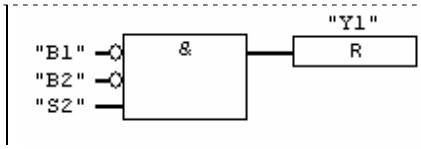
Ако няма контакт на детайла с хващача (S2) и вакуумът е включен, цилиндърът се прибира.

Глава X Управление на система с два пневматични цилиндъра

Мрежа 6 *Ако два детайла се заклещят следва връщане в изходна позиция*

Ако изхвърлящият цилиндър не е нито прибран, нито отворен, но крайният ключ е изключен (S2), следва прибиране на цилиндъра.





Управление на приложение с честотен конвертор

Съществуват няколко начина за управление на двигатели (задвижвания) с ПЛК. Пускането и спирането на двигателя се управляват лесно с помощта на цифровите изходи на ПЛК, но управлението на скоростта се различава при различните приложения. Най-лесният начин за управление на скорост е да се използват вградените цифрови входове на честотните преобразуватели. Например при налични два цифрови входа могат да се зададат четири различни честоти, както е показано в Табл. 11.1. Необходимо е внимателно да се изучат аналогичните таблици в ръководството за експлоатация на съответния двигател, тъй като при различните производители могат да съществуват разлики. Комбинация от три цифрови входа на двигателния механизъм позволява задаването на 8 различни дискретни честоти.

Таблица 11.1. Избор на честота в зависимост от състоянието на цифровите входове

Състояние на вход 1	Състояние на вход 2	Избрана честота
0	0	**Избрана честота 1**
0	1	**Избрана честота 2**
1	0	**Избрана честота 3**
1	1	**Избрана честота 4**

Избраните стойности на честотата се програмират предварително чрез менюто на задвижващия механизъм. Цифровите входове на задвижването са свързани електрически към цифровите изходи на сигналния модул (модули) (СМ) на ПЛК S7-300. Всичко, което трябва да бъде направено на STEP 7 е да се напише програма, която да управлява тези изходни стойности в съответствие със специфичните за конкретното приложение изисквания за входовете му, определени от проектанта на системата.

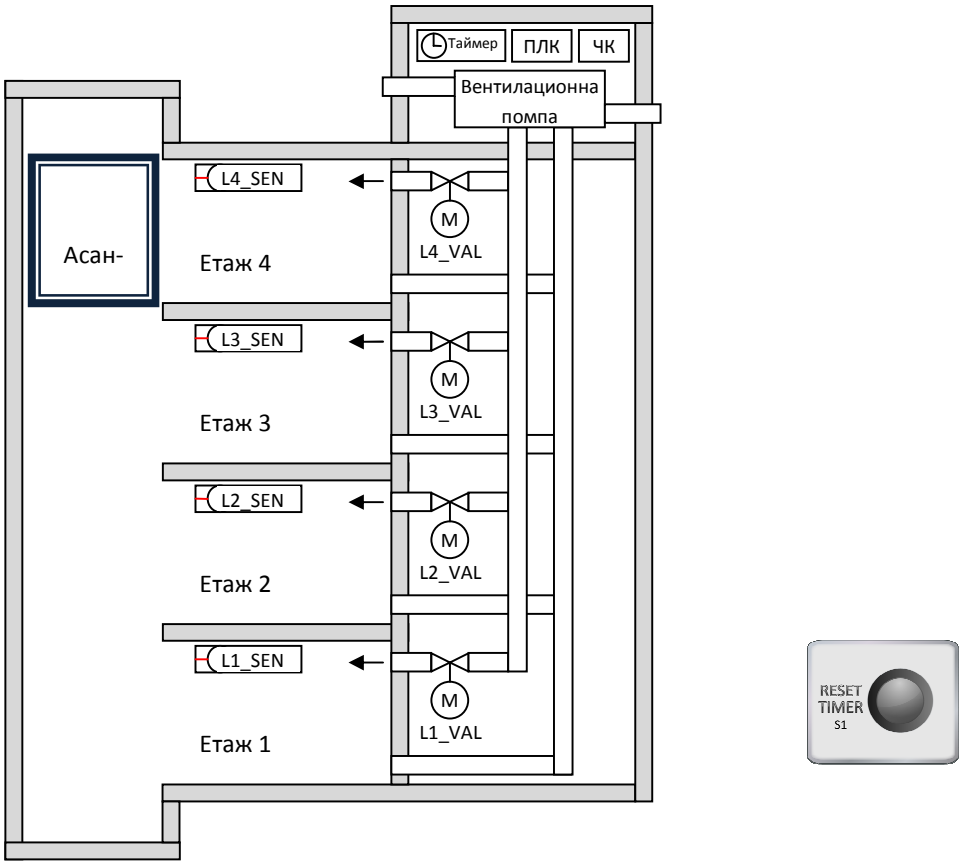
Недостатъкът на използването на цифрови сигнали е, че могат да бъдат използвани само ограничен брой предварително специфицирани честоти. За преодоляване на този недостатък повечето задвижвания с променлива скорост имат също и аналогови входове, обикновено 0-10 V или 4-20 mA. Това позволява ПЛК да управлява скоростта на задвижването директно с аналогов сигнал. Обикновено най-малкият аналогов сигнал 0 V или 4 mA съответства на честота 0 Hz на честотния преобразувател, а най-големият аналогов сигнал 10 V или 20 mA – на честота 50 Hz. Този аналогов сигнал, управляващ скоростта на задвижването, може да бъде например изхода на функционалния блок, реализиращ PID регулатор.

Друг начин за управление на честотен преобразувател е да се използва комуникация по полева шина като PROFIBUS, PROFINET, MODBUS и др. Освен управлението на скоростта тя позволява промяната на стойностите на други параметри на честотния преобразувател като ускорение, отрицателно ускорение, избор

на различен режим на управление на скорост и наблюдението на стойностите на различни параметри на електрическото задвижване като напрежение, ток, въртящ момент и др. В ръководството за експлоатация на задвижването подробно са разгледани възможносите за комуникация по полева шина.

11.1. Примерно приложение

В примера се разглежда система за управление на вентилацията на четириетажен склад (Фиг. 11.1) [2]. На всеки етаж има инфрачервен сензор за движение, който следи за присъствието на работници на етажа и изпраща сигнал към ПЛК, който управлява скоростта на въздушните клапани на вентилационната помпа. На първия етаж има бутон (S1), който задейства вентилационната система.

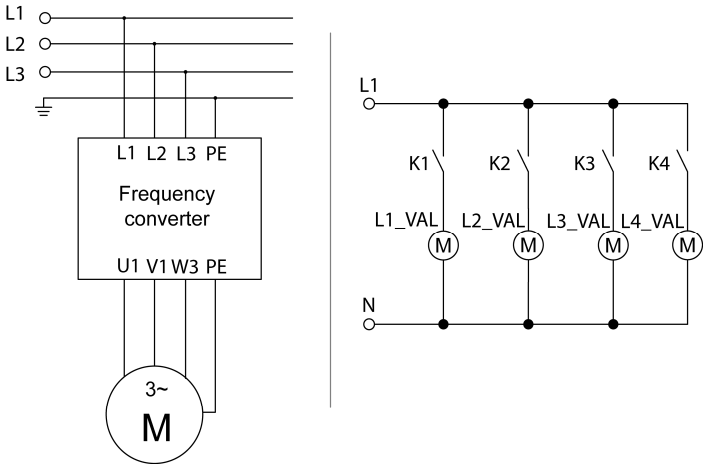


Фиг.11.1. План на склада

11.2. Електрическа схема

Електрическата част от системата се състои от четири инфрачервени сензора за движение (L1_SEN, L2_SEN, L3_SEN, L4_SEN), един отделен таймер (TIMER),

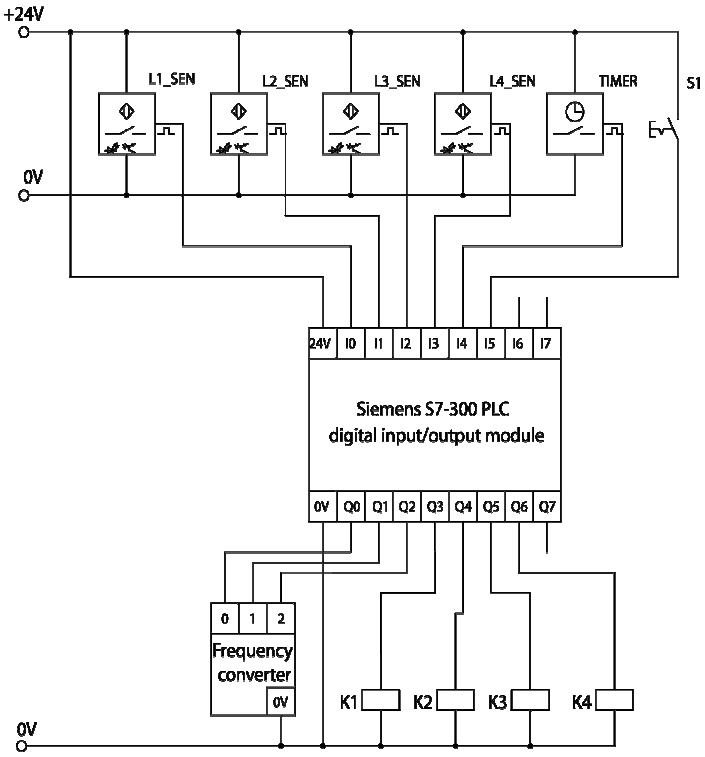
един бутон (S1), честотен преобразувател (ЧП), четири контактора (K1, K2, K3, K4), четири въздушни клапана с електрически двигатели (L1_VAL, L2_VAL, L3_VAL, L4_VAL) и един ПЛК Siemens S7-300 (с цифрови входно-изходни модули).



Фиг.11.2. Електрическа схема на захранването

11.3. Програма на ПЛК

Вентилаторът може да работи с три скорости. Най-ниската скорост се използва, когато никой от сензорите за движение няма изходен сигнал или само един от тях има. Средната скорост се използва в случай, че два от сензорите за движение имат изходен сигнал, а най-високата скорост – когато има едновременен сигнал от три или четири сензора. Тези стойности на скоростта се програмират предва-рително в честотния преобразувател и се управляват през него-вите цифрови вхо-дове според Табл. 11.1. Използват се честоти 1, 2 и 4 от таблицата. Препоръчва се честота 3 да бъде същата като честота 2. Тя не се използва от



Фиг.11.3. Електрическа схема на управляващата система (нисковолтова част)

управляващата програма, но ако случайно се разменят кабелите, свързващи изходите на ПЛК с входовете на честотния конвертор, програмата пак ще работи вярно.

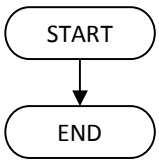
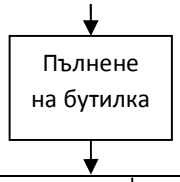
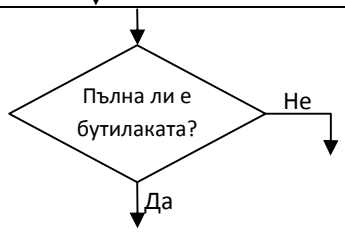
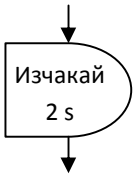
За предотвратяване на изключването на вентилацията по време на кратки периоди, през които не е имало движение в склада, се използват таймерите T0, T1, T2 и T3 за увеличаване на времето на „живот" на сигналите от сензорите за движение. Ако по време на задържането на тези сигнали се детектира движение, съответната стойност на таймера се нулира.

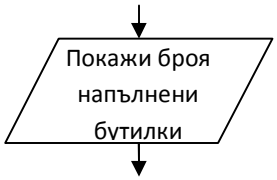
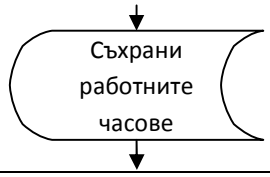
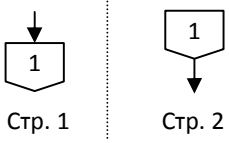
За изключването на вентилацията след края на работния ден и включването ѝ на следващата сутрин се използва външен таймер. Има ключ за ръчно включване, с който се игнорира сигналът от този таймер, който позволява включване на вентилацията по друго време, например ако е възникнала необходимост за работа след края на работното време.

Наличието на сигнал от сензор за движение предизвиква отварянето на въздушния клапан на съответния етаж, за да може на етажа да навлезе чист въздух. Тук се използват и таймерните сигнали T0, T1, T2 и T3.

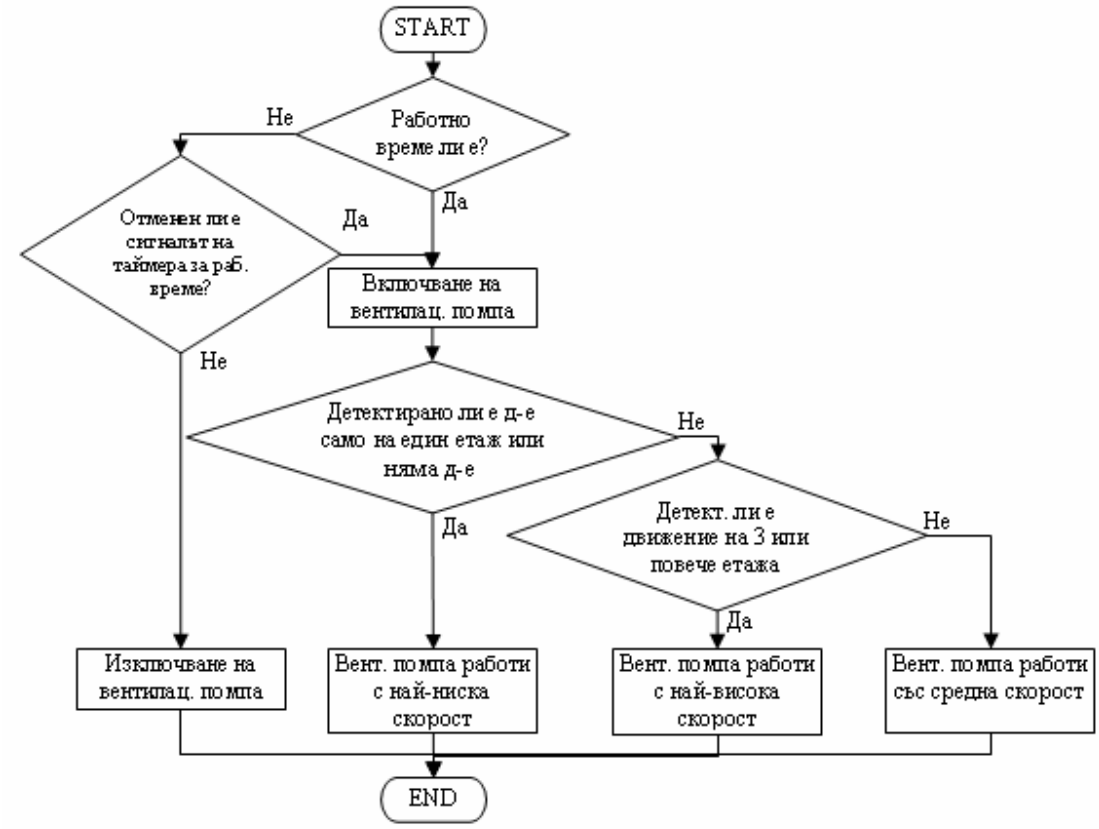
За описанието на това приложение може да се използва блокова схема. В Табл. 11.2 са показани най-често използваните символи при блок схемите [23]

Таблица 11.2. Основни символи, използвани при блок схемите

Име на символа	**Символ**	**Описание (значение)**
Терминатор		Използва се за означаване на началото и края на блоковата схема. Схемата се изчертава между тези два символа. Думата „START" маркира началото, а думата „END" – края на блок схемата.
Процес		Използва се за представяне на действие, задача или процес, което се записва в правоъгълника.
Решение		Представлява условие, при изпълнението на което програмата продължава със следващата задача или процес. Всеки блок решение може да има поне два (или повече) отговора, които се записват до изходящите стрелки на блока. В повечето случаи отговорите са „Да" и „Не" или „Вярно" и „Невярно".
Закъснение		Реализира времезакъснение. В блока се записва изчакващият период (закъсненнието).

Име на символа	Символ	Описание (значение)
Данни		Представя входно-изходни данни в блоковата схема.
Съхраняване на данни		Представя съхраняването на данни в блок схемата.
Предефини-ран процес		Представя стъпка от процес или поредица от стъпки, които са декларирани и дефинирани на друго място (в различна част от същия документ).
Конектор		Представя скок (преход) от една на друга позиция в блок схемата. Конекторите показват скокове в рамките на същата страница. Обикновено на конекторите се задават етикети с главни букви (A, B, AA) за указване на целевите точки на скока.
Конектор за друга страница		Представя скок (преход) от една на друга страница на блок-схемата (указва продължаването на една блок-схема на следваща страница). Тези конектори обиновено се обозначават с числа (1, 2, 11).

На Фиг. 11.4 и Фиг. 11.5 са показани управляващите алгоритми на складовата вентилационна система във вид на блок схеми. Първият алгоритъм е за управление на вентилатора, а вторият – за управление на въздушните клапани. На базата на тези алготитми са написани съответни програми за ПЛК.



Фиг.11.4. Блок схема на управлението на вентилационната помпа

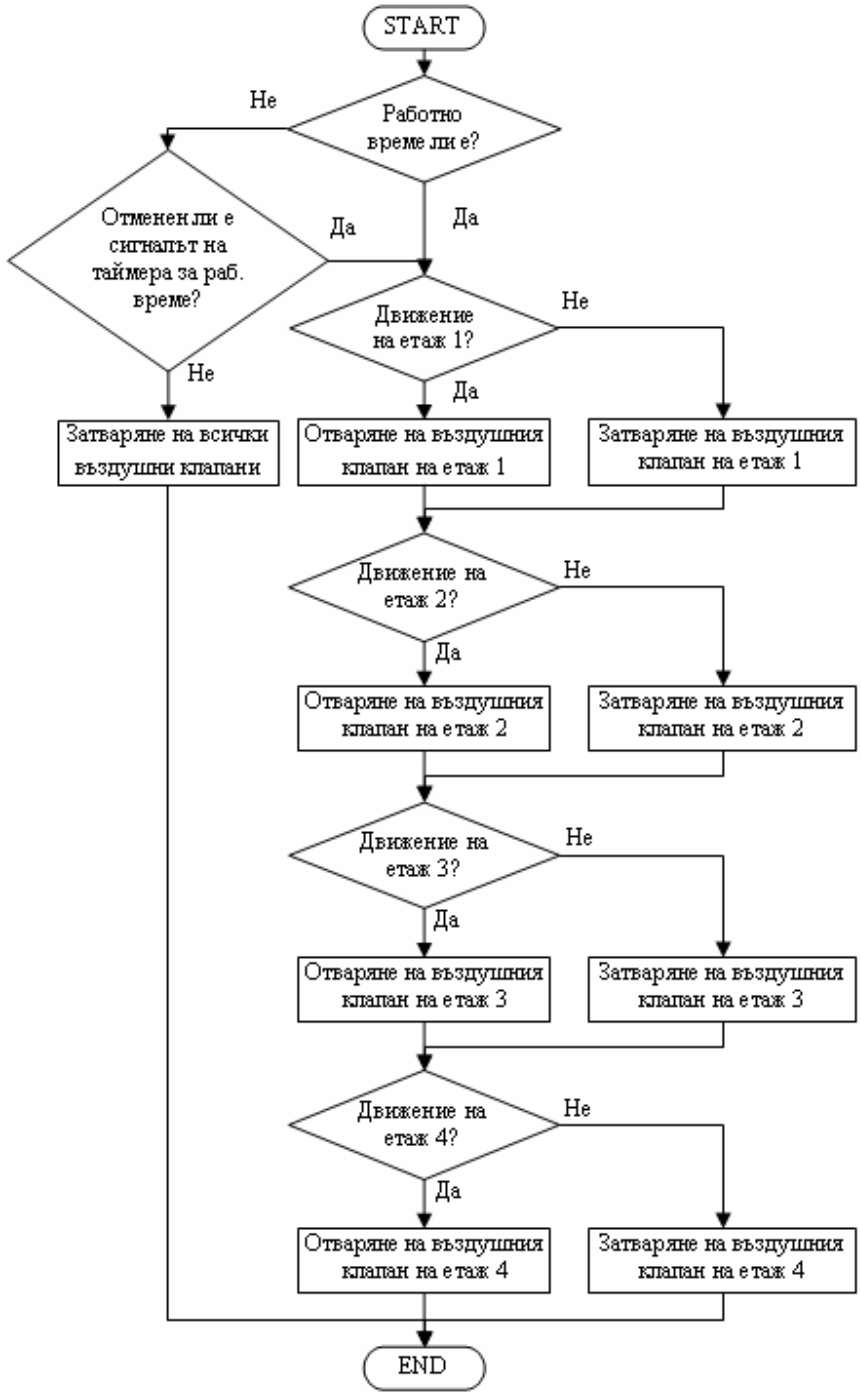
В Табл. 11.3 са показани променливите, използвани в програмите за ПЛК. Speed1 и Speed3 са помощни променливи, използвани за опростяване на написването на програмите.

Таблица 11.3. Променливи, използвани в проекта

Символ	**Адрес**	**Тип данни**	**Коментар**
L1_SEN	I 124.0	BOOL	Сензор за движение на етаж 1
L2_SEN	I 124.1	BOOL	Сензор за движение на етаж 2
L3_SEN	I 124.2	BOOL	Сензор за движение на етаж 3
L4_SEN	I 124.3	BOOL	Сензор за движение на етаж 4

Глава XI Управление на приложение с честотен конвертор

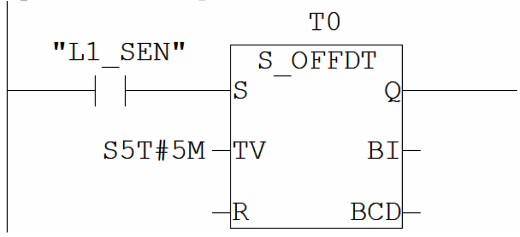
Символ	Адрес	Тип данни	Коментар
TIMER	I 124.4	BOOL	Сигналът е „1” в часовете 8 am – 5 pm от понеделник до петък. В другите часове е „0”
S1	I 124.5	BOOL	Ръчно управление. Не се зачита сигналът „TIMER”
FC_IN1	Q 124.0	BOOL	Сигнал към цифров вход 1 (DI 1) на честотния конвертор
FC_IN2	Q 124.1	BOOL	Сигнал към цифров вход 2 (DI 2) на честотния конвертор
FC_WORK	Q 124.2	BOOL	Работен сигнал („1”) към честотния конвертор
L1_VAL	Q 124.3	BOOL	Отваряне на клапана за въздух на етаж 1
L2_VAL	Q 124.4	BOOL	Отваряне на клапана за въздух на етаж 2
L3_VAL	Q 124.5	BOOL	Отваряне на клапана за въздух на етаж 3
L4_VAL	Q 124.6	BOOL	Отваряне на клапана за въздух на етаж 4
Speed1	M 0.0	BOOL	Задвижването работи на най-ниска скорост
Speed3	M 0.1	BOOL	Задвижването работи на най-висока скорост



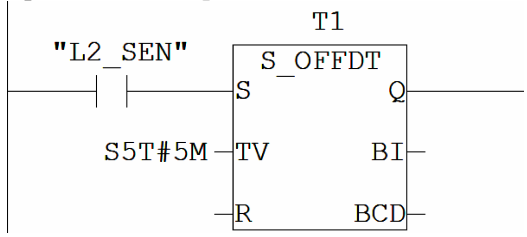
Фиг.11.5. Блок схема на управлението на въздушните клапани

Програмата за ПЛК е написана на езика LAD. По-долу е дадена разпечатка от програмата, като към всяка част са добавени коментари.

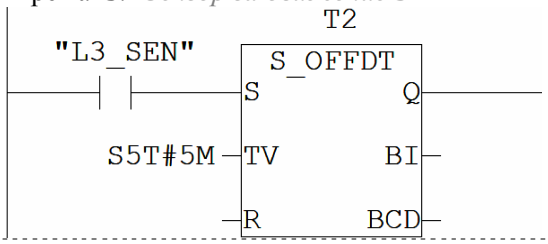
Мрежа 1: *Сензор за движение 1*



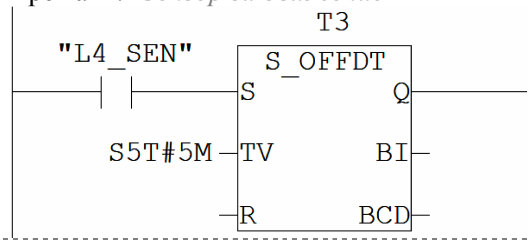
Мрежа 2: *Сензор за движение 2*



Мрежа 3: *Сензор за движение 3*



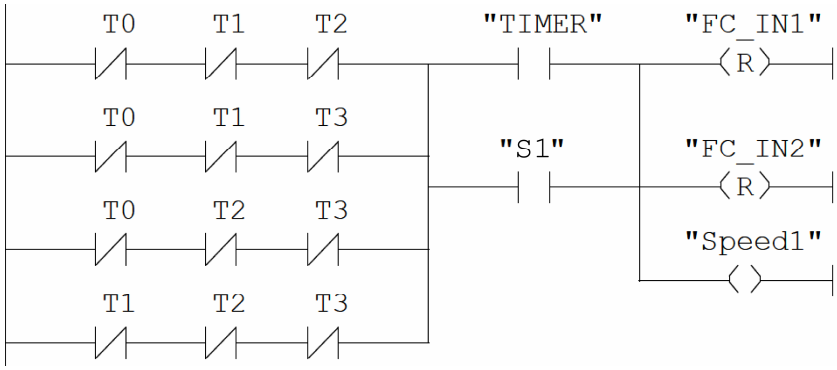
Мрежа 4: *Сензор за движение 4*



Мрежи от 1 до 4 се използват за програмиране на продължителността на сигналите от сензорите за движение. При детекция на движение се активира изходът на таймера. Когато сигналът от сензора изчезне, таймерът се стартира и изходът се поддържа активен за периода от време, записан на входа TV. При детекция на нов сигнал от сензора за движение таймерът се рестартира.

Мрежа 5: *Вентилацията работи с ниска скорост*

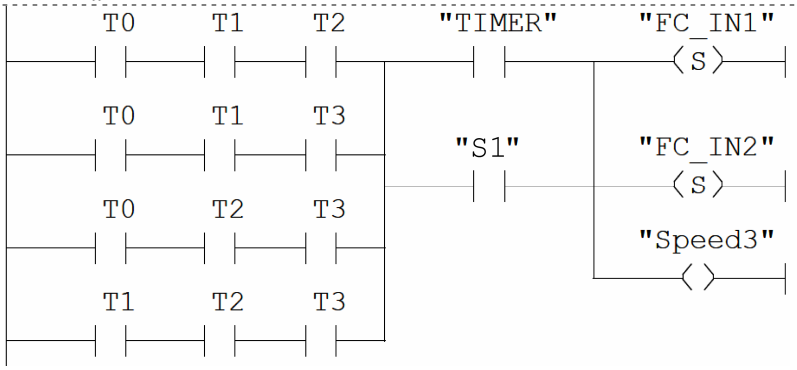
Ако няма активни сензори за движение или е активен само един от тях и е работно време, вентилационната помпа работи с най-ниската скорост. Тъй като това е най-ниската скорост, се използва „Избрана честота 1” от Табл. 11.1 и двата входа на честотния конвертор са в ниво „0”.



Глава XI Управление на приложение с честотен конвертор

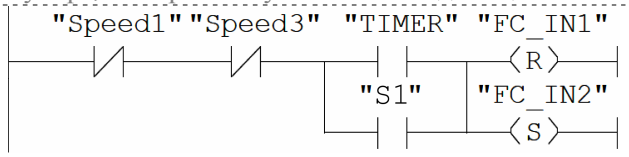
Мрежа 6: *Вентилацията работи с висока скорост*

Ако поне три от сензорите за движение имат сигнал „1” и е работно време, вентилационната помпа работи с най-високата скорост. В този случай се използва „Избрана честота 4” от Табл. 11.1, следователно и двата входа на честотния конвертор са в ниво „1”.



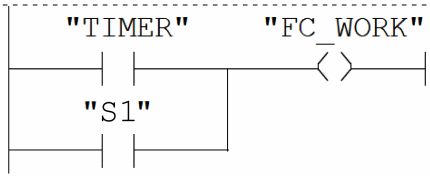
Мрежа 7: *Вентилацията работи със средна скорост*

Ако е работно време и вентилационната помпа не работи с най-ниската и с най-високата скорост, то тя работи със средна скорост. Това се прави чрез елиминирането на най-ниската и най-високата скорости, които са били детектирани с мрежи 5 и 6. Използва се „Избрана честота 2” от Табл. 11.1, следователно първият вход на честотния конвертор се нулира, а вторият се установява в единица.



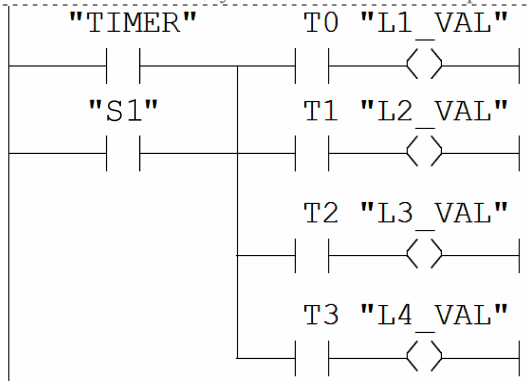
Мрежа 8: *Включване на честотния конвертор*

Ако е работно време и някой е натиснал бутона „RESET TIMER”, честотният конвертор се включва.



Мрежа 9: *Отваряне на етажните въздушни клапани*

Ако е работно време и сензорът за движение на някой от етажите има сигнал „1”, съответният въздушен клапан се отваря.



Например, ако през работно време се установи движение на третия етаж, сигналът от сензора на този етаж се поддържа за време от 5 минути (Мрежа 3). Вентилационната система се включва с ниска скорост (Мрежа 5) и въздушният клапан на третия етаж се отваря (Мрежа 9). След 5 минути, ако междувременно не е било детектирано ново движение на етажа, клапанът за етаж 3 се затваря.

Също така осветителната система на склада може да се автоматизира изцяло, така че да не е необходимо работниците да включват и изключват осветлението. За целта към готовото приложение от горния пример е необходимо прибавянето само на 4 контактора, всеки от които ще включва и изключва етажното осветление. В софтуерната част трябва само малка модификация в Мрежа 9.

Избор на ПЛК, мерки за безопасност и въвеждане в експлоатация

12.1. Избор на ПЛК

Най-често ПЛК се избират на базата на необходимия брой входове/изходи и изискуемите функции от конкретното приложение. Необходимо е първо да се избере типът на ПЛК: компактен, модулен, рамков, OPLC, индустриален ПК или софтуерно базиран ПЛК. Този избор зависи от следните основни критерии **Error! Reference source not found.**:

- Брой на цифровите и аналоговите входове и изходи.
- ични" приложения, може да е необходим голям брой специални допълнителни модули (управление на серво двигател или на стъпков двигател).
- Необходимата памет се определя от размера на написаната програма. Повечето средства (инструменти) за разработка на програми за ПЛК могат да изчисляват колко памет „консумира" потребителската програма.
- Време за сканиране – големите програми, както и бързите процеси, изискват по-кратко време за сканиране (по-бързи ПЛК). Средствата за разработка на програми за ПЛК могат да изчисляват времето за сканиране, което може да е по-дълго от действителното време за сканиране. Това означава, че при реалното изпълнение на програмата някои нейни части ще се пропуснат, защото не са били извикани или активирани.
- Възможности за комуникация – серийните и мрежовите връзки позволяват ПЛК са бъде програмиран и свързван (за обмен на информация) с други ПЛК и устройства на автоматиката (като софтуерно стартиране, честотен конвертор, SQL сървър, операторски панел, HMI тъч-панел и др.). Съответните нужди се определят от конкретното автоматизирано приложение (процес или машина).
- Софтуер – наличието на програмиращ софтуер и някои други инструменти определя лекотата на програмиране и „дебъгване" (отстраняване на грешки).
- Цената на хардуера и софтуера на ПЛК, нужни за специфичното приложение. В допълнение към цената на самия ПЛК и модулите му, цената

може да включва и цена за софтуера, за програмиращите устройства, за ръководствата за експлоатация и понякога за обучение.

Понякога изборът на конкретен модел ПЛК се определя на базата само на горните критерии, но често се налага отчитането на някои допълнителни фактори за избор. Използването на ПЛК от различни производители в едно предприятие за управление на различни процеси може да доведе до възникване на различни проблеми. Използването на различни ПЛК поставя по-високи изисквания към операторите и сервизния персонал, които трябва да са достатъчно компетентни за работа с всички модели и техния програмиращ софтуер. Освен това трябва значително да се повиши броят на резервните части, държани на склад. От тази гледна точка е много важно да се знае, че не винаги най-доброто решение за управлението на специфичен (конкретен) процес е най-доброто решение за производството и за предприятието като цяло. Обикновено фирмите избират модела ПЛК на базата на специфичните изисквания на процеса, но решението за избор на фамилия ПЛК се взема на по-високо ниво. При избор на доставчик на ПЛК се отчитат и други фактори, освен възможностите на ПЛК. Те включват наличието на продукта, времето за доставка, обучение и поддръжка, ценовите нива и бизнес практиката на компанията.

12.2. Мерки за безопасност при работа с ПЛК

В днешно време всяка автоматизирана система (процеси и машини) трябва да е безопасна за крайния потребител на системата и за произведения продукт. Във всяка техническа система могат да възникнат повреди. Възможността за възникване на повреди и грешки трябва да бъде елиминирана още на етапите на разработка, производство и пускане в експлоатация на автоматизираната система. Възникнали след това проблеми е много трудно да бъдат отстранени. Въпреки това не може напълно да се изключи възникването на повреди в работата на автоматизираната система. Затова е необходимо да се вземат някои мерки за безопасност още на етапа на проектиране на системата **Error! Reference source not found.**.

Обикновено при системите, управлявани с ПЛК, повечето дефекти и грешки при работа възникват от външни грешки в сензори, къси съединения, скъсване на проводници и други подобни. Малък процент от грешките

възникват директно от сигналните модули на ПЛК и дори от електрониката на ЦП на ПЛК [5]. Потребителската програма за ПЛК трябва да бъде така направена, че евентуалните грешки да не водят до опасни състояния на системата. Това се отнася за цялата система за управление и може да включва и други управляващи технологии като хидравлично, пневматично или механично управление.

Базово ниво на безопасност (сигурност) може да се постигне с избор на подходящо оборудване като устройства (ключове) за аварийно спиране, предпазна решетка и/или защитни крайни изключватели. При някои по-комплексни случаи, касаещи безопасността, могат да се използват специални „безопасни" контролери и системи с полева шина (напр. PROFIsafe). За такива приложения Siemens предлага т.н. Fail-safe ПЛК, които са означени с буквата „F". Централните процесори на тези ПЛК имат две напълно различни секции, като едната обработва стандартни програми, а другата е само за функции, свързани с безопасността. Една потребителска програма с ориентация към безопасността се пише на езиците F LAD и F FBD, които са с ограничен брой инструкции и по-малко типове данни, отколкото базовите езици. Тези езици трябва да бъдат закупени отделно.

Има определени правила, които трябва да се спазват на етапите на проектиране и производство на една автоматизирана система. Важни регулации за производителите на машини са директивите за машини и съоръжения 2006/42/ЕС, за електромагнитна съвместимост 2004/108/ЕС и за нисковолтови приложения 2006/95/ЕС. Има и други европейски и международни стандарти, които също трябва да се спазват при автоматизацията на процеси.

Препоръчва се спазването на следните мерки за безопасност при работата с автоматизирани системи:

- по принцип трябва да се избягват опасни ситуации, при които могат да пострадат хора или да бъдат повредени машини;
- възникването на проблеми с входните вериги на системата за управление (скъсване на проводници, къси съединения, проблеми със

заземяването) не трябва да довежда до самопроизволно стартиране на машината, нито пък трябва да възпрепятства нейното спиране;

- не трябва да се допускат условия за самопроизволно стартиране на машина след изключване на захранването й;
- устройствата за аварийно спиране и защитните крайни изключватели трябва да останат използваеми в случай на авария. В случай на активиране на функцията за аварийно спиране е необходимо възможно най-бързо автоматизираната система да се приведе в безопасно състояние. Деактивирането на устройството за аварийно спиране не трябва да води автоматично до рестартиране на системата (за целта трябва да се използва отделен бутон). Веригата за аварийно спиране трябва да бъде независима от управляващата система на ПЛК, например с използване на контакторна технология;
- трябва да се използват Fail-safe (по терминологията на Siemens) връзки, например за функцията „Stop” или за функцията за аварийно спиране. Това означава, че сигналът на изпълнителното устройство е винаги „1”, ако то не е активирано, а при активиране или скъсване на проводник или при откачане на на изпълнителното устройство, неговият сигнал се променя на „0” и работата на системата се спира или се предотвратява пускането й;
- трябва да се използват блокировки за предотвратяване на нежелани условия за включване и защити срещу непозволени режими на работа. Входове и изходи, работещи на реципрочен принцип (например движение наляво и надясно) трябва да се блокират взаимно чрез съответното окабеляване, както и от програмата на ПЛК. Задвижващата ос трябва да бъде допълнително ограничена с крайни изключватели, които да въздействат директно върху веригата на двигателя;
- трябва да се използват системи с резервиране. В най-критичните части на системата за управление устройствата (ключове, сензори, бутони и др.) трябва да бъдат дублирани. Например могат да се използват два защитни крайни изключвателя с нормално отворени и нормално затворени контакти в единия край на оста за мониторинг на повреди от типа на скъсване на проводник, повреден контакт (нормално отворен контакт не се затваря или нормално затворен контакт не се отваря), късо съединение между два проводника и повреда на един от двата крайни изключвателя;
- да се използват екранирани кабели за предотвратяване на нежелани промени на сигналите (на цифровите входове/изходи) и неверни измерени сигнали (на аналоговите входове/изходи);

- при случаи на смущения в напрежението за логическите нива „0” и „1” трябва да се използва филтър за потискане на смущенията и кондензатор за защита. Мрежовият филтър за потискане на смущения предпазва от свръхнапрежения и смущаващи сигнали в захранващото напрежение. Кондензаторът съхранява електрическа енергия, като по този начин захранващото напрежение на контролера е защитено в случай на моментно прекъсване на напрежението;
- взаимното индуктивно напрежение трябва да се елиминира директно на мястото на възникване, т.е. на индуктивния елемент посредством потискащ диод (за постоянно напрежение), кондензатор (за променливо напрежение) или варистор (резистор, който се променя според напрежението);
- функцията „Start” трябва да може да се изпълнява само в случай, че сигналите, следящи за безопасността, индикират безопасни условия;
- функцията „Stop” на системата трябва да има приоритет над функцията „Start”.

При пускането в експлоатация на автоматизираната система също трябва да се спазват съответни мерки за безопасност. Една промяна в потребителската програма по време на работата на системата съответства на промяна в свързването на проводници под напрежение. Това може да причини непредсказуема работа на системата, съответно могат да пострадат хора или да се повреди оборудването.

12.3. Въвеждане в експлоатация

Обикновено програмите за ПЛК никога не са изцяло завършени. Винаги е възможно да се правят корекции и адаптации на новата система според изискванията на клиента.

Дори по време на пускането на системата в експлоатация често е необходимо да се направят промени в програмата. Въвеждането (пускането) на системата в експлоатация може да се раздели на четири стъпки:

- Проверка на хардуера,

- Прехвърляне и тестване на софтуера,
- Оптимизация на софтуера,
- Пускане в експлоатация на цялата система.

Проверка на хардуера

Всеки сензор, ключ и бутон е свързан към точно определен вход и всяко изпълнително устройство е свързано към точно определен изход. Затова е важно да не бъдат променяни адресите и физическите връзки [8]. Също така трябва да бъде проверено местоположението на сензорите и изпълнителните устройства (дали те са там, където трябва да бъдат в автоматизираната система).

По време на процедурата по проверка изходите се установяват в тестов режим. Тогава изпълнителните устройства трябва да изпълнят специфицираните изисквания (функции).

Ако са направени промени, съответната документация също трябва да се актуализира, за да съответства на действителното състояние на нещата.

Прехвърляне и тестване на софтуера

Преди пускането на системата в експлоатация трябва да се използват всички налични инструменти за тестване на програми за ПЛК в оф-лайн или виртуален режим за откриване на евентуални грешки в програмата. Например подобен тестов инструмент в STEP 7 е подпрограмата S7-PLCSIM. Тя симулира работата на ПЛК (прави виртуален ПЛК) и позволява тестването на потребителската програма за ПЛК. Програмата се прехвърля в ЦП на един виртуален ПЛК. Цялата програма се изпълнява без да се използва реалният ПЛК. Потребителят трябва да симулира промените във входните сигнали и да проследи как при тях се променят изходните сигнали.

Някои ПЛК дават възможност за реализиране на симулацията върху реалния ПЛК: цялата програма се изпълнява на реалния ПЛК без обаче да се

свързват входовете и изходите. Обработката на изходите (подаването на сигнали към изходите) на ПЛК в този случай се извършва само във вид на таблица на съответствие. Физическите входове и изходи на ПЛК съответно не се актуализират. Така се елиминира рискът от повреда на машини или части от системата.

След това се тестват отделните части на потребителската програма и системните функции: ръчни операции, настройки, индивидуални програми за мониторинг и други и накрая се тества взаимодействието между отделните програмни части с помощта на главната програма (OB 1).

Системата може и трябва да бъде пускана в експлоатация стъпка по стъпка. Важни аспекти на въвеждането на една система в експлоатация и откриването на грешки са тестовите функции на програмиращата система, като работата в режим на постъпково изпълнение на командите и възможността за задаване на точки на прекъсване на изпълнението. Режимът на постъпково изпъление е особено важен, тъй като програмата в паметта на ПЛК се изпълнява ред по ред или стъпка по стъпка. По този начин евентуалните грешки в програмата могат веднага да бъдат локализирани.

Оптимизация на софтуера

Почти винаги потребителските програми могат да бъдат подобрени след първото тестово стартиране. Важно е да се помни, че всяка корекция и модификация, която се прави в потребителската програма на ПЛК, трябва да бъде отразена и в документацията **Error! Reference source not found.**.

Пускане в експлоатация на цялата система

Отчасти тази стъпка вече е реализирана по време на етапите на тестване и оптимизация. След като се уточни крайната версия на потребителската програма и след изготвяне на съответната документация, отново отделните функции на контролера (в съответствие с конкретната задача за

автоматизация) трябва да се изпълнят стъпка по стъпка. Ако по време на фазата на пускане в експлоатация на цялата система не се установят грешки, системата е готова за работа и може да бъде предадена на крайния потребител.

12.4. Въпроси за самопроверка

1. Кой от следните критерии не е от значение при избор на ПЛК?
   a. Брой входове/изходи
   b. Размер на потребителската програма
   c. Използван програмен език
   d. Време за изпъление на програмата (време за сканиране)

2. Коя от следните функции е с най-висок приоритет?
   a. Функция “Start”
   b. Функция “Restart”
   c. Функция “Stop”
   d. Функция “Reset”

3. За предпазване от какво се използва филтъра за потискане на смущения (възможни са повече верни отговори)?
   a. Свръхнапрежение
   b. Прекъсване на захранването
   c. Смущения в захранването
   d. Взаимно индукционно напрежение
   e. Скъсване на проводници

4. Кое от следните твърдения не е вярно?
   a. Веригата за аварийно спиране трябва да е независима от ПЛК, като за целта се използва контакторна технология.
   b. След като веднъж автоматизираната система е спряна аварийно, тя не трябва да може да се стартира автоматично.
   c. При случай на аварийно спиране всички изходи приемат ниво на сигнала „1”.
   d. След аварийно спиране трябва да се използва отделен бутон за рестартиране на работата на системата.

5. За какво се използват блокировките?
   a. За взаимно блокиране на входове и изходи, работещи на реципрочен принцип.

b. За направата на безопасни връзки към части или устройства в автоматизираната система, чувствителни към безопасността.
c. За да може системата да продължи да работи при по-незначителни грешки.
d. За блокиране на автоматизираната система чрез аварийно спиране.

6. Коя е първата стъпка при пускане в експлоатация на ПЛК?
   a. Пускане в експлоатация на цялата система.
   b. Прехвърляне и тестване на софтуера.
   c. Оптимизация на софтуера.
   d. Проверка на хардуера.

7. След коя фаза на пускането на системата в експлоатация тя може да бъде предадена на клиента?
   a. Пускане в експлоатация на цялата система.
   b. Прехвърляне и тестване на софтуера.
   c. Оптимизация на софтуера.
   d. Проверка на хардуера.

Терминологичен речник

Термин	Дефиниция
Автоматизирана система	Машина, която се управлява автоматично от ПЛК или друга управляваща система.
Акумулатор	Специален регистър в централния процесор на ПЛК, който се използва за буфериране на данни по време на работа.
Аналогов вход	Част от сигнален модул на ПЛК, която получава непрекъснат (аналогов) сигнал от сензор или от друг източник и го конвертира в цифров (двоичен) сигнал, който може да бъде използван от програма на ПЛК.
Аналогов изход	Част от сигнален модул на ПЛК, която конвертира цифров (двоичен) сигнал, създаден от програма на ПЛК в непрекъснат (аналогов) сигнал, който се изпраща към изпълнителните устройства на автоматизирана система.
Бит „Резултат от логическа операция” (RLO)	Статусен бит на ПЛК, който съхранява стойността на резултата от логическа операция.
Блок данни (DB)	Блок, създаден в програмната среда STEP 7. Включва една или повече единици данни, стойностите на които се дефинират от потребителя или от програма на ПЛК. Някои DB се използват от функционални блокове за съхраняване на изходните им данни.
Задача	Задачата управлява изпълнението на програми автоматично, осигурявайки команди за периодично изпълнение или изпълнение в определено време на група от програмни организационни единици.
Многозадачност	Способност на ПЛК да работи едновременно върху различни задачи (различни потребителски програми).
Модул	Част от ПЛК, съдържаща определени функции (централен процесор, обработка на сигнали, комуникации и др.).
Организационен блок	Същото като POU. Така се наричат POU в STEP 7.

Терминологичен речник

Термин	Дефиниция
ПИД (PID) регулатор	Пропорционално-интегрално-диференциален регулатор, който се използва при непрекъснатото управление за регулиране на автоматизирани процеси.
Последователностна функционална схема	Графичен език за програмиране на ПЛК в стандарта IEC 61131, който използва стъпки и преходи за управлението на автоматизирана система.
Програма	POU, която представя главната програма.
Програмируем логически контролер (ПЛК)	Компютър (устройство), създаден за решаване на специфични задачи за автоматично управление чрез използване на сензори и изпълнителни устройства. Базовият ПЛК се състои от захранващ модул, централен процесор и сигнален модул (модули).
Програмна организационна единица (POU)	Блок (определена програмна част), от която се изграждат програми и проекти.
Списък с инструкции	Машинно ориентиран програмен език за ПЛК от ниско ниво, който е деклариран и дефиниран в стандарта IEC 61131. Използва само текстови символи в програмата.
Списък с правила (STL)	Същото като списък с инструкции. Така се нарича списъкът с инструкции в STEP 7.
Структуриран език за управление	Език за програмиране на ПЛК. Същото като структуриран текст. Така се нарича структурирания текст в STEP 7. Наподобява програмния език PASCAL.
Структуриран текст	Език за програмиране на ПЛК от високо ниво в стандарта IEC 61131. Наподобява езиците C++ и C#.
Стълбична диаграма	Графичен език за програмиране на ПЛК в стандарта IEC 61131, който се реализира чрез прости електрически схеми.
Стълбична логика (LAD)	Същото като стълбична диаграма. Така се нарича стълбичната диаграма в STEP 7.
Функционален блок (FB)	POU, изходните стойности на която зависят от състоянието на нейните вътрешни (паметта) и външни (входовете) променливи. FB има вътрешна памет.

Терминологичен речник

Термин	Дефиниция
Функционална блокова диаграма (FBD)	Програмен език за ПЛК, който е деклариран и дефиниран в стандарта IEC 61131. При този език графическите функции и функционалните блокове се свързват с линии, като по този начин се изгражда програмата за автоматизирано управление.
Функция (FC)	POU, която осигурява уникална изходна стойност, получена чрез обработка на стойностите на входните ѝ променливи. FC няма вътрешна памет. Информацията, получена и създадена във FC не може да бъде съхранявана в нея.
Цифров вход	Част от сигнален модул на ПЛК, която получава цифров сигнал (сигнал с две състояния) от сензор или от друг източник и го конвертира в двоичен сигнал (нули и единици), който се използва от програма на ПЛК.
Цифров изход	Част от сигнален модул на ПЛК, която конвертира двоичен сигнал, създаден от програма на ПЛК, в сигнал с две състояния (цифров сигнал), който се изпраща към изпълнителните устройства на автоматизирана система.

Литература

[1] Degarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A., Klamecki, B. E. Materials and processes in manufacturing. – New Jersy: John Wiley & Sons, 2003. – 1154 p.

[2] Pettai, E. Tootmise automatiseerimine. – Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli elektriajamite ja jõuelektroonika instituut, 2005. – 336 p.

[3] EESTI STANDARD, EVS-EN 61131-1:2003, Programmable controllers Part 1: General Information. – Eesti Standardikeskus, 2003. – 19 p.

[4] Berger, H. Automatisieren mit STEP 7 in AWL und SCL, Speicherprogrammierbare Steuerungen SIMTIC S7-300/400. - Erlangen: Publicis Corporate Publishing, 2004. – 529 p.

[5] Von Aspern, J. SPS Grundlagen, Aufbau, Programmierung (IEC 61131, S7), Simulation, Internet, Sicherheit. – Heidelberg: Hüthigh Verlag, 2009. – 276 p.

[6] Wellenreuther, G., Zastrow, D. Automatisierung mit SPS – Theorie und Praxis. – Wiesbaden: Vieweg + Teubner │ GWV Fachverlag, 2009. – 827 p.

[7] EESTI STANDARD, EVS-EN 61131-2:2004, Programmable controllers - Part 2: Equipment requirements and tests. - Eesti Standardikeskus, 2004. – 117 p.

[8] Bliesener, R., Ebel, F., Löffler, C., Plagemann, B., Regber, H., Terzi, E.v., Winter, A. Programmable logic controllers, Basic level TP301 – Textbook. - Festo Didactic GmbH & Co., 2002. – 214 p.

[9] Jones, C.T. STEP 7 in 7 Steps. – United States, 2006. – 464 p.

[10] Berger, H. Automating with SIMATIC, Controllers, Software, Programming, Data Communication, Operator Control and Process Monitoring. – Erlangen: Publicis Corporate Publishing, 2003. – 223 p.

[11] EESTI STANDARD, EVS-EN 61131-3:2003, Programmable controllers - Part 3: Programming languages. - Eesti Standardikeskus, 2003. – 224 p.

[12] John, K.H., Tiegelkamp, M. IEC 61131-3: programming industrial automation systems : concepts and programming languages, requirements for programming systems, aids to decision-making tools. – Berlin: Springer, 2001. – 376 p.

[13] Siemens. Training document for the company-wide automation solution, Totally Integrated Automation (T I A), MODULE B2, Analog value processing. - Siemens A&D SCE, 2002. – 14 p.

[14] Siemens. Training Units and Addressing. – Siemesn AG, 2004 – 11 p.

[15] EESTI STANDARD, EVS-EN 61499-1:2005, Function blocks Part 1: Architecture. - Eesti Standardikeskus, 2005. – 116 p.

Литература

[16] Siemens. SIMATIC, Function Block Diagram (FBD) for S7-300 and S7-400 Programming, Reference Manual. – Nuernberg: Siemens AG, Bereich Automation and Drives, 2004. – 206 p.

[17] Siemens. SIMATIC, Statement List (STL) for S7-300 and S7-400 Programming, Reference Manual. – Nuernberg: Siemens AG, Bereich Automation and Drives, 2004. – 254 p.

[18] Bischoff, H., Hofmann, D., v. Terzi, E. Process Control System, Control of temperature, flow and filling level, Workbook. - Festo Didactic GmbH & Co., 1997. – 242 p.

[19] Shaw, J. A. The PID Control Algorithm, How it works, how to tune it, and how to use it. – 2003 – 62 p.

[20] Siemens. SIMATIC, Standard Software for S7-300 and S7-400 PID Control, User Manual. – Nuernberg: Siemens AG, Automation Group, 1996. – 42 p.

[21] EESTI STANDARD, EVS-EN 60848:2003, GRAFCET specification language for sequential function charts. – Eesti Standardikeskus, 2003.

[22] Schmidt, G. FESTO, GRAFCET. Festo Didactic GmbH & Co. KG, 2007. – 63 p.

[23] EUROPA LEHRMITTEL. Tabellenbuch Mechatronik. - Verlag EUROPA-LEHRMITTEL, 2007. – 472 p.

[24] Jack, H. Automating Manufacturing Systems; with PLCs. - 2008. – 859 p.

УЧЕБНА ПРОГРАМА

по ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРОГРАМИРУЕМИТЕ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕРИ В ИНДУСТРИАЛНАТА АВТОМАТИЗАЦИЯ (за работещи в малки и средни предприятия)

А. Теоретично обучение

Номер	Тема	Часове за подготовка
1.	Автоматизация на производствени устройства. Цел на автоматизацията. Нива на машинната автоматизация. Приложение на програмируемите логически контролери (ПЛК).	2
2.	Програмируем логически контролер. Хардуерни компоненти на ПЛК. Типове ПЛК. Типове сигнали за ПЛК. Работа на ПЛК.	2
3.	Програмиране на ПЛК. Стандарт IEC 61131-3. Програмна организационна единица (POU). Типове данни, използвани в ПЛК. Адресиране на променливи при STEP 7. Програмни езици за ПЛК. Програмиране чрез конфигуриране с IEC 61499. Създаване на ПЛК програма.	2
4.	Основни булеви логически функции. Операции AND и OR. Логическо отрицание. Операция Изключващо ИЛИ (XOR). SR и RS тригери. Детекция на фронт. Логически връзки.	2
5.	Функции за трансфер на данни и за програмно управление. Функции за трансфер на данни. Функции за управление на програмата.	2
6.	Допълнителни булеви логически функции. Бройни системи, използвани при програмирането на ПЛК. Таймери. Броячи. Компаратори. Функции за	2

	преместване и ротация.	
7.	Математически функции и функции за конвертиране. Аритметични функции. Числени функции. Функции за конвертиране.	2
8.	Управление с ПИД регулатор. Принцип на затворената система (затворен контур). Описание на динамичната реакция на управлявана система. Регулатори. Критерии за настройка на регулаторите. Управление с PID регулатор в STEP 7.	2
9.	Примери за управление с ПЛК. Управление на система с един пневматичен цилиндър. Управление на система с два пневматични цилиндъра. Управление на приложение с честотен конвертор.	2
10.	Избор на ПЛК, мерки за безопасност и въвеждане в експлоатация. Мерки за безопасност при работа с ПЛК. Въвеждане в експлоатация.	2

Б. Упражнения

Номер	Тема	Часове за изпълнение
1.	Програмируем логически контролер. Хардуерни компоненти на ПЛК. Типове сигнали за ПЛК. Работа на ПЛК.	2
2.	Основни булеви логически функции. Детекция на фронт. Логически връзки.	2
3.	Допълнителни булеви логически функции. Таймери. Броячи. Компаратори. Функции за преместване и ротация.	2
4.	Математически функции и функции за конвертиране. Аритметични функции. Числени функции. Функции за конвертиране.	2
5.	Управление с ПИД регулатор. Принцип на затворената система (затворен контур). Описание на динамичната реакция на управлявана система.	2

Въведение

Индустриалната автоматизация е в основата на повишаване на производителността на труда в икономиката. Развитието й е свързано с разработването на автоматизирани системи за управление на различни технологични процеси и машини. Съвременната индустриална автоматизация е базирана на интегрирането на постиженията в областите на информационните, управляващи и комуникационни технологии.

Предназначението на книгата "Индустриални мрежи и интерфейси в системите за автоматизация" е да предостави базови знания на работещи в малки и средни предприятия в областта на използваните стандартни интерфейси и изграждането на индустриални мрежи в системите за автоматизация. При написване на книгата авторите са се ръководили от съвременното ниво на достиженията в тази област като са се опитали да сведат до минимум теоретичните постановки и математически описания. Материалът в книгата е разпределен в десет глави.

В първата глава "Въведение в индустриалните мрежи за комуникация" са разгледани основните особености на съвременните производствени и комуникационни системи, системите за автоматично управление с мрежова комуникация и тяхното функционално разпределение. Във втората глава са разгледани типовете комуникационни мрежи. Следващата глава включва основни познания по мрежови модели и топологии. Разгледани са устройствата за физическо и логическо структуриране на мрежата и мрежовите модели OSI и DoD. Четвърта глава съдържа особеностите и характеристиките на полевите индустриални мрежи като най-ниско ниво в йерархията на индустриалните системи за управление. Следващите две глави разглеждат особеностите на спецификациите за полеви мрежи Profibus и CAN. Седма глава включва основни познания за индустриалните мрежи от ниво "управление" и особеностите на мрежова спецификация ControlNet. По нататък в книгата са разгледани индустриалните мрежи от информационно ниво, мрежовата спецификация Ethernet и приложението на безжичните комуникации в индустриалните системи за автоматизация. На края на книгата са

представени контролни въпроси по отделните глави за проверка на нивото на усвояване на материала от обучаваните.

Материалът в книгата е разработен както следва: глави 1, 3, 4, 7 и 8 – от доц. Алдениз Рашидов, а глави 2, 5, 6, 9 и 10 – от доц. Станимир Йорданов.

Книгата може да се използва като учебно помагало в обучението по програми за повишаване на квалификацията и преквалификация на работещи в малки и средни предприятия. За усвояване на материала обучаваните в тази област трябва да имат базови знания по математика и физика. Тя може да бъде използвана и от студенти и специалисти при обучение в области, свързани с приложението на комуникационните мрежи в индустриалните системи за управление.

Въведение в индустриалните мрежи за комуникация

1.1. Особености на съвременните производствени системи

Съвременните производствени и комуникационни системи притежават йерархична структура, която е изградена върху съвкупност от взаимосвързани и взаимодействащи си подсистеми. Съвременен подход за постигане на висока ефективност и функционалност на отделните подсистеми е създаването на интегрирани системи за управление на производството. Всяка производствена система може да се представи в йерархичен модел от три нива. Най-ниско ниво в йерархията заемат системите за автоматизирано управление в реално време на производствените процеси. Те протичат в отделните машини, съоръжения и изпълнителни механизми. Второто ниво обединява системите от първо ниво на основата на териториално-производствен признак, за решаване на задачи от оперативно управленски характер. Третото най-високо ниво се заема от системите за управление на организационно-икономическата дейност.

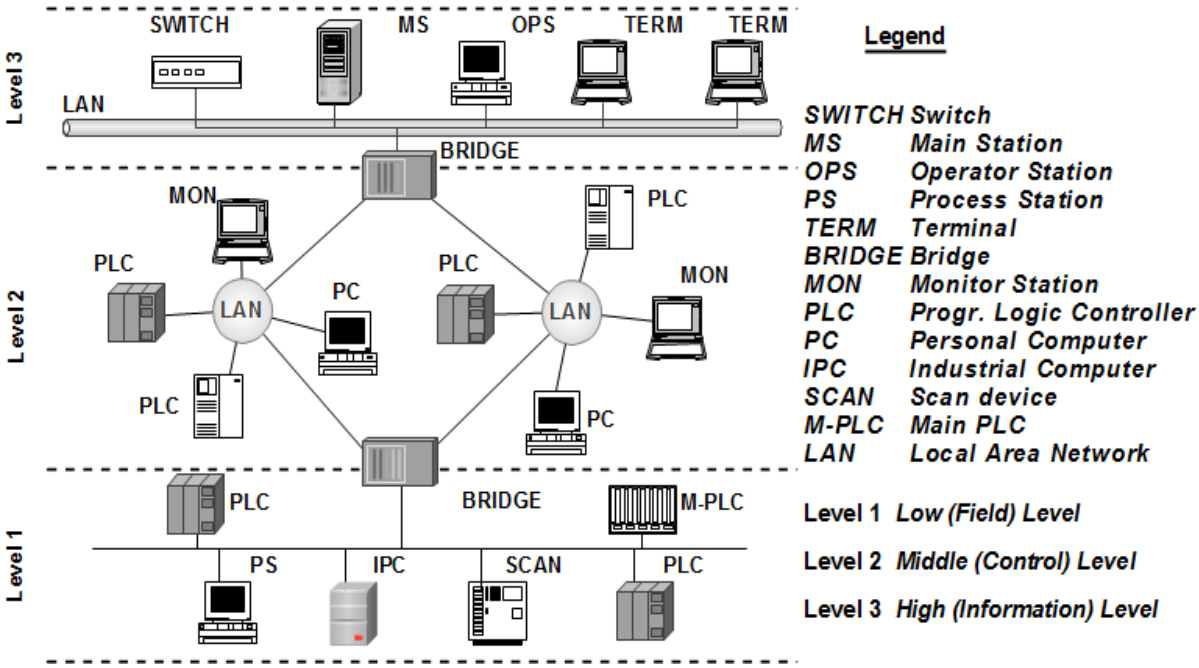
1.2. Архитектура на системите за комуникация

Особеностите в структурата на съвременните производствени системи оказват влияние върху архитектурата на системите за комуникация. Обикновено системите за комуникация се реализират на базата на йерархична хетерогенна компютърна мрежа на три нива (фиг. 1.1):

- *Информационно ниво:* главна мрежа;
- *Ниво управление:* компютърни мрежи за оперативно-диспечерско управление, които включват управляващи компютри и операторски станции;
- *Полево ниво:* мрежи за комуникация с програмируеми логически контролери (ПЛК, PLC), датчици, изпълнителни механизми.

1.3. Характерни особености на съвременните комуникационни системи

Съвременните комуникационни системи се характеризират с използване на разнообразни комуникационни среди – кабелни връзки, оптични влакна, радиовръзки, инфрачервени лъчи и други. Забелязва се значително поевтиняване на комуникационните интерфейси, както и създаване на мрежови архитектури с разнообразни и взаимно допълващи се функции. Всичко това създава благоприятни условия за създаването на хетерогенни йерархични индустриални системи с глобален обхват на управляващите функции.



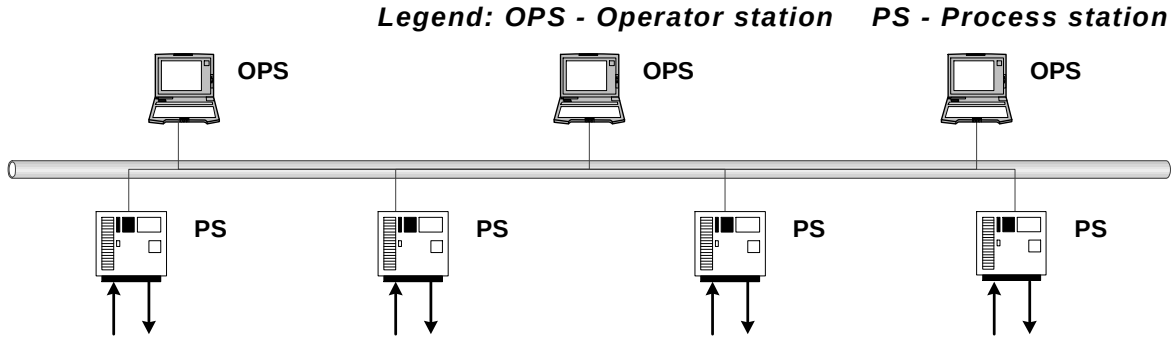
Фиг. 1.1. Йерархична хетерогенна мрежа на три нива

1.4. Разпределени системи за управление – РСУ

Основен вид подсистеми в интегрираните системи за управление на производството са разпределените системи за управление на производството. Съществуват два основни класа РСУ: вертикално-интегрирани и хоризонтално-интегрирани.

1.4.1. Децентрализирани вертикално-интегрирани архитектури на РСУ – I вид

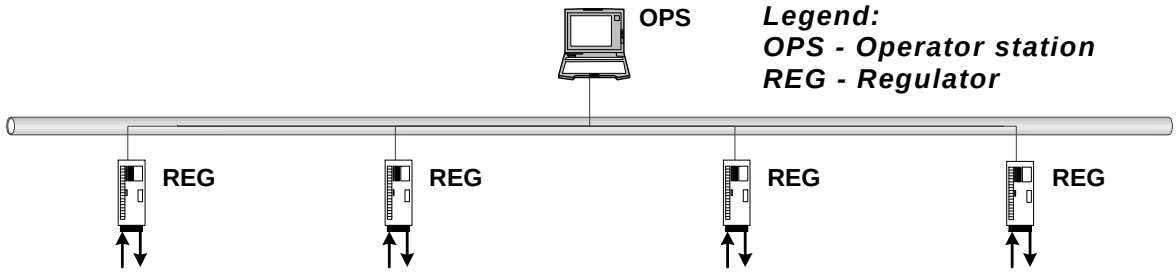
Характеризират се с йерархична организация и вертикален информационен обмен между подсистемите от различни йерархични нива (фиг. 1.2). Подсистемите (подсистеми за събиране на данни, контролери, управляващи компютри, операторски станции) представляват автономни компоненти на РСУ, които си взаимодействат периодично като обменят информация по мрежата. Характерна особеност при този вид РСУ е преминаването им към отворена архитектура, базирана на мрежи и протоколи като Ethernet с TCP/IP и компоненти, позволяващи комуникация клиент-сървър между подсистемите на РСУ.



Фиг. 1.2. Децентрализирани вертикално-интегрирани архитектури (I-ви вид)

1.4.2. Децентрализирани вертикално-интегрирани архитектури на РСУ – II вид

Този вид РСУ се характеризират с висока степен на децентрализация (фиг. 1.3) и с използване на устройства със специализирани функции. РСУ включват определен брой регулатори, базирани на едночипови микрокомпютри и компютър, предназначен за операторска станция.



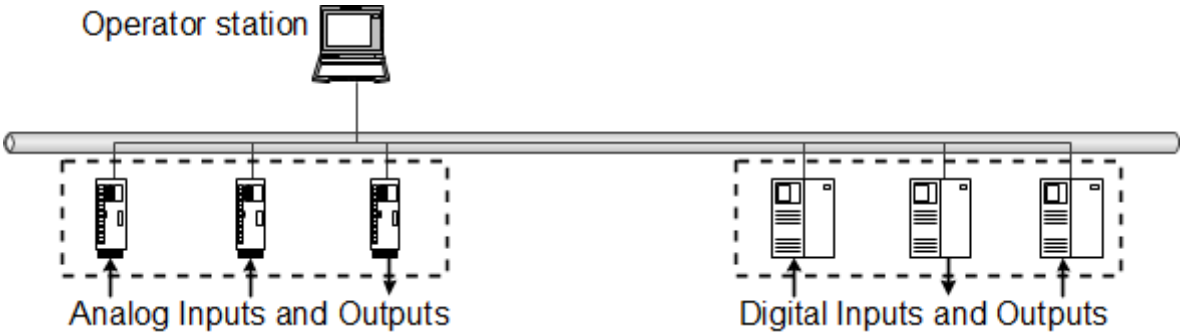
Фиг. 1.3. Децентрализирани вертикално-интегрирани архитектури (II-ри вид)

1.4.3. Хоризонтално-интегрирани архитектури на РСУ

Хоризонтално-интегрираните архитектури, позволяват вертикални и хоризонтални взаимодействия между подсистемите на РСУ.

Към този клас архитектури се отнасят системите с отдалечен вход и изход. РСУ включват интелигентни входно-изходни устройства като управляващите функции се поемат от компютър, заемащ ролята на операторска станция (фиг. 1.4). Недостатък е, че възможностите им зависят от изчислителната мощ на операторската станция. Тази зависимост се преодолява чрез използването на мрежови клиент-сървър архитектури.

През последните години все по-голям интерес представляват хоризонтално интегрираните системи, реализирани на базата на полеви мрежи.



Фиг. 1.4. Системи с отдалечени входни и изходни модули

Компютърни мрежи на базата, на които са изградени мрежови системи за управление, включващи интелигентни устройства като регулатори, програмируеми логически контролери, интелигентни сензори, изпълнителни механизми и др. се наричат полеви мрежи.

1.5. Системи за автоматично управление с мрежова комуникация – САУМК

Системите за автоматично управление с мрежова комуникация са системи, при които управляващите и крайните устройства са свързани в комуникационна мрежа. Всяко устройство представлява възел (станция) в комуникационната мрежа и взаимодейства с останалите устройства посредством мрежовата среда.

1.6. Функционално разпределение на системите за управление с мрежова комуникация

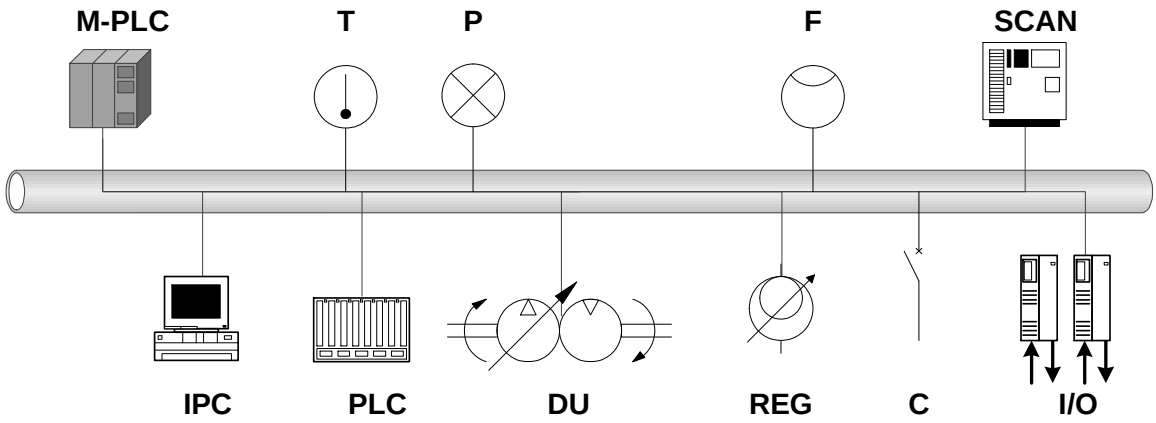
Системите за управление с мрежова комуникация могат да бъдат разпределени на три нива:

1.6.1. Системи от полево ниво

Изграждат се от полеви мрежи за комуникация на програмируеми логически контролери с крайни устройства (датчици, изпълнителни механизми, измервателни устройства и др.). Към тях се отнасят мрежови спецификации като: CAN, DeviceNet, Foundation Fieldbus, Profibus-DP и др. Полевите мрежи са в основата на йерархията на системите за управление с мрежова комуникация (фиг. 1.5). Използват се при управлението на непрекъснати производствени процеси, за управление на управляващи органи, контролери, датчици и други устройства в производството.

Други характерни особености на полевите мрежи:

- Поддържат съобщения с минимална дължина и позволяват високонадеждна връзка между възлите в разпределената система;
- Отличават се с опростено структуриране, голяма скорост на предаваните данни, сравнително голяма гъвкавост и ниска себестойност;
- Интелигентните входно изходни устройства на полевите мрежи изпълняват множество допълнителни функции, като диагностика, предварителна и пост-обработка на входно изходните сигнали и така облекчават работата на основния контролер;
- Функционират в реално време и поддържат отдалечени и ограничени във времето взаимодействия между подсистемите на РСУ;
- Явяват се основа за изграждане на системи за автоматизирана управление с мрежова комуникация, включващи устройства като регулатори, PLC, интелигентни датчици и др.;
- Представляват завършени системи, които извършват контрол върху полевите устройства.



Legend

PLC	*Progr. Logic Controller*	*P*	*Pressure guage*
IPC	*Industrial Computer*	*F*	*Flow indicator*
SCAN	*Scan device*	*C*	*Commuter*
M-PLC	*Main PLC*	*I/O*	*Input / Output devices*
T	*Thermometer*	*DU*	*Drive unit*
		REG	*Regulator*

Фиг. 1.5. Полева индустриална мрежа

Полевите мрежи имат редица предимства пред класическите конвенционални структури:

- Осигуряват по-висока сигурност на данните, посредством включване на контролна информация;
- Разрешават по-висока точност при предаване на данните, тъй като използват изцяло цифрова комуникация;
- Позволяват отдалечено конфигуриране и диагностика на устройствата в мрежата;
- Значително съкращават кабелните системи като позволяват вграждане на множество разпределени контури и управляващи структури за логическо управление, блокировки и сигнализации;
- Имат възможност за многовариантен достъп – датчиците се използват за отчитане на различни параметри на процесите.

1.6.2. Системи от ниво управление

Изграждат се от програмируеми логически контролери в локални мрежи с детерминиран характер. Системите от това ниво позволяват управление на процесите в реално време и взаимодействие между контролери от различен вид, компютри, операторски станции, устройства за програмиране и диагностика.

Мрежите от това ниво осигуряват връзка между устройства, които обменят приложна информация по детерминиран и предефиниран начин. Те са предназначени за обмен на технологични програми, координираща и управляваща информация за PLC. Към мрежите съществуват повишени изисквания по отношение на обема, сигурността и скоростта на предаваната информация, шумоустойчивост и детерминираност за работа в реално време.

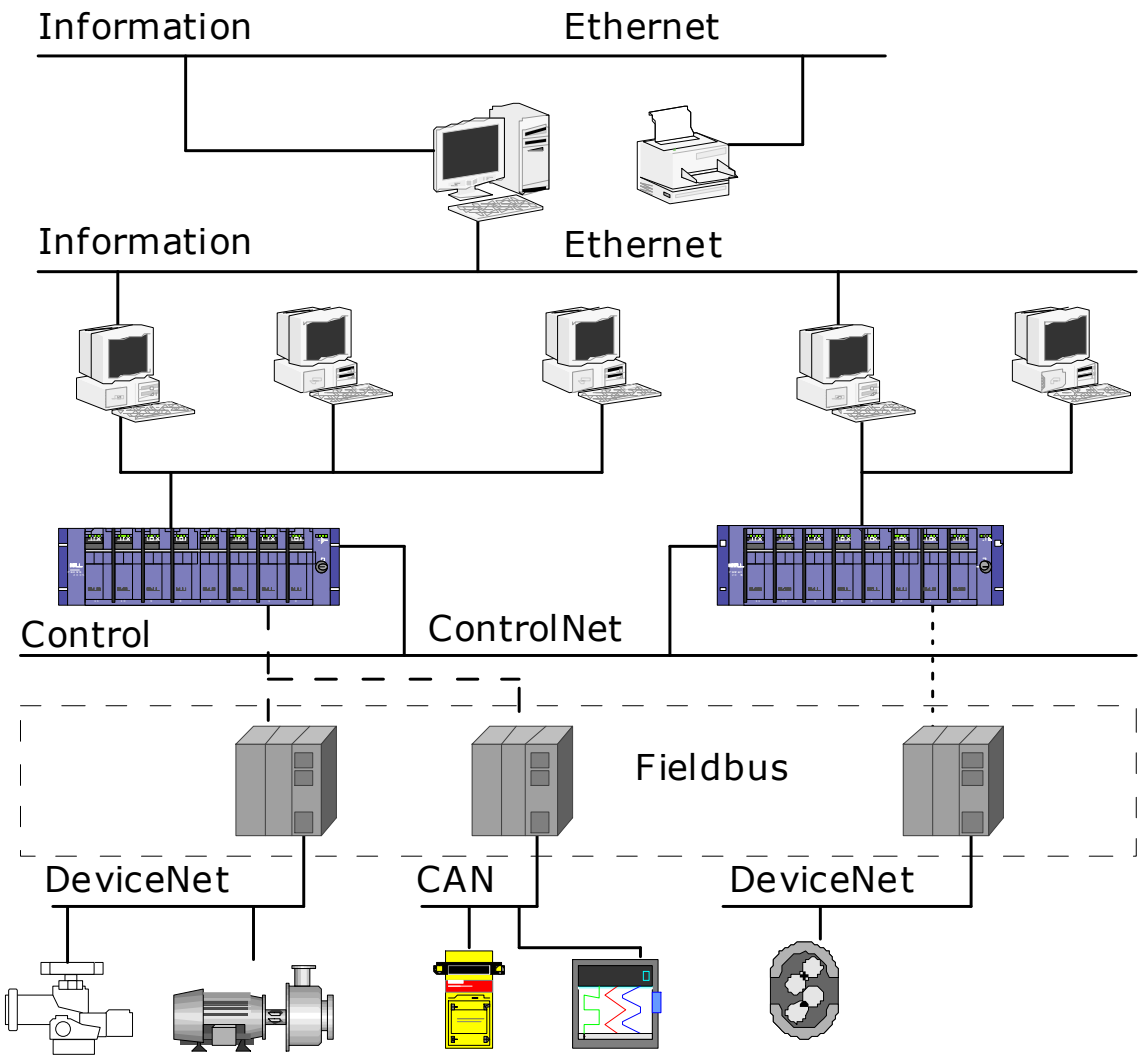
Спецификациите на мрежите се характеризират със следните по-важни особености:

- Детерминизъм (предсказуемост) на поведението на мрежата;
- Поддържане на отворен протокол, базиран на модела производител-консуматор;
- Генериране на входно-изходни съобщения през една връзка;
- Мултиконтролерно управление;
- Заявяване (горещо резервиране) на комуникационния канал;
- Гъвкава инсталация;
- Приоритетност на данните и контрол на грешките.

1.6.3. Системи от информационно ниво

Системите от информационно ниво се използват за обмен на информация и управление на ниво фирма. Те имат за цел да разрешат глобалните задачи в управлението на фирмата. Основните проблеми при тях са свързани с обема и скоростта на предаваната информация, сигурността и защитата от нерегламентиран достъп до информацията. Най-широко приложение в съвременните системи от това ниво има спецификацията, известна като Ethernet (фиг. 1.6).

Мрежите от информационното ниво се характеризират с висока предавателна скорост и са предназначени за обмен на големи масиви от данни. Основно предимство е периодичното понижение на цените за разлика от конкурентните технологии.



Фиг. 1.6. Индустриална мрежа, изградена от три йерархични нива

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ПЪРВА ГЛАВА

1. На колко нива се разпределят системите за автоматично управление?
   a) Две;
   b) Три;
   c) Четири
   d) Пет
   e) Шест.

2. Какво е предназначението на системите за автоматично управление с мрежова комуникация?
    a) Управление на производствения процес;
    b) Свързване на управляващите и крайните устройства в комуникационна мрежа;
    c) Разпределение на процесите в комуникационната мрежа;
    d) Автоматично конфигуриране на комуникационната мрежа;
    e) Свързване на крайните устройства в комуникационна мрежа.

3. Какви разпределени системи за управление съществуват?
    a) Децентрализирани вертикално-интегрирани;
    b) Централизирани отгоре-надолу;
    c) Хоризонтално-интегрирани с вертикални взаимодействия;
    d) Хоризонтално-интегрирани с хоризонтални взаимодействия;
    e) Вертикално-интегрирани с хоризонтални взаимодействия.

4. На какви нива се разпределят системите за управление с мрежова комуникация?
    a) Полево, управленско, информационно;
    b) Полево и информационно;
    c) Информационно и управленско;
    d) Начално, оперативно и управленско;
    e) Не се разпределят на нива.

5. С какво се характеризират мрежите от полевото ниво?
    a) Представляват част от мрежите от управленското ниво;
    b) Функционират в реално време;
    c) Имат сложна структура;
    d) Имат опростена структура;
    e) Включват устройства за диагностика.

Комуникационна мрежа

2.1. Комуникационна мрежа. Типове мрежи

Мрежата представлява две или повече устройства, свързани едно с друго с помощта на необходимия за целта хардуер и програмни средства, позволяващи им да обменят информация помежду си и с други устройства. Мрежата е механизмът, позволяващ на разпръснатите комуникационни устройства и техните потребители да споделят ресурси помежду си. Промишлените компютърни мрежи се организират, за да се създаде възможност за:

- Обмен на данни между различни устройства;
- Съвместно ползване на общи ресурси/апаратни, софтуерни и информационни;
- Разпределена обработка на данни, т.е. обработка от различни устройства на данни, части, от които се съхраняват в паметта на други устройства.

Най-проста физическа система за съвместна работа на два отдалечени помежду си компютъра е възможна чрез осигуряване на комуникация по телефонната линия, като в двата и края се разполагат модеми (устройства, които могат да преобразуват предаваните данни в сигнали за изпращане по телефонни линии и обратно).

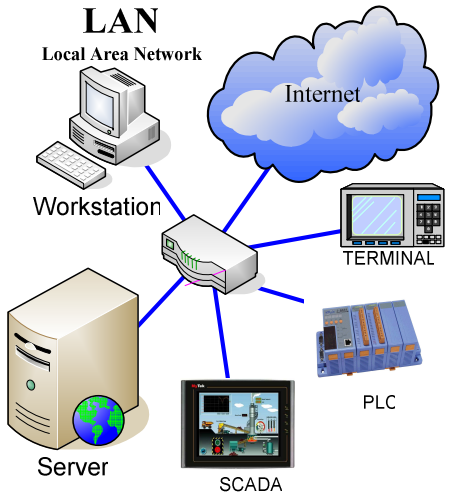
Физическото свързване на комуникационните устройства в мрежата не означава, че те ще могат да работят заедно. Затова е необходима подходяща мрежова операционна система, която да осигурява взаимодействието между различните устройства и програмни *системи*.

Хардуерната връзка между отделните компютри, контролери и другата, участваща в мрежата периферия се изгражда с помощта на кабели (коаксиални, усукана двойка, оптични), или с помощта на някоя безжична технология (IRDA, Bluetooth и др.).

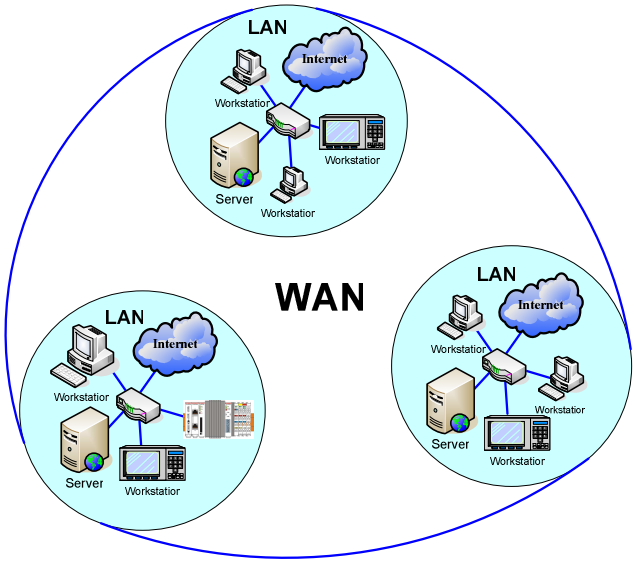
Предаването на данни в мрежата се регламентира от специални правила, наречени мрежови протоколи (TCP/IP, NetBEUI, AppleTalk, PPTP, DHCP и др.). Съществуват четири типа мрежи:

- **LAN (Local Area Network)** – локална компютърна мрежа, която обслужва една организация и е разположена в една или няколко съседни сгради (фиг. 2.1);

- **MAN (Metropolitan Area Network)** – обхваща територия на едно населено място или голяма сграда с много разположени в нея организации;
- **WAN (Wide Area Network)** – глобална компютърна мрежа, която използва високоскоростни, далечни комуникации или спътници, за да свърже компютри, намиращи се в различни географски точки (фиг. 2.2.);
- **SAN (Storage Area Network)** – мрежа за съхранение на данни, която се използва за свързване на големи масиви от данни към групирани сървъри.



Фиг. 2.1. LAN (Local Area Network) – локална компютърна мрежа



Фиг. 2.2. WAN (Wide Area Network) – глобална компютърна мрежа

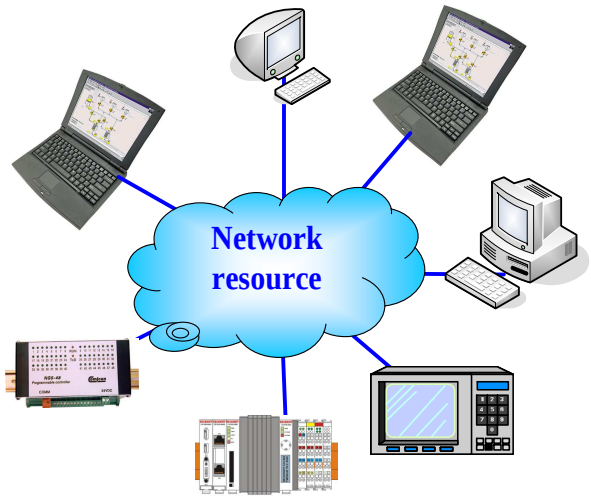
2.2. Типове мрежи

Съществуват два основни типа локални мрежи, различаващи се по това, какви права имат свързаните в мрежата устройства и по кой начин ги получават. В мрежа с равноправен достъп всяко мрежово устройство има равни с другите права, докато в една мрежа тип клиент-сървър, сървърът определя правата за достъп до другите участници в мрежата при подадена заявка от всеки един компютър-клиент. В една промишлена мрежа най-често е комбинация от двата типа мрежи.

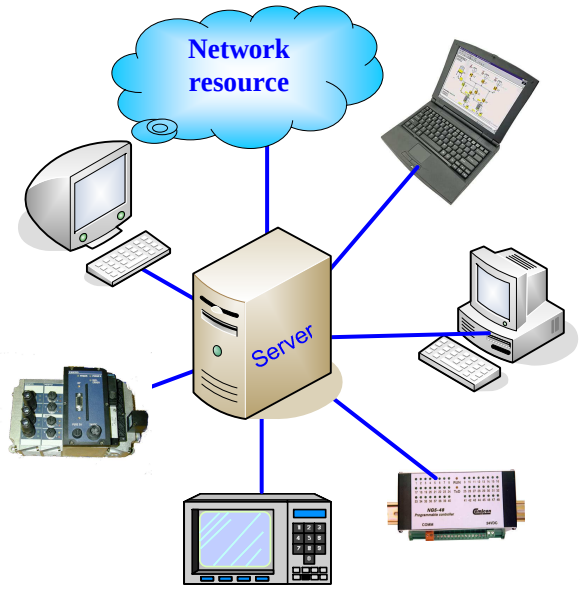
2.2.1. Мрежа с равноправен достъп

В този тип мрежи (фиг. 2.3) всички комуникационни устройства са равнопоставени, и в един момент едно устройство може да действа като сървър, а в друг – като клиент. Достъпът до общите мрежови ресурси не се администрира от отделен сървър, както е при мрежите тип клиент-сървър. Този тип мрежи се използва, когато броят устройства е сравнително малък и няма нужда от централизирано съхраняване на файлове и ресурси.

Предимство на този тип мрежи е ниската цена на изграждане, лесното администриране на всеки отделен възел, липсващата необходимост от мрежов системен администратор, който би трябвало да се грижи за конфигурирането и администрирането.



Фиг. 2.3. Мрежа с равноправен достъп



Фиг. 2.4. Мрежа тип клиент-сървър

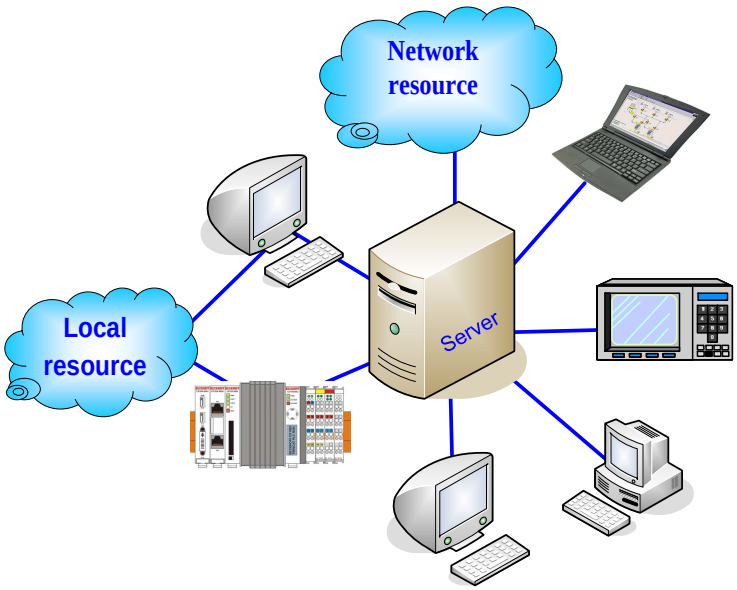
2.2.2. Мрежа тип клиент-сървър

В този тип мрежи (фиг. 2.4) предназначението на отделните машини е фиксирано от самото начало – може да има един (или няколко) сървър(а), управляващ(и) достъпа до ресурси и услуги на свързаните към него работни станции. На сървъра се съхраняват файлове и приложения, достъпни за използване от всеки устройства. Нивото на сигурност на данните се гарантира от приоритетното ползване на ресурсите в мрежата.Този тип мрежи са по-

бързи от мрежите с равноправен достъп и позволяват включването на повече устройства при запазване интегритета на споделените ресурси. От друга страна, оборудването за изграждане на този тип мрежи е в пъти по-скъпо, за изграждането и администрирането им е необходим мрежов администратор, който, освен всичко друго, трябва да се занимава и с въпросите на сигурността, особено ако мрежата е свързана към Internet или към друга мре

2.2.3. Комбиниран тип мрежи

Този тип мрежи (фиг. 2.5) е комбинация от горните два типа – мрежа с равноправен достъп и мрежа клиент-сървър. Много често поради спецификата на задачите, които се изпълняват в рамките на една организация, този тип мрежи е за предпочитане.



Фиг. 2.5. Комбиниран тип мрежи

Както се вижда от схемата (фиг. 2.5), една обособена част от мрежовите устройства, включени в работна група, образуват мрежа с равноправен достъп, в която ресурсите се споделят между тях, без да се ангажира сървърът. Същевременно, същите устройства са свързани и към сървър, който е част от мрежа тип клиент-сървър. Така, от една страна сървърът контролира първостепенните ресурси, необходими на цялата мрежа, а от друга, не отделя ресурси за управлението на устройства, необходими за работата само на компютрите от работната група, свързани в мрежа с равнопоставен достъп.

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ВТОРА ГЛАВА

1. Кои от изброените твърдения описват типовете локални мрежи:
    a) Мрежа с равноправен достъп;
    b) Мрежа тип клиент-сървър;
    c) Комбиниран тип мрежи;
    d) Pear-to-pear тип мрежи;
    e) Всички гореизброени твърдения.
2. Предаването на данни в мрежата се регламентира от специални правила, наречени мрежови протоколи. Кои от изброените абревиатури са протоколи?
    a) TCP/IP;
    b) NetBEUI;
    c) AppleTalk;
    d) MAC;
    e) DHCP.
3. Кой тип мрежа се използва за свързване на големи масиви от данни към групирани сървъри?
    a) SAN (Storage Area Network);
    b) WAN (Wide Area Network);
    c) MAN (Metropolitan Area Network);
    d) LAN (Local Area Network);
    e) Няма верен отговор.
4. Промишлените компютърни мрежи се организират, за да се създаде възможност за:
    a) Обмен на данни между различни устройства;
    b) Съвместно ползване на общи ресурси/апаратни, софтуерни и информационни;
    c) Разпределена обработка на данни, т.е. обработка от различни устройства на данни, части от които се съхраняват в паметта на други устройства;
    d) Управление на специализирани устройства работещи в off-line режим;
    e) Събиране на данни от сензори.
5. Кой тип мрежи се характеризират с най-голямо бързодействие?
    a) Мрежи с равноправен достъп;
    b) Мрежи тип клиент-сървър;

c) Комбиниран тип мрежи;
d) Мрежи от тип главен/подчинен;
e) Всички гореизброени твърдения.

Мрежови топологии и модели

3.1. Мрежови топологии

Топологията дефинира структурата на комуникационната мрежа. Различават се логическа и физическа топология.

Физическата топология определя конфигурацията на свързващите проводници, мрежовото оборудване и потребителските станции в мрежата.

Логическата топология определя метода по който потребителите получават достъп до мрежата и възможностите за обмен на данни между отделните възли.

3.2. Видове физически топологии

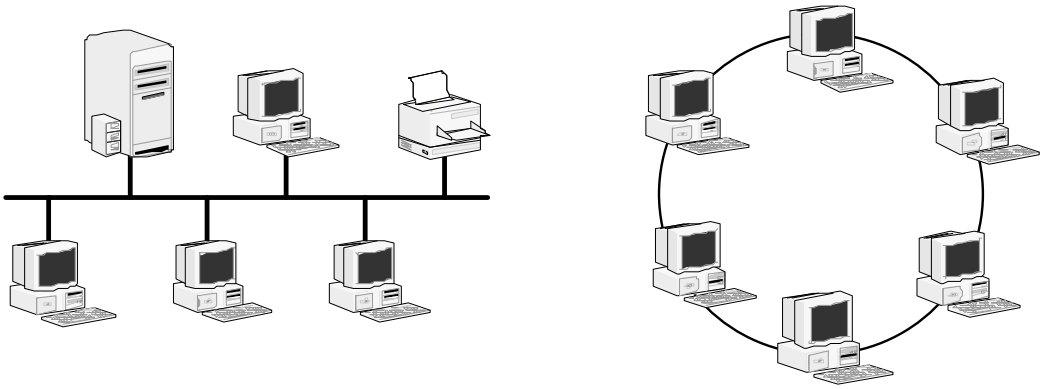
3.2.1. Шинна топология

При шинната топология всички устройства са свързани чрез мрежови адаптери към комуникационна среда (фиг. 3.1, вляво). Само едно от устройствата може да предава пакети в даден момент от време. Това изисква да има управление и контрол на начина на достъп до средата. Предаването на всяка станция се разпространява по цялата шина в двете посоки и може да се приеме от всички устройства. Данните се предават в пакети, които съдържат адреса на станцията получател, адреса на станцията, която предава пакета, както и други служебна информация.

Недостатък на шинната топология е, че между отклоненията за работните станции трябва да се спазва определено минимално разстояние с цел да се предотвратят евентуални взаимни смущения между сигналите. Освен това мрежата не може лесно да се диагностицира. Шинната топология не осигурява възможностите за защита на информацията в мрежата, тъй като всички съобщения се предават по обща магистрала за данни (гръбнак на мрежата, trunkline), защитата на информацията може да бъде нарушена от потребител на мрежата, който не притежава необходимите права за достъп.

3.2.2. Топология пръстен

Топология пръстен (кръгова топология) свързва едно устройство директно със следващото, а последното – с първото (фиг. 3.1, вдясно). По този начин се изгражда физическа връзка в кръг на проводника.



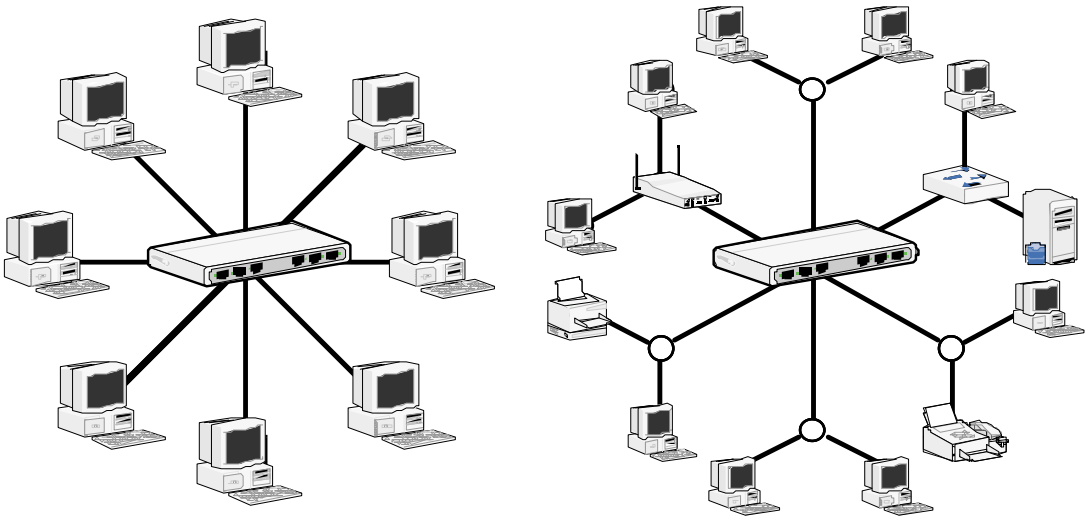
Фиг. 3.1. Шинна топология и топология пръстен

Устройствата са свързани в кръга чрез повторители. Съобщенията се предават от една станция към друга само в едната посока. При мрежите с кръгова топология се проверява дали изпратените съобщения са получени. Когато устройство приеме адресирано до него съобщение, то го записва и изпраща обратно към подателя с флаг, потвърждаващ получаването. Всеки пакет, предаден от дадено устройство се изпраща към следващото в кръга. Когато пакетът достигне получателя, той се съхранява и продължава по кръга. Пакетът се отстранява от кръга от устройството, което го е предало. Важен проблем при кръговата топология е осигуряване на равноправни възможности за достъп до мрежата от всички работни станции. Отделни мрежи с кръгова топология могат да се свържат в обща мрежа чрез мостове, които превключват данните от един кръг в друг. Към първоначално създадената локална мрежа с кръгова топология е изключително трудно да се включват нови работни станции. За да се добави нова работна станция и се свържат необходимите кабели, работата в мрежата трябва да се преустанови.

3.2.3. Топология звезда

При топология звезда (фиг. 3.2, вляво) всяка станция се свързва към централния комуникационен възел (напр. концентратор) чрез две еднопосочни

линии (една за предаване и една за приемане). Комуникационният възел може да бъде пасивен (разпределя входните сигнали към изходните линии) или активен (приема входните сигнали и след това ги препредава към изходните линии). Предимство на топологията звезда е, че някои възли в мрежата могат да имат по-висок приоритет от останалите. Така централния възел може да проверява предварително постъпилите съобщения от станциите с по-висок приоритет преди да приеме заявките от останалите възли. Тази възможност е за предпочитане при мрежи, в които някои станции трябва да получават незабавен отговор на запитванията си. Освен това топологията звезда улеснява централизираната диагностика на всички мрежови функции. Тъй като всички съобщения се изпращат до централния възел, не е трудно да се анализират съобщенията от отделните станции. Топологията позволява да се добавят нови работни станции и осигурява възможност за подробен анализ на действието на мрежата. Основният недостатък на топологията тип звезда е, че при повреда на централния компютър цялата мрежа е неработоспособна.



Фиг. 3.2. Топология звезда и разширена звезда

3.2.4. Разширена звезда

Топология разширена звезда (свързани звезди) са разновидност на топологията тип звезда. При топологията тип свързани звезди няколко звезди са включени в обща конфигурация (фиг. 3.2, вдясно). Предимство на разширената звезда е, че повредата на един от централните възли не води до нерабо-

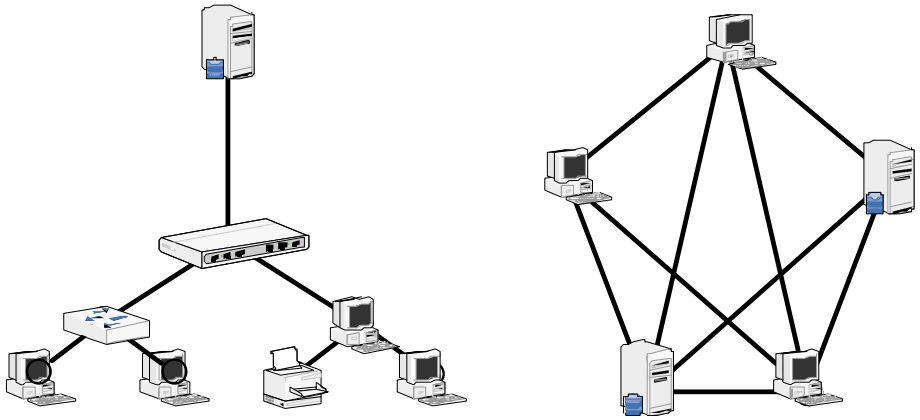
тоспособност на цялата мрежа, въпреки че станциите от локалната звезда не могат да използват услугите на мрежата.

3.2.5. Йерархичната топология

Йерархичната топология (фиг. 3.3, вляво) е подобна на разширената звезда, но използва само едно от разклоненията като дървовидна структура.

3.2.6. Комбинационната (mesh) топология

Комбинационната топология (фиг. 3.3, вдясно) се използва, когато не е желателно прекъсване на комуникациите. Всяко едно устройство в мрежата поддържа връзка с няколко други устройства. По този начин при разпадане на връзката се включва алтернативна връзка през другите устройства.



Фиг. 3.3. Йерархична и комбинационна топологии

3.3. Устройства за физическо и логическо структуриране на мрежата

При изграждането на комуникационните мрежи се използват различни устройства за физическо и логическо структуриране на мрежата. Съществуват три групи устройства за свързване:

- *Пасивни* устройства;
- *Активни* устройства;
- *Устройства* за разделяне на мрежата на отделни сегменти и подмрежи.

3.3.1. Пасивни устройства

Пасивните устройства осигуряват точка на свързване в комуникационната мрежа, без да променят параметрите на постъпилия на входа им сигнал.

Към тази група се отнасят: свързващи букси (jack couplers), розетки (wall plates), свързващи панели (patch panels) и пасивни концентратори (passive hub).

Свързващите букси (фиг. 3.4) са пасивни устройства, които се използват за удължаване на мрежов кабел.

Розетката (фиг. 3.4) представлява свързващ панел за едно работно място. Състои се от един или два порта. В портовете могат да се поставят гнезда за накрайници от тип RJ-45 или RJ-11.

Фиг. 3.4. Свързваща букса, розетка и гнездо за RJ-45

Свързващият панел (фиг. 3.5) е свързваща и разпределяща точка, която се използва за разпределение на кабелите.

Пасивният концентратор (фиг. 3.5), е централно свързващо устройство, чрез което се осъществява връзка между множество работни станции. Той не съдържа електронни елементи и не изисква захранване. Постъпилият входен сигнал на някой от портовете му се препраща към всички останали портове.

Фиг. 3.5. Свързващ панел и пасивен концентратор

3.3.2. Активни устройства

Активните устройства усилват входния сигнал. Освен това, те могат да преобразуват сигнала от един в друг вид преносна среда. В тази група се

включват устройствата: конвертор на преносната среда, повторител и активен концентратор (концентратор).

- ***Конвертор на преносна среда.*** Конверторите на преносната среда са известни като адаптери (adapters) или транслатори (translators, converters) на преносната среда. Те преобразуват мрежовия трафик между два сегмента от комуникационната мрежа с различна преносна среда. Например, оптичният конвертор осъществява връзка между мрежа изградена на базата на UTP кабел и мрежа с оптически кабел.

- ***Повторител (repeater).*** Повторителят е устройство, действащо на физическо ниво, предназначено за увеличаване на общата дължина на комуникационната мрежа. То възстановява мощността на сигнала и подобрява фронтовете на импулсите при големи разстояния. Повторителите не филтрират преминаващите през тях сигнали, те единствено регенерират всички сигнали, включително и служебните съобщения, шума и смущенията.

Най-често те намират приложение при свързване на два мрежови сегмента в комуникационната мрежа. Те могат да се използват за свързване на различни типове преносни среди (10Base5, 10Base2, 10Base-T и оптични кабели) и не могат да се използват за свързване на сегменти използващи различни структури или методи за достъп. Например, не е позволена връзката между Ethernet сегмент и Token Ring сегмент.

- ***Активен концентратор (hub).*** Активният концентратор представлява многовходов повторител, с чието приложение се осъществява свързване от тип звезда. Основните възможности и особености на устройството са следните:

  - Променя физическата топология на мрежата, но не и логическата и структура;
  - Свързва отделни работни станции, оборудвани с мрежови карти, в една мрежа;
  - Разрешават свързване помежду си с цел увеличаване на физическия брой устройства;

- Всички портове имат един и същ приоритет;
- Процесът, при който концентраторът изключва някой от портовете при откриване на неизправност се нарича сегментация;
- Намира приложение при мрежите, в които се използват кабели с усукана двойка (UTP);
- Приетите пакети с данни не се буферират. Това определя по-ниски скорости при обмен на данни;
- Не синхронизира портовете, работещи на различни скорости.

3.3.3. Устройства за конфигуриране на мрежата на сегменти и подмрежи

При логическото структуриране на комуникационните мрежи се използват устройства като мостове, комутатори, маршрутизатори и шлюзове (фиг. 3.6).

- ***Мост (bridge).*** Мостът разделя мрежата на логически сегменти и съобщенията (пакетите с данни) се предават от един към друг сегмент през порт на моста само ако уникалният адрес на получателя (MAC[1]) принадлежи към съответния сегмент. В устройството се съдържа таблица с адреси на устройствата от двата сегмента и комуникацията се изпълнява в следната последователност от стъпки:
  - При постъпване на пакет с данни, се извършва проверка на адреса – източник и адреса – местоназначение. В таблицата са указани сегментите на отделните адреси.
    - В случай че адресът – местоназначение не е записан в таблицата, пакетът се изпраща и до двата сегмента. При неоткрит адрес – източник, мостът автоматично го съхранява в таблицата.
    - В случай, че адресът – местоназначение е записан в таблицата, мостът препраща пакета към съответния сегмент.
    - В случай, че адресът – източник и адресът – местоназначение са в един сегмент, мостът не препраща пакета към другия сегмент.

Основната задача на мостовете е да филтрират трафика между двата сегмента, с цел да се намали претоварването в една по-голяма локална мрежа. Те могат да бъдат самостоятелни устройства или да се реализират в

[1] Media Access Control (MAC) – 48 битов уникален идентификатор на мрежовите устройства, задаван от техния производител.

компютър. Мостовете работят в каналния слой на мрежовия модел OSI[2] – на ниво пакети от данни. Те намират приложение при мрежи изградени с концентратори, за ограничаване на паразитно пренасяните пакети или за свързване на две отдалечени локални мрежи в една. Те изолират трафика на даден сегмент от трафика на останалата част и повишават общата пропускателна способност на мрежата. Две локални мрежи, свързани чрез мост са физически отделни, но логически образуват една мрежа.

- ***Комутатор (switch).*** Комутаторът е мост от ново поколение, осигуряващ паралелна обработка на информацията. Той е най-използваното устройство за свързване на работни станции в мрежа с топология звезда. Комутаторът увеличава скоростта на мрежата, наподобява на външен вид на активния концентратор, но е по-интелигентно устройство от него. Докато при концентратора полученият сигнал се препраща до всички портове, то при комутатора информацията се филтрира и изпраща само до устройството, за което е предназначена. Комутаторът е много портов мост и работи в следната последователност от стъпки:

  - При получаване на един пакет на даден порт от комутатора, той прави проверка за това дали пакетът е коректно получен, след което проверява в собствената си таблица дали има направен запис за MAC адреса на получателя.
  - В случай, че липсва запис на MAC адреса, комутаторът изпраща пакета към всичките си портове, след което получава отговор от устройството, за което е предназначен пакета. В таблицата на съответствията се записва на кой изходен порт отговаря този MAC адрес. Всички следващи пакети с този адрес се препращат директно на съответния порт.
  - В случай, че съществува запис на MAC адреса, комутаторът препраща пакета директно към съответния порт. Съществуват три вида адреси на получателя – broadcast, multicast, unicast. Пакетът при broadcast адреса се изпраща на всички портове. При multicast адрес, пакетът се изпраща на предварително определени портове. При unicast адрес, пакетът се изпраща само към едно устройство

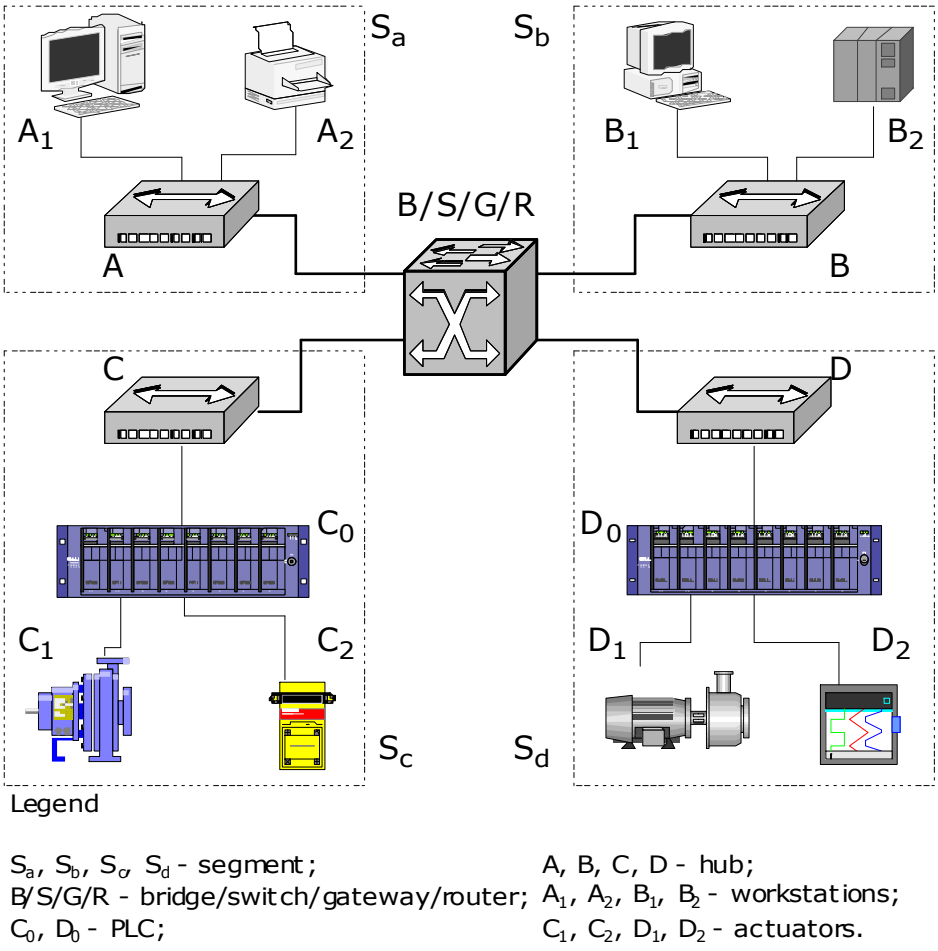
[2] Open System Interconnect (OSI) – мрежов модел, който разделя комуникационният процес на седем независими етапа (слоеве)

(един порт). Това повишава сигурността на мрежата и нейният капацитет.

В зависимост от използвания мрежов слой в OSI модела се различават няколко типа комутатори. Стандартните комутатори работят във втори слой от OSI модела. Съществуват и по висок клас комутатори, които работят в трети и четвърти слой на OSI модела. Това са маршрутизатори, които изпълняват ролята и на комутатори. При тях обикновено е възможно връзката да се ограничи до един MAC адрес, както и да се ограничи скоростта на трансфер за връзката.

Други характерните особености на комутатора са следните:

- Разполага с по един специализиран процесор за всеки свой порт, който обработва постъпващите пакети (кадри) независимо от процесорите на останалите портове;
- Позволява всяка една работна станция да предава данните през преносната среда, без да се конкурира с другите;
- Контролира MAC адресите на включените към него устройства.
- Транслира пакетите с данни от един стандарт в друг (например, Ethernet в FDDI);
- Свързва няколко отделни устройства и няколко отделни сегмента на една мрежа, всеки един от които може да има включени към него други крайни устройства;
- Буферира данните (store-and-forward) още преди да е установил параметрите на връзка с приемника;
- Комутаторите комуникират един с друг в режим на пълен дуплекс (full duplex) – данните се приемат и предават едновременно.



Фиг. 3.6. Логическо структуриране на мрежа чрез устройства за логическо структуриране на мрежата

- ***Маршрутизатор (router).*** Маршрутизаторът е самостоятелно устройство, което се използва за управление на разпределянето на пакетите с информация между различни мрежи или различни сегменти от дадена мрежа. В частност един компютър също може да бъде конфигуриран да работи като маршрутизатор. За разлика от концентратора и моста, маршрутизаторът работи с логически IP адреси в мрежовия слой на OSI, а не с MAC адреси. Той изолира трафика по-ефективно от моста, използвайки адреси на отделните възли. В случай, че връзката до дадено устройство в мрежата е през маршрутизатор, то неговия MAC адрес остава скрит. Маршрутизаторите могат да избират най-прекия възможен маршрут до даден адрес измежду множество възможни пътища. За определяне на пътя за предаване на данните и насочване на пакетите маршрутизаторът използва собствена таблица за

маршрутизация, в която съхранява IP адресите на други маршрутизатори. Тази таблица маршрутизаторът си създава сам, като си събира информация, а при някаква промяна сам я актуализира, с помощта на другите маршрутизатори.

Работата на маршрутизатора (фиг. 3.6) може да се представи със следния пример:

Мрежата А съдържа мрежови устройства A_1 и A_2. Мрежата В съдържа мрежови устройства B_1 и B_2. Двете мрежи са свързани чрез маршрутизатори. При изпращане на данни от мрежово устройство A_1 към мрежово устройство A_2, маршрутизаторът не изпраща пакети към мрежа В. По този се ограничава проникването на трафик към В. В случай на изпращане на данни от мрежовото устройство A_1 към устройство B_1, маршрутизаторът предава данните към мрежа В, където те ще се получат от устройство B_1.

Обикновено маршрутизаторите се използват в следните случаи:

- Свързване на локална мрежа към Интернет;
- Свързване на две или повече локални мрежи;
- Разделяне на една локална мрежа на две или повече подмрежи.

Използването на маршрутизатор като устройство за свързване намалява трафика между отделните мрежи и подобрява сигурността в локалната мрежа.

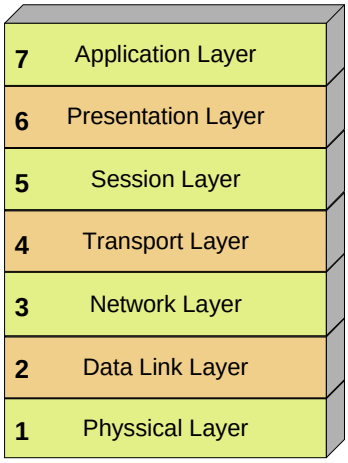
- ***Шлюз (gateways).*** Шлюзът обединява две несъвместими по процедури за достъп и протоколи мрежи, както локални, така и глобални мрежи (например, DeviceNet и CANopen). Освен това той изолира и локализира трафика в различните мрежи от двете страни на шлюза. Шлюзът осъществява преобразуване на отличаващите се един от друг протоколи от транспортния слой на OSI модела. Най-често се използуват за свързване на локална с глобална мрежа или за свързване на две отдалечени локални мрежи чрез физическата среда на глобална мрежа.

3.4. Мрежови модели

Множеството обработки, контрол, кодиране и други действия над единиците с информация при мрежовите комуникации изискват формализиран начин за описание (моделиране) на различните етапи (слоеве) и фази, през които преминава комуникационният процес.

3.4.1. Мрежов модел – OSI

Мрежовият модел OSI (Open System Interconnect) описва архитектура, в която се разделят мрежовите комуникации с комутация на пакети на седем независими слоя (фиг. 3.7). Разработен е от Международната организация по стандартизация (ISO). OSI позволява на системите да комуникират помежду си. Той е стандарт, който производителите на мрежово оборудване използват при проектиране на устройствата, операционни системи и протоколи. Основните особености на модела са следните:



Фиг. 3.7. OSI модел

- Всеки слой комуникира само със съседните си слоеве чрез стандартизирани протоколи;
- Всеки слой има точно определени функции – предоставя интерфейс и услуги към горния си слой, като също така получава услуги от слоя под него.
- Слоевете са разделени по между си чрез граници – интерфейси;
- При изпращане на данните от един слой към друг, те се разделят на пакети – единица информация, предавана като едно цяло от едно устройство към друго;
- Мрежовият софтуер подава последователно пакетите от един слой към друг по реда на слоевете, като при всеки слой към пакета той добавя допълнително форматиране или адресиране;
- От страна на получателя пакетът преминава през слоевете по обратен ред, като всеки слой отстранява допълнителната информация добавена от едноименния слой при изпращането й. Когато пакетът достигне до приложния слой адресната информация е изцяло отделена.

- ***Приложен слой (7).*** Приложният слой е най-горният слой в модела. Той служи като посредник между софтуерните приложения и мрежовите услуги. В този слой работят протоколи като HTTP, FTP, Telnet, SMTP, POP3, IMAP4, SNMP. Основната задача на слоя е да управлява общия мрежов достъп, контрола на потоците от данни и коригиране на грешки. Особеностите на приложния слой са:
  - Потребителите имат пряк достъп;
  - Включва програмните средства и данни, с които се работи и евентуално ще обменят информация с други станции;

- Към всяко съобщение се добавя заглавие (header), което представлява информационна структура, идентифицираща подаващия и приемащия компютър.

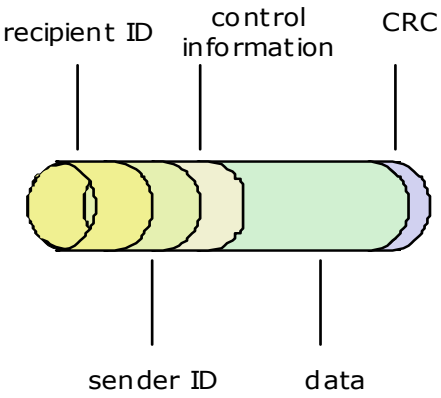
- ***Представителен слой (6).*** Представителният слой определя форматът за обмен на данните. Тук получените от приложния слой данни се представят във вид на универсални пакети. При получателя се извършва преобразуване на данните от универсални пакети във формат, използван от приложния слой на получаващата станция. Особеностите на приложния слой са:
  - Съобщенията от приложния слой, се превеждат в удобна за пренасяне и разбиране от приемащата страна форма;
  - Позволява компресиране на данните, криптиране с цел защита от нерегламентиран достъп до данните и транслация на протоколи с цел комуникация между различни устройства и операционни системи;
  - Към всяко съобщение добавя заглавие с информация за използваните методи за компресия и кодиране, а също и за използвания формат на записване на данните.

- ***Сесиен слой (5).*** Сесийният слой осигурява канал за връзка (сесия) между две устройства в мрежата. В сесията програмите "разговарят" помежду си. Сесиите позволяват двупосочна комуникация в режим на пълен дуплекс или полудуплекс. Използвания метод на свързване се записва в заглавието на сесийния слой. Освен това, сесийният слой извършва управление, синхронизиране на пренасянето на данни и защита от прекъсване на преноса. Протоколите от сесийния слой включват интерфейси като Network Basic Input/Output System (NetBIOS), Berkeley UNIX sockets (Sockets), Windows Sockets (Winsock);

- ***Транспортен слой (4).*** Транспортният слой извършва транспортиране на пакетите с данни без грешки, в точна последователност и без загуби. Той може да оптимизира трафика чрез обединяване на непълни съседни пакети. В този слой работят транспортни протоколи като TCP, UDP и услугата Domain Name System (DNS). Транспортният слой има следните по-важни особености:
  - Осигурява защитата на пренасяните данни;
  - Изготвя контролни суми, които позволяват откриване и коригиране на допуснати при пренасянето на данни грешки;
  - Архивира пренасяните данни, за повторно изпращане, в случай на неуспех;

- Включва в заглавието на пакета контролни суми и информацията за мястото на пакета в съобщението;
- При приемащата станция разопакова пакетите и ги подрежда в първоначалния им вид, след което изпраща потвърждение за получаването им.

- ***Мрежови слой (3).*** Мрежовият слой извършва адресиране на съобщенията и определя маршрут, по който да преминат данните от станцията – източник до станцията – получател. Адресите са прикрепени към съобщенията под формата на заглавия. Слоят следи трафика и управлява приоритета на данните (Quality of Service, QoS). В този слой работят протоколът IP и маршрутизаторите.
- ***Канален слой (2).*** Каналният слой изпраща кадрите с данни от мрежовия слой към физическия слой. Той включва два под-слоя: контрол за достъп до преносната среда (Media Access Control, MAC) и контрол на логическите връзки (Logical Link Control, LLC). MAC разпределя достъпа на работните станции до преносната среда и дефинира MAC адресите. LLC определя логическата структура. При приемника каналният слой пакетира последователните битове от физическия слой във вид на кадри (frames) с данни. Всеки кадър (фиг. 3.8) се състои от следните елементи:



Фиг. 3.8. Кадър с данни

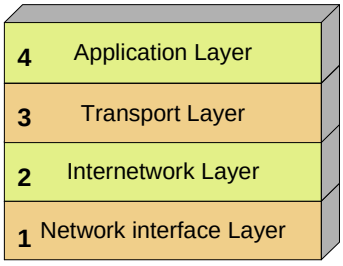
- Идентификатор на получателя (recipient ID) – адрес на станцията, към която се изпращат данните;
- Идентификатор на подателя (Sender ID) – адрес от който се изпращат данните;
- Контролна информация – задава вид на фрейма, маршрута и сегментирането;
- Пакет с данни – същинската информация, предавана по мрежата;
- Контролната сума (Cyclical Redundancy Checks, CRC) – информация за проверка и корекция на грешки.

След изпращането на всеки фрейм се генерира потвърждение за пристигането му. Фреймовете, за които не се получи потвърждение или са повредени, се изпращат повторно. В каналния слой работят устройствата мост и комутатор.

- ***Физически слой (1).*** Физическият слой определя кодирането на данните от кадрите във вид на електрически или светлинни сигнали и пренасянето им по мрежовата среда (кабел). Освен това той има следните по-важни функции:
  - Определя методите на свързване на кабелите с изходните терминали на мрежовите устройства;
  - Определя методът на предаване на данните по мрежовия кабел, синхронизирането на битовете и кодирането на данните;
  - Определя продължителността на битовете и това по какъв начин те ще се преобразуват за предаване по мрежовия кабел.

Устройствата, които работят на това ниво са мрежови карти, повторители, концентратори и конвертори.

3.4.2. Модел DoD



Фиг. 3.9. Модел DoD

Моделът DoD (Department of Defense) е създаден преди OSI модела от Министерството на отбраната на САЩ. Той е разработен съвместно с протоколите TCP/IP като част от проекта ARPAnet. Поради това DoD е известен и с наименованието TCP/IP модел. DoD се състои от четири слоя (фиг. 3.9):

- Приложен слой – най-горният слой от модела и припокрива функциите на трите най-горни слоя на OSI;
- Транспортен слой – съответства на транспортния слой на OSI;
- Слой интер-мрежа (internetworking layer) – съответства на мрежовия слой на OSI модела.
- Мрежов интерфейс – съответства на каналния и физическия слой на OSI.

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ТРЕТА ГЛАВА

1. Какво определя мрежовата топология?

a) Разпределение на мрежовите устройства в една мрежа;
b) Структурата на комуникационната мрежа;
c) Логическите и физическите връзки в мрежата;
d) Архитектурата на мрежовите устройства;
e) Броя и предназначението на устройствата в мрежата.

2. Какви основни класове топологии съществуват при индустриалните мрежи?

a) Физическа;
b) Полева;
c) Информационна;
d) Логическа;
e) Възлова

3. Кои от посочените физически топологии са правилни?

a) Шинна;
b) Пръстен;
c) Трапец;
d) Звезда;
e) Разширен пръстен.

4. Кои от посочените устройства са предназначени за логическо структуриране на мрежата?

a) Конвертор на преносната среда;
b) Мост;
c) Маршрутизатор;
d) Шлюз;
e) Повторител.

5. Колко етапа (слоя), през които преминава комуникационният процес съществуват при OSI мрежовия модел?

a) 10;
b) 5;
c) 6;
d) 7;
e) 9.

Полеви индустриални мрежи. Общи характеристики

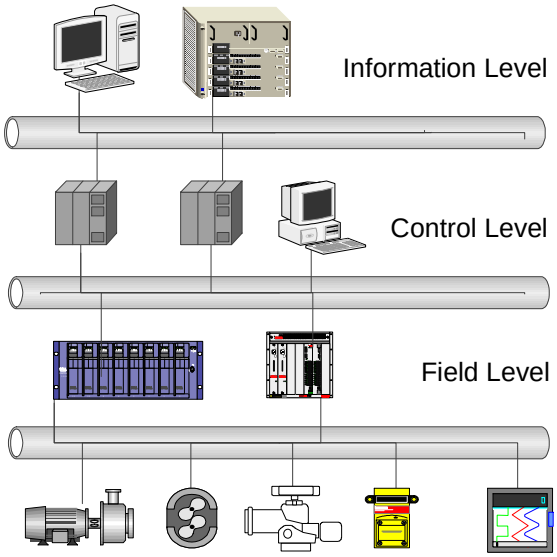
4.1. Структура на полевите индустриални мрежи

Полевите индустриални мрежи заемат най-ниското ниво в йерархията на индустриалните системи за управление (фиг. 4.1). Основното им предназначение е да осъществяват комуникация между крайните полеви устройства (сензори, изпълнителни механизми и др.) и устройствата от по-високо йерархично ниво (PLC, работни и операторски станции). Полевите мрежи се характеризират с простота на изграждане, висока скорост на предаваните данни, гъвкавост и ниска себестойност на изграждащите я компоненти. Освен това те значително улесняват диагностицирането и настройката на САУМК. Изграждането на полевите мрежи осигурява възможност за интегриране на устройства от различни производители.

Въпреки, че голяма част от наложилите се спецификации за полеви мрежи първоначално са се развили като фирмени концепции, днес производителите на автоматизационно оборудване са обединени в различни организации, подкрепящи един или други полеви комуникационен стандарт. Това е така тъй като успехът в комуникациите на полево ниво определя по-голям пазарен дял. По тази причина, въпреки широко декларираната отвореност на полевите мрежи, на практика устройствата от различните производители не са съвместими.

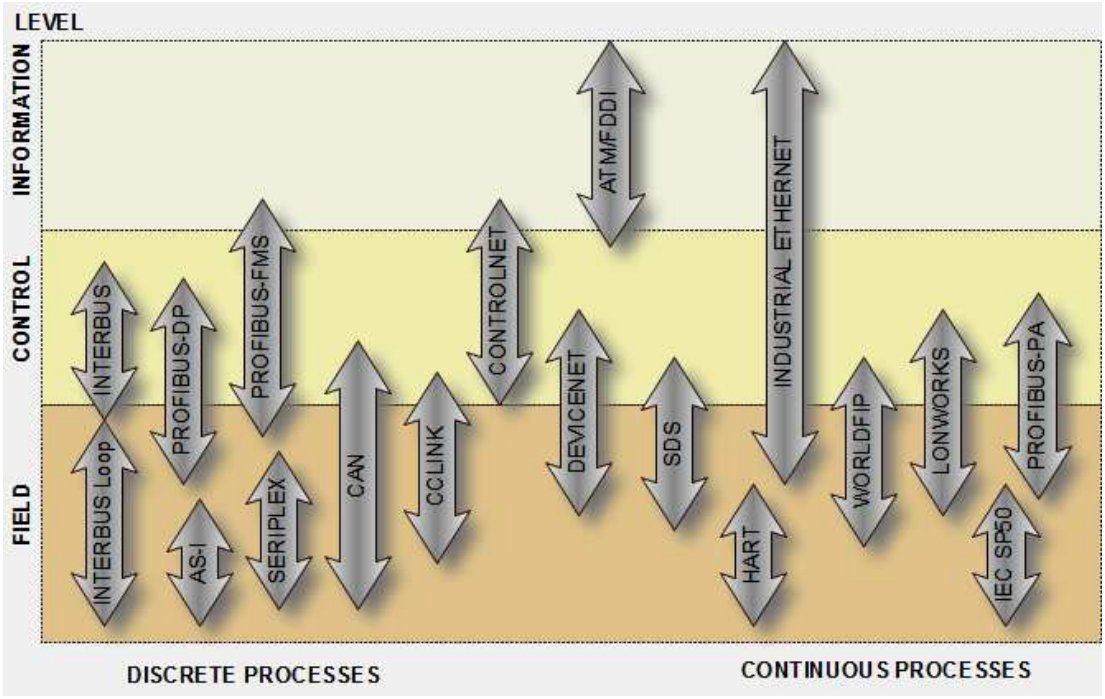
Съвместимостта на устройствата в полевите мрежи се определя от спецификациите посредством използване на:

- Различни диагностични функции;
- Техники за включване и изключване на устройства към мрежата без прекъсване на комуникацията между останалите възли и без изключване на захранването;
- Автоматично конфигуриране на устройствата;
- Използване на стандартни профили на устройствата;
- Стандартизирани механизми за физическо свързване на устройствата към мрежата;
- Самодиагностични функции;
- Детерминистични функции за предсказване на критично състояние.



Фиг. 4.1. Разположение на полевите мрежи в йерархията на индустриалните системи

На фигура 4.2 е показано разнообразието от спецификации на полеви мрежи, в предвид приложението им в системите за управление на различни технологични процеси.



Фиг. 4.2. Индустриални мрежови спецификации според приложението им в различни технологични процеси

Приложението на полевите мрежи има най-голяма ефективност, в случай че съществуват следните предпоставки:

- Взаимозаменяемост на използваните устройства от различни производители;
- Бърза реакция на крайните полеви устройства;
- Бърза инсталация и настройка на устройствата;
- Използване на интелигентни крайни устройства с възможности за самодиагностика;
- Изграждане на системи с физическа разпределеност до 1 km;
- Ограничен брой на кабелните връзки.

4.2. Функционалност на полевите мрежи

Полевите мрежи изпълняват следните основни функции в САУМК:

- Трансфер на данни с крайните устройства като логически контролери, изпълнителни механизми, сензори и др.;
- Трансфер на допълнителна информация по отношение на конфигурацията на устройствата (конфигурационни параметри, настройка на регулатори и др.).

Важна особеност при полевите мрежи е възможността за реализиране на разпределени системи, тъй като не е задължително централизираното управление на структурата на мрежата.

4.3. Методи за предаване на информация, използвани в полевите мрежи

Методите за предаване при полевите мрежи разрешават информацията да се изпраща към един или няколко възела в мрежата. Като основни единици предавана по мрежата информация се използват кадър (frame), пакет (packet) и дейтаграма (datagram). Кадърът съдържа полета с битове и байтове и се асоциира с физическият слой от OSI модела, а пакетът се асоциира с по-горните слоеве от OSI модела.

Методите за предаване на информация при полевите мрежи са следните:

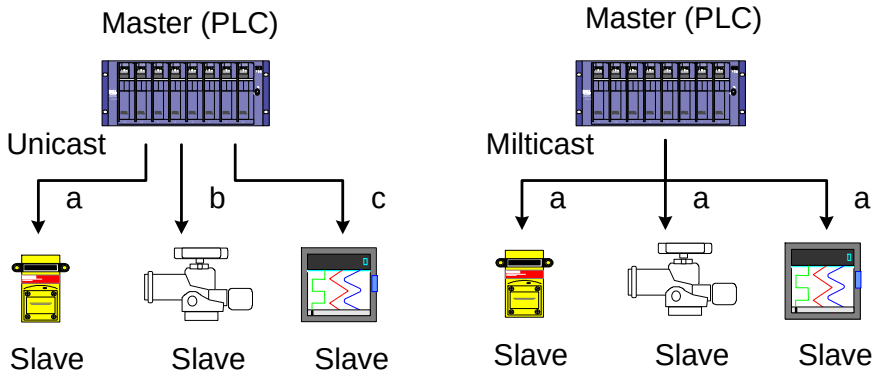
- *Unicast (един към един)*

При метод unicast пакетът се изпраща от предавател към получател в мрежата (фиг. 4.3). Предавателят адресира пакета, използвайки адреса на

получателя, след което пакетът се изпраща по мрежата до местоназначението си;

- *Multicast (един към много)*

При метод multicast пакетът се изпраща от предавател към множество получатели в мрежата. Предавателят адресира пакета, като използва multicast адрес на получателите, след което пакетът се изпраща до всеки един от получателите, формиращи multicast адреса;



Фиг. 4.3. Методи за предаване unicast (вляво) и multicast (вдясно)

- *Broadcast (един към всички)*

При метод *broadcast* пакетът се изпраща от предавател към всички устройства в мрежата. Предавателят адресира пакета, използвайки broadcast адрес, след което пакетът се изпраща по мрежата до всяко едно устройство.

4.4. Видове устройства използвани в полевите мрежи

При полевите мрежи се разграничават следните видове устройства в мрежата:

- *Master устройства (главни устройства)*

Master устройствата определят начина на обмен на данни по мрежата и изпълняват управляващи или информационно-контролни функции. Те са активни устройства – изпращат съобщения по мрежата без предварителна заявка за тях, ако притежават правата върху маркера за достъп до мрежата.

- *Slave-устройства (подчинени устройства)*

Slave устройствата са крайни устройства на САУМК – полеви уреди, датчици, изпълнителни механизми, регулиращи органи, входно изходни модули, измервателни устройства. Те са пасивни устройства и имат ограничен

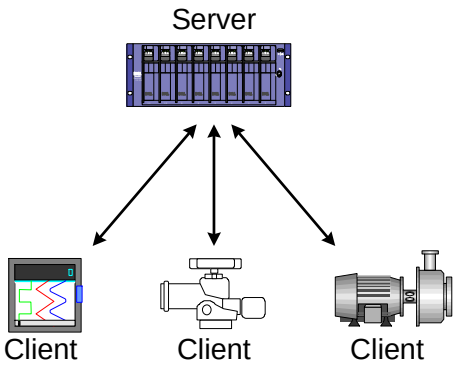
достъп до мрежата – потвърждават получените или изпратените съобщения към master устройствата.

4.5. Комуникационни механизми в полевите мрежи

Комуникационните механизми определят логическите връзки между устройствата, съобщителният протокол и връзките между обектите в устройствата. Най-често при полевите мрежи се използват следните комуникационни механизми:

- *Клиент/сървър (Client/server)*

Клиент-сървър е основен комуникационен модел в съвременните компютърни мрежи. При него сървърът предоставя своите ресурси и отговаря на запитвания от клиента. Клиентите използват ресурсите на сървъра. Често в индустриалните компютърни мрежи ролите на клиента и сървъра се размен-ят, като master устройствата са клиенти, а slave устройствата – сървъри в мрежата. Функцията на master устройство могат да изпълняват разпределена система за управление (DCS), програмируем контролер или персонален компютър (фиг. 4.4). Slave устройствата са източници на първична информация (полеви уреди, сензори, измервателни системи) или други устройства като изпълнителни механизми, модули за отдалечен вход/изход и др. Комуникацията в един възел се инициира от master устройството, което се опитва да установи връзка с едно или няколко slave устройства. След опознавателния процес master устройството конфигурира slave устройствата в съответствие с приетата от тях информация и в предвид тяхното използване. През периода на работа се приема, че master устройството управлява slave устройствата и има пълни права над тях, докато не прекъсне връзката си с тях.



Фиг. 4.4. Механизъм Client/Server

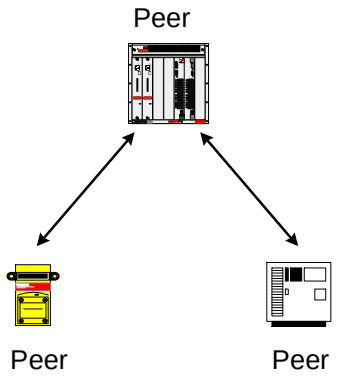
При този механизъм предимството е опростеното управление на мрежовите данни. По-голямата част от данните са съсредоточени при master устройството. Системата на защита на данните и на цялата мрежа като такава е също опростена. Съществен недостатък е, че в случай на повреда на master устройството е застрашена работоспособността на цялата мрежа.

- *Равноправен обмен (Peer-to-Peer)*

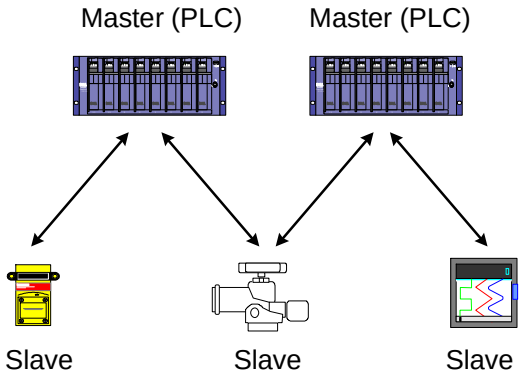
Характерно за този механизъм е това, че всички свързани в мрежата устройства са "равностойни" и могат да работят едновременно като slave устройства и като master устройства (фиг. 4.5). Peer-to-peer се използва за обмен на опознавателна информация между главно и подчинено устройства и намира приложение в индустриалните мрежи като Profibus-FMS, LonWorks, WorldFIP.

- *Multi-master*

Механизмът multi-master се използва, в случай че е необходимо произволен брой master устройства да имат достъп до данните на дадено slave устройство (фиг. 4.6). В произволен момент от времето само едно master устройство има възможност да управлява и конфигурира slave устройствата. Механизмът multi-master намира приложение в индустриалните мрежи като Profibus-DP, DeviceNet и др.



Фиг. 4.5. Механизъм Peer-to-Peer



Фиг. 4.6. Механизъм Multi-master

- *Запитване (poll)*

При запитване master устройството изпраща запитване, отделно до всяко slave устройство, с цел обмен на данни с него. Подчиненото устройство от-

говаря безусловно на запитването, независимо че то не е предназначено за него. Този механизъм не е достатъчно рационален, тъй като останалите устройства нямат достъп до обменяните данни, дори и да са им необходими.

- *Групово запитване (strobe, broadcast)*

При груповото запитване master устройството изпраща запитване до всички slave устройства с цел обмен на данни с тях. В резултат на запитването отговарят само тези устройства, които се идентифицират в broadcast съобщението.

- *Експлицитни съобщения (Explicit messages)*

Експлицитните (явните) съобщения се използват съвместно с механизма от тип равноправен обмен peer-to-peer. Този вид съобщения могат да се генерират от всяко едно устройство в мрежата, като е необходимо приемащата страна да изпрати потвърждение. Механизмът на експлицитните съобщения намира приложение при първоначална идентификация, конфигурация и диагностика на устройствата в мрежата.

- *Фрагментирани съобщения (Fragmented messages)*

В случай, че е необходимо да се предаде съобщение, което е с по-голям размер от допустимия за еднократно предаване, се използва механизмът на фрагментираните съобщения. При него данните се разделят и изпращат на фрагменти, които при приемника се обединяват и така формират началния размер на съобщението.

- *Циклични съобщения (Cyclic messages)*

Цикличните съобщения се използват за периодично предаване на данни от slave към master устройствата по отношение на работния процес. Този механизъм намалява трафика по мрежата и работата на управляващите устройства.

- *Промяна на състоянието (Change of state, COS)*

Този механизъм конфигурира подчинените устройства така, че те да изпращат данни към master устройствата си, само когато се промени тяхното състояние. През останалия период master устройствата използват последното прехванато състояние за управление на процеса. По този начин се намалява значително трафика по мрежата.

- *Производител-консуматор (Producer-consumer)*

При механизма производител-консуматор информацията по мрежата се предава периодично посредством метод broadcast, като всяко устройство получава тази част, която му е необходима без закъснение. Всяко устройство (подател на информация) записва в заглавната част на пакета с данни идентификатор на връзката (connection ID). След като пакетът бъде изпратен по мрежата, то всяко устройство, прочитащо идентификатора, определя дали информацията е предназначена и необходима за него. Този механизъм намира най-широко приложение при спецификации DeviceNet, ControlNet, Fieldbus Foundation. При него самото съдържание на информацията е достатъчно за да се идентифицират евентуалните получатели. Производител-консуматор осигурява възможност за пълноценно използване на мрежовата среда и намаляване на мрежовия трафик.

- *Източник-получател (Source-destination)*

Източник-получател е алтернатива на производител-консуматор. При него slave устройствата приемат само пакетите, които съдържат техния адрес. В случай, че няколко устройства имат необходимост от същите данни, те трябва да се предадат многократно. Това е неефективно и може да създаде проблеми в синхронизацията и работата в реално време, тъй като устройствата, нуждаещи се от идентични данни, ги получават по различно време. Този механизъм намира приложение при спецификации от по-старо поколение като Profibus-DP, Modbus Plus и Interbus S. Комуникацията чрез източник-получател е "по-тромава" от производител-консуматор, тъй като пакетите по мрежата включват допълнителна информация за адресиране на съобщението.

- *Комбинация от посочените по-горе в текста механизми.*

4.6. Съвременни спецификации за полеви мрежи

Разгледаните по-долу в текста спецификации са една малка част от голямото разнообразие полеви мрежи, които осигуряват възможност за изграждане на съвременни САУМК.

- *AS-Interface*
  - Намира приложение при свързване на крайни устройства с елементарни входно-изходни функции;

- Използва двужилен кабел за захранване с напрежение 24V и за обмен на цифровите сигнали;

- *CAN Interface*
  - Осигурява висока надеждност при предаването на информацията;
  - Поддържа множество приложения и богат набор от апаратни средства с различни характеристики и производители;
  - Скоростта на предаване на данни е между 10 Kbit/s и 1 Mbit. Максималният обем на предаваните съобщения е 94 bit;
  - Теоретично позволява включване на неограничен брой устройства в мрежата, но на практика това не е така, тъй като всеки модул представлява електрически товар за шината.
- *DeviceNet*
  - Икономически ефективно мрежово решение, посредством което контролери и индустриални полеви устройства се свързват директно и така отпада необходимостта от допълнително окабеляване на входовете и изходите;
  - Позволява висока скорост на пренос на данни и ефективност по отношение на манипулирането на данните;
  - Позволява устройствата да бъдат свързани директно към общ мрежов кабел, по който се осъществяват захранване и комуникации;
  - Изграждането на DeviceNet мрежи с plug-and-play полеви устройства опростява в значителна степен процеса на конфигуриране на системата;
  - CAN базирана мрежа и дефинира приложен слой за CAN мрежи.
- *Profibus*
  - Отворен стандарт за полеви мрежи и голямо приложения в производствената автоматизация;
  - Възможните технологии за пренос на данни са RS485, IEC 1158-2 или оптични кабели;
  - Позволява програмируеми контролери с разпределена интелигентност да се свързват в обща мрежа;
  - Обхваща три основни типа мрежи – DP (Decentralized Periphery), FMS (Fieldbus Message Specification) и PA (Process Automation);
  - Областите на приложение на Profibus DP са управлението на процеси и промишлената автоматизация. Позволява скорости на обмен до 12 Mbit/s. Методът на комуникация е master/slave или равноправен обмен. Преносната среда е усукана двойка. Максималният брой поддържани устройства е над 100;

- Profibus PA намира приложение при управление на процеси и интелигентни измервателни прибори. Позволява скорости на обмен до 30 kbit/s. Методът на комуникация е master/slave или равноправен обмен. Максималният брой устройства е над 250;
- Profibus FMS е проектиран за комуникация на по-високо йерархично ниво в САУМК и не е подходящ във функцията на комуникационна среда на полевото ниво.

- *Modicon Modbus Plus*
  - Детерминистична полева мрежа, която позволява комуникационен механизъм от тип клиент-сървър и високоскоростен обмен между PLC и крайни устройства;
  - Позволява до 1 Mbit/s синхронен HDLC обмен върху RS-485 физически слой.
- *HART*
  - Най-наложилата се спецификация в областта на автоматизацията. Обхваща всички сфери на индустрията, включително енергетиката, нефтохимията и др.;
  - Позволява едновременно предаване на цифрови и аналогови (4-20mA) сигнали при изграждане на мрежи с повишена сигурност във взривоопасни и рискови среди;
  - Осигурява възможност за използване там, където вече са инсталирани и работят аналогови полеви устройства;
  - Комуникира без прекъсване на аналоговия сигнал и позволява цифровата комуникация от полевото устройство да бъде обновявана няколко пъти в секунда при предаването й към управляващото устройство.
  - Методът на комуникация е master/slave, като всеки HART контур може да съдържа до две master устройства;
  - Скоростта, с която комуникира HART протоколът е 1200 bit/s, но допуска устройства, работещи в пакетен (burst) комуникационен режим, който позволява по-бърза комуникация;
- *LonWorks*
  - Стандарт за мрежи с равноправен обмен и намира приложение в системите с голям брой крайни устройства.
- *Interbus*
  - Спецификация, предназначена за мрежи с кръгова топология.
- *BACnet*
  - Използва се предимно за сградната автоматизация.
  -

- *SERCOS*
  - Спецификация, предназначена за висикоскоростен обмен в оптична среда;
- *Allen-Bradley Data Highway Plus (DH+)*
  - Намира приложение при висикоскоростни комуникации с контролери, произведени от Allen-Bradley.
- *FOUNDATION Fieldbus*
  - Разработена специално за висикоотговорни приложения, изискващи висока сигурност и голямо бързодействие;
  - Подходяща в опасни индустриални обекти, тъй като има прецизна синхронизация между управлението и комуникацията;
  - Протоколът FOUNDATION Fieldbus включва седем нива. Мрежовата топология е линейна, дървовидна с предаване и на захранването. Преносната среда може да бъде оптична или усукана двойка. Използва механизъм single master или multi master. Позволява скорости на обмен от 30 Kbit/s до 2.5 Mbit/s.
- *Ethernet/IP*
  - Най-широко използвана за комуникация в реално време в индустрията. Ethernet/IP е индустриално разширение на Ethernet TCP/IP;
  - Поддържа общ протокол на приложно ниво със стандартите ControlNet и DeviceNet. По този начин устройства като контролери, бар-код четци и други могат да се свързват, без да се нуждаят от допълнително програмно осигуряване;
  - Отличава се с високо бързодействие;
  - Ethernet/IP използва TCP/IP, който не гарантира, че две устройства комуникират ефективно при всички случаи. За постигне на ефективна комуникация на полево ниво, Ethernet/IP предлага универсално полево ниво, което се изгражда чрез TCP/IP капсулиране (Devicenet възел капсулира съобщение като порция данни в Ethernet съобщение). Чрез TCP/IP в Ethenet могат да се изпращат експлицитни съобщения, при които в полето с данни се съдържа протоколната информация и инструкциите за работа;
  - EtherNet/IP използва UDP/IP за изпращане на съобщения в реално време и така позволява да се обработват и изпращат съобщения към групи потребители в мрежата (multicast), както и неявни, имплицитни съобщения.

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

1. Кои са основните функции, които изпълняват полевите мрежи в системите за автоматично управление с мрежова комуникация?
    a) Трансфер на данни с крайните устройства;
    b) Трансфер на данни към мрежите от информационно ниво;
    c) Трансфер на данни по отношение на конфигурацията;
    d) Разпределение на трафика между устройствата;
    e) Компресиране на трафика.
    f)
2. Кои са методите за предаване на данни при полевите мрежи?
    a) FieldCast;
    b) Unicast;
    c) Broadcast;
    d) Multicast;
    e) Doublecast.
    f)
3. Какви устройства се използват при полевите устройства?
    a) Операторски станции;
    b) Сензори;
    c) Индустриални компютри;
    d) Рутери;
    e) Измервателни устройства.
4. Посочете комуникационните механизми, използвани при полевите мрежи?
    a) Peer-to-Peer;
    b) One-Master;
    c) Multi-master;
    d) Multi-client;
    e) Producer-consumer.
    f)
5. Кои от посочените мрежови спецификации се отнасят за полеви мрежи?
    a) CAN;
    b) ATM/FDDI;
    c) ControlNet;
    d) HART;
    e) DeviceNet.

Спецификация за полеви мрежи PROFIBUS

5.1. Въведение

PROFIBUS е полеви протокол разработен от фирмите Siemens, Bosch и Klockner-Moeller за удовлетворяване нуждите на дискретното производство и отговаря на европейските стандарти EN50170 и EN50254. Profibus позволява комуникации между устройства от различни фирми производители без специални интерфейсни настройки. Profibus може да се използва както за висикоскоростни (време критични) приложения, така и за комплексен обмен на данни.

Полевата комуникационна технология Profibus е подходяща за решаване на разнообразие от автоматизационни задачи, както на ниво полеви устройства, така и за системи от по-високо йерархично ниво. Отличава се с техническите характеристики на серийните полеви системи, които позволяват цифрови програмируеми контролери с разпределена интелигентност да се свържат в обща мрежа. Като топология Profibus е multimaster система, което на практика означава, че позволява съвместна работа на няколко автоматизирани системи с техните разпределени периферии върху обща магистрала.

5.2. Описание на протокола

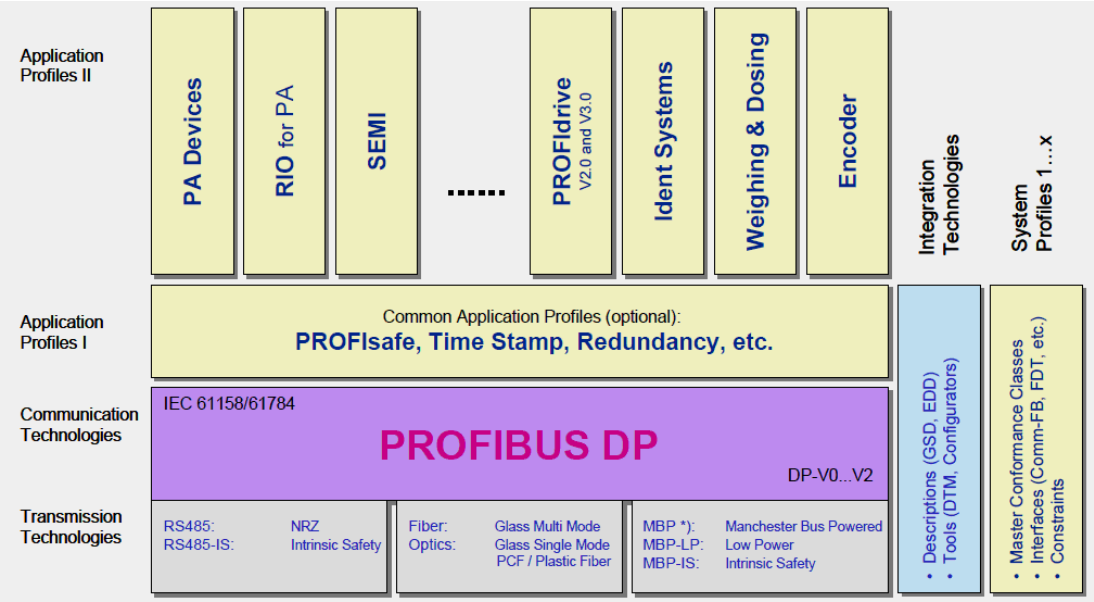
Комуникационната технология Profibus обхваща три основни типа протоколи – **DP**, **FMS** и **PA** (фиг. 5.1).

Протокола **PROFIBUS-FMS** (Fieldbus Message Specification) се използва от 1990 г. Проектиран е за комуникация на по-високо йерархично ниво, т.е. той не е подходящ във функцията на комуникационна среда на ниво полеви устройства.

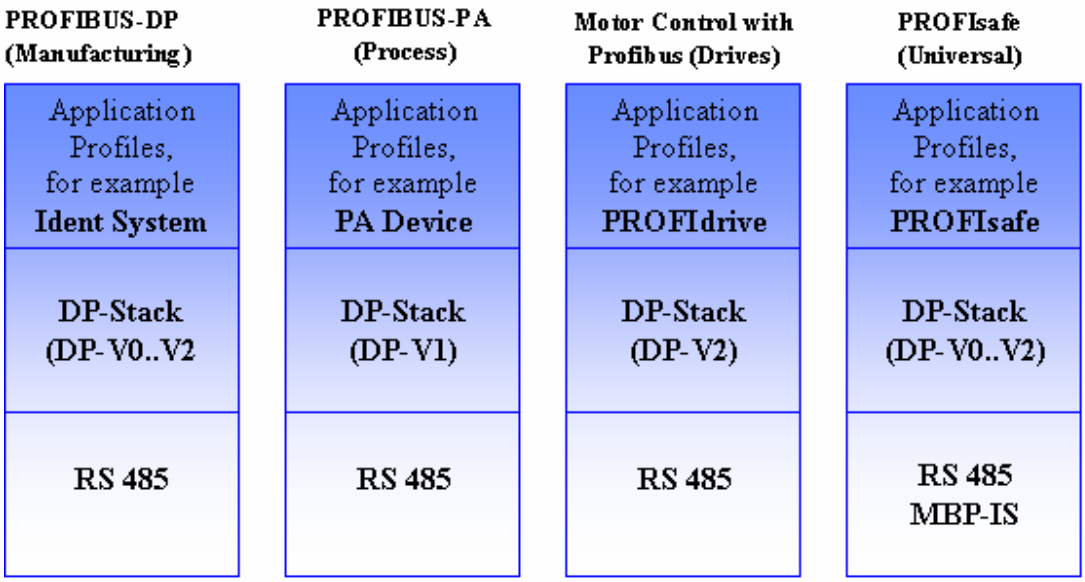
PROFIBUS-DP (Decentralized Periphery) (1992) е предназначен за обмен на данни между програмируеми логически контролери (PLC) и устройства свързани с разнородни обекти. Характеризира се със скорост на обмен на данни 12 Mbit/s. Методът на комуникация е или master/slave, или равноправен достъп. На физическо ниво преносната среда е усукана двойка. Максималният брой възли (устройства), които могат да се включат в една мрежа Profibus DP, е над 100. Типични области на приложение на Profibus DP са управлението на процеси и промишлената автоматизация.

PROFIBUS-PA (Process Automation) (1997) е предназначен за обмен на данни между системи на полево ниво разположено в обикновена или Ex-зона (зона с повишена сигурност). Протоколът отговаря на изискванията на международния стандарт IEC 61158-2. Предназначен е да осъществява връзка между системи за управление на контролери, датчици и изпълнителни механизми.

Profibus PA е подобен като характеристики на FOUNDATION Fieldbus. При Profibus PA скоростта на обмен е около 30 Kbit/s. Магистралата е от тип master/slave или равноправен достъп с максимален брой над 250 възела на мрежа.



Фиг. 5.1. Протоколи в PROFIBUS



Фиг. 5.2. Типични приложно-ориентирани черти на PROFIBUS

5.3. Функциониране на PROFIBUS-DP

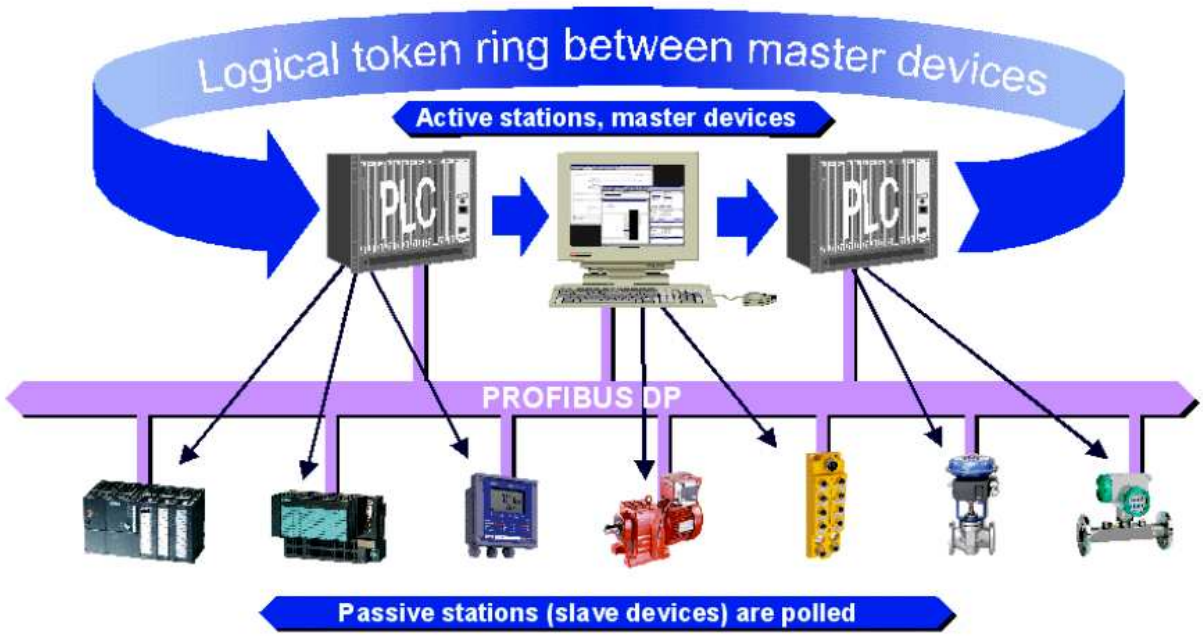
Със суфикса DP е обозначена концепцията „децентрализирана периферия (decentalized periphery)" т.е., разпределени входно изходни устройства, свързани чрез бърза серийна връзка с централния контролер.

Мрежата се базира на универсални международни стандарти и съответства на модела на отворените комуникационни системи (OSI - Open System Interconnection), в който всеки комуникационен слой има своя прецизно дефинирана задача (фиг. 5.3). Първият слой на този модел (Layer 1) дефинира физическите характеристики на комуникацията. Вторият слой (Layer 2) е свързващият слой (Data Link Layer) и дефинира достъпа до преносната среда. Седмият слой (Layer 7) е приложен и дефинира потребителските функции. Мрежата ProfiBus DP използва само слоеве 1 и 2 на OSI модела и специализиран потребителски интерфейс. Слоеве от 3 до 7 не се използват.

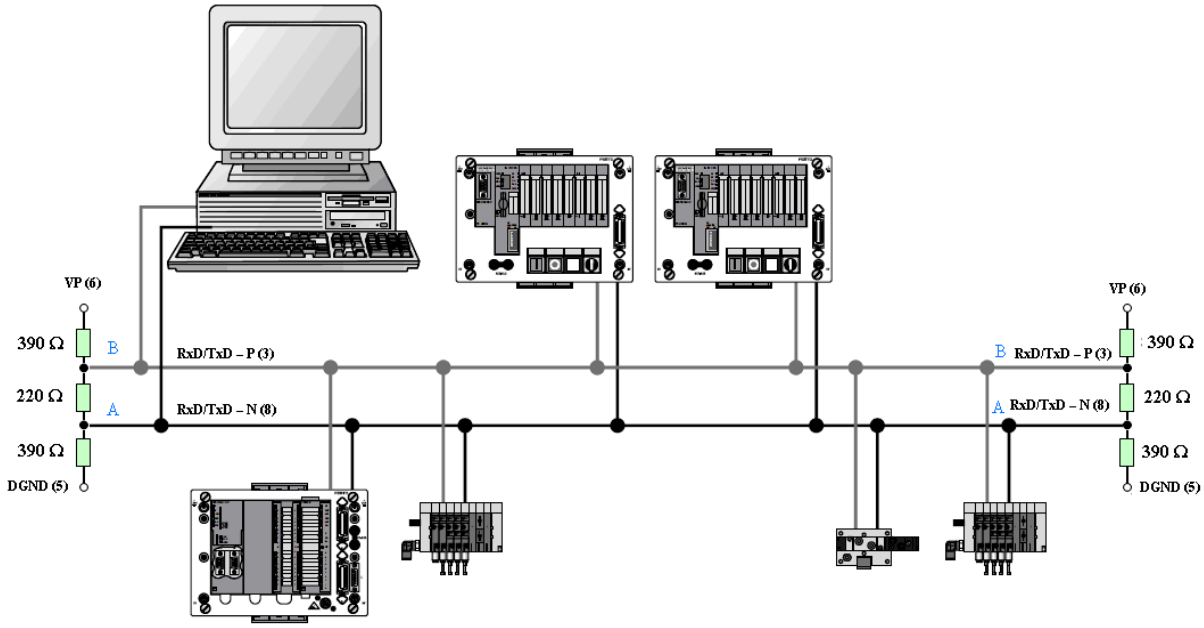
Sender	Receiver	Designation and function of the layers	
7	7	Application layer	Interface to application program with application-oriented commands (read, write)
6	6	Presentation layer	Representation (coding) of data for analysis and interpretation in the next layer
5	5	Session layer	Establishing and clearing temporary station connections; synchronization of communicating processes
4	4	Transport layer	Controlling data transmission for layer 5 (transport errors, break down into packets)
3	3	Network layer	Establishing and clearing connections, avoiding network congestion
2	2	Data-link layer	Description of bus access protocol (Medium Access Control, MAC) including data security
1	1	Physical layer	Definition of the medium (hardware), coding and speed of the data transmission
Transmission medium			

Фиг. 5.3. Слоеве от OSI модела включени в ProfiBus

Системата ProfiBus използва главно устройство (ProfiBus master), което извършва циклично обхождане (Poling) на подчинените (Slaves) устройства (фиг. 5.4) разпределени върху RS 485 магистрала (фиг. 5.5).



Фиг. 5.4. Схема на обхождане на устройствата

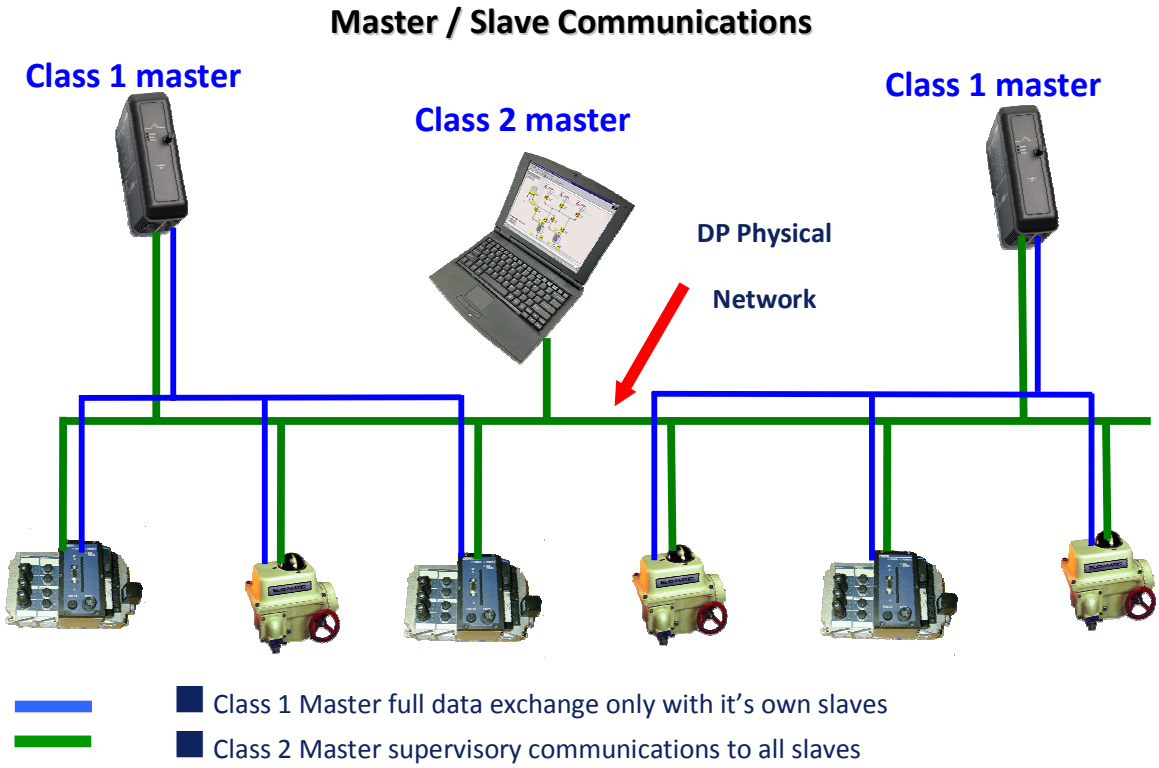


Фиг. 5.5. Физически слой на PROFIBUS (RS 485)

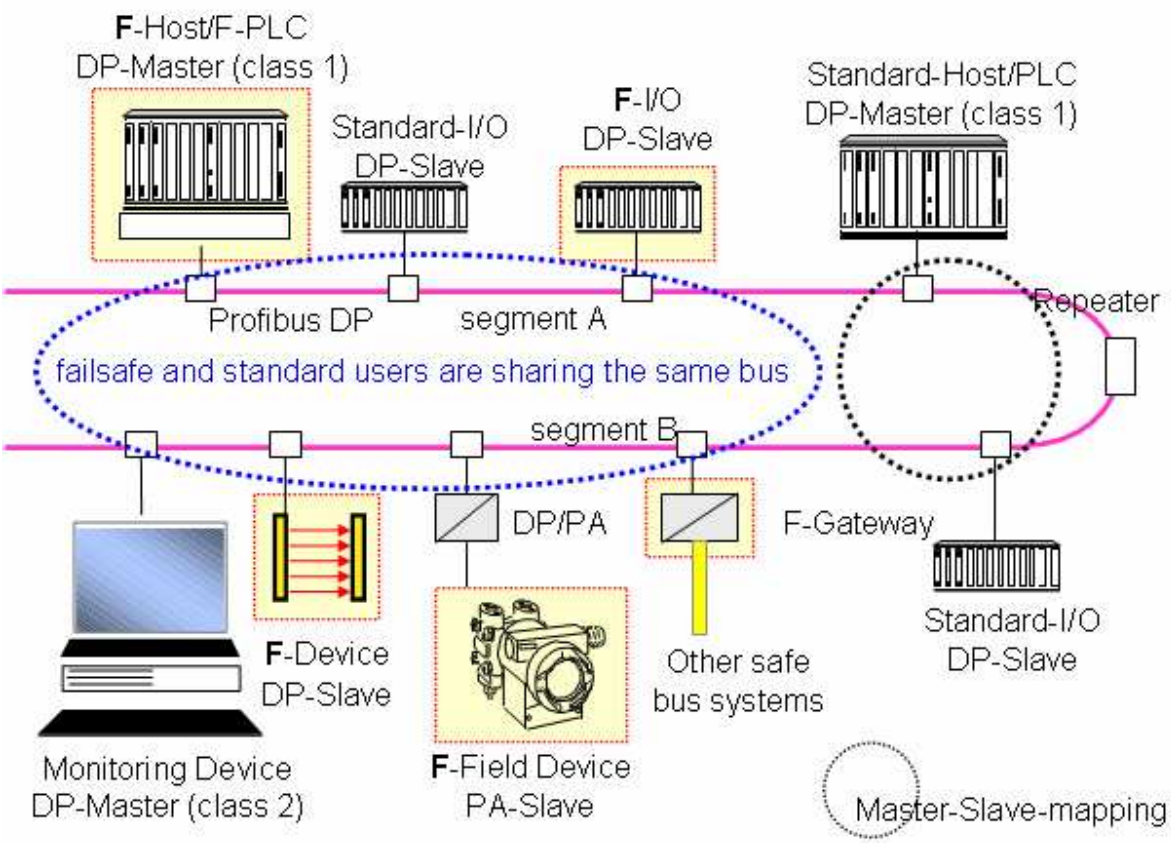
Подчинените устройства (сензор, изпълнителен механизъм, задвижване или друго измервателно устройство) формират така наречената "пасивна станция" в мрежата, тъй като тя няма права на достъп до мрежата, а може само да потвърди получените съобщения от master устройството или да изпрати потвърждение към него. Трябва да се отбележи, че всички подчинени устройства имат един и същ приоритет, и комуникацията се създава от master устройството.

Главното устройство (ProfiBus master) е активната станция в мрежата. Спецификацията Profibus определя два типа на главните устройства. Master устройството от тип 1, подържа нормалната комуникация и обмена на данни с асоциираните към него подчинени устройства (фиг. 5.6). Master устройството от тип 2 е специално устройство, което се използва предимно за зареждане на потребителските приложения в подчинените устройства и за диагностични цели. Някои master устройства могат да поддържат и двата типа функционалност. В мрежовата спецификация ProfiBus обикновено не се допуска комуникация между главните устройства (master-to-master), освен с цел да се предоставят правата за достъп на друг мастер чрез предаване на специално съобщение маркер (token). Изграждането на логически пръстен за предаване на маркера (token ring) е осъществимо само между физи-

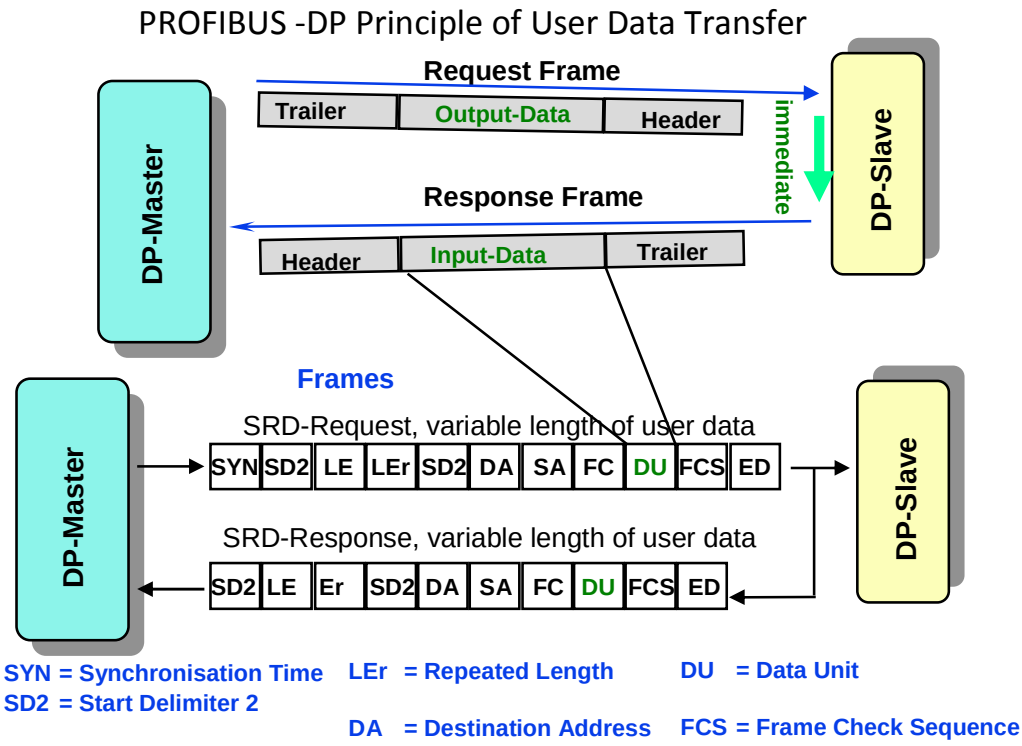
чески свързани устройства (в рамките на една мрежа). Комуникация master-to-master между две мрежи с по едно master устройство (mono-master system) (фиг. 5.7) може да се осъществи с помощта на шлюз (DP_DP gateway). Протокола за комуникация и фрейма са показани на фиг. 5.8 и 5.9.



Фиг. 5.6. Управление на подчинените устройства в Profibus



Фиг. 5.7. Комуникация master-to-master между две мрежи с единичен мастер (mono-master system)



Frame Format

SD	LE	LE_r	S	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	DU	FCS	ED
68	X	X	X	8	8	X	62/3	60/3	X	X	16

SD: Start Delimiter
LE: Net Data Length + DA, SA, FC, DSAP, SSAP
LE_r Repeated Length
DA: Destination Address
SA: Source Address
FC: Function Code (FC=13 Signals Diagnostic Data)
DSAP: Destination Service Access Point
SSAP: Source Service Access Point
FCS: Frame Checking Sequence
ED: End Delimiter

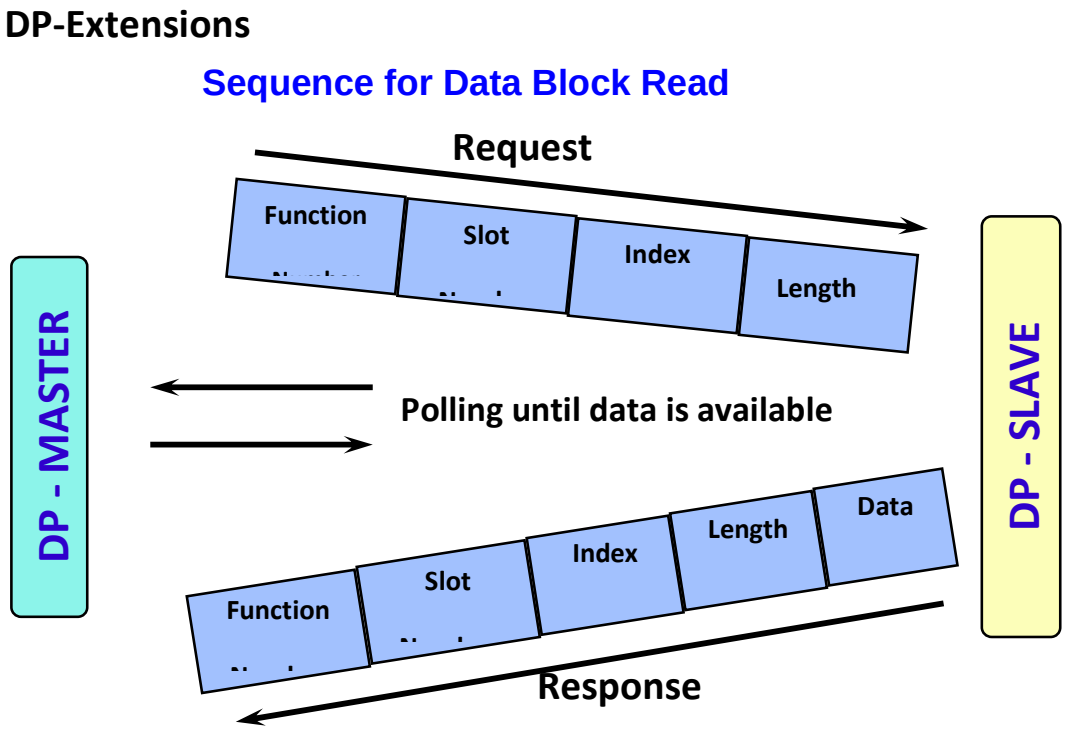
Фиг. 5.8. Протокол за комуникация в PROFIBUS-DP

Master устройството от тип 1 най-често е програмируем логически контролер (PLC), или компютър, работещ със специален софтуер. То определя скоростта на обмен, а подчинените устройства я откриват автоматично. Поддържа обмена на информация с асоциираните към него подчинено устройства и действа като основен контролер, обменящ входно/изходна информация с разпределената периферия. Обновяването на потребителските данни е циклично в съответствие с предварително определен цикъл на съобщенията. Master устройството от тип 1 е активно устройство по отношение на асоциираните към него подчинени устройства и комуникира с master устройството от тип 2, след като master устройството от тип 2 подаде заявка за комуникация.

Master устройството от тип 2 е устройство за конфигурация с възможности за "зареждане", обслужване и диагностика. Той работи като координиращо устройство и се явява активна станция по отношение на master устройството от тип 1 и неговите подчинени устройства. Master устройството от тип 2 се използва за конфигуриране, диагностика на грешките и промяна на параметри. То може да адресира отделно подчинено устройство, определена група от подчинени устройства (multicast), или да излъчи съобщение до всички свързани подчинени устройства (broadcast). Подчиненото устройство връща отговор на всички съобщения адресирани пряко до него и не връща отговор на груповите (multicast и broudcast) съобщения. Груповите съобщения (Broadcast и Multcast) в мрежата Profibus се използват за управление на група от устройства след като се зададе адрес 127 и номер на подчинената група устройства.

Дължината на I/O данни, които се предават от подчиненото устройство към master устройството, е определена предварително в база от данни (GSD файл) на подчиненото устройството. GSD файловете на всички устройства, свързани чрез мрежата се компилират в master устройството от тип 2 като обща база от данни (parameter record), която съдържа данните за конфигурацията и параметрите на всички свързани станции. Компилираната база от данни (parameter record) се зарежда в главното устройство на мрежата във фаза конфигурация на хардуера. Главното устройство в мрежата използва тази информация при инициализацията на системата за да установи комуникацията с всяко подчинено устройство.

След като master устройството получи базата от данни, то е готово да започне обмен на данни с подчинените устройства. По време на стартиране главното устройство установява връзка с всяко от асоциираните към него подчинени устройства, преди да започне цикличният обем на данни. В този момент на всяко от подчинените устройства има присвоен уникален адрес от 0 до 125. Преди да бъдат параметризирани устройствата с динамично адресиране (с адрес 126 при включване на захранването) се изчака команда Set_Slave_Address на master устройството от тип 2. Master устройството започва опитите за установяване на комуникация с подчинените устройства от най-ниския адрес и ги преустановява с най-високия.



Фиг. 5.9. Комуникационна схема в PROFIBUS-DP

5.4. BUS Timing

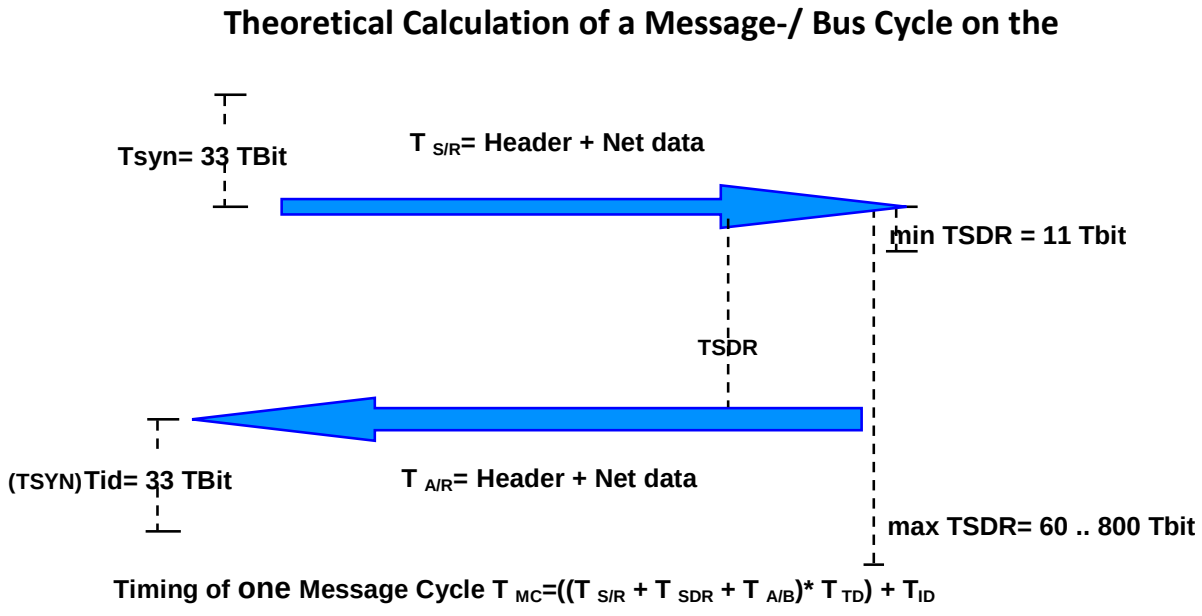
Мрежата използва циклично обхождане (polling) на подчинените устройства от съответното master устройство. Времето за което подчиненото устройство отговаря на master устройството, се нарича време за реакция (**reaction time**). Това време остава постоянно, дори ако master устройството от тип 2 се използва за диагностика на подчиненото устройство в същото

време, когато то комуникира с master устройството от тип 1. Master устройството от тип 2 използва времето между циклите на мрежата за диагностика на подчинените му устройства.

Bit-Time ($\mathbf{T_{bit}}$) е времето за което се предава един бит информация в съответствие със скоростта на обмен Baud rate.

Sync-Time ($\mathbf{T_{SYN}}$) – времето за синхронизация е минималното време, за което страницата трябва да остане в очакване (idle state) преди да е достъпна за следваща заявка. За Profibus DP това време е 33 бита, т.е., $33T_{bit}$.

Slave Reaction Time ($\mathbf{T_{SDR}}$) – времето за реакция на подчиненото устройство е времето, за което подчиненото устройство трябва да отговори на запитването на master устройството. Това време най-често се изразява като минимална ($minT_{SDR}$) или максимална стойност ($maxT_{SDR}$). Минималната стойност ($minT_{SDR}$) се установява чрез командата за параметризиране при инициализация на подчиненото устройство. Максималната стойност ($maxT_{SDR}$) зависи от скоростта на обмен и е определена в GSD файла на устройството за съответните скорости на обмен. За Profibus DP това време е: $\mathbf{min\ T_{SRD} = 11T_{bit}}$ до максималната стойност $256T_{bit}$.



Фиг. 5.10. Схема за изчисляване на времената

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ПЕТА ГЛАВА

1. Комуникационната технология Profibus обхваща протоколите:
   a) PROFIBUS-FMS;
   b) PROFIBUS-DP;
   c) PROFIBUS-EA;
   d) PROFIBUS-PA;
   e) PROFIBUS RS 485.

2. Profibus мрежите са:
   a) Мрежи с равноправен достъп;
   b) Мрежи тип клиент-сървър;
   c) Комбиниран тип мрежи;
   d) Мрежи от тип главен/подчинен;
   e) Всички гореизброени твърдения се отнасят до отделни разновидности на Profibus.
3. Устройствата с динамично адресиране в Profibus има адрес
   a) 0;
   b) 1;
   c) 126;
   d) 127;
   e) 255.

4. Груповите съобщения (Broadcast и Multcast) в мрежата Profibus се използват като съобщения за глобален контрол с адрес:
   a) 0;
   b) 126;
   c) 127;
   d) 255;
   e) Груповият номер на целевата група подчинени устройства

5. Кой протокол е предназначен да осъществява връзка между системи за управление на контролери, датчици и изпълнителни механизми?

a) PROFIBUS-FMS;
b) PROFIBUS-DP;
c) PROFIBUS-EA;
d) PROFIBUS-PA;
e) PROFIBUS RS 485.

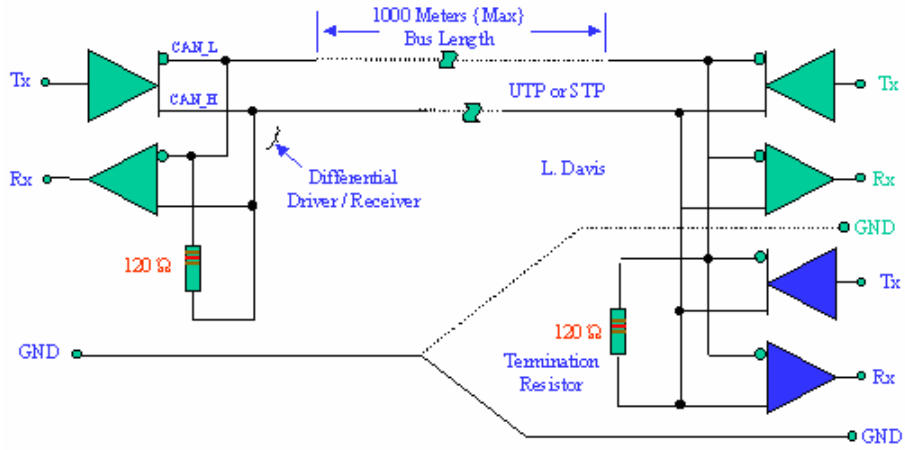
Комуникационен протокол CANBUS и MODBUS

6.1. CANBUS комуникационен протокол

6.1.1. Описание на протокола

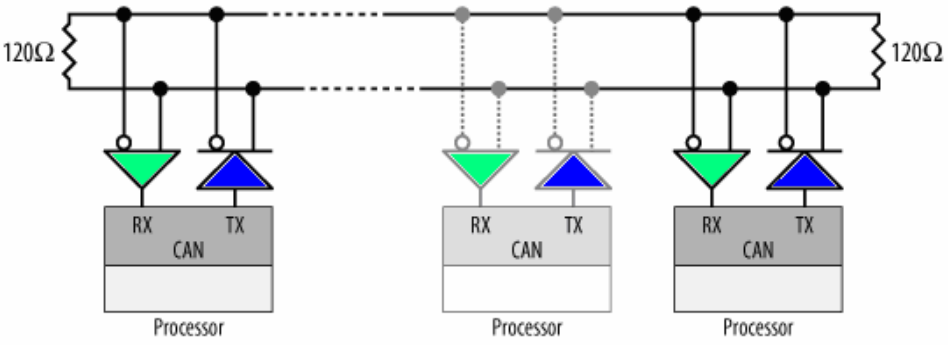
Controller Area Network (CAN bus) е сериен интерфейс за предаване на данни в реално време със скорост до 1 Mbps и има отлични възможности за корекция на грешки. Използва се при висикоскоростно предаване на данни ISO 11898 и за ниско скоростни приложения ISO 11519. За комуникация между устройствата се използват интерфейсни адаптери произвеждани от много фирми (OKI, MICROCHIP, MOTOROLA и др.).

Физическата линия е двупроводна (фиг. 6.1).



Фиг. 6.1. Физическа среда за предаване на данни

Данните излъчени от CAN се изпращат едновременно по шината (фиг. 6.2) към всички устройства в мрежата.



Фиг. 6.2. Организация на мрежа от устройства, използващи CAN протокола

6.1.2. Принцип на действие

Принципът на работа на мрежите CAN се базира на обстоятелството, че при наличие на свободна шина всеки модул може да започне да предава съобщения. Тъй като всяко съобщение носи в себе си приоритет, в случай че няколко модула предават едновременно, достъп до шината получава съобщението с най-голям приоритет. Аналогично, когато до даден модул едновременно достигнат повече от едно съобщение, приемането се извършва в зависимост от приоритета им. Всеки от модулите, включени в мрежата CAN, би могъл да изиска получаването на съобщения, като изпраща запитвания. На всяко правилно прието съобщение се изпраща потвърждение (acknowledgment). В случаите, при които дадено съобщение не се приеме поради грешка, се изпраща отговор. CAN мрежата разпознава появата на постоянни грешки и автоматично изключва повредения модул.

Съдържанието на съобщението е кодирано със специален и характерен за CAN мрежата идентификатор, който носи информация за това какво се предава в това съобщение **(t, P, F).** Всички приемници приемат информацията и всеки извършва тест на идентификатора за да определи какво се съдържа в това съобщение. Ако съобщението е подходящо за приемника то се приема и се обработва, ако ли не то се пропуска. Идентификатора съдържа информация за приоритета на съобщението, който се градира най-малко в две степени – висок, нисък или приоритет по нива. Предаването на информацията става от двупроводна усукана двойка или телефонна линия, ако индуктираните смущенията не са високи.

CAN мрежата е гъвкава и позволява към вече съществуваща мрежа да се включват нови устройства, без да се налага да се правят нови допълнителни промени в хардуера или софтуера на съществуващата CAN мрежа.

CAN използва Non Return to Zero (NRZ) за кодиране на данни. Употребата на NRZ кодиране осигурява сбити съобщения с минимален брой преходи и незначително влияние от външни смущения.

В CAN мрежите приоритет получават тези параметри, който се изменят по бързо от други. Така например оборотите на автомобилен двигател ще се изменят с по-голяма честота от неговата температура.

Приоритетите на параметрите се изгражда по метода **Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detect (CSMA/CD)**. Приоритета на едно съ-

общение се записва в идентификатора през първоначалната фаза на проектиране на системата. Идентификаторът с най-ниската цифрова стойност има най-голям приоритет.

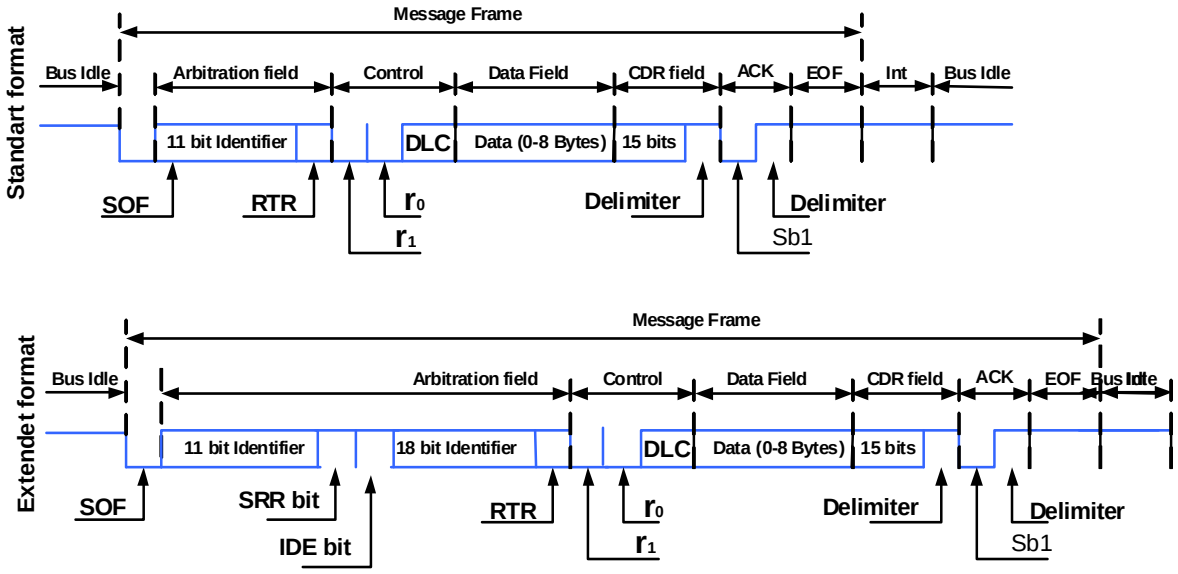
6.1.3. Организация на информационния пакет

В CAN системите информацията се предава и приема във форма на пакет (Message Frame).

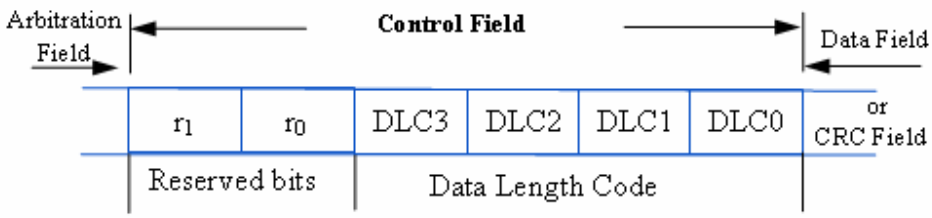
Съществуват две версии на CAN: 2.0A и 2.0B. Характерното за версия 2.0A е, че има 11 бита идентификатор и оригиналния протокол на фирмата Bosh, а версия 2.0B има 21 бита идентификатор и е разработен в САЩ за американската автомобилна промишленост.

CAN мрежи разработени по версия 2.0A приемат и предават информация между устройства, които са построени само по този стандарт. Версия 2.0B приема и предава информация в смесени мрежи съдържащи контролери, както версия 2.0A така и версия 2.0B.

Форматът на кадъра във версия 2.0A е показан на фиг. 6.3.



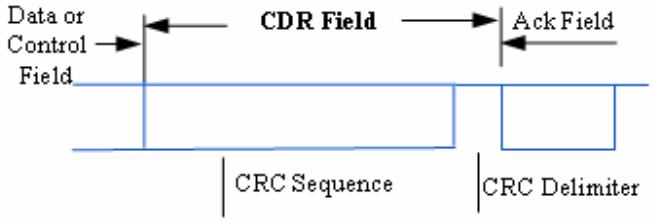
Фиг. 6.3. Формат на кадъра във версия 2.0A



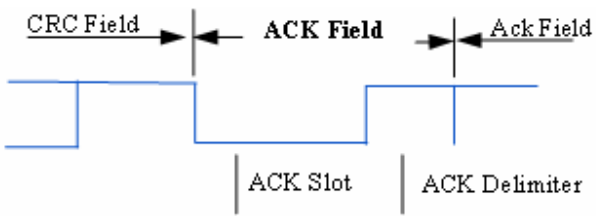
Фиг. 6.4. Контролно поле от информационния кадър

Number of Data Bytes	Data Length Code			
	DLC3	DLC2	DLC1	DLC0
0	d	d	d	d
1	d	d	d	r
2	d	d	r	d
3	d	d	r	r
4	d	r	d	d
5	d	r	d	r
6	d	r	r	d
7	d	r	r	r
8	r	d	d	d

Легенда: d "dominant", r "recessive"

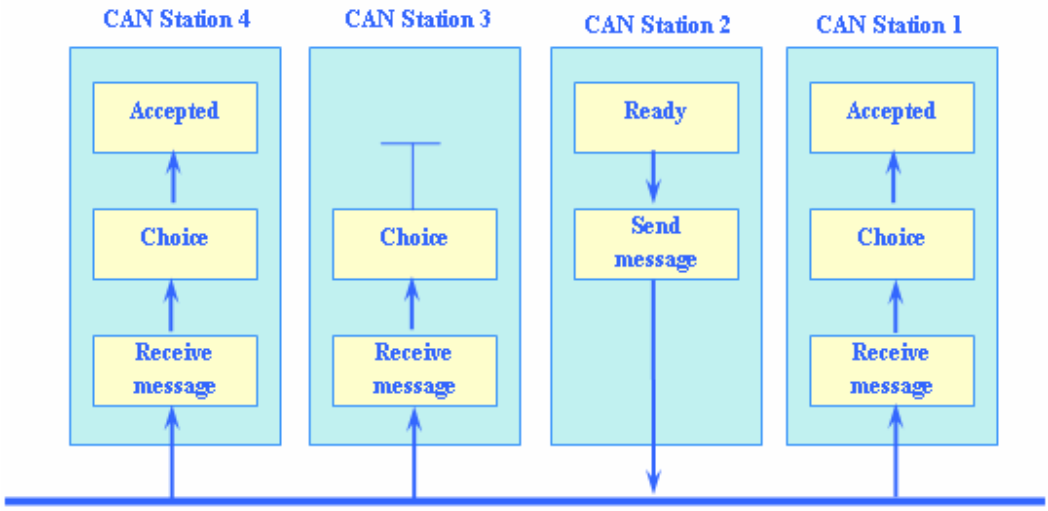


Фиг. 6.5. Формат на Cicle Redundance Code



Фиг. 6.6. Формат на ACKnowledge (ACK) импулсите

Първоначално по линията се предава един импулс от висок към нисък потенциал Start Of Frame (SOF) последван от 11 битов идентификатор Arbitration, в които е кодирано какво се предава. Следва 1 бит информация Remote Transmission Request (RTR), чрез който се изисква разрешение от предавателя да предаде информация на приемника. Битове r0 и r1 в протокола са празни. Полето Data Length Code (DLC) е с размер 4 бита и съдържа дължината на информацията, която ще се подаде в интервала Data. Този интервал е с продължителност от 0 до 8 импулса, което се указва в DLC. Следващите 15 бита Cicle Redundancy Code (CRC) се използват за проверка на правилността на получената информация и са последвани от пауза – DEL. За разпознаване на устройството от което е подадена информацията се използват 2 импулса ACKnowledge (ACK). Пакетът завършва с маркера End Of Frame (EOF) с продължителност 7 импулса. Край на пакета се указва от 3 бита INTermission, след което линията се освобождава.



Фиг. 6.7. Широколентово предаване (Broadcasting transfer)

Рецесивен и доминантен бит

За абстрахиране от средата за предаване CAN избягва описването с двоични стойности "0" и "1". Вместо това се приемат термините "рецесивен" и "доминантен" сигнал. Например, при оптичната връзка "рецесивен" сигнал

може да бъде тъмно, а при "доминантен" сигнал – светло. При електрически сигнал "рецесивен" – високо ниво на електрическия сигнал, а "доминантен" – отсъствието му.

6.1.4. Видове кадри

В CAN протокола са включени четири кадъра:

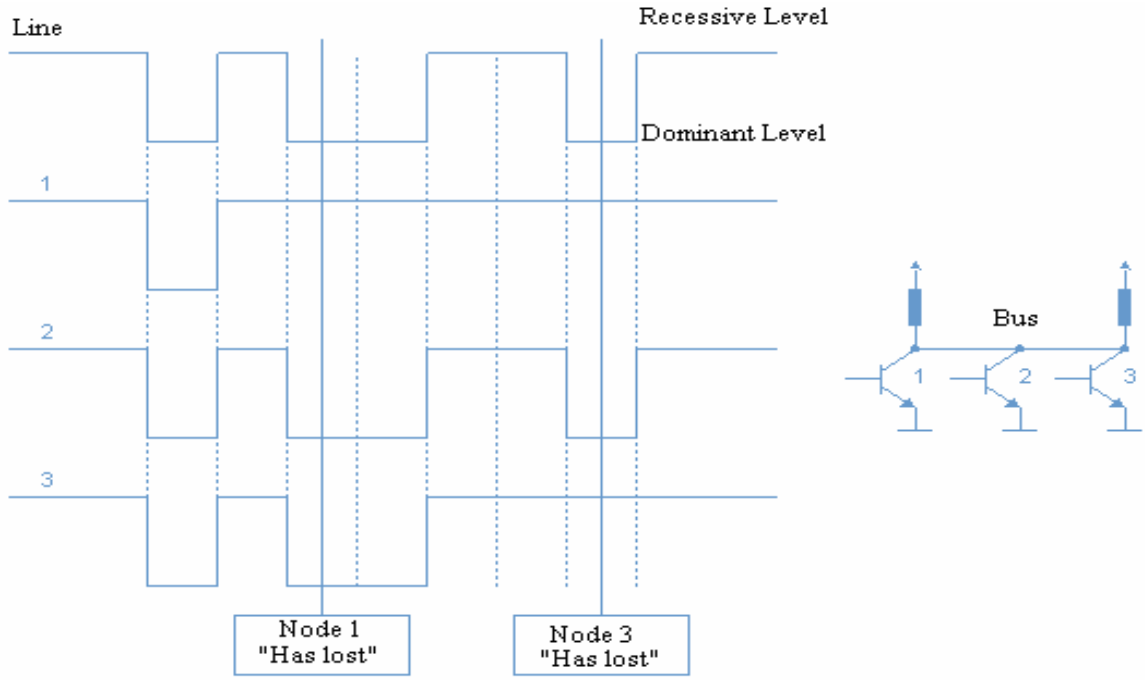
- Кадър данни (data frame) – предава данни;
- Кадър заявка за предаване (remote frame) – стартира заявка за предаване на кадри от данни за текущия идентификатор;
- Кадър за препълване (overload frame) – обезпечава промеждутък между кадрите с данни или заявки;
- Кадър за грешка (error frame) – предава се от възела, в който е открита грешка.

Кадрите с данни и заявки се разделят от предходните кадри с между кадров интервал. Форматът на кадъра за заявка съвпада с кадъра за данни за стандартен или разширен формат с две изключения:

- В поле RTR се поставя "recessive" вместо "dominant";
- Липсва поле за данни.

6.1.5. Арбитраж при предаване на данни

При свободна шина всеки възел може да започне да предава във всеки момент. В случай на едновременно предаване на кадри от два или повече възела се прави арбитраж на предаването (фиг. 6.8).



Фиг. 6.8. Състояние на "арбитраж" при предаване на информация

Приоритетът се предава със съобщение съдържащо 11-битов идентификатор на устройството (адрес на устройството). Идентификаторът с най-малка двоична стойност има най-голям приоритет. Приоритетът се задава по време на проектирането на мрежата и не може да се променя динамично. Конфликтът при достъп към шината се разрешава посредством поразрядно сравняване на идентификатора, присвоен на всяка станция. На фиг. 6.8 е показан пример илюстриращ описаната процедура. В дадения пример три CAN-възела искат да предадат своите данни. По този начин за разлика от Ethernet в CAN не се допуска загуба на пакети и създаването на колизии Съществен недостатък на протокола е, че позволява при определени условия съобщенията с нисък приоритет да не бъдат изпратени.

6.1.6. Контрол на грешката

CAN има няколко механизъма за контрол и предотвратяване на грешка:

- **Контрол на предаването**: при предаване на битовото ниво в мрежата се сравнява с предаваните битове;
- **Допълващ бит (bit stuffing)**: след последователно предаване на пет еднакви бита автоматично се предава бит с противоположно значение. По

този начин се кодират всички полета на кадъра за данни и заявки освен разграничителя на контролната сума, промеждутъка между кадрите EOF;

- **Контролна сума**: предавателя я изчислява и добавя в предавания кадър, приемника прочита контролната схема в реално време изчислява контролната сума за приетия кадър и ги сравнява;
- **Контролна стойност на полето при приемане**.

6.1.7. Скорост на предаване и дължина на мрежата

Диапазон на скоростта

Всички възли в мрежата трябва да работят с еднаква скорост. Стандартът CAN не определя скоростта на работа, но повечето вградени системи използват плавно изменение на скоростта от 20 KBit/sec до 1 MBit/sec. Съществуват и решения, работещи много над този диапазон.

Пределна дължина на мрежата

Показания по-горе метод за контрол на грешката изисква той да бъде разпространен в цялата мрежа до момента на изчисляването му. Това задава и максималната дължина на мрежата. Колкото по-висока е скоростта на предаване, толкова по-малка е дължината на мрежата. Например, за мрежа от стандарта ISO 11898 пределната дължина съответства приблизително на:

- 1 MBit/sec 40 m;
- 500 KBit/sec 100 m;
- 125 KBit/sec 500 m;
- 10 KBit/sec 5000 m.

6.1.8. Протоколи от високо ниво

Базовата спецификации CAN не предоставя много възможности, необходими в реалните системи като: предаване на данни с дължина по-голяма от 8 байта, автоматично разпределение на идентификаторите между възлите, еднообразно управление на устройства от различен тип и производителност. Поради това след появата на CAN започва да се разработват модификации на протоколи от високо ниво като:

- CANopen;
- DeviceNet;
- CAN Kingdom;
- J1939;

- SDS.

6.1.9. Предимства на CAN

- Възможност за работа в режим на твърдо реално време;
- Простота на реализация и минимални експлоатационни разходи;
- Високо устойчивост към смущения;
- Арбитраж на достъпа в мрежата без загуба на пропускателна способност;
- Надежден контрол на грешката при предаване и приемане;
- Широк диапазон на работната скорост;
- Голямо разпространение в широк асортимент от устройства.

6.1.10. Недостатъци на CAN

- Максималната дължина на мрежата е обратно пропорционална на скоростта на предаване;
- Голям размер на служебните данни в пакета (по отношение към полезните данни);
- Липсва единен общоприет стандарт на протоколите от високо ниво.

Стандартната мрежа предоставя широки възможности за практическо сигурно предаване на данни между възлите.

В следващите таблици са показани най-често използваните конектори и съответствието на пиновете при осъществяване на връзка.

9 Pin (male) D-Sub CAN Bus PinOut		
Pin #	**Signal Names**	**Signal Description**
1	Reserved	Upgrade Path
2	CAN_L	Dominant Low
3	CAN_GND	Ground
4	Reserved	Upgrade Path
5	CAN_SHLD	Shield, Optional
6	GND	Ground, Optional
7	CAN_H	Dominant High
8	Reserved	Upgrade Path
9	CAN_V+	Power, Optional

10-Pin Header CAN Bus PinOut		
Pin #	**Signal Names**	**Signal Description**
1	Reserved	Upgrade Path
2	GND	Ground, Optional
3	CAN_L	Dominant Low
4	CAN_H	Dominant High
5	CAN_GND	Ground
6	Reserved	Upgrade Path
7	Reserved	Upgrade Path
8	CAN_V+	Power, Optional
6	Reserved	Upgrade Path
7	Reserved	Upgrade Path

7-Pin Open Style CAN Bus PinOut		
Pin #	**Signal Names**	**Signal Description**
1	CAN_GND	Ground
2	CAN_L	Dominant Low
3	CAN_SHLD	Shield, Optional
4	CAN_H	Dominant High
5	CAN_V+	Power, Optional

5-Pin Micro/Mini CAN Bus PinOut		
Pin #	**Signal Names**	**Signal Description**
1	CAN_SHLD	Shield, Optional
2	CAN_V+	Power, Optional
3	CAN_GND	Ground
4	CAN_H	Dominant High
5	CAN_L	Dominant Low

RJ10, RJ45 CAN Bus PinOut			
RJ45 Pin #	**RJ10 Pin #**	**Signal Name**	**Signal Description**
1	**2**	CAN_H	Dominant High
2	**3**	CAN_L	Dominant Low
3	**4**	CAN_GND	Ground
4	-	Reserved	Upgrade Path
5	-	Reserved	Upgrade Path
6	-	CAN_SHLD	CAN Shield, Optional
7	-	CAN_GND	Ground
8	**1**	CAN_V+	Power, Optional

CAN Bus I/O Characteristics	
CANbus Signal Type	Digital Interface
Output Voltage (High)	V_{OH} +4 volts min, +5.5 volts max
Output Voltage (Low)	V_{OL} +0 volts min, +1.5 volts max
Output Voltage	+16 volts (Absolute Max)
Output Current	100mA
Impedance	124 ohm termination between +/- terminals
Circuit Type	Differential
Bit Times	1uS @ 1Mb/s; 2uS @ 5Mb/s; 4uS @ 25Mb/s
Encoding Format	Non-Return-to-Zero (NRZ)
Transmit/Receive Frequency	1Mb/s @ 40 meters
Topology	Point-to-Point
Medium	Shielded Twisted Pair (STP) @ 9 pin D-Sub
Access Control	Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detect (CSMA/CD). Non-destructive bit wise arbitration

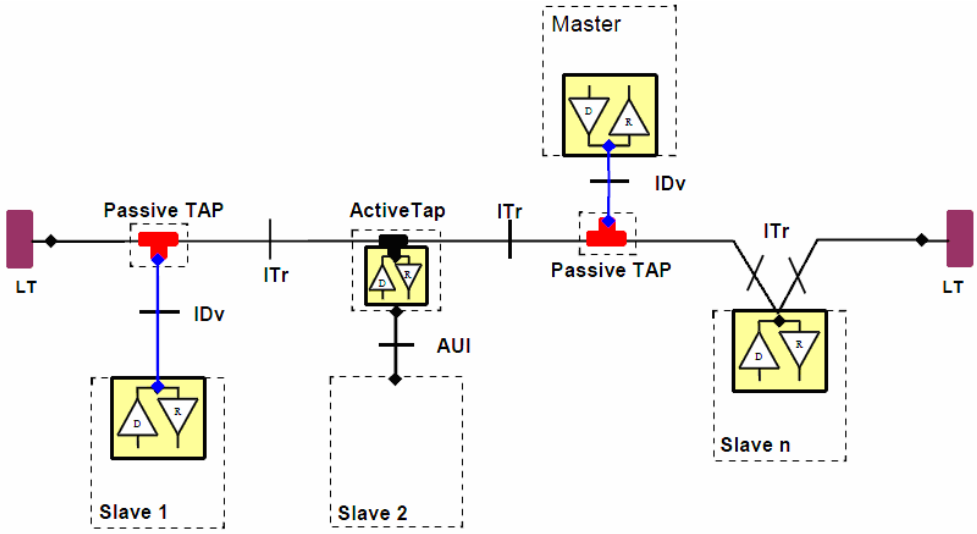
Round Style CAN Bus PinOut				
9-Pin #	**8-Pin #**	**7-Pin #**	**Signal Names**	**Signal Description**
1	**3**	**3**	CAN_H	Dominant High
2	**4**	**4**	CAN_L	Dominant Low
3	**5**	**2**	CAN_GND	Ground
4	**6**	-	-	Reserved
5	**7**	-	-	Reserved
6	**8**	-	-	Reserved
7	**1**	**1**	CAN_V+	Power, Optional
8	**2**	-	GND	Ground
9	-	-	-	Reserved
-	-	**5**	DIL-1	DIP Switch 1 connected to CAN_V+
-	-	**6**	DIL-2	DIP Switch 2 connected to CAN_V+
-	-	**7**	DIL-3	DIP Switch 3 connected to CAN_V+

9/12-Pin Round Flange Style CAN Bus PinOut			
12-Pin #	**9-Pin #**	**Signal Names**	**Signal Description**
1	-	-	Reserved
2	**7**	CAN_L	Dominant Low
3	**8**	CAN_GND	Ground
4	**9**	-	Reserved
5	-	-	Reserved
6	-	-	Reserved
7	**2**	CAN_H	Dominant High
8	-	-	Not Used
9	-	-	Reserved
10	-	GND	Ground, Optional
11	-	-	Reserved
12	**1**	CAN_V+	Power, Optional
-	**3**	DIL-1	DIP Switch 1 connected to CAN_V+
-	**4**	DIL-2	DIP Switch 2 connected to CAN_V+
-	**5**	DIL-3	DIP Switch 3 connected to CAN_V+
-	**6**	DIL-4	DIP Switch 4 connected to CAN_V+

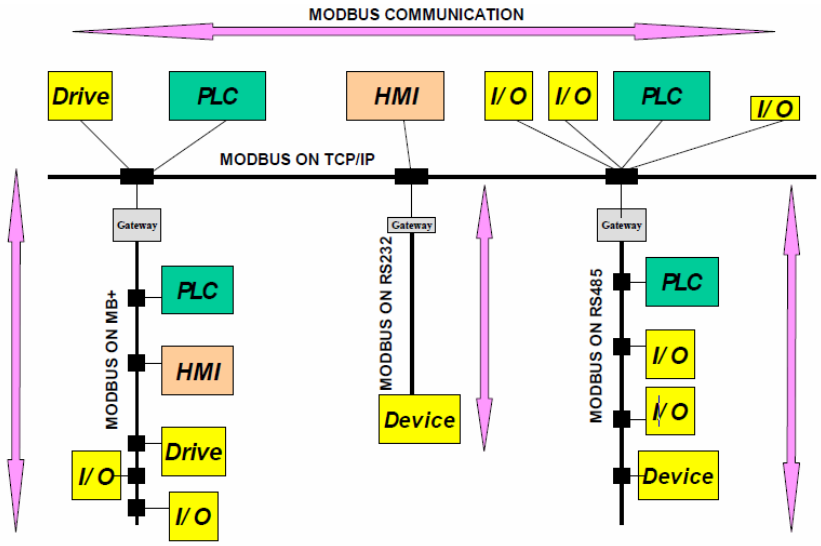
6.2. Modbus комуникационен протокол

6.2.1. Описание на протокола

Modbus комуникационния протокол е базиран на архитектурата "клиент-сървър". Той намира широко приложение в промишлеността за осъществяване на връзка между контролери. Данните се предават по серийни канали, като RS-485, RS-422, RS-232 (фиг. 6.9), или по TCP/IP (Modbus TCP) (фиг. 6.10).



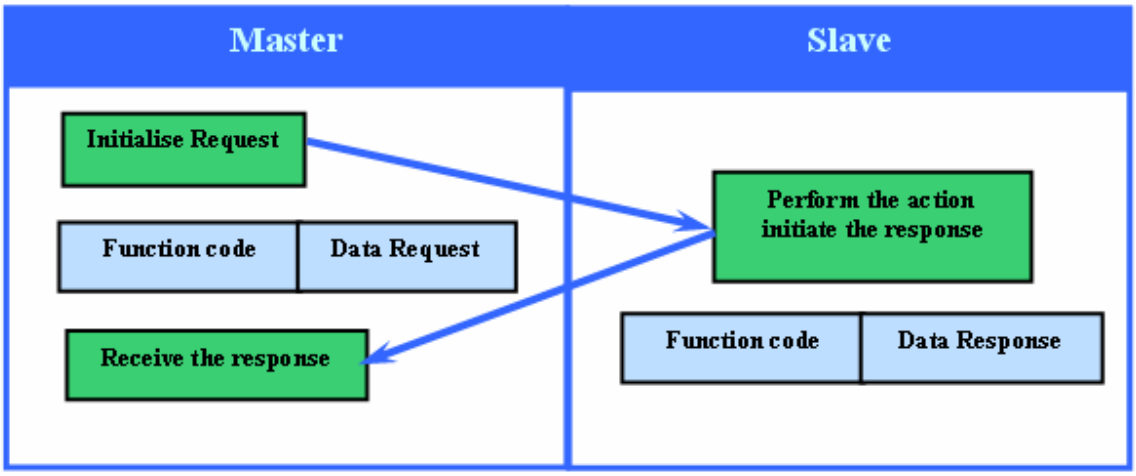
Фиг. 6.9. Инфраструктура на серийна MODBUS система



Фиг. 6.10. Инфраструктура на Modbus TCP система

Modbus се отнася към протоколите от приложно ниво на мрежовия модел OSI. Контролерите взаимодействащи по Modbus използват клиент-сървър модел, основаващ се на транзакции, състоящи се от заявки и отговори.

Обикновено в мрежата има само един главен клиент (master) и няколко подчинени клиенти (slaves). Главното устройство инициализира транзакциите (заявките за комуникация). Подчинените устройства връщат на главното устройство изискваната информация. Главното устройство може да адресира индивидуално подчинените устройства или да адресира група от подчинени устройства. Подчиненото устройство формира съобщение и връща отговор на главното устройство ~~на адресанта именно него~~. При получаване на пакетна заявка не се формира отговор.



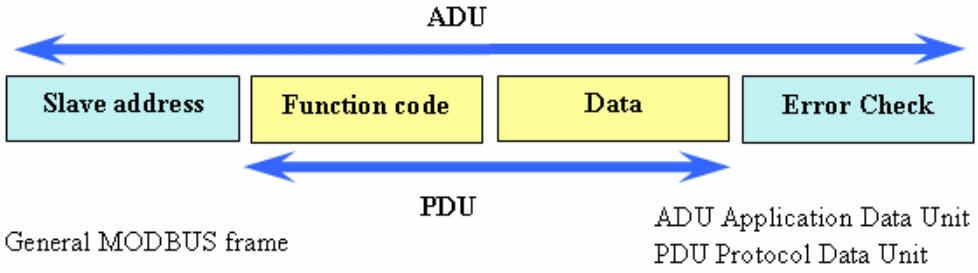
Фиг. 6.11. Комуникация master-slave

6.2.2. Формат на кадъра

Спецификацията Modbus описва структурата на заявките и отговорите. Те са в основата на елементарния пакетен протокол наречен PDU (Protocol Data Unit). Структурата на PDU не зависи от типа на линията за връзка и включва **код на функция** и **поле с данни**. Кодът на функцията се кодира в еднобайтово поле и може да приема стойност в диапазона 1ч127. Диапазонът от 128ч255 е резервиран за код на грешка. Полето с данни е с променлива дължина. Размерът на пакета PDU е ограничен до 253 байта.

Modbus PDU	
№ функция	Данни
1 байт	N < 253 (байт)

За предаване на пакета по физическата линията за връзки PDU помества в друг пакет съдържанието на две допълнителни полета. Този пакет се нарича ADU (Application Data Unit). Форматът на ADU зависи от типа на линията за връзка.



Фиг. 6.12. Основен MODBUS пакет

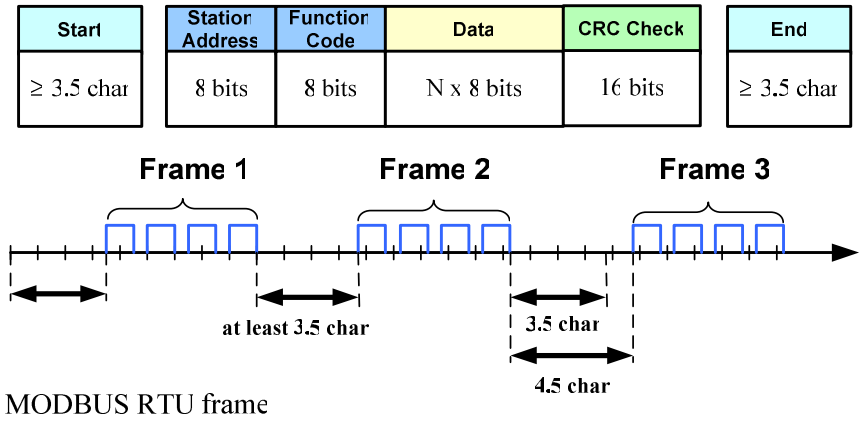
Съществуват три основни реализации на протокола Modbus, два за предаване на данни по последователен интерфейс, за модем EIA/TIA-232-E (RS-232), EIA-422, EIA/TIA-485-A (RS-485), оптична и радио връзка:

- Modbus RTU;
- Modbus ASCII.

и за предаване на данни по Ethernet:

- Modbus TCP.

Общата структура ADU е следната (фиг. 6.13):



Фиг. 6.13. Структура на Application Data Unit

Структурата включва следните полета:

- **Station address** – адрес на подчиненото устройство, към което е адресиран записа. Всяко устройство отговаря само на един адрес. Отговорът също така започва с адреса на подчиненото устройство. Адресите на устройствата са от 1 до 247. Адрес 0 се използва за пакетна адресация и го разпознават всички устройства, адресите в диапазона 248÷255 са резервирани;
- **Function code** – еднобайтово поле, в което се задава командата за изпълнение;
- **Data** – полето съдържа информация, необходима на устройството за да изпълни командата зададена от master устройството или изискваната информация при връщане на отговор. Дължината на формата зависи от номера на функцията и варира в интервала 0÷252 байта;
- **Error Check (CRC Check)** – контролна сума за проверка наличието на грешка в кадъра. При предаване по линията първо се записва младшия байт на контролната сума.

Максималния размер на ADU за последователна мрежа RS232/RS485 е 256 байта, за TCP мрежа е 260 байта.

Информационния кадър за Modbus ASCII има формата от фиг. 6.14:

Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

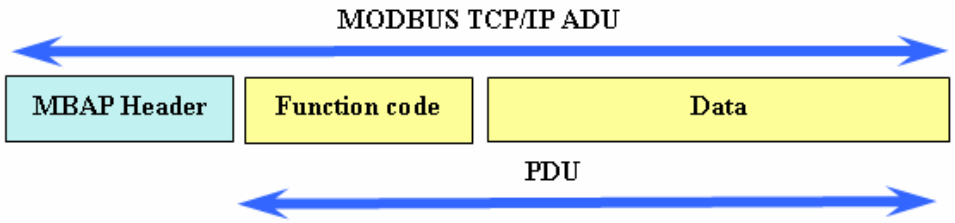
Фиг. 6.14. Информационен кадър за Modbus ASCII

Предназначението на отделните полета е дадено в таблица 6.1.

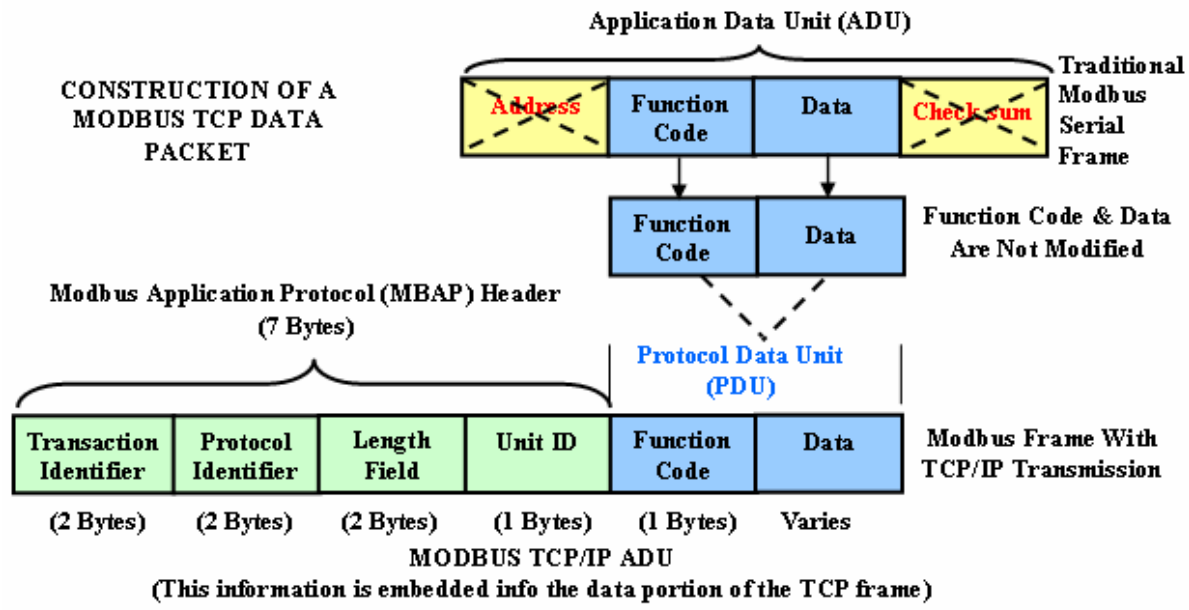
Таблица 6.1. Предназначение на полетата в Modbus ASCII кадъра

Name	Length	Function
Start	1 char	Starts with colon (:) (ASCII value is 3A hex)
Address	2 chars	Station Address
Function	2 chars	Indicates the function codes like read coils / inputs
Data	n chars	Data + length will be filled depending on the message type
LRC Check	2 chars	Error checks
End	2 chars	Carriage return line feed (CRLF) pair (ASCII values of 0D & 0A hex)

Информационния кадър за TCP Modbus има следния вид (фиг. 6.15 и 6.16):



Фиг. 6.15. Информационен кадър за TCP Modbus



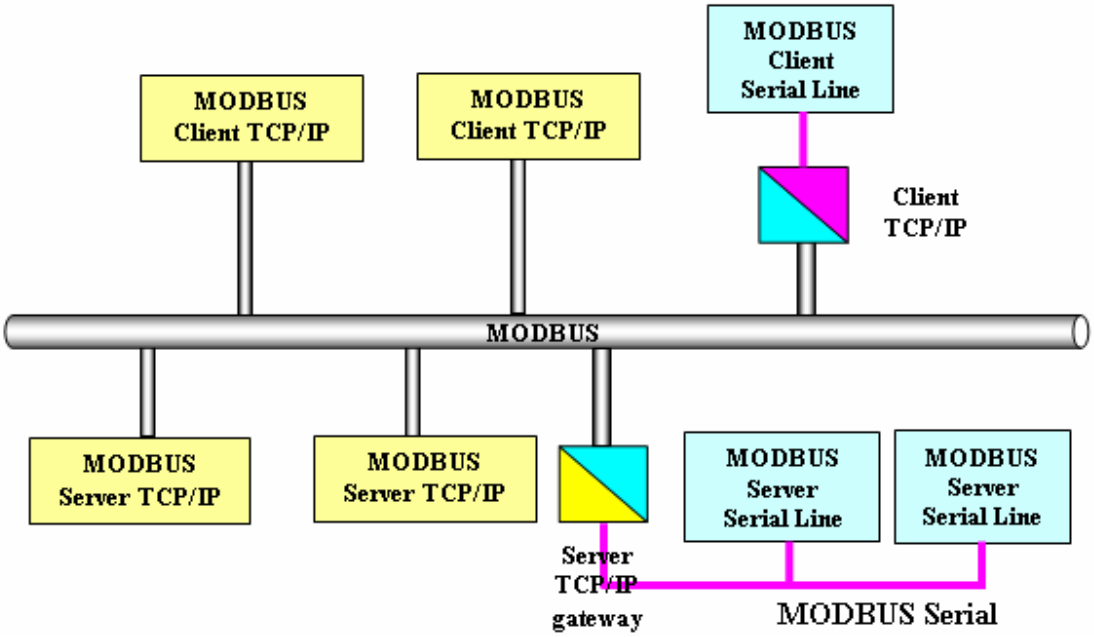
Фиг. 6.16. Информационен кадър за TCP/IP Modbus

Информационният кадър включва следните полета:

- **Transaction ID** – два байта идентификационен номер на транзакция;
- **Protocol ID** – два байта идентификационен номер на протокола;
- **Length** – два байта съдържащи дължината на предаваните данни;
- **Unit ID** – адрес на устройството, към което е адресирано запитването. Обикновено UnitID не се използва, при обмен с едно устройство.

В TCP Modbus няма поле за контролна сума.

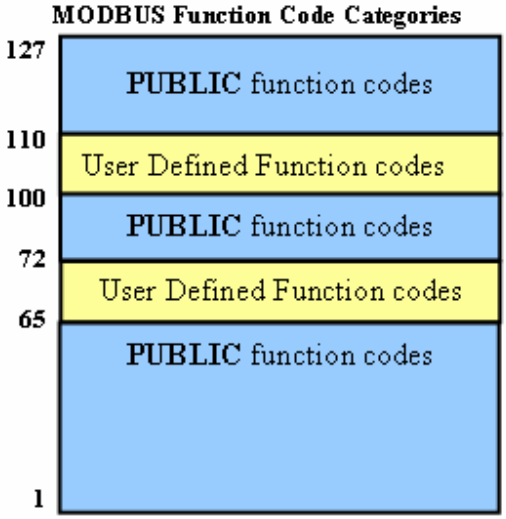
MODBUS TCP/IP комуникационна архитектура е показана на фиг.6.17.



Фиг. 6.17. MODBUS TCP/IP комуникационна архитектура

6.2.3. Категории кодове на функции

В съществуващите в момента протоколи има три категории функции: Стандартни команди, Потребителски команди и Резервирани команди (фиг. 6.18).



Фиг. 6.18. Разпределение на функциите по категории в MODBUS

6.2.4. Стандартни команди

Тяхното описание трябва да бъде публикувано и утвърдено от Modbus-IDA. Тази категория включва вече определени, така също и свободни кодове (Таблица 6.2).

Таблица 6.2. Стандартни команди в Modbus

№ на функция	запитване/отговор					
1 (0x01) **Read Coil Statu**	A_1	A_0	Q_1	Q_0		
	N	D (N байт)				
2 (0x02) Read Discrete Inputs	A_1	A_0	Q_1	Q_0		
	N	D (N байт)				
3 (0x03) Read Holding Registers	A_1	A_0	Q_1	Q_0		
	N	D (N байт)				
4 (0x04) Read Input Registers	A_1	A_0	Q_1	Q_0		
	N	D (N байт)				
5 (0x05) Force Single Coil	A_1	A_0	D_1	D_0		
	A_1	A_0	D_1	D_0		
6 (0x06) Preset Single Register	A_1	A_0	D_1	D_0		
	A_1	A_0	D_1	D_0		
15 (0x0F) Force Multiple Coils	A_1	A_0	Q_1	Q_0	N	D (N байт)
	A_1	A_0	Q_1	Q_0		
16 (0x10) Preset Multiple Registers	A_1	A_0	Q_1	Q_0	N	D (N байт)
	A_1	A_0	Q_1	Q_0		

- **A_1** и **A_0** — адрес на елемента,
- **Q_1** и **Q_0** — брой елементи,
- **N** — брой байтове от данни
- **D** — данни

Четене на данни

За четене на стойности се използват команди със стойности от 1 до 4.

- **1 (0x01)** *(Read Coil Status)* – връща стойността на няколко регистри на състоянието;
- **2 (0x02)** *(Read Discrete Inputs)* – връща стойността на няколко дискретни входа;
- **3 (0x03)** *(Read Holding Registers)* – връща стойността на регистри за временно съхраняване на информацията;

- **4 (0x04)** *(Read Input Registers)* – връща стойността от някой входни регистри.

Заявката се състои от адреса на първият елемент от таблицата, стойността, на която трябва да се прочете и броят на елементите за четене. Адресът и размера данни се задават в 16-битово число.

В отговора се получават заявените данни. Данните се предхождат от един байт, съдържащ размера на предаваните данни.

Таблица 6.3. Sub-function code

Sub-function code		Name
Hex	Dec	
00	00	Return Query Data
01	01	Restart Communications Option
02	02	Return Diagnostic Register
03	03	Change ASCII Input Delimiter
04	04	Force Listen Only Mode
J	05..09	RESERVED
0A	10	Clear Counters and Diagnostic Register
0B	11	Return Bus Message Count
0C	12	Return Bus Communication Error Count
0D	13	Return Bus Exception Error Count
0E	14	Return Slave Message Count
0F	15	Return Slave No Response Count
10	16	Return Slave NAK Count
11	17	Return Slave Busy Count
12	18	Return Bus Character Overrun Count
13	19	RESERVED
14	20	Clear Overrun Counter and Flag
N.A	21...65535	RESERVED

6.2.5. Потребителски команди

Поместени са в два диапазона от кодове (65 ÷ 72 и 100 ÷ 110), в които може да се реализират произволни функции. При това не се гарантира, че

друго устройство няма да използва тези команди за реализиране на други функции.

6.2.6. Резервирани команди

Тази категория входни кодове на функции, не са стандартни, но вече се използват в устройствата, произвеждани от различни компании. Тези кодове са 9, 10, 13, 14, 41, 42, 90, 91, 125, 126 и 127.

6.2.7. Модел на данните

Една от стандартните дейности изпълнявани с протокола е четене и писане на данни в регистрите на контролерите. Спецификацията на протокола определя четири таблици от данни показани в таблица 6.4.

Таблица 6.4. Таблици от данни в Motbus

Primary tables	Object type	Type of operation	Comments
Discretes Input	Single bit	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system.
Coils	Single bit	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.
Input Registers	16-bit word	Read-Only	This type of data can be provided by an I/O system
Holding Registers	16-bit word	Read-Write	This type of data can be alterable by an application program.

Достъпът до елементите във всяка таблица се осъществява с помощта на 16 битов адрес и първата клетка съответства на адрес 0. По този начин всяка таблица може да съдържа до 65536 елемента. Спецификацията не определя физическата дължина на елементите от таблицата и на какъв вътрешен адрес те отговарят. Например, допустимо е да се организират препокриващи се таблици. В този случай командите работещи с дискретни данни и с 16-битови регистри фактически ще се обръщат към едни и същи данни.

Трябва да се отбележи, че метода на адресиране води до известно объркване. Modbus първоначално е разработен за контролерите на Modicon. В тези контролери за всяка от таблиците се използва специална номерация. Например, първия входен регистър съответства на номер на клетка 30001, а

първия **Регистър за временно съхраняване на информацията** – 40001. По този начин **Регистърът за временно съхраняване на информацията** с адрес 107 в командата на Modbus съответства на регистър № 40108 от контролера. Вече това съответствие на адресите не е част от стандарта и някой програмни пакети могат автоматично да "коригират" въведените от потребителя адреси, например при прочитане на стойност 40001 от **Регистърът за временно съхраняване на информацията.**

6.2.8. Контрол на грешката в протокола Modbus RTU

По време на обмена на данни могат да възникнат два вида грешки:

- Грешка свързана с изкривяване на информацията при предаване на данни;
- Логически грешки.

Грешки от първия тип се откриват с помощта на фреймов символ, контрол по четност и циклична контролна сума CRC-16-IBM (използва се числов полином = 0xA001).

За откриването на грешки от втория тип протоколът Modbus RTU предполага, че устройството може да е пропуснало отговора или в отговора се съдържа код за грешка. Признак за това, че отговора съдържа съобщение за грешка е установяването на старшия бит в кода на командата. За откриване на логическа грешка Modbus процедира по следната схема:

- Ако Slave е приел коректна заявка и може нормално да я обработи тогава той връща нормален отговор;
- Ако Slave не е приел някоя стойност не се генерира отговор. Тогава Master диагностицира грешка по таймаут;
- Ако Slave е приел заявката, но е открил грешка (parity, LRC или CRC), не се генерира отговор. Тогава Master диагностицира грешка по таймаут;
- Ако Slave е приел заявката, но по някаква причина не може да я обработи, се генерира отговор указващ вида на грешката.

Таблица 6.5. Кадър на отговора (Slave→Master) при възникване на грешки в Modbus RTU

Направление на предаване	Адрес на под-чиненото уст-ройства	Номер на функцията	Данни (или код на грешка)	CRC
Заявка (Master→Slave)	0x01	0x77	0xDD	0xC7 0xA9
Отговор (Slave→Master)	0x01	0xF7	0xEE	0xE6 0x7C

Таблица 6.6. Стандартни кодове за грешка в MODBUS протокола

Error #	Error Message
0	No Errors
1	Illegal Funct ion
2	Illegal Data Address
3	Illegal Data Value
4	Master -Time Out
5	No Communicat ion
6	Mismatched Unit ID
7	Mismatched Command
8	Length of message
9	Funct ion not suppor ted
10	Illegal format
11	Mismatched received data

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ШЕСТА ГЛАВА

1. В CAN системите информацията се предава и приема:
   a) Побитово;
   b) Побайтово;
   c) Във форма на пакет;
   d) Побитово или по байтово според желанието на потребителя;
   e) Няма верен отговор.

2. В CAN протокола са включени кадрите:
    a) Кадър данни (data frame);
    b) Кадър заявка за предаване (remote frame);
    c) Кадър потвърждение на заявката (acknowledge frame)
    d) Кадър за препълване (overload frame);
    e) Кадър за грешка (error frame).

3. Кои от изброените протоколи представляват модификация на CANBUS протокола?
    a) CANopen;
    b) DeviceNet;
    c) CAN Kingdom;
    d) J1939;
    e) SDS.
4. Груповите съобщения в мрежата Modbus се използва за пакетна адресация и имат адрес:
    a) 0;
    b) 1;
    c) 126;
    d) 127;
    e) 255.

5. Modbus кадъра включва:
    a) Стартово поле;
    b) Адрес на получателя;
    c) Адрес на подателя;
    d) Номер на функция;
    e) Поле с данни.

Индустриални мрежи от ниво "управление". Мрежова спецификация ControlNet

7.1. Индустриални мрежи от ниво „управление”

Индустриалните мрежи от ниво „управление” заемат важно място в структурата на САУМК. Те са второ ниво от йерархията в индустриалното управление и са пресечна точка за изискванията към съседните две нива. На това ниво се извършва управлението на процесите в реално време, конфигуриране, взаимодействат си различни типове контролери, персонални компютри, операторски станции, устройства за диагностика и програмиране. Тук информационният поток се състои главно в обмен на програми, параметри, данни и управляваща информация за контролерите. В процесите с кратки времена за престой на машините това се извършва през време на производствения процес, без той да бъде прекъсван. При контролерите с ограничена оперативна памет е необходимо да се зареждат подпрограми през време на един производствен цикъл, което определя необходимостта от синхронизация. Комуникацията при ниво „управление” е интензивна, с малки и средни по големина пакети и при по-високи изисквания за достоверност, шумоустойчивост и предсказуемост. Тези особености се дължат на това, че по-голямата част от предаваните данни са предназначени за управление на процеси в реално време. Ниво „управление” обединява функциите за обмен на входно-изходни данни и peer-to-peer връзките между отделните програмируеми контролери, децентрализирани системи за управление и компютърни системи, използвани като интерфейс човек-машина (HMI – Human Machine Interface), архиви на минали събития, и мониторинг (Supervisory Control). По този начин се осигурява висока скорост на предаване, като всички устройства имат пряк достъп до информацията. Освен това в мрежите от това ниво могат да се включвани множество контури и дискретни управляващи структури за логическо управление, сигнализация и блокировка. Това дава възможност за значително съкращаване на кабелните връзки и взаимозаменяемост на функционалните блокове, произвеждани от различни производители в рамките на един и същи стандарт.

Мрежите са базирани на комуникационния механизъм производител-консуматор. Това осигурява пълноценно използване на мрежовата среда и намаляване на мрежовия трафик, тъй като данните се предават еднократно и всички възли могат да използват съобщението, като това не зависи от броя на консуматорите. Възможно е да се включват нови устройства, без да се нарушава синхронизацията на мрежата и данните да се изпращат едновременно до всички точки.

Други характерни особености на мрежите от ниво "управление" са:

- Детерминизъм на мрежовата комуникация;
- Поддържане на висока скорост на предаване на данните (5-12 Mbit/s);
- Гъвкаво управление на входно-изходните данни;
- Опростено програмиране и автоматично мрежово конфигуриране;
- Използване на входно-изходни устройства и програмируеми логически контролери от различни производители.

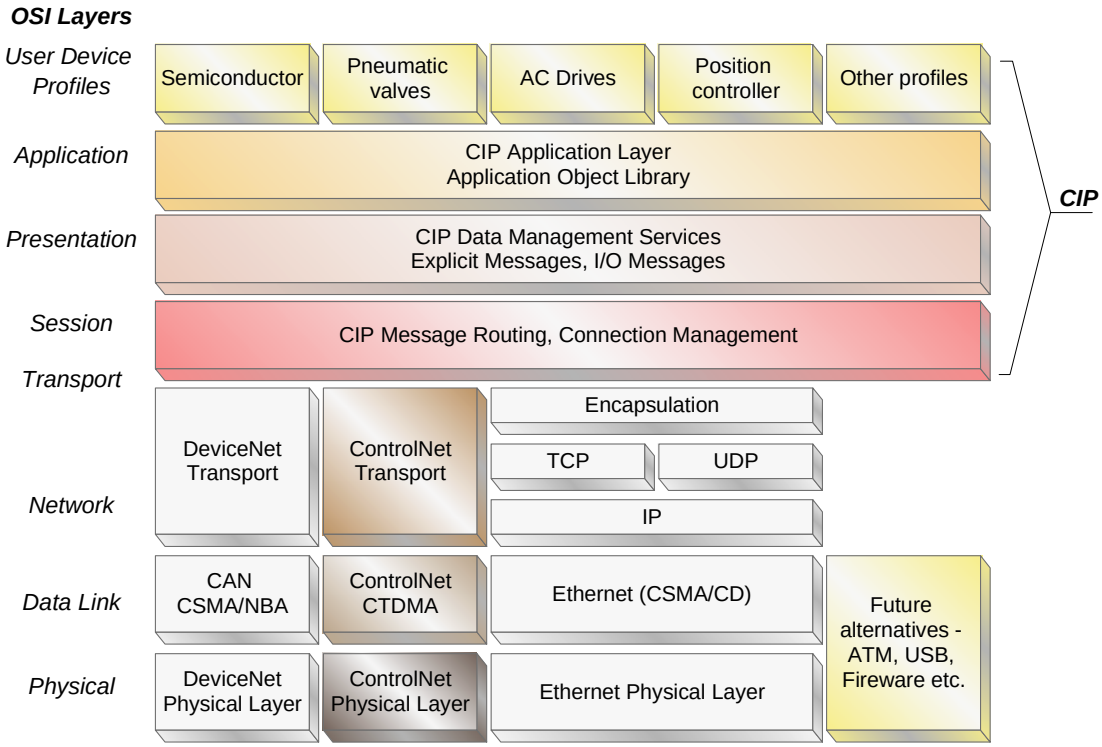
Индустриалните мрежи от ниво „управление” намират приложение при изграждане на отворени системи за управление тъй като предлагат гъвкави решения в процеса на инсталиране и работа. Като примерни спецификации могат да се отбележат ControlNet и Profibus, както и все по-често използвания напоследък Ethernet/IP.

7.2. Мрежова спецификация ControlNet

Мрежовата спецификация ControlNet е проектирана за да покрие изискванията на САУМК на ниво „управление” и за високоскоростни приложения за работа в реално време. ControlNet е отворен комуникационен протокол и като DeviceNet е приложение на протокола Common Industrial Protocol (CIP). До 2008 година ControlNet се поддържа от организацията ControlNet International, обединяваща търговци, дистрибутори и потребители на технологията ControlNet. След 2008 година тази задача е поета от Open DeviceNet Vendors Association (ODVA). На фигура 7.1 е показана връзката между CIP, ControlNet и OSI модела. Спецификацията ControlNet използва метод Concurrent Time Domain Multiple Access (CTDMA), при който устройствата предават данни във всеки мрежов интервал и мрежовия трафик е строго детерминиран и има точно разпределение във времето.

Физическото ниво на ControlNet използва коаксиален кабел от тип RG-6 (с дължина на сегмента до 1000 m) и BNC съединители. Така инсталациите

използват достъпна от много производители технология за различни приложения. Прилагат се и оптични кабели за увеличаване на максималната дължина на сегментите (до 30 km в зависимост от вида на използваните оптични влакна) и защита от електромагнитни смущения. Скоростта на предаване на данните е 5Mbps и се използва кодиране на битовете от тип Manchester.



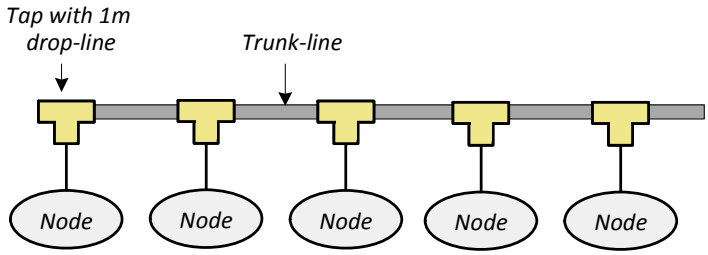
Фиг. 7.1. Връзка между CIP, ControlNet и OSI

Пакетите включват и 16 битово поле за допълнително откриване на грешки. Спецификацията поддържа т.нар. горещо резервиране на линията. При него устройствата в мрежата са свързани посредством два кабела и непрекъснато прослушват сигнала. Използва се тази връзка, при която сигнала е по-качествен.

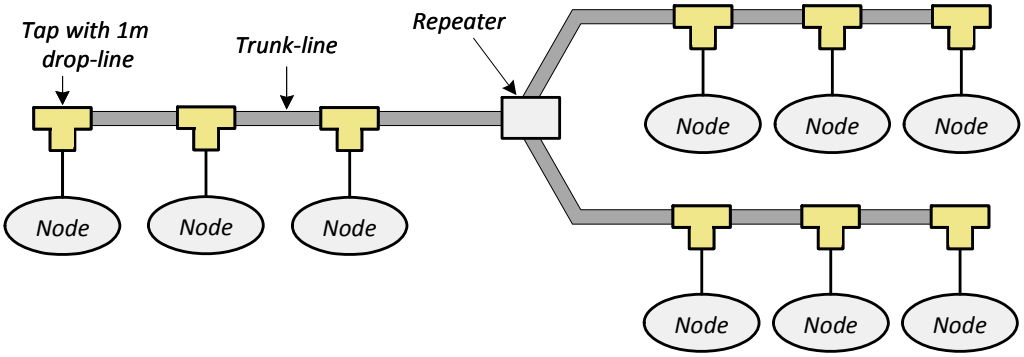
ControlNet е подходяща за приложения, изискващи детерминизъм, производителност, голям обем данни, пренос на входно-изходни данни на големи разстояния и синхронизирано управление. ControlNet мрежите намират приложение в системи за управление на съгласувано електрозадвижване, процеси с голямо обем данни и голям брой логически контролери и човеко-машинни интерфейси.

7.3. Топология на мрежите ControlNet

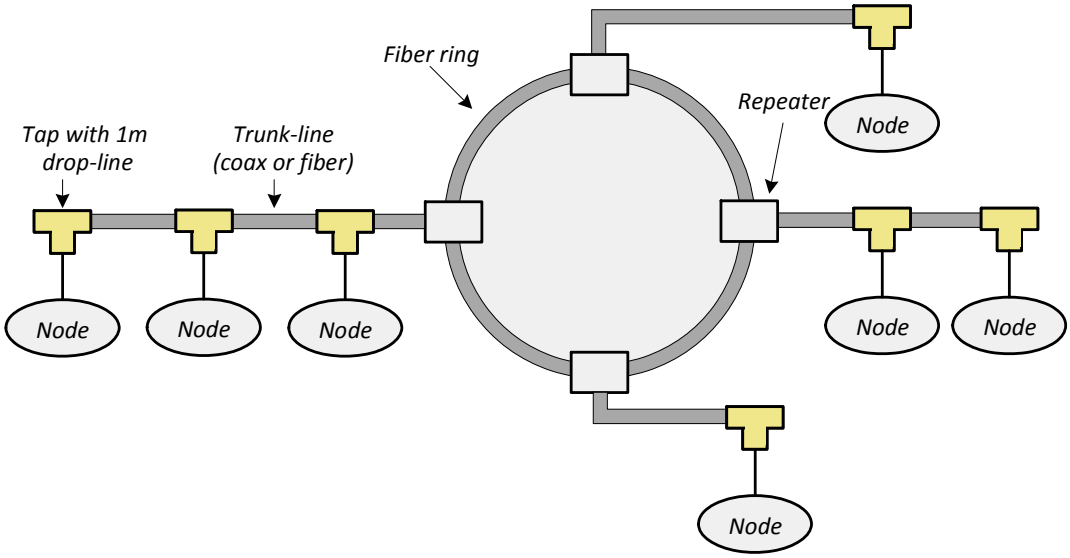
Мрежите ControlNet поддържат различни топологии, включително линейна, дървовидна, пръстен и комбинации от тях. В най-общия случай, ControlNet наема магистралната линия (trunk-line), към която чрез отклонения (drop-lines) с дължина до един метър и Tap-устройства се свързват отделните възли (nodes). Адресите на отделните възли в ControlNet мрежите са в обхвата от 0 до 99. Обикновено работната дължина с два възела е 1000 m, с 48 възела е 250 м и до 25 km, в случай че се включат повторители (Repeater) и свържат няколко мрежови сегмента. На фигури 7.2, 7.3 и 7.4 са показани някои от най-често използваните топологии при ControlNet.



Фиг. 7.2. Примерна линейна структура на мрежа ControlNet



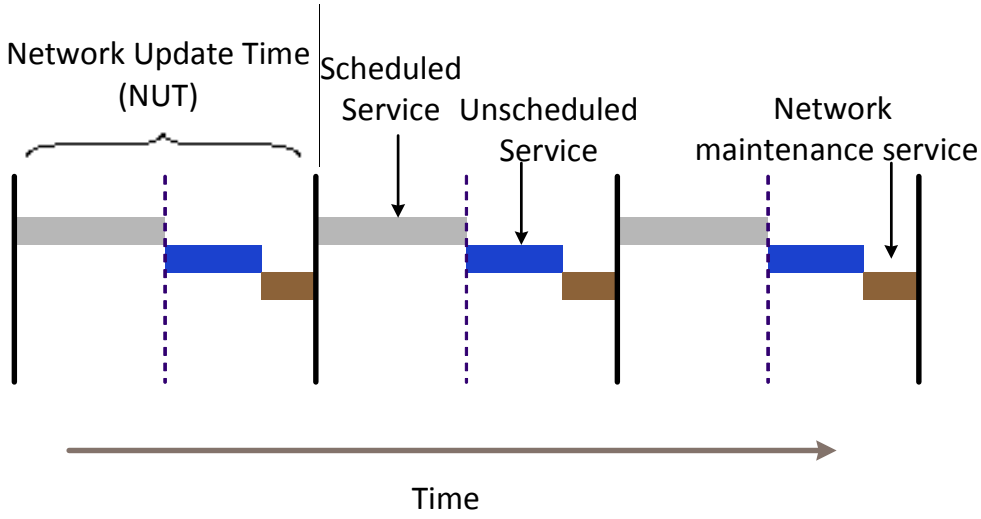
Фиг. 7.3. Примерна дървовидна структура на мрежа ControlNet



Фиг. 7.4. Примерна хибридна структура на мрежа ControlNet

В каналното ниво ControlNet използва метод CTDMA, при който абсолютното време се разделя на повтарящи се интервали – Network Update Time (NUT) (фиг. 7.5). Дължината на NUT може да се установи между 2 ms и 100 ms. Във всеки NUT времето за предаването е разпределено в следните три интервала:

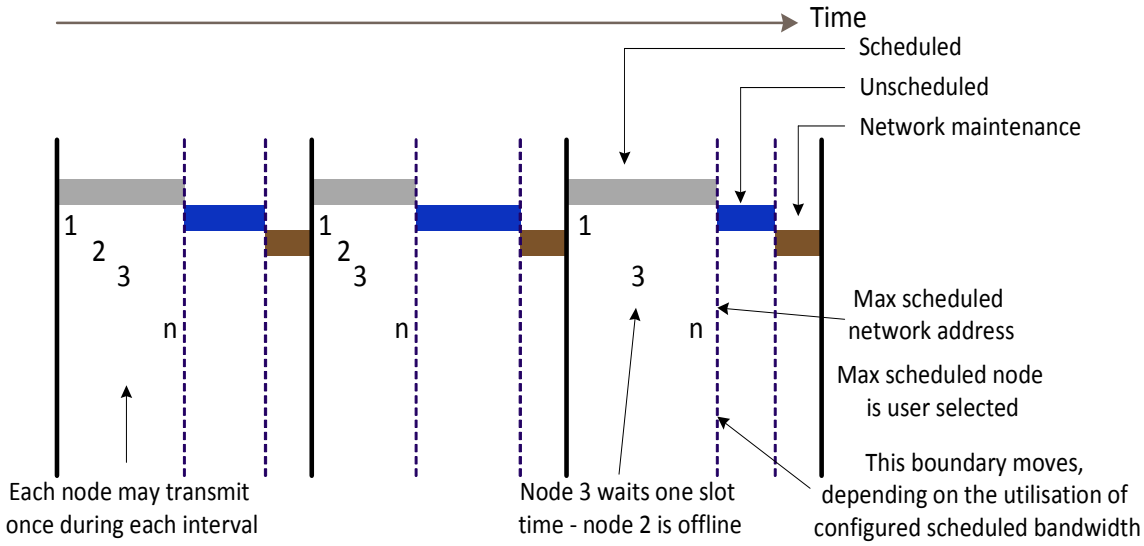
- *Резервиран* интервал (scheduled) – обслужва критични по време съобщения (scheduled service);
- *Свободен* интервал (unscheduled) – обслужва некритична по време информация (unscheduled service);
- *Защитен* интервал (служебен, guardband) – осигурява синхронизиране на мрежата (network maintenance service).



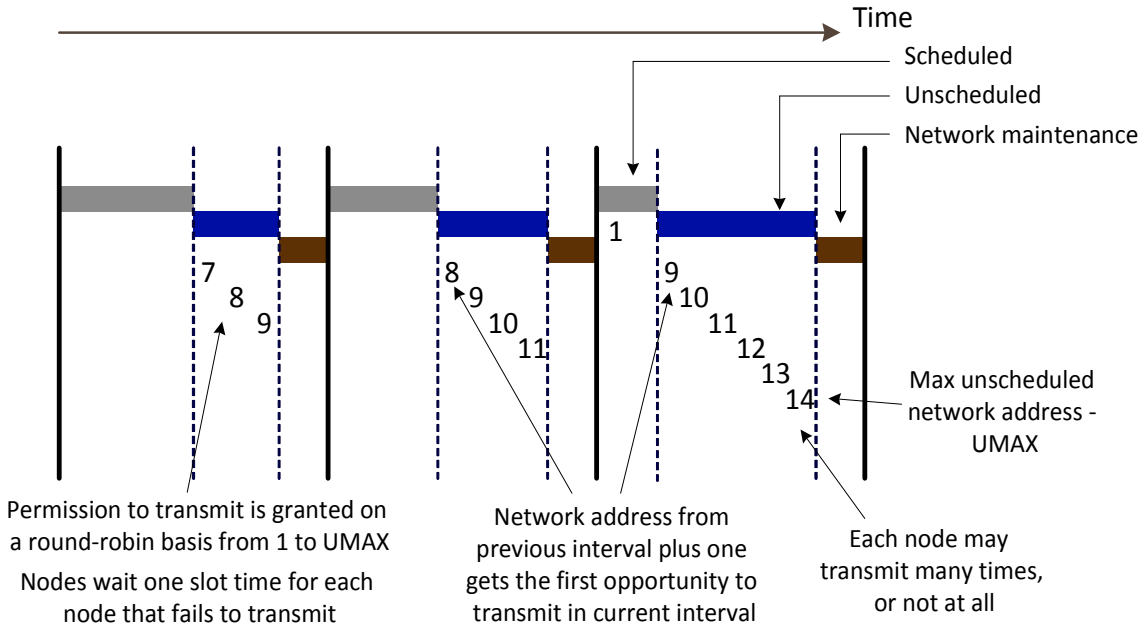
Фиг. 7.5. Метод за достъп до шината – CTDMA

Достъпът до шината използва ротационен алгоритъм с предаване на маркер във всеки NUT интервал. Всички възли са синхронизирани, по такъв начин, че очакват своя период от време за предаване на данните по мрежовата среда. Ротацията работи на кръгов принцип от най-малкия към най-големия конфигуриран възлов адрес (SMAX, UMAX) и стартира при всеки NUT интервал. В случай, че някой възел откаже достъп, то следващият възел с по-висок адрес (MAC ID) предава своите данни, след като изчака определено време (slot time). Когато отсъстващият възел отново се активира, той автоматично се синхронизира с реда на предаване, без да променя функционалността на мрежата. Ако даден възел няма данни за изпращане, то той предава къс кадър, който идентифицира неговата активност. В ControlNet се заделя определен период от време за възли, предаващи данни в реално време (фиг. 7.6). Този заделен (scheduled) интервал в рамките на всеки NUT се определя съобразно изискванията на приложението. Оставащото време за предаване се използва за обмен на некритични по време данни (фиг. 7.7). Този свободен (unscheduled) интервал не е запазен за отделни възли, а се използва при необходимост. Изпращаните данни в този интервал не влияят на комуникацията в резервирания интервал, но също имат максимално време на доставка. Преди края на NUT е заделен интервал от време – guardband, предназначен за синхронизиране на възлите. През този интервал от време възелът с най-малък адрес изпраща кадър с данни – moderator frame за син-

хронизиране на всички възли в мрежата. В този възел се съдържа специален обект – Keeper Object, който съхранява конфигурацията на цялата мрежа.



Фиг. 7.6. Обслужване на критични по време съобщения



Фиг. 7.7. Обслужване на некритични по време съобщения

ControlNet е много по-бърз и способен да предава по-голямо количество данни, отколкото DeviceNet. За тази цел ControlNet използва по-мощни про-

цесори от тези при DeviceNet, позволяващи достъп до голямо адресируемо пространство. Така много от ограниченията, присъщи на мрежите DeviceNet, не се прилагат за мрежите ControlNet.

7.4. Класове устройства в мрежите ControlNet

ControlNet поддържа четири различни класа устройства:

- *Explicit message servers* – устройства, които отговарят само на експлицитни (явни) съобщения;
- *I/O message servers* – известни още като адаптери, тези устройства веднъж установили I/O връзка могат да изпращат множество съобщения от различен характер;
- *Adapters with explicit message clients* – известни още като скенери, тези устройства включват функционалността на I/O client / server, и explicit message client / server.

7.5. Приложение на CIP в ControlNet

В по-горните мрежови слоеве ControlNet използва функционалността на CIP и така осигурява ефективно предаване на данни между устройствата, отколкото някои други мрежи работещи на по-висока скорост на предаване. Механизмите за комуникация могат да бъдат равноправни (peer-to-peer) или групови (multicast). Използването на различни транспортни класове позволяват откриване на дублиране, потвърждаване на приемането, а също и проверка и фрагментиране на съобщенията. Освен стандартните обекти, дефинирани в CIP, ControlNet използва още три допълнителни обекта:

- *ControlNet Object* – съдържа комуникационните параметри на връзката;
- *ControlNet Keeper Object* – съдържа информация относно структурата и конфигурацията на мрежата;
- *ControlNet Scheduling Object* – съдържа информация относно обслужване на критичните по време съобщения.

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ СЕДМА ГЛАВА

1. Кои са основните функции и особености на мрежите от ниво управление?
    a) Детерминизъм на мрежовата комуникация;
    b) Управление на устройства от един производител;
    c) Криптиране на данните, предназначени към полевото ниво;
    d) Управление на входно-изходните данни;
    e) Обмен на данни с крайни устройства.

2. С какво се характеризира мрежова спецификация ControlNet?
    a) Работа в реално време;
    b) Ниска скорост на предаване на данни;
    c) Използване на метод за достъп до шината – CSMA/CD;
    d) Използване на метод за достъп до шината – CTDMA;
    e) Криптиране от тип Manchester.

3. Кои от посочените мрежови топологии са характерни за ControlNet?
    a) Линейна;
    b) Звезда;
    c) Разширена звезда;
    d) Пръстен;
    e) Йерархична.

4. Какви устройства се използват при ControlNet?
    a) Измервателни устройства.
    b) I/O message servers;
    c) Explicit message servers;
    d) Adapters with explicit message clients;
    e) Интелигентни устройства.

5. Кои от посочените интервали от време се използват в NUT?
    a) Свободен;
    b) Зает;
    c) Защитен;
    d) Резервиран;
    e) Прослушане.

Индустриални мрежи от информационно ниво

8.1. Общи характеристики и изисквания към мрежите

Информационното ниво заема най-високото ниво в йерархията на САУМК. Системите от информационно ниво се използват за обмен на информация и управление на ниво фирма. Всички важни параметри за процесите се събират и архивират в база от данни, необходима за вземането на управленски решения. Мрежите от информационното ниво се характеризират с висока предавателна скорост и са предназначени за обмен на големи масиви от данни. Съществуващите проблеми при тях са свързани с:

- Оптимизирането на обема и скоростта на предаваната информация;
- Сигурността на предаваните данни;
- Защитата на данните от нерегламентиран достъп;
- Липсата на единен подход за дефиниране на приложния слой на индустриалната автоматизация. Несъвместими са решенията на редица спецификация, тъй като съществуват различия в системната архитектура за комуникация, протоколите от приложния слой, обектното моделиране и моделите за конфигуриране на системите.

Най-разпространена в съвременните системи на това ниво е спецификацията Ethernet. Използването на LAN и WAN мрежи от тип Ethernet и бързото разрастване на Internet са предпоставка Ethernet и TCP/IP/UDP да представляват интерес за индустриалната автоматизация. Приложението на Fast Ethernet, програмируемите комутатори и пълно-дуплексната комуникация позволяват изграждането на все по-ефективни информационно-управляващи системи на това ниво. Стандартизираният вариант на Ethernet за приложение в индустриалната автоматизация се наименува Industrial Ethernet. Много организации се обединяват в идеята за създаване на общоприет протокол за Industrial Ethernet. Решенията на различните организации обаче са несъвместими оперативно. Популярни спецификации са:

- Ethernet / IP (Open DeviceNet Vendor Association);
- Foundation Fieldbus High-Speed Ethernet (Foundation Fieldbus);
- Interbus on Ethernet (Interbus Club);
- Open Modbus (Modconnect);

- Profinet 1.0 / 2.0 (Profibus User Organization);
- IDA (IDA Group).

8.2. Работа в реално време на мрежите от информационно ниво

Основните причини Ethernet да не може да гарантира интервал от време, в рамките на който системата за управление да отреагира на външно събитие, са следните:

- Устройствата, които предават големи масиви от данни блокират достъпа на останалите възли за неопределено време;
- Възникване на колизии, в случай че повече от едно устройства предават едновременно – колизиите блокират трафика за всички устройства. Освен това увеличаването на броя устройства увеличава вероятността от колизии;
- Няма възможност да се разграничи трафик с различен приоритет;
- Не се гарантира канал за връзка с минимално закъснение за обмен в реално време;
- Честотната лента е поделена.

8.3. Използвани устройства при мрежите от информационно ниво

- Управляващи изчислителни комплекси (mainframe computers), които позволяват управление на много големи количества данни и решаване на много сложни изчислителни задачи. Те могат да поддържат стотици, дори хиляди потребители;
- Работни станции и човеко-машинни интерфейси;
- Входно-изходни модули;
- PLC, роботи и системи.

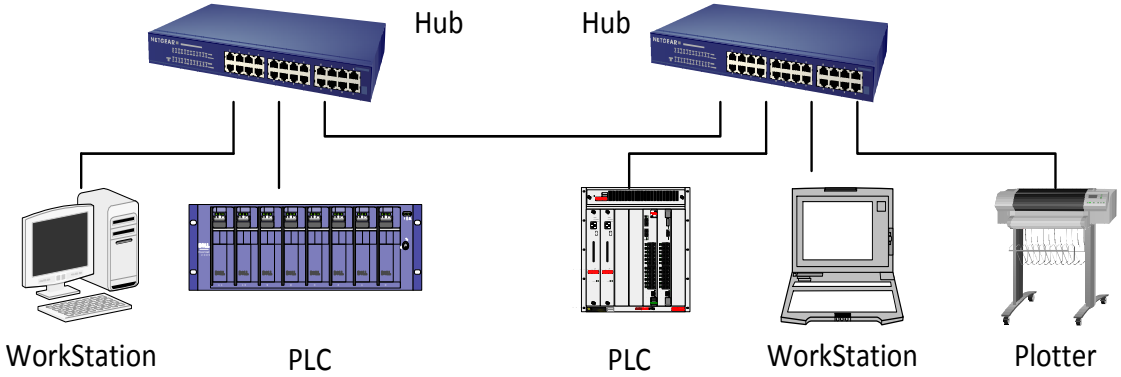
8.4. Съдържание на програмното осигуряване

- Приложения за конфигуриране, настройка, събиране на данни и управление във високоскоростни мрежови сегменти;
- Критични по време приложения за управление на производствени процеси в реално време;
- Системи за бизнес-управление.

8.5. Топология на мрежите от информационно ниво

При информационното ниво е характерно използването на топология „звезда”, при която групи от устройства са свързани посредством схема point-to-point към комутатор. По този начин се осигуряват:

- Възли в мрежата, поддържащи скорост на обмен 10/100/1000 Mbit/s, като съгласуването на скоростите се извършва от комутатори;
- Възможности за опростено структурно окабеляване, поддръжка и диагностика.



Фиг. 8.1. Топология звезда в Ethernet

8.6. Типове обмен при информационното ниво

Характерни за информационното ниво типове обмен са следните:

- Входно-изходни данни:
  - Пакетите се предават по протоколите UDP/IP, като основно предимство е високата пропускателна способност на UDP;
  - Обменът се извършва посредством малки пакети, критични по време и през имплицитни връзки с дълго време на живот.
- Информационен обмен от общ характер:
  - Пакетите се предават посредством протоколите TCP/IP;
  - Намира приложение при некритични по време масиви с голям обем;
  - Обменът се извършва през експлицитни връзки с кратко време на живот.
- Синхронизиран цикличен обмен в реално време:
  - Пакетите се предават по протокол UDP;
  - Синхронизира циклично предаваните данни между устройство – производител и произволен брой консуматори.

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ОСМА ГЛАВА

1. Кои са основните функции и особености на мрежите от информационно ниво?
    a) Висока предавателна скорост;
    b) Средно-висока предавателна скорост;
    c) Обмена на малки масиви от данни;
    d) Обмен на големи масиви от данни;
    e) Директно управление на крайни устройства.
2. Кои типове обмен са характерни за информационното ниво?
    a) Входно-изходни данни;
    b) Асинхронен обмен в реално време;
    c) Синхронизиран цикличен обмен в реално време;
    d) Обмен с крайни устройства;
    e) Обмен от общ характер.

3. Коя мрежова структура е най-широко използвана при мрежите от информационното ниво?
    a) Йерархична;
    b) Звезда;
    c) Линейна;
    d) Пръстен;
    e) Комбинационна.

4. Какво програмно осигуряване е характерно при мрежите от информационното ниво?
    a) Приложения за конфигуриране и събиране на данни;
    b) Некритични по време;
    c) Критични по време;
    d) Приложения за вземане на бизнес решения;
    e) Системи за управление на бази от данни.

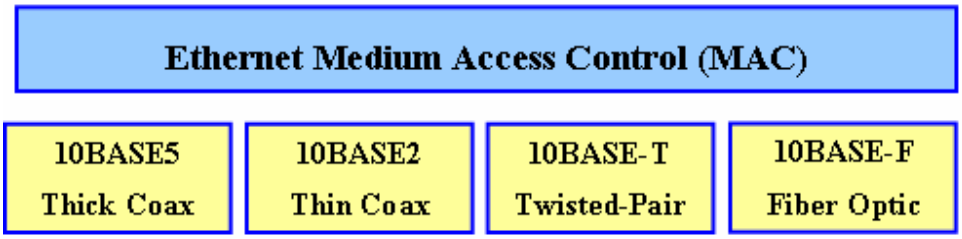
5. Какви устройства се използват при мрежите от информационното ниво?
    a) Управляващи изчислителни комплекси (mainframe computers);
    b) Работни станции;
    c) Сензори;
    d) Изпълнителни механизми;
    e) Човеко-машинни интерфейси.

Мрежова спецификация Ethernet

Ethernet е мрежова архитектура намерила най-широко приложение в съвременните компютърни мрежови системи. Разработена е от Xerox, Digital и Intel. Конфигурира се като физическа шина или звезда, използва множествен достъп до преносната среда (CSMA/CD). При нея устройствата в мрежа се "конкурират" за правото да предават данни. Подразделя се по скорост на работа на:

- **Ethernet** със скорост на обмен до 10 Mbps;
- **Fast Ethernet**, работеща със скорост 100 Mbps;
- **Gigabit Ethernet**, имаща възможност за скорост над 1 Gbps.

Стандартната Ethernet система действува при скорост на трансфер 10 Mbps и е изградена на базата на един от четирите базови свързващи сегмента дефинирани в стандарта IEEE 802.3 (фиг. 9.1).



Фиг. 9.1. Стандарт IEEE 802.3

Идентификацията на IEEE – 10BASE-T, включва три части от информация. Първата от тях - "10" е позицията на скоростта на средата – 10 Mb. Думата "BASE" представя характера на базовата връзка, която е типична за сигнала. Третата част на идентификацията показва типа на сегмента или дължината й. При "дебелия" коаксиален кабел цифрата "5" показва максималната дължина на сегмента. При "тънкия" коаксиален кабел цифрата "2" означава 200 m (или 185 m). дължина за един свързващ сегмент (табл. 9.1).

Буквите "T" и "F" представят съответно усуканата двойка и оптичното влакно като среди за пренасяне на данните. Усуканата двойка е най-широко използваната среда за осъществяване на връзка между отделните компютри.

Таблица 9.1. Обобщение на характеристиките в 10 Mbit/s Ethernet

	10Base5	10Base2	10BaseT	10BaseF	10Broad36
Комуникационна среда	Коаксиален кабел DB15	Коаксиален кабел RG-58/U (50Ω)	Две двойки UTP кат. 3/4	Една двойка влакнесто-оптични влакна (λ=850 nm)	Коаксиален кабел RG-6 (75Ω)
Диаметър на кабела	~13 mm	~6 mm	0.4 – 0.6 mm	62.5/125 μm	0.4 – 1.0 mm
Тип на конекторите	AUI	BNC	RJ-45, MDI или MDI-X	ST или SC	
Режим на предаване, кодиране	Директно, Манчестър	Директно, Манчестър	Директно, Манчестър	Директно, Манчестър	Модулирано предаване
Физическа топология	Шина/дърво	Шина/дърво	Звезда	Звезда	Шина/дърво
Максимална дължина на сегмента	500 m	185 m	100 m (от концентратор до възел)	2000 m (от концентратор до възел)	1800 m
Брой на възлите в сегмента	100, смесен сегмент	30, смесен сегмент	1024 (в цялата мрежа), точка-точка	1024 (в цялата мрежа), точка-точка	
Максимално покривано разстояние	2500 m (с 4 повторителя)	925 m (с 4 повторителя)	500 m	2 km	3600 m
Предимства	Подходящ за опорна мрежа	Ниска цена	Лесно поддържане	Подходящ за използване между сгради	Осигурява максимално разстояние

9.1. Fast Ethernet (100Mb/s)

През юни 1995 г. е въведен стандарта 802.3u (Fast Ethernet), работещ на скорост – 100Mb/s. Съществуват различни версии на стандарта, чиито характеристики са представени в таблица 9.2.

Таблица 9.2. Характеристики на Fast Ethernet (100Mb/s)

	100BaseTX	100BaseFX	100BaseT4
Комуникационна среда	две двойки STP или UTP категория 5	една двойка влакнесто-оптични влакна	четири двойки UTP категория 3/5
Максимално разстояние от концентратор до възел	100 m	2000 m	100 m
Предимства	пълен дуплекс със скорост 100 Mb/s	пълен дуплекс на скорост 100 Mb/s + по-големи разстояния	използва кабел UTP категория 3

При стандарта 100BaseTX за свързване на даден възел към концентратор се използват две двойки усукани проводници (по една – за предаване и за приемане). При стандарта 100BaseFX за същата цел се използва една двойка влакнесто-оптични влакна. Стандартът 100BaseT4 е създаден с цел по-плавно преминаване към високите скорости. При него се използват телефонни кабели (UTP категория 3), за които са необходими четири двойки UTP.

9.2. Свръх високоскоростен Ethernet (Gigabit Ethernet, 10 Гигабит Ethernet)

През юни 1998 г. е въведен стандарта 802.3z за влакнесто-оптичен кабел, а през март 1999 г. е одобрен стандарта 802.3ab за UTP кабел от категория 5. Тези стандарти позволяват предаването да се извършва със скорост 1 Gb/s. Стандартът Gigabit Ethernet представлява комбинация на стандартите 802.3 и ANSI X3T11 Fibre Channel. Характеристиките на различните версии на стандарта Gigabit Ethernet са представени в таблица 9.3.

Таблица 9.3. Характеристики на Gigabit Ethernet

	1000BaseCX (802.3z)	1000BaseT (802.3ab)	1000BaseSX (802.3z)	1000BaseLX (802.3z)
Комуникационна среда	150 балансиран кабел STP (нов тип кабел)	UTP кабел, кат.5	една двойка много-модови влакнесто-оптични влакна	една двойка много-модови влакнесто-оптични влакна
Максимално разстояние от концентратор до възел	25 m	100 m	500 m	3 km
Предимства	в рамките на една зала	в рамките на съседни зали	като опорна мрежа в сграда	като опорна мрежа между сгради

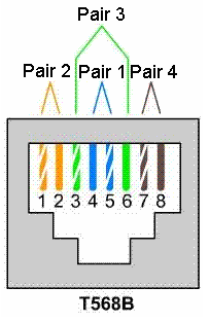
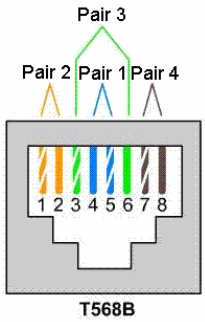
9.3. Преносна среда

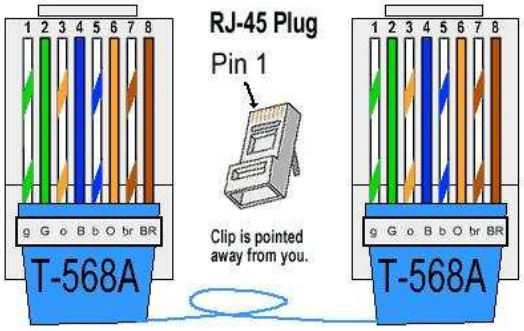
Най-популярната преносна среда за LAN кабели е UTP (Unshielded Twisted Pairs – незащитена усукана двойка) кабелът, чрез който се поддържа по-висока скорост на предаване, отколкото при коаксиалния кабел (таблица 9.4).

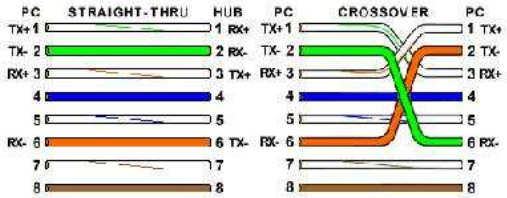
Кабелите с усукана двойка (UTP) се произвеждат за различни категории на компютърните мрежи съобразно предназначението им и скоростта на предаване. Усукването се извършва, за да се намали/елиминира интерференцията между проводниците, в противен случай интерференцията ще породи еднакви токове в двойката проводници (фаза и нула), които ще се неутрализират. По същата причина, всяка двойка има различен брой усуквания на метър. Двойките са оцветени в различен цвят. Стандартизирани са 2 цветови схеми: EIA/TIA T568A и T568B.

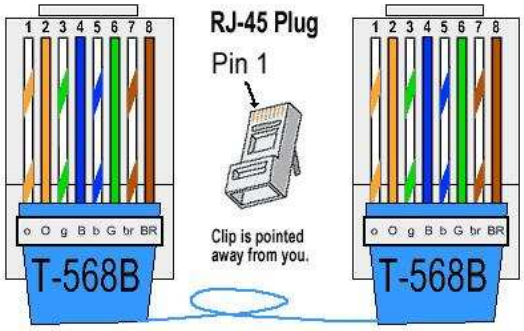
Кабелите се свързват по две схеми права (straight-through) и кръстосан (crossover). Ако проводниците и в двата края на кабела са наредени в ред A или в ред B, кабелът е прав. Ако в единия край имаме поредица A, а в другия – B, кабелът е кръстосан. С прав кабел се свързва компютър към комутатор или концентратор, а с кръстосан – компютър към компютър, комутатор към комутатор, концентратор към концентратор.

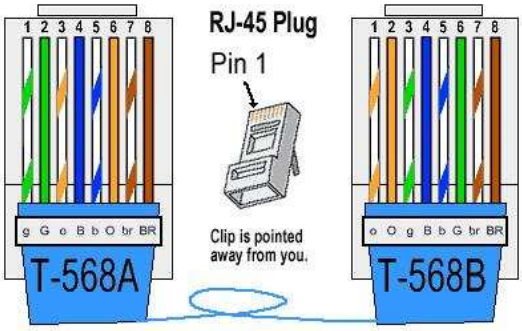
Таблица 9.4. Свързване на UTP кабел

Pin	*TIA/EIA 568B*	*TIA/EIA 568A*
PIN1	оранжево – бяло	зелено – бяло
PIN2	оранжево	зелено
PIN3	зелено – бяло	оранжево – бяло
PIN4	синьо	синьо
PIN5	синьо – бяло	синьо – бяло
PIN6	зелено	оранжево
PIN7	кафяво – бяло	кафяво – бяло
PIN8	кафяво	кафяво
		









FL в наименованието на кабела (100BaseFL) означава fiber link (оптично влакно). Тези мрежи се използват за предаване на не модулирани сигнали с кабел по оптично влакно, който използва светлинни импулси вместо електрически сигнали за предаване на нули и единици. Тези кабели се отличават от медните с устойчивост към смущения и загуба на силата на сигнала при предаване на разстояние. Един кабелен сегмент със спецификация FL може да бъде дълъг 2000 метра.

9.4. Комуникационни протоколи

Комуникационният протокол представлява съвкупност от правила, които управляват диалога между две еднакви функционални нива на два възела в мрежата. Тези правила дефинират процедурите за установяване и разпадане на връзка, формата на данните, реда за предаване на блоковите данни, служебните процедури за възстановяване от грешки и т.н. Комуникационните протоколи осъществяват транспортиране и маршрутизация на данните в интегралната мрежа и осигуряват услуги от различен вид на физическо и логическо ниво. За идентификация на възлите на местоназначение се използва локален адрес на компютъра Media Access Control (MAC). MAC адресът се състои от 6 байта и се представя в шестнадесетичен формат, например: 00:13:D4:8A:5D:83.

Първите три байта на адреса съответстват на уникален идентификатор на производителя и се разпределят от IEEE. Последните три байта се определят от производителя по собствени правила.

В Ethernet данните се разделят на пакети и се изпращат като кадри.

Съществуват няколко формата на Ethernet-кадри:

- Version I (вече не се използва);
- Ethernet Version 2 или Ethernet-кадър II, още наречен DIX (абревиатура на първите букви на фирмите разработчици DEC, Intel, Xerox);
- Novell – вътрешна модификация IEEE 802.3 без LLC (Logical Link Control);
- Кадър IEEE 802.3 LLC;
- Кадър IEEE 802.2 LLC/SNAP;
- Кадър IEEE 802.12 съответстващ на формата 100VG-AnyLAN.

Ethernet кадърът (Фиг. 9.2) може да е с дължина от 64 до 1518 байта, като вмъкнатата в кадъра служебна информация е минимум 18 байта. Поради това данните в един Ethernet кадър са в обхвата от 46 до 1500 байта. В мрежите се използват два слабо различаващи се по формат Ethernet кадъра: Ethernet II DIX Frame и по-разпространеният IEEE 802.3/LLC Frame.

Ethernet II DIX Frame						
64 bits	**48 bits**		**48 bits**	**16 bits**	**368 to 12000 bits (46 to 1500 bytes)**	**32 bits**
Preamble	Individual / Group Address Bit	Destination Address	Source Address	Type	Data	Frame Check Sequence

IEEE 802.3 Frame								
56 bits	**8 bits**	**48 bits**			**48 bits**	**16 bits**	**368 to 12000 bits (46 to 1500 bytes)**	**32 bits**
Preamble	SFD	Individual/ Group Address Bit	Globally/ Locally Administered Address Bit	Destination Address	Source Address	Length	LLC/Data	Frame Check Sequence

Фиг. 9.2. Формат на кадъра

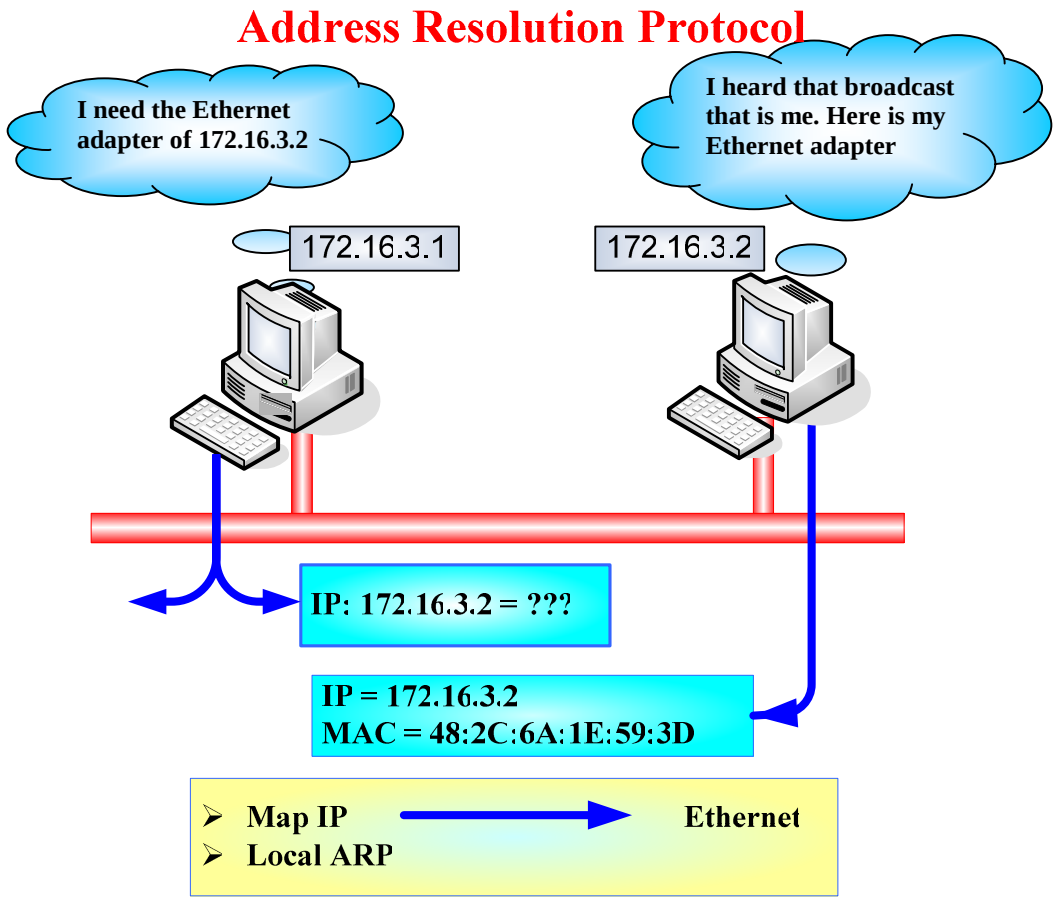
При изпращането на пакет с данни по Ethernet всеки възел от мрежата "вижда" този пакет. Информация за това кой го изпраща и кой е получателят се съдържа в заглавната част, поставена от Ethernet протокола към съобщението, като то може да бъде и от тип broadcast, т. е. предназначено за всички. Всеки Ethernet пакет съдържа заглавна част (header), в която са включени началният и крайният Ethernet адрес, информация за типа на използван мрежов протокол и протоколът на който следва да се предаде пакетът за обработка.

9.5. Протоколи ARP (Address Resolution Protocol) и RARP (Reverse Address Resolution Protocol)

Един от основните проблеми при реализирането на мрежови съединения между работни станции, включени в локални мрежови конфигурации е проблема за взаимодействието между мрежови и канални адреси. Глобални-

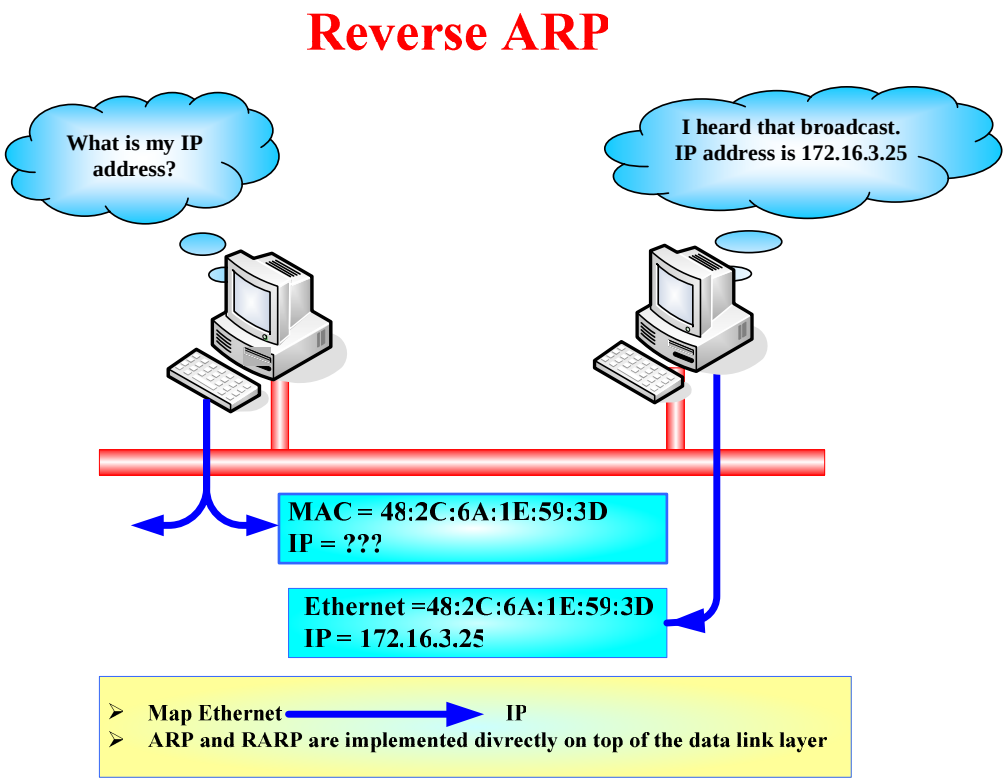
ят пренос се осъществява по мрежов адрес, докато мрежовия пакет, се транспортира в локалната мрежа в съответствие с конкретния канален протокол.

ARP се използва за построяване на необходимата за мрежовото съединение таблица на съответствието между присвоените на устройствата от локалната мрежа IP-адреси и MAC-адресите. Тази таблица позволява установяването на мрежови съединения, основани на преносната среда в локалната мрежа, например IEEE 802.3 Ethernet. При известен целеви IP адрес, за установяване на съединението е необходимо да се извлече от ARP-таблицата, съответстващия му MAC-адрес. Ако в ARP таблицата няма информация за това съответствие, то се изпраща IP-дейтагрма с целеви адрес, търсения целеви адрес, която се пакетира в broadcast MAC-кадър. Този кадър достига до всички MAC-адреси в локалната мрежа, т.е. достига и до работната станция, чиито IP адрес е целевия IP адрес. Работната станция потвърждава дейтаграмата, като на канално ниво се формира кадър с канален целеви адрес, адресът на инициатора на мрежовото съединение и канален адрес-източник – търсения MAC-адрес. Пристигайки потвърждението при инициращата станция, неговата ARP-таблица се актуализира с липсващия MAC-адрес и осигурява условията за установяване на мрежово съединение в MAC-преносната среда – фиг. 9.3.



Фиг. 9.3. Функциониране на Address Resolution Protocol (ARP)

Протоколът RARP е "обратен" по функционалност на ARP. При този протокол се решава обратната задача, по известен MAC-адрес да се получи информация за съответстващия му IP-адрес. Използва се аналогичен подход, като се изпраща broadcast IP-дейтаграма, която достига мрежовото ниво и в потвърждението се съдържа търсения IP адрес – фиг. 9.4.



Фиг. 9.4. Функциониране на Reverse Address Resolution Protocol (RARP)

9.6. Протоколи TCP/IP

Основополагащ протокол на мрежата Ethernet се явява протокола TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). TCP/IP е софтуерно базиран комуникационен протокол, използван в мрежите. Той е съчетание от два протокола: TCP и IP, и обезпечава метод за трансфер на информация от един компютър до друг.

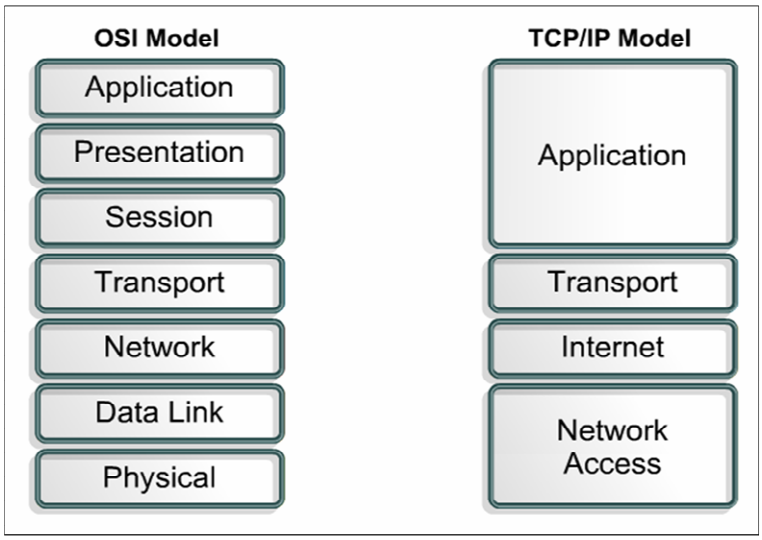
TCP е протокол за управление на предаването и функционира на транспортно ниво и определя, по какъв начин информацията трябва да бъде разбита на пакети и изпратена по канала за връзка. TCP осъществява управление на потока и коригиране на грешки при предаването. Разполага пакетите в нужната последователност, а също и проверява всеки пакет за наличие на грешки при предаване.

TCP/IP моделът включва 4 функционални нива (фиг.9.5):

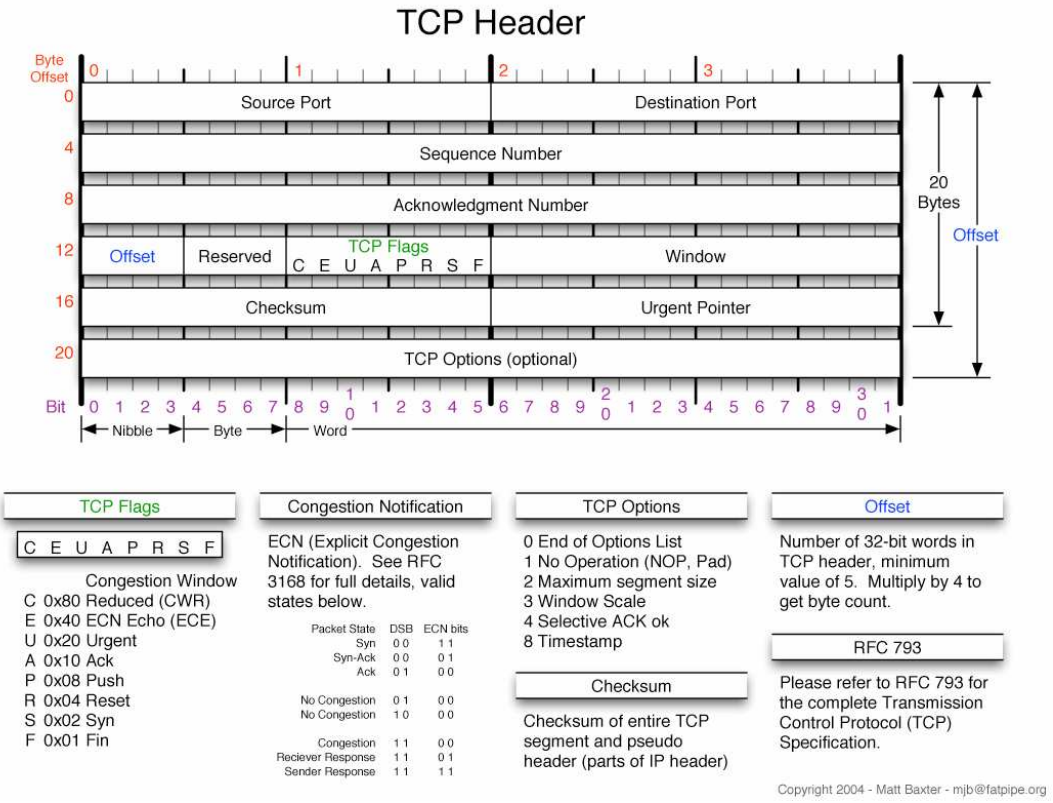
- Мрежови достъп;
- Интернет;
- Точка до точка;

- Процес/приложение.

Тези нива имат слаба връзка със седемте нива на OSI модела (фиг.9.5), без да се прави компромис с функционалността.



Фиг. 9.5. Нива на TCP/IP в OSI модела



Фиг. 9.6. Формат на TCP заглавен блок

TCP осигурява зависим от връзката обмен на данни между едно или повече устройства, може да поддържа множество потоци данни и позволява контрол на грешките, потока и пренареждането на пакетите, пристигнали в разбъркан ред. Предаването на TCP сегмента се осъществява във вид на Internet дейтаграми. Заглавният блок на дейтаграмата съдържа няколко полета включително адреса на подателя и получателя на пакета. Форматът на TCP заглавния блок е показан на фиг. 9.6.

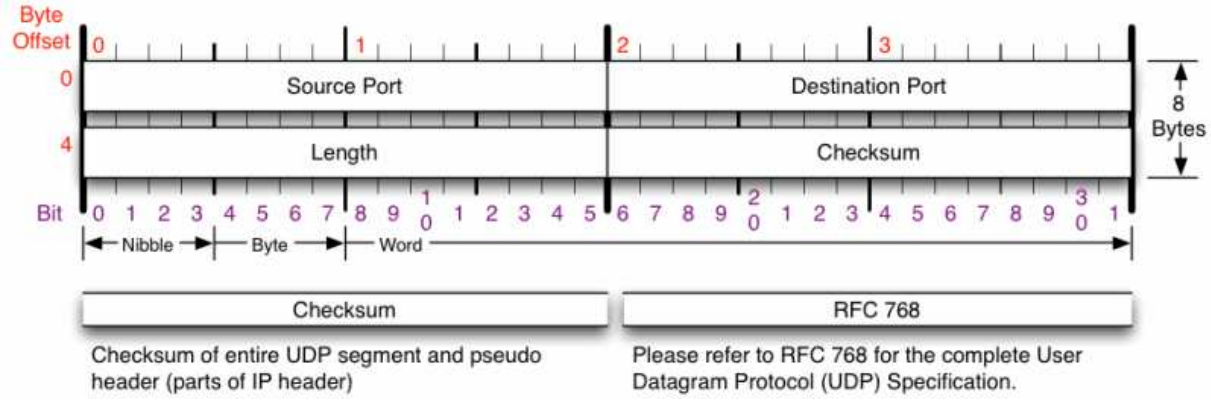
TCP заглавния блок включва минимум 20 октета и съдържа следните полета:

- **TCP Source Port (16)** – съдържа номера на порта, инициирал комуникационната сесия. Портът и IP адресът на източника образуват адреса за връщане на пакета;
- **TCP Destination Port (16)** – съдържа номера на порта, за който е предназначена информацията. Този порт съдържа интерфейсния адрес на приложението на компютъра получател, към който се подават данните от този пакет;
- **TCP Sequence Number (32)** – съдържа пореден номер, използван от получаващия компютър за реконструиране на фрагментираните данни в първоначалната им форма. В динамично маршрутизираната мрежа е напълно възможно някой от пакетите да е изминал по-дълъг път и да пристигне след тези, изпратени след него. Това поле служи за компенсиране на такава, не поредна доставка;
- **TCP Acknowledgment Number (32)** – TCP използва това 32 битово поле за потвърждение (ACK), на първия октет данни, съдържан в следващия очакван сегмент. TCP изчислява това число, увеличавайки числото на последния октет с броя октети на всеки TCP сегмент. Използваното за идентифициране на всеки ACK число е поредния номер на потвърждавания пакет;
- **Data Offset (4 бита)** – това поле съдържа размера на TCP заглавния блок, измерван в 32 битови думи;
- **Reserved (Резервирано поле) (6 бита)** – запазено за по-нататъшна употреба;
- **Flags (Флагове) (6 бита)** – съдържа 6 еднобитови флагове, позволяващи контролни функции – спешно поле, потвърждение на значимо поле, подаване на данни, нулиране на връзката, синхронизиране на поредността, край на изпращането на данни;

- **Window Size (Размер на прозореца) (16 бита)** – използва се от получателя, за да укаже на източника колко данни би желал да приема на TCP сегмент;
- **Checksum (16 бита)** – това поле съдържа контролна сума за проверка на грешки. Източникът изчислява контролната сума въз основа на съдържанието на сегмента. Получателят извършва същото изчисление. Ако съдържанието е пристигнало непроменено, то резултатът от двете изчисления следва да е идентичен и това доказва валидността на данните;
- **Допълване** – в това поле се добавят нули, така че TCP заглавния блок винаги да е кратен на 32 бита.

9.7. Протокол User Datagram Protocol (UDP)

Протоколът UDP (User Datagram Protocol) е един от двата протокола на транспортно ниво, които се използват в стека протоколи TCP/IP. UDP позволява приложните програми да предават своите съобщения по мрежи с минимални изисквания, свързани с преобразуването на протоколите от ниво приложения в протокол IP. Приложната програма сама потвърждава за доставяне на съобщението.



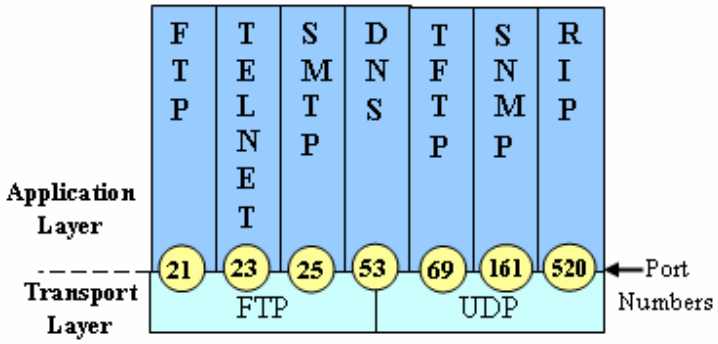
Фиг. 9.7. Формат на UDP заглавен блок

Заглавният блок на UDP има следната структура (фиг. 9.7):

- UDP Source Port (16 бита) – съдържа номера на порта, на компютъра източник. Портът и IP адресът на източника образуват адреса за връщане на пакета;
- TCP Destination Port (16 бита) – съдържа номера на порта, за който е предназначена информацията. Този порт съдържа интерфейсния адрес на приложението на компютъра получател, към който се подават данните от този пакет;

- UDP Checksum (16 бита) – съдържа контролна сума. Източникът изчислява контролната сума въз основа на съдържанието на сегмента. Получателят извършва същото изчисление. Ако съдържанието е пристигнало непроменено, то резултатът от двете изчисления следва да е идентичен и това доказва валидността на данните;
- UDP Message Length (16 бита) – това поле информира получателя за дължината на съобщението. Това осигурява допълнителен механизъм за проверка на валидността на съобщението.

Портовете в заглавието определят протокола UDP като мултиплексор, който позволява да се събират съобщения от приложенията и ги изпраща на нивото на протоколите. При това приложението използва определен порт. Взаимодействащите чрез мрежата приложения могат да използват различни портове, което е отразено в заглавието на пакета. TCP и UDP използват идентификатори за номер на порт (socket) за целите на достоверния обмен на информацията с протоколите и услугите от "високите" нива – фиг. 9.8.



Фиг. 9.8. TCP и UDP портове

Портовете се използват за целите на мултиплексирането на мрежовото съединение.

Мрежовите приложения се разработват в условията на известна схема за разпределение на портовете, дефинирана в препоръка RFC 1700. Например, отдаленият терминален достъп (приложната услуга TELNET) се реализира с използването на стандартизиран порт номер 23. Сесиите на обмен, за които няма предвиден стандартно номер се реализират на базата на случайно присвояване на номер на порт при постъпване на заявката от множеството на незаетите портове.

Разпределението на TCP и UDP портовете е представено на фиг. 9.9.

Резервирани TCP портове					
Decimal	**Keyword**	**Description**	**Decimal**	**Keyword**	**Description**
0		Reserved	67	BOOTPS	Bootstrap Protocol Server
1-4		Unassigned	68	BOOTPC	Bootstrap Protocol Client
5	RJE	Remote Job Entry	69	TFTP	Trivial File Transfer Protocol
7	ECHO	Echo	75		Any Private Dial-out Service
9	DISCARD	Discard	77		Any Private RJE Service
11	USERS	Active Users	79	FINGER	Finger
13	DAYTIME	Daytime	95	SUPDUP	SUPDUP Protocol
15	NETSTAT	Who id Up or NETSTAT	101	HOSTNAME	NIC Host Name Server
17	QUOTE	Quote of the Day	102	ISO-TSAP	ISO-TSAP
19	CHARGEN	Character Generator	113	AUTH	Autentication Service
20	FTP-DATA	File Transfer Protocol (Data)	117	UUCP-PATH	UUCP Path Service
21	FTP	File Transfer Protocol	123	NTP	Network Time Protocol
23	TELNET	Terminal Connection	133-159		Unassigned
25	SMTP	Simple Mail Transfer Protocol	160-223		Reserved
37	TIME	Time of Day	224-241		Unassigned
39	RLP	Resource Location Protocol	242-255		Unassigned
42	NAMESERVER	Host Name Server			
43	NICNAME	Who Is			
53	DOMAIN	Domain Name Server			

Резервирани UDP портове					
Decimal	**Keyword**	**Description**	**Decimal**	**Keyword**	**Description**
0		Reserved	67	BOOTPS	Bootstrap Protocol Server
1-4		Unassigned	68	BOOTPC	Bootstrap Protocol Client
5	RJE	Remote Job Entry	69	TFTP	Trivial File Transfer Protocol
7	ECHO	Echo	75		Any Private Dial-out Service
9	DISCARD	Discard	77		Any Private RJE Service
11	USERS	Active Users	79	FINGER	Finger
13	DAYTIME	Daytime	123	NTP	Network Time Protocol
15	NETSTAT	Who id Up or NETSTAT	133-159		Unassigned
17	QUOTE	Quote of the Day	160-223		Reserved
19	CHARGEN	Character Generator	224-241		Unassigned
20	FTP-DATA	File Transfer Protocol (Data)	242-255		Unassigned
21	FTP	File Transfer Protocol			
23	TELNET	Terminal Connection			
25	SMTP	Simple Mail Transfer Protocol			
37	TIME	Time of Day			
39	RLP	Resource Location Protocol			
42	NAMESERVER	Host Name Server			
43	NICNAME	Who Is			
53	DOMAIN	Domain Name Server			

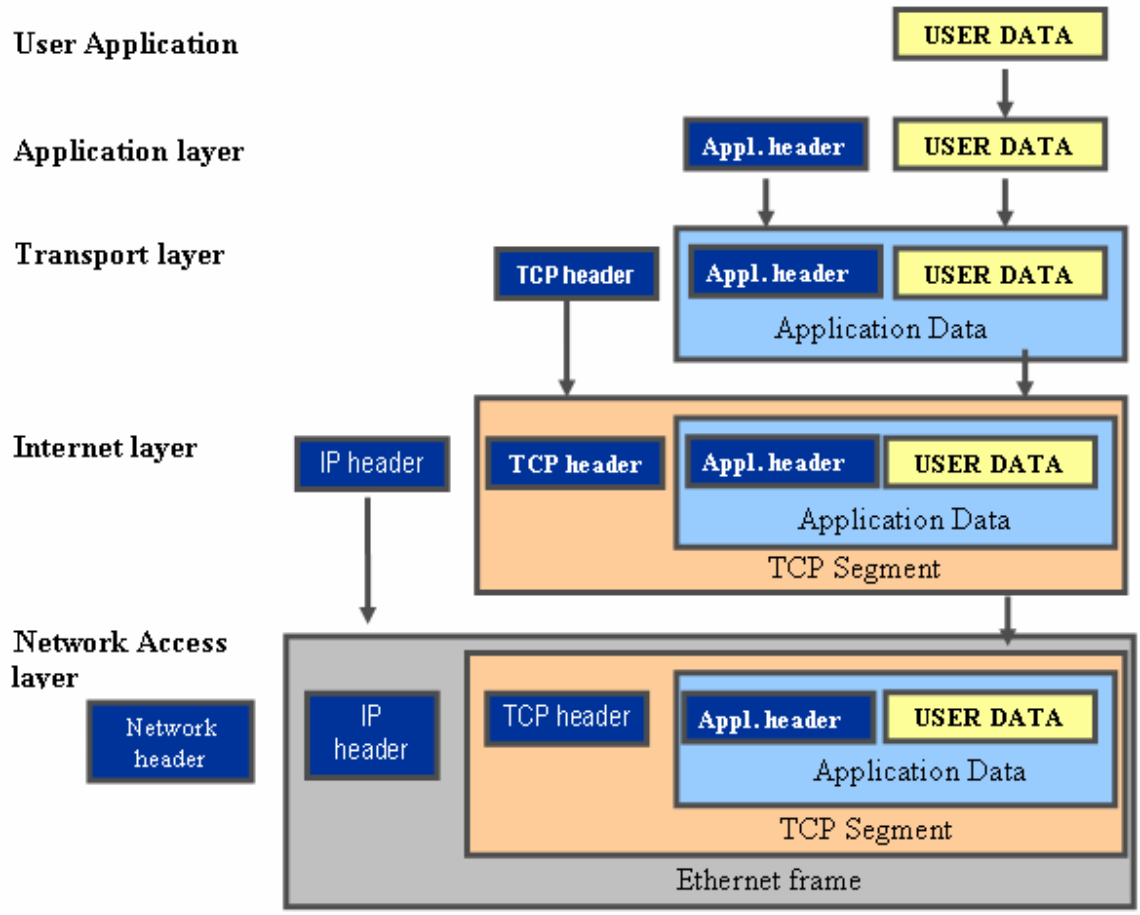
Някой от портовете са резервирани от двата протокола и приложенията не могат да използват тези портове. Принципът на разпределение на портовете е следния:

- Портове с номера до 255 са предоставени за общо използване;
- Портове с номера от 256 до 1023 са за системни приложения;
- Портове с номера над 1023 са недефинирани.

В заключение може да се каже, че основната функционална разлика между TCP и UDP е надеждността. TCP е високо надежден протокол, докато UDP е прост механизъм, осигуряващ "възможно най-добрата" доставка на данни.

9.8. Internet Protocol IP

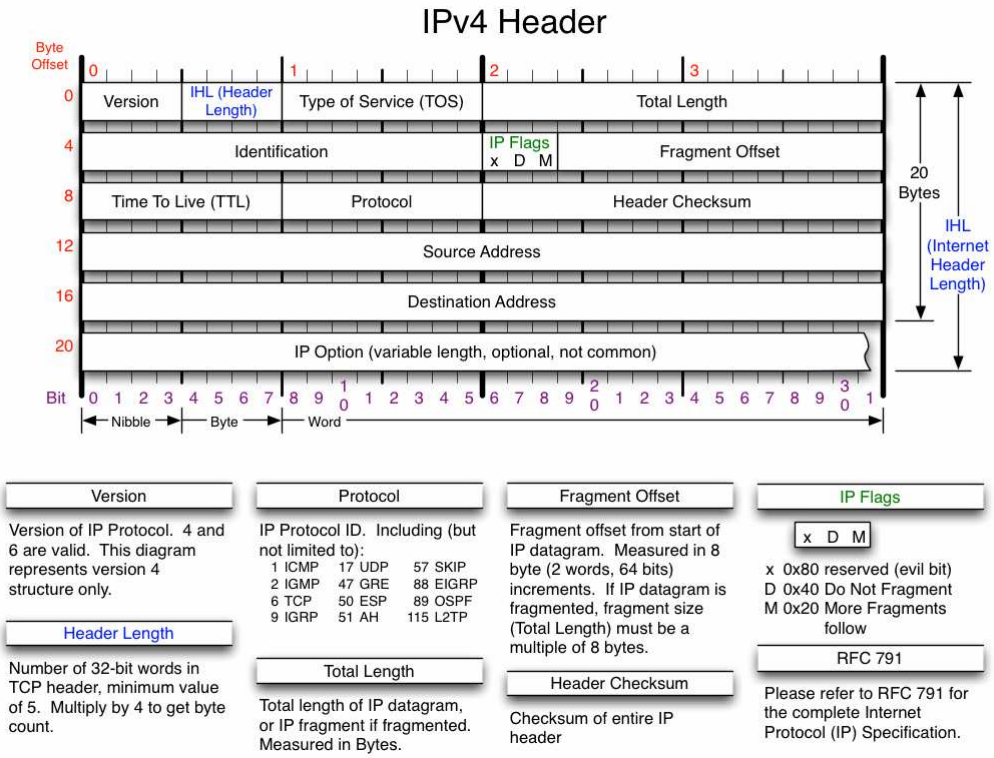
Междумрежовия протокол (Internet Protocol) осигурява доставка на пакетите с данни от източника към получателя при група свързани помежду си мрежи. В протокола IP отсъства функция за потвърждение на приема, контрол на предаването, съхранение на последователността на предаваните пакети. В този смисъл протоколът IP не осигурява надеждно предаване с гарантирана доставка. Всички функции по осигуряване на надеждност при необходимост се обезпечават от протоколите на горните нива. Поддържа йерархична адресна логика и осигурява глобален обмен на еднопосочни съобщения (дейтаграми). Протоколът IP обработва всеки пакет като самостоятелен обект независимо от другите предавани пакети. В процеса на обработка на пакетите протоколът IP преглежда IP адреса на получателя, а след това с помощта на протоколите за маршрутизация определя за тях най-добрия маршрут за трансфер. Понякога протоколът IP извършва преобразуване размера на пакета. Например, в случай че пакетът, постъпил от мрежа построена на база Ethernet (размер на кадъра 1500 байта), трябва да се изпрати в мрежа, изградена на база FDDI (размер на кадъра 4470 байта), то протоколът IP ще трябва да обедини няколко кадъра Ethernet в един кадър FDDI. Или обратно да разбие кадър FDDI на няколко кадъра Ethernet при обратното предаване.



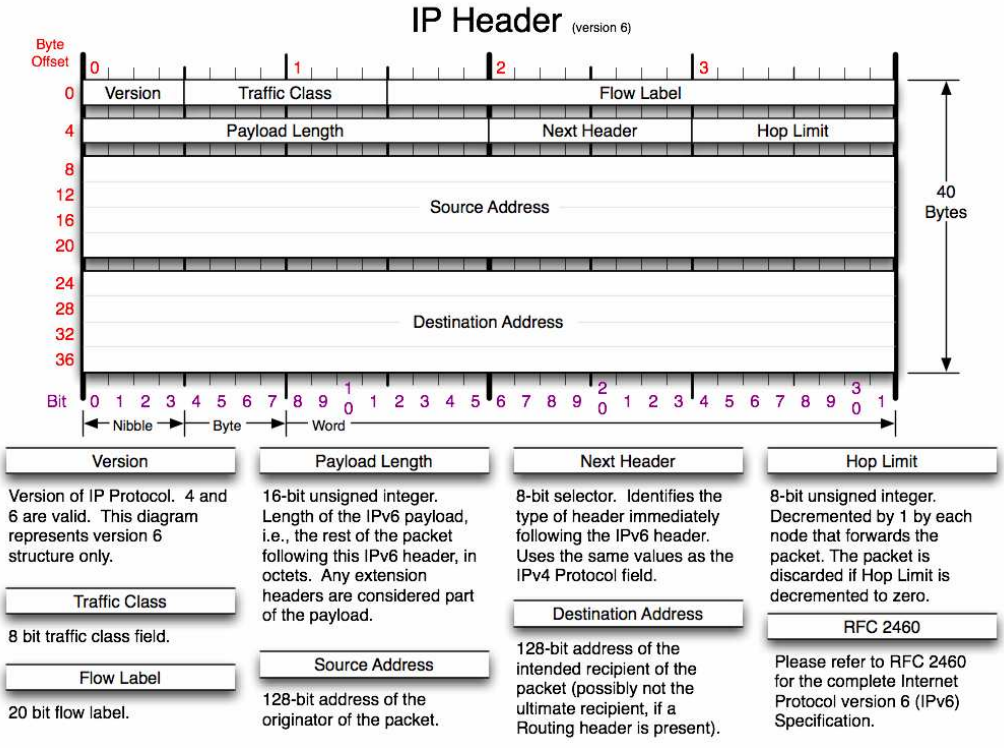
Фиг. 9.10. Инкапсулация на данните в TCP/IP фрейм

В момента се използват два IP протокола: IP версия 4 (IPv4) и IP версия 6 (IPv6). IP адресите от Ipv4 са 32 битови числа. За удобство се записват като четири байта разделени с точка (напр. 194.145.63.12). Заглавният блок на протокола е показан на фиг. 9.11.

IP адресите от IPv6 са 128 битови числа. Тези IP адреси се представят като осем 16-битови цели числа, разделени с двоеточие. Допустимо е да се пропуснат нулите в старшите битове на всяко от числата. IPv6 може да се представи и по класическия начин, познат от IPv4. Заглавният блок на протокола е показан на фиг. 9.12.



Фиг. 9.11. Заглавен блок на Ipv4



Фиг. 9.12. Заглавен блок на IPv6

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ДЕВЕТА ГЛАВА

1. Кои твърдения отнасящи се до IP протокола са верни?
    a) За повишаване на надеждността в IP протокола се използва ICMP (error checking);
    b) Протоколът IP се използва за адресация на компютрите;
    c) Във всеки предаван пакет информация има указан IP-адрес на компютъра предаващ съобщението;
    d) IP-адреса се състои от четири числови групи, разделени с точки.

2. На базата на кои свързващи сегменти, дефинирани в стандарта IEEE 802.3, е изградена стандартната Ethernet система?
    a) 10BASE5 Thick Coax;
    b) 10BASE2 Thin Coax;
    c) 10BASE-T Twisted-Pair;
    d) 10BASE-F Filber Optic;
    e) 10BASE-E Extended.

3. Изпращането на информация към точно определен компютър, свързан в компютърна мрежа се осъществява при наличието на:
    a) Компютърни мрежи тип ЗВЕЗДА, ПРЪСТЕН и ШИНА;
    b) Локални и широко обхватни компютърни мрежи;
    c) Сървър /хост/ и работни станции;
    d) Телефонна, кабелна, безжична, сателитна и смесена преносна среда;
    e) IP-адреси и DNS-адреси.

4. Колко функционални нива включва TCP/IP моделът?
    a) 2;
    b) 3;
    c) 4;
    d) 5;
    e) 7.

5. TCP е протокол за управление на предаването и функционира на:

a) Транспортно ниво;
b) Физическо ниво;
c) Сесийно ниво;
d) Мрежово ниво;
e) Интернет ниво.

Безжични комуникации в промишлена среда

10.1. Същност и история на безжични мрежи

Безжичните LAN мрежи са базирани на радиовълнова технология. Специализирани са в предаване на неголеми пакети от данни, изпълнение на широк спектър от мониторингови, регулиращи и управляващи функции.

Безжичните комуникационни технологии се характеризират с:

- Висока гъвкавост при изграждане на топологията на мрежата;
- Липса на окабеляване, т.е. отсъствие на механично износване на преносната среда;
- Възможност за мобилност и свободно движение на устройствата в мрежата;
- По-малък мрежов трафик между крайните точки на мрежата, обусловен от по-високата степен на автономност между отделните сегменти на системата;
- Осигуряване на необходимата скорост на предаване на информация;
- Съвместимост с използваните в индустриалната автоматизация стандарти като DeviceNet, Ethernet и др.;
- Лесен и бърз пуск на включените в мрежата устройства и др.

10.2. Групи безжични мрежи

Съвременните WLAN обикновено осъществяват връзка на разстояния от един до няколко стотици метра и предават само цифрови данни, като в зависимост от максималната им скорост съществуват три групи технологии за реализация.

10.2.1. Висикоскоростните технологии

Първата група са висикоскоростните технологии (High Throughput Technology) с максимална скорост не по-малка от 12 Mbps. Технологията HIPERLAN/2 е предназначена за предаване на данни, разговори и изображения в индустриални, административни и битови сгради. Чрез нея се реализират клетъчни WLAN с малък обхват, като се очаква масовото им разпространение. По определение широчината на канала на свръх-широколентовата

технология (Ultra Wideband Technology) UWB трябва едновременно да е не по-малка от 20% от средната му честота и не по-малка от 500 MHz. Технологията Wi-Fi (от Wireless Fidelity) е предназначена за мрежи, работещи по стандартите IEEE 802.11, за които терминът Wi-Fi представлява същото, което е Ethernet за стандартите IEEE 802.3. Съществуват две разновидности на технологията, като само тази по стандарта IEEE 802.11a е висикоскоростна (Таблица 10.1). Тя разполага с честотна лента от 300 MHz с 15 канала и 52 - носещи честоти във всеки от тях.

Таблица 10.1. Характеристики на безжичните технологии

№	Network	Standart	Max. Data Rate Bandwidth	Transmission Range	Frequency	Group
1	HIPERLAN/2	ETSI Project BRAN	54 Mbps	-	5 GHz	High Throughput Technology
2	UWB	IEEE 802.15.3a	100 Mbps	10 m	3.1-10.6 GHz	
3	Wi-Fi	IEEE 802.11a	54 Mbps	50 m	5 GHz	
4	Wi-Fi	IEEE 802.11b	11 Mbps	50 m	2.4 GHz	Medium Throughput Technology
5	HomeRF	N/A	10 Mbps	5 m	2.4 GHz	
6	Bluetooth	IEEE 802.15.1	2 Mbps	10 m	2.45 GHz	
8	ZigBee	IEEE 802.15.4	250 Kbps	30–500 m	2.4 GHz, 868, 915 MHz	Low Data Rate Technology
7	Z-Wave	N/A	40 Kbps	30 m	2.4 GHz	
9	EnOcean	N/A	120 Kbps	300 m	868.3 MHz	
10	DECT	N/A	32 Kbps	100 m	1.96 GHz	
11	KONNEX	KNX;EN50090	38.4 Kbps	-	868 MHz	

10.2.2. Средноскоростни технологии

Средноскоростните технологии (Medium Throughput Technology) работят при скорости между 1 и 11 Mbps. Най-общо те се използват за компютърни мрежи, индивидуални мрежи (Personal Area Network) PAN и за системи с публичен достъп (Public Access System) PAS. Тук влиза втората разновидност на Wi-Fi (според стандарта IEEE 802.11b), която разполага с честотна лента 80 MHz и 14 канала в нея. Наименованието на домашната високочестотна технология (HomeRF Technology) показва нейното основно

предназначение. Характерни особености на технологията са неголемият брой на свързваните устройства, възможността за съвместна работа с други видове мрежи и че част от функциите на мрежата могат да се осъществяват при изключен компютър. Наличието на близко разположени мрежи, например в цехове в една сграда, не пречи на съвместната им работа поради 24-разредния идентификатор на устройствата.

Технология Bluetooth

Bluetooth е технология за безжично свързване на устройства от произволен тип. Предназначението й е да дефинира малкоформатни и икономични устройства за радиокомуникация между преносими компютри, устройства от тип PDA, клетъчни телефони и други мобилни системи със собствено захранване.

Характеризира се преди всичко с малката излъчвана мощност Po от предавателите, което е причина за малкия обхват и е една от предпоставките за липса на нежелано влияние между близко разположени мрежи. Съществуват три класа – Class 1 е с Po = 100 mW и обхват 100 m, Class 2 има Po = 2.5 mW и обхват 20 m и Class 3 е с Po = 1 mW и обхват 10 m.

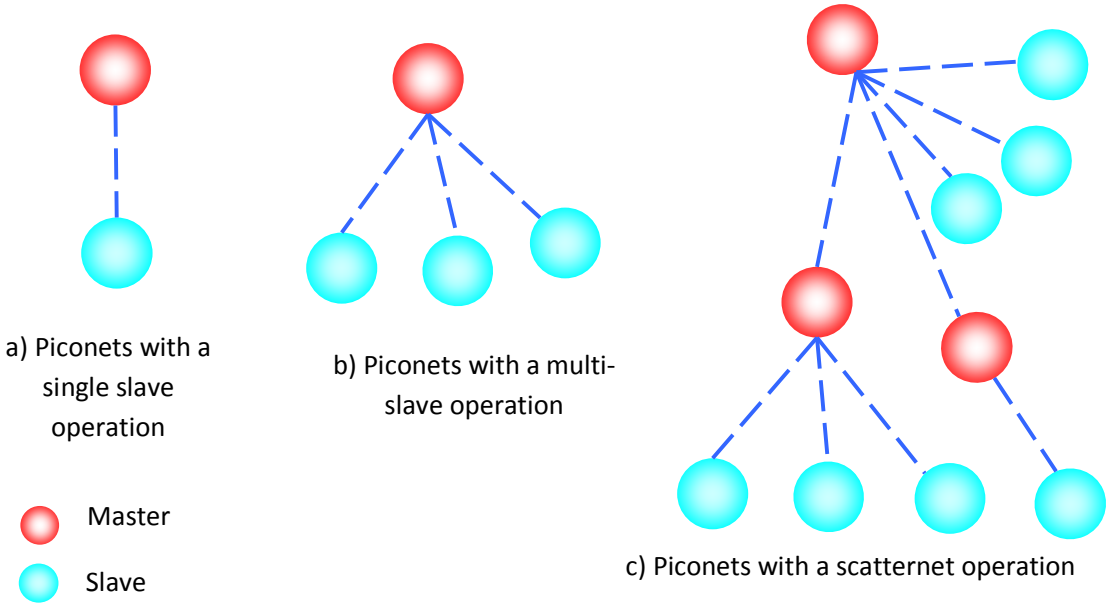
Bluetooth устройствата използват честотата от 2.4 GHz, както е при Wi-Fi / IEEE 802.11b устройствата. За да се избегне интерференцията с Wi-Fi, Bluetooth използва метод за предаване на сигналите, наречен *разширен спектър със скокообразно настройване на честотата (frequency Hoping spread spectrum)*, който превключва точната честота, използвана по време на една Bluetooth сесия, 1600 пъти в секунда по 79-те канала на Bluetooth. Bluetooth е проектиран за специализирани временни мрежи, при които две устройства се свързват само за толкова време, колкото им е необходимо да прехвърлят данните, след което връзката се прекратява.

Bluetooth устройствата влизат в контакт едно с друго автоматично, веднага след като попаднат в обсега на приемо-предавателя, а за установяването на връзката, идентификацията и др. се грижи програмното осигуряване.

Най-често Bluetooth мрежите са ***master-slave***, като максималния брой slave устройства може да бъде 7. Освен тях може да съществуват още неограничен брой неактивни slave устройства, които са установили връзка с

master, и очакват освобождаване на свободно място, за да осъществят преноса на данни. Такъв тип връзка между устройствата се нарича **piconet** (фиг. 10.1a)**.**

В рамките на една piconet връзка може да има само едно master устройство. Когато е необходимо дадено slave устройство, което е свързано към master устройство, може да смени статуса си на master, образувайки своя piconet структура. Този тип сложна съставна структура носи наименованието scatternet (фиг. 10.1c)**,** в която всяко едно устройство може да бъде едновременно и master и slave, в зависимост от конкретната ситуация и мястото му в структурата.



Фиг. 10.1. Топология на Bluetooth мрежите

За да се избегне дублирането на устройствата и други нежелани отклонения, всяко устройство, освен уникалното си име, взаимодейства с другите, използвайки различен канал за връзка, на различна честота и с различен от другите параметър Hoping, характеризиращ Hoping Channel. Хопинг (Hoping) – това е периодична промяна на честотата, определяна от параметъра Hoping Sequence. Първоначално всяко Bluetooth устройство, попадайки в някакво пространствено положение, извършва претърсване на каналите за

свързване, търсейки други устройства (Device Discovery). В зависимост от това, в кой от описаните режими се намират евентуално откритите устройства, се установява или не връзка.

10.2.3. Нискоскоростни технологии

Нискоскоростните технологии (Low Data Rate Technology) са предназначени за управление на електронни устройства в индустриална и домашна среда със скорост на предаване на данни до няколко стотици kbps за сметка на предимства като ниска цена и малка консумирана мощност на използваните устройства. Известни са множество технологии някой от които са:

Мрежи ZigBee

Безжичната мрежа ZigBee има уникални свойства да се самоорганизира и самовъзстановява, тъй като мрежовите устройства в момента на включване самостоятелно формират мрежата, като се идентифицират едно с друго. При излизане от строя на някое от устройствата мрежата самостоятелно се възстановява и започва предаване по нов маршрут. Данните се предават със скорост 250 Kbit/s което включва и служебната информация на мрежата. Безжичната мрежа ZigBee работи в диапазоните на честотните канали 868 MHz, 915 MHz, 2.4 GHz. В помещенията радиуса на действие е няколко десетки метри, а навън – до няколкостотин метра.

EnOcean

Тази безжична технология е близка до ZigBee и е разработена от компанията EnOcean GmbH, която е основана от Siemens AG през 2001 г.

Тя е напълно екологична – сензорите, предавателите и всички други устройства, базирани на нея, не се нуждаят от батерии. Те се зареждат сами, използвайки различни методи за черпене на енергия от заобикалящата ги среда. Този стандарт намира приложение при системите за осветление, сензорите за сигурност и в различни медицински апарати, както и в промишлената индустрия. EnOcean има обхват на действие от близо 300 метра и може да реализира информационен обмен до120 Kbit/s.

Z-Wave

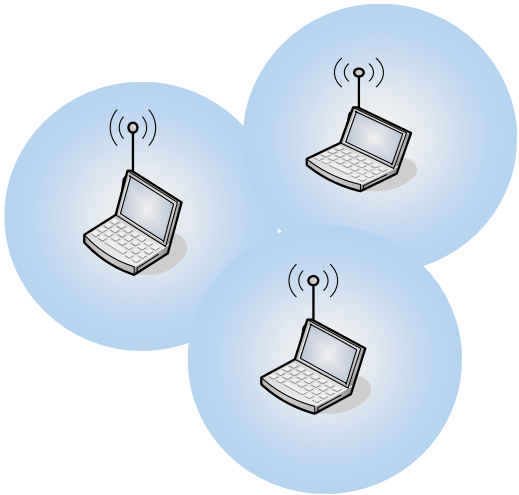
Z-Wave е протокол за безжичен пренос на данни и е предназначен за пренос на информация на къси разстояния при минимален разход на енергия. Устройствата, базирани на Z-wave протокола, реализират не много високата скорост от около 40 Kbit/s в радиус от приблизително 30 метра и работят с една батерия повече от година. Технологията намира приложение основно при изграждането на умни домове – в системи за контролиране на осветлението и топлината; противопожарни сензори, системи за видео наблюдение и защита. Z-wave позволява всички тези мрежи от сензори и устройства да се контролират с помощта на едно-единствено дистанционно управление.

10.3. Логически топологии на безжичните мрежи

Безжичните мрежи се изграждат по няколко логически топологии.

10.3.1. AD-HOC (всеки с всеки)

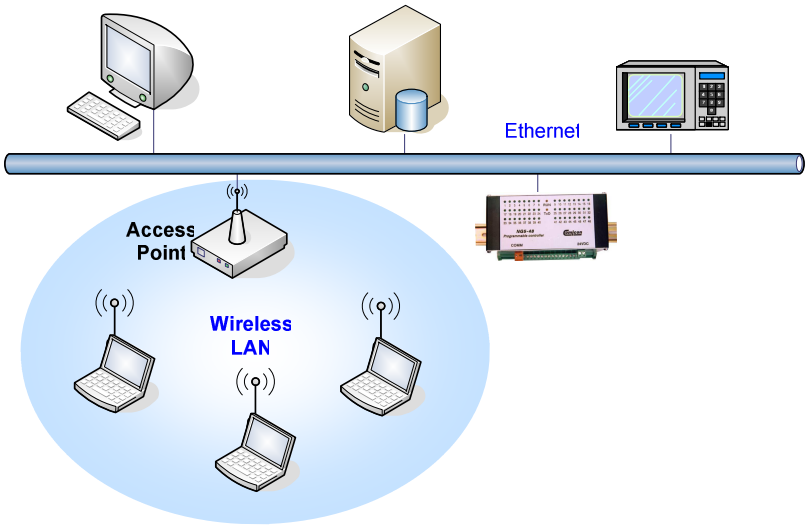
В този режим (фиг. 10.2), който е най-често срещан при връзка на мобилни устройства помежду си, не е необходимо определено безжично устройство в мрежата да синхронизира достъпа до канала. Характеризира се с ниска производителност и възможност за възникване на колизии.



Фиг. 10. 2. Безжична самоорганизираща се мрежа
тип "всеки с всеки" (AD-HOC)

10.3.2. Access Point – Client (точка за достъп – клиент)

Практически това е най-често срещаната топология на свързване на устройствата при безжичните мрежи (Фиг. 10. 3). Множество мобилни устройства използват услугите на една базова станция (наричана точка за достъп или AP – "Acess Point"). Точката за достъп (AP) управлява всички клиенти асоциирани към нея. Тя казва на клиента на кой канал да предава, кога да предава и в зависимост от зададените правила може да се даде приоритет на някой клиенти пред други (QoS). Няма опасност от колизии на "скрити терминали" поради факта, че всички клиенти трябва да се асоциират към AP за достъп до мрежата, т.е. AP вижда абсолютно всички клиенти докато те помежду си може да не се виждат.

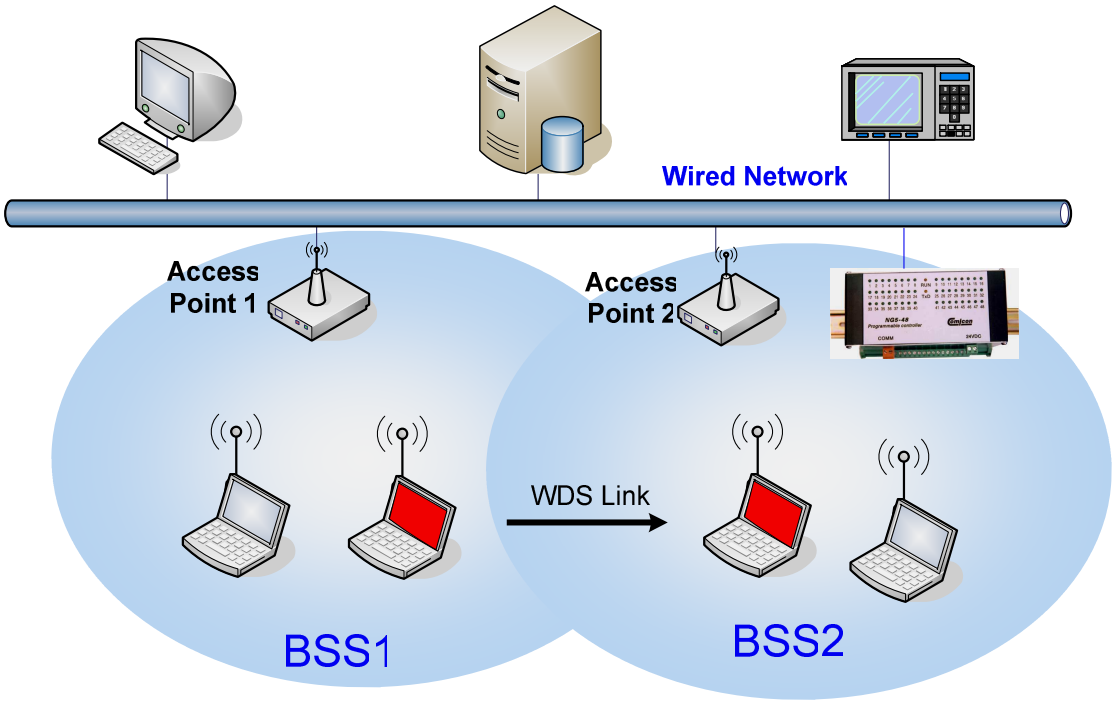


Фиг. 10. 3. Безжична самоорганизираща се мрежа
тип "Точка за достъп – клиент" (Access Point – Client)

10.3.3. WDS – Wireless Distributed System (безжично разпределена система)

Безжично разпределените системи имат топологията на AP-Client, като всяко AP формира зони на чуваемост (Фиг. 10. 4). Разликата спрямо топологията APClient е тази, че различните AP-та си комуникират безжично помежду си за да осигурят достъп до опорната мрежа. Необходимо е всички

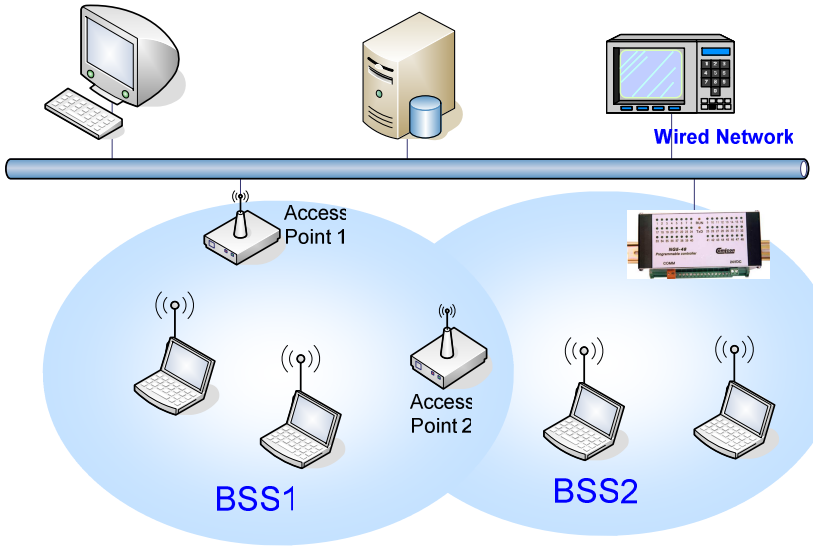
АР да работят на един и същи радио-канал, както и в списъка на всяко да са зададени MAC адресите на останалите, които формират WDS мрежата.



Фиг. 10. 4. Безжична разпределена система
(WDS – Wireless Distributed System)

10.3.4. Repeater (Повторител)

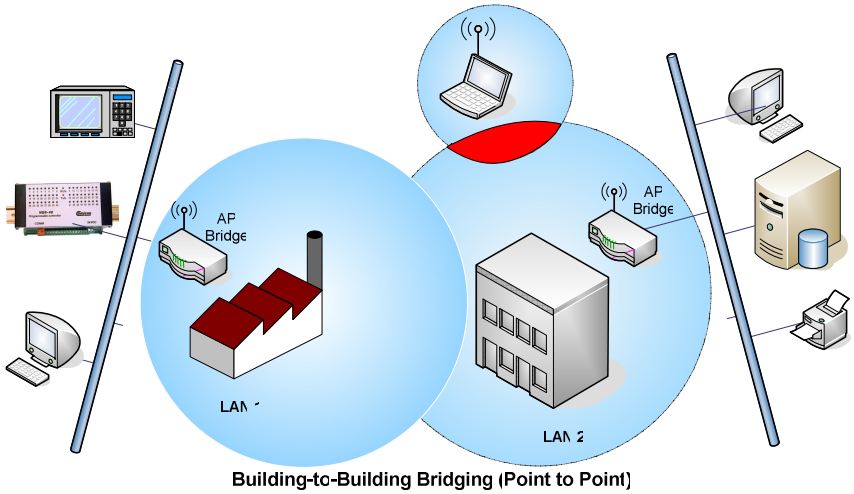
Когато трябва да се разшири зоната на чуваемост се използват АР в режим на "повторител" (Фиг. 10. 5). Повторителят работи на същия канал на който работи и АР, чрез което се осъществява достъпа до опорната мрежа. В повторителя се задава MAC адресът на опорното АР, като по този начин той симулира прозрачно опорното АР в отдалечената зона. В отдалечената зона се чува опорното АР с неговото оригинално име и параметри, само физическия MAC адрес се различава, като в отдалечената мрежа MAC адреса е този на устройството "повторител".



Фиг. 10. 5. Безжична самоорганизираща се мрежа
с "Повторител" (Repeater

10.3.5. Bridge (Мост)

Предназначена е за прозрачно свързване на 2 мрежови сегмента (Фиг. 10.6) като по този начин могат да се свържат безжично локалните мрежи на отдалечени офиси. Безжична връзка е възможна само между двете устройства, които работят в режим "AP Bridge", като по този начин те прехвърлят прозрачно всеки пакет от единия локален LAN сегмент към отдалечения.



Фиг. 10.6. Безжична самоорганизираща се мрежа с "Мост" (Bridge)

10.4. Защита на данните

Всички технологии за безжични комуникации използват един или друг вариант на кодиране на данните с цел тяхна защита. Мрежите, отговарящи на стандарта IEEE 802.11, използват WEP за кодиране на информацията, като в зависимост от класа на устройството криптирането може да бъде 64 или 128 битово. При Bluetooth има три режима на защита, като най-защитеният Security Mode 3 (link level enforced security) оперира със сеансови ключове (Bond), които се генерират в процеса на свързване на две устройства, и се използват в процеса на свързване, идентификация и предаване на данни между две устройства.

802.11b осигурява контрол на данните на MAC ниво и механизми на криптиране, известни като Wired EquivalenT Privacy (WEP), които могат да бъдат включени или изключени. Когато WEP е включен, той защитава само пакета с данни, но не и заглавието му, така че всички свързани в мрежата устройства могат да "преглеждат" преминаващите данни. За контрол на достъпа във всяка отделна точка на достъп се разполага ESSID (или WLAN Service Area ID). Само станция, която има ESSID може да се включи към мрежата. Освен това, при нея може да се съхранява списък от "разрешени" MAC адреси на упълномощените устройства. По този начин към мрежата могат да се включват само тези устройства, които се намират в списъка. Криптирането на данни се извършва с помощта на алгоритми RC4 с 40-битов ключ, но има и по-прости начини на криптиране.

ВЪПРОСИ ЗА САМОПРОВЕРКА КЪМ ДЕСЕТА ГЛАВА

1. Кои безжични технологии са ниско скоростни (Low Data Rate Technology)?
    a) Мрежи ZigBee;
    b) Технология Bluetooth;
    c) Технология EnOcean;
    d) Технология Z-Wave;
    e) Технология Wi-Fi.

2. Най-често Bluetooth мрежите са master-slave, като максималния брой slave устройства може да бъде:
    a) 2;
    b) 5;
    c) 7;
    d) 10;
    e) Няма ограничение.
    f)
3. Колко режими на защита има при Bluetooth системите?
    a) 1;
    b) 2;
    c) 3;
    d) 4;
    e) Липсват за специални режими за защита.
    f)
4. По кои по логически топологии се изграждат безжичните мрежи?
    a) Bridge (Мост);
    b) Access Point – Client (точка за достъп - клиент);
    c) WDS – Wireless Distributed System (безжично разпределена система);
    d) Repeater (Повторител);
    e) Звезда.

5. Коя е най-често срещаната топология на свързване на устройствата при безжичните мрежи?
    a) AD-HOC (всеки с всеки);
    b) Access Point – Client (точка за достъп - клиент);
    c) Repeater (Повторител);
    d) WDS – Wireless Distributed System (безжично разпределена система);
    e) Bridge (Мост).

Терминологичен речник

Access Point – Client (точка за достъп – клиент) - Множество мобилни устройства използват услугите на една базова станция (наричана точка за достъп или AP – "Acess Point"). Точката за достъп (AP) управлява всички клиенти асоциирани към нея. Тя казва на клиента на кой канал да предава, кога да предава и в зависимост от зададените правила може да се даде приоритет на някой клиенти пред други (QoS).

Acknowledgement message – Съобщение за потвърждение при правилно получено съобщение.

ADU (Application Data Unit) – Основен MODBUS пакетен протокол. Структурата на PDU се определя от типа на протокола Modbus RTU, Modbus ASCII или Modbus TCP

ARP (Address Resolution Protocol) – ARP се използва за построяване на необходимата за мрежовото съединение таблица на съответствието между присвоените на устройствата от локалната мрежа IP-адреси и MAC-адресите. Тази таблица позволява установяването на мрежови съединения, основани на преносната среда в локалната мрежа, например IEEE 802.3 Ethernet. При известен целеви IP адрес, за установяване на съединението е необходимо да се извлече от ARP-таблицата, съответстващия му MAC-адрес.

Bit-Time (T_{bit}) – Bit-Time (T_{bit}) е времето за което се предава един бит информация в съответствие със скоростта на обмен Baud rate.

Broadcast - метод за предаване на информация. Пакетът се изпраща от предавател към всички устройства в мрежата. Предавателят адресира пакета, използвайки broadcast адрес, след което пакетът се изпраща по мрежата до всяко едно устройство.

CAN Kingdom – CAN Kingdom е комуникационен протокол работещ върху CAN. Проектиран е като полева мрежа. За разлика от другите CAN протоколи от високо ниво, тя не се опитва да следва OSI модела.

CANopen – CANopen е комуникационен протокол и спецификация на профил на устройства за вградени системи, използвани в автоматизацията. От гледна точка на OSI модела, CANopen използва горните слоеве включително и мрежово ниво. Стандарта CANopen включва метод за адресация, няколко малки комуникационни протоколи и приложен слой определен от профила на устройството.

Client/Server – основен комуникационен модел в съвременните компютърни мрежи.

Controller Area Network (CAN bus) – Controller Area Network (CAN bus) е сериен интерфейс за предаване на данни в реално време със скорост до 1 Mbps и има отлични възможности за корекция на грешки. Използва се при висикоскоростно предаване на данни ISO 11898 и за ниско скоростни приложения ISO 11519.

Crossover cable – Кръстосана връзка на UTP кабели. С кръстосан кабел се свързват компютър към компютър, комутатор към комутатор, концентратор към концентратор

Data frame – Кадър данни (data frame) – предава данни

DeviceNet – DeviceNet е мрежова система, използвана в автоматизацията на индустрията за свързваща управляващите устройства, за обмен на данни. Той използва Controller Area Network като технологична основа и определя приложния слой за да покрие обхвата от профили на устройства. Типични приложения са обмен на информация, устройства за безопасност, както и големи I / O мрежи за контрол.

Error frame - Кадър за грешка (error frame) – предава се от възела, в който е открита грешка.

Ethernet – Ethernet е мрежова архитектура намерила най-широко приложение в съвременните компютърни мрежови системи. Разработена е от Xerox, Digital и Intel. Конфигурира се като физическа шина или звезда, използва множествен достъп до преносната среда (CSMA/CD). При нея устройствата в мрежа се "конкурират" за правото да предават данни.

GSD файлове – GSD файлове съдържат информация за основните възможности на устройството. GSD файлове имат стандартен файлов формат, който е описан в ръководството на PROFIBUS.

Чрез GSD файла, системните интегратори (master device) определят основните параметри на системата, като съобщения и налични възможности за диагностика.

IP (Internet Protocol) – Internet Protocol (IP) е комуникационен протокол предназначен да осигури адресацията на информацията, изпраща по мрежата. На всеки хост в мрежата се дава уникален адрес (наречен IP адрес). Когато се изпраща информация през мрежата, тя се разделя на малки пакети, наречени IP пакети. Към всеки пакет се прикрепя т. нар. header, който съдържа IP адреса на подателя и получателя и други служебни данни. С помощта на тези адреси, компютрите, през които минава пакетът, решават какво да правят с него. IP се използва от транспортни протоколи като TCP и UDP.

LAN (Local Area Network) – Локална мрежа или ЛАН (Local Area Network, LAN) е вид малка компютърна мрежа, обслужваща компютри и други устройства, свързани помежду си. Тя обслужва една организация и е разположена в една или няколко съседни сгради.

MAN (Metropolitan Area Network) – Компютърна мрежа която обхваща територия на едно населено място или голяма сграда с много разположени в нея организации.

Master devices – устройства, които определят начина на обмен на данни по мрежата и изпълняват управляващи или информационно-контролни функции.

Master устройството от тип 1 – Master устройството от тип 1 най-често е програмируем логически контролер (PLC), или компютър, работещ със специален софтуер в ProfiBus мрежа. То определя скоростта на обмен, а подчинените устройства я откриват автоматично. Поддържа обмена на информация с асоциираните към него подчинено устройства и действа като основен контролер, обменящ входно/изходна информация с разпределената перифе-

рия.

Master устройството от тип 2 – Master устройството от тип 2 е устройство за конфигурация с възможности за "зареждане", обслужване и диагностика в ProfiBus мрежа . Той работи като координиращо устройство и се явява активна станция по отношение на master устройството от тип 1 и неговите подчинени устройства. Master устройството от тип 2 се използва за конфигуриране, диагностика на грешките и промяна на параметри.

Master/slave – Главен/подчинен (Master/slave) е модел на комуникация, когато дадено устройство или процес има еднопосочен контрол върху едно или повече устройства. В някои системи мастера се избра от група от приемливи устройства, заедно с други устройства, действащи в ролята на подчинени.

Modbus – Modbus комуникационния протокол е базиран на архитектурата "клиент-сървър". Той намира широко приложение в промишлеността за осъществяване на връзка между контролери. Данните се предават по серийни канали, като RS-485, RS-422, RS-232 или по TCP/IP (Modbus TCP)

Mono-master system – Индустриална компютърна мрежа в която има само едно главно устройство (master)

Multicast - метод за предаване на информация. Пакетът се изпраща от предавател към множество получатели в мрежата. Предавателят адресира пакета, като използва multicast адрес на получателите, след което пакетът се изпраща до всеки един от получателите, формиращи multicast адреса.

Multi-master – комуникационен механизъм, при който произволен брой master устройства могат да имат достъп до данните на дадено slave устройство

OSI – мрежови модел, описващ архитектура, в която се разделят мрежовите комуникации с комутация на пакети на седем независими слоя.

Overload frame – Кадър за препълване (overload frame) – обезпечава промеждутък между кадрите с данни или заявки

Parameter record - Обща база от данни в Profibus съдържаща данните за конфигурацията и параметрите на всички свързани станции. Компилираната база от данни (parameter record) се зарежда в главното устройство на мрежата във фаза конфигурация на хардуера. Главното устройство в мрежата използва тази информация при инициализацията на системата за да установи комуникацията с всяко подчинено устройство.

PDU (Protocol Data Unit) – Елементарен пакетен протокол използван в ModBus. Структурата на PDU не зависи от типа на линията за връзка и включва код на функция и поле с данни.

Peer-to-Peer – комуникационен механизъм, при който всички свързани в мрежата устройства са "равностойни" и могат да работят едновременно като slave устройства и като master устройства.

Poling – Системата ProfiBus използва главно устройство (ProfiBus master), което извършва циклично обхождане (Poling) на подчинените (Slaves) устройства разпределени върху RS 485 магистрала.

PROFIBUS – PROFIBUS е полеви протокол разработен от фирмите Siemens, Bosch и Klockner-Moeller за удовлетворяване нуждите на дискретното производство и отговаря на европейските стандарти EN50170 и EN50254.

PROFIBUS-DP – Протоколът PROFIBUS-DP (Decentralized Periphery) е предназначен за обмен на данни между програмируеми логически контролери (PLC) и устройства свързани с разнородни обекти. Характеризира се със скорост на обмен на данни 12 Mbit/s. Методът на комуникация е или master/slave, или равноправен достъп.

PROFIBUS-FMS – Протоколът PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification) организира комуникацията на ниво полеви устройства.

PROFIBUS-PA – Протоколът PROFIBUS-PA (Process Automation) е предназначен за обмен на данни между системи на полево ниво разположено в обикновена или Ex-зона (зона с повишена сигурност). Протоколът отговаря на изискванията на международния стандарт IEC 61158-2. Предназначен е

да осъществява връзка между системи за управление на контролери, датчици и изпълнителни механизми.

RARP (Reverse Address Resolution Protocol) – Протоколът RARP е "обратен" по функционалност на ARP. При този протокол се решава обратната задача, по известен MAC-адрес да се получи информация за съответстващия му IP-адрес. Използва се аналогичен подход, като се изпраща broadcast IP-дейтаграма, която достига мрежовото нива и в потвърждението се съдържа търсения IP адрес.

Remote frame – Кадър заявка за предаване (remote frame) – стартира заявка за предаване на кадри от данни за текущия идентификатор

Repeater (Повторител) – Режим на работа на безжични мрежи в който за да се разшири зоната на чуваемост се използват AP в режим на "повторител". Повторителят работи на същия канал на който работи и AP, чрез което се осъществява достъпа до опорната мрежа.

SAN (Storage Area Network) – Мрежа за съхранение на данни, която се използва за свързване на големи масиви от данни към групирани сървъри.

Slave devices – крайни устройства на САУМК – полеви уреди, датчици, изпълнителни механизми, регулиращи органи, входно изходни модули, измервателни устройства.

Slave Reaction Time (T_{SDR}) – Времето за реакция на подчиненото устройство е времето, за което подчиненото устройство трябва да отговори на запитването на master устройството.

Straight-through cable – Права връзка на UTP кабели. С прав кабел се свързва компютър към комутатор или концентратор

Sync-Time (T_{SYN}) – времето за синхронизация е минималното време, за което страницата трябва да остане в очакване (idle state) преди да е достъпна за следваща заявка.

TCP (Transmission Control Protocol) – TCP (Transmission Control Protocol) е мрежов протокол за управление на обмена на информация. Данните се предават на пакети като протоколът следи за подредбата на приетите пакети

и тяхната достоверност. Проектиран е за многозадачен режим на работа и се използва съвместно с IP протокола в TCP/IP .

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) – TCP/IP е софтуерно базиран комуникационен протокол съчетан от два протоколите TCP и IP, и обезпечава метод за трансфер на информация от един компютър до друг. TCP е протокол за управление на предаването и функционира на транспортно ниво и определя, по какъв начин информацията трябва да бъде разбита на пакети и изпратена по канала за връзка.

Token Ring – Token Ring е вид технология за LAN мрежа, при която всички компютри са свързани последователно с кабел, така че се образува затворен кръг. Данните се предават последователно от един компютър към друг, докато стигнат до получателя. Това се извършва чрез маркер - (token), който представлява сигнал с дължина 3 байта и циркулира по кръга, като определя кой компютър е активен в момента.

UDP (User Datagram Protocol) – Минимален транспортен пакетен протокол, документиран в IETF RFC 768. UDP предоставя прост интерфейс между мрежовия протокол под него и приложните протоколи над него. UDP не гарантира доставката на данните. Работи на транспортно ниво.

Unicast – метод за предаване на информация. Пакетът се изпраща от предавател към получател в мрежата. Предавателят адресира пакета, използвайки адреса на получателя, след което пакетът се изпраща по мрежата до местоназначението си.

UTP (Unshielded Twisted Pairs) – UTP (Unshielded Twisted Pairs – незащитена усукана двойка) кабелът, чрез който се поддържа по-висока скорост на предаване, отколкото при коаксиалния кабел.

WAN (Wide Area Network) – Глобална компютърна мрежа, която използва висикоскоростни, далечни комуникации или спътници, за да свърже компютри, намиращи се в различни географски точки.

WDS – Wireless Distributed System (безжично разпределена система) - технология, позволяваща разширяване зоната на покрития на безжичните мрежи по пътя на обединяван е на няколко WiFi точки на достъп в една мрежа без необходимост от наличие на жични съединители между тях.

Отличителна черта на технологията в сравнение с другите е съхраняването на MAC-адреса клиентската мрежа

Активни мрежови устройства – усилват входния сигнал и могат да преобразуват сигнала от един в друг вид преносна среда. В тази група се включват устройствата: конвертор на преносната среда, повторител и активен концентратор.

Безжичните LAN мрежи – Безжичните LAN мрежи са базирани на радиовълнова технология. Специализирани са в предаване на неголеми пакети от данни, изпълнение на широк спектър от мониторингови, регулиращи и управляващи функции.

Време за реакция (reaction time) – Време за реакция е времето, което е необходимо на една система или функционален възел да реагират при получаване на входа им сигнал.

Групово запитване (strobe, broadcast) – комуникационен механизъм, при който master устройството изпраща запитване до всички slave устройства с цел обмен на данни с тях.

Децентрализирана периферия (decentalized periphery) – Разпределени входно-изходни устройства, свързани чрез бърза серийна връзка с централния контролер.

Експлицитни съобщения (Explicit messages) – комуникационен механизъм, който намира приложение при първоначална идентификация, конфигурация и диагностика на устройствата в мрежата.

Запитване (poll) – комуникационен механизъм, при който master устройството изпраща запитване, отделно до всяко slave устройство, с цел обмен на данни с него.

Източник-получател (Source-destination) – алтернатива на комуникационния механизъм производител-консуматор. Slave устройствата приемат само пакетите, които съдържат техния адрес.

Комбиниран мрежова архитектура **–** Този тип мрежи е комбинация от мрежа с равноправен достъп и мрежа клиент-сървър.

Комуникационен протокол (communication protocol) - Комуникационният протокол представлява съвкупност от правила, които управляват диалога между две еднакви функционални нива на два възела в мрежата. Тези правила дефинират процедурите за установяване и разпадане на връзка, формата на данните, реда за предаване на блоковите данни, служебните процедури за възстановяване от грешки и т.н.

Комуникационна мрежа – Мрежата представлява две или повече устройства, свързани едно с друго с помощта на необходимия за целта хардуер и програмни средства, позволяващи им да обменят информация помежду си и с други устройства.

Комутатор – мост от ново поколение, осигуряващ паралелна обработка на информацията. Той е най-използваното устройство за свързване на работни станции в мрежа с топология звезда.

Контролна сума (Check sum) – Контролна сума е стойност получена в резултат на прилагане на определен алгоритъм върху последователност от данни. Използва се и при предаването на данни, за да се провери дали са предадени правилно.

Криптиране **–** Шифроване, шифриране или криптиране е промяната на данни, например текст, от форма на четлив текст в някакъв неподлежащ на разчитане вид. Обратното преобразуване в първоначалния му вид се нарича дешифриране. За целта се използват различни математически алгоритми. Това се прави с цел да се осъществи безопасното съхранение или предаване на тези данни по незащитен информационен път.

Логическа топология – определя метода, по който потребителите получават достъп до мрежата и възможностите за обмен на данни между отделните възли.

Маршрутизатор – устройство, което се използва за управление на разпределянето на пакетите с информация между различни мрежи или различни сегменти от дадена мрежа.

Мост – разделя мрежата на логически сегменти и съобщенията (пакетите с данни) се предават от един към друг сегмент през порт на моста само ако уникалният адрес на получателя принадлежи към съответния сегмент.

Мрежи EnOcean – EnOcean е безжичната мрежа с автономно захранване. Има обхват на действие от близо 300 метра и може да реализира информационен обмен до120 Kbit/s.

Мрежи ZigBee – ZigBee е самоорганизираща се и самовъзстановяваща безжичната мрежа, работеща в диапазоните на честотните канали 868 MHz, 915 MHz, 2.4 GHz. Данните се предават със скорост 250 Kbit/s.

Мрежи Z-Wave – Z-Wave е протокол за безжичен пренос на данни и е предназначен за пренос на информация на къси разстояния при минимален разход на енергия. Устройствата, базирани на Z-wave протокола, реализират не много високата скорост от около 40 Kbit/s в радиус от приблизително 30 - метра и работят с една батерия повече от година.

Мрежов протокол – Мрежов протокол е система от правила за обмяната на информация между процеси или компютри, които са свързани в една компютърна мрежа. Комуникацията в тази мрежа се базира на множество протоколи с различни функции и се осъществява посредством обмяната на съобщения (пакети).

Мрежова архитектура с равноправен достъп – В този тип мрежи всички комуникационни устройства са равнопоставени, и в един момент едно устройство може да действа като сървър, а в друг – като клиент. Достъпът до общите мрежови ресурси не се администрира от отделен сървър. Използва се, когато броят устройства е сравнително малък и няма нужда от централизирано съхраняване на файлове и ресурси.

Мрежови топологии – дефинира структурата на комуникационната мрежа. Различават се логическа и физическа топология.

Пасивни мрежови устройства – осигуряват точка на свързване в комуникационната мрежа, без да променят параметрите на постъпилия на входа им сигнал. Към тази група се отнасят: свързващи букси, розетки, свързващи панели и пасивни концентратори.

Подчинено устройство (slave device) – Подчинените устройства (сензор, изпълнителен механизъм, задвижване или друго измервателно устройство) формират така наречената "пасивна станция" в мрежата, тъй като тя няма права на достъп до мрежата, а може само да потвърди получените съобщения от master устройството или да изпрати потвърждение към него.

Полеви мрежи – компютърни мрежи на базата, на които са изградени мрежови системи за управление, включващи интелигентни устройства като регулатори, програмируеми логически контролери, интелигентни сензори, изпълнителни механизми и др.

Piconet връзка – master-slave, организация в която броят на активните връзки в даден момент са по-малко от общият брой подчинени устройства. Неактивни slave устройства са установили връзка с master, и очакват освобождаване на свободно място, за да осъществят преноса на данни.

Разпределени системи за управление (РСУ) **–** основен вид подсистеми в интегрираните системи за управление на производството.

Реално време (realtime) – режим на работа на автоматизираните системи за обработка на информация и управления, при който времето за реакция на системата се синхронизира с времето за изпълнение на външни физически процеси.

Рецесивен и доминантен бит (recessive and dominant bit) – За абстрахиране от средата за предаване CAN избягва описването с двоични стойности "0" и "1". Вместо това се приемат термините "рецесивен" и "доминантен" сигнал. Например, при оптичната връзка "рецесивен" сигнал може да бъде тъмно, а при "доминантен" сигнал – светло. При електрически сигнал "рецеси-

вен" – високо ниво на електрическия сигнал, а "доминантен" – отсъствието му.

Системи за автоматично управление с мрежова комуникация (САУМК) – системи, при които управляващите и крайните устройства са свързани в комуникационна мрежа. Всяко устройство представлява възел в комуникационната мрежа и взаимодейства с останалите устройства чрез мрежовата среда.

Съобщение маркер (token) – Данните се предават последователно от един компютър към друг, докато стигнат до получателя. Това се извършва чрез маркер - (token), който представлява сигнал с дължина 3 байта и циркулира по кръга, като определя кой компютър е активен в момента.

Терминал (terminal) – Електронно хардуерно устройство, предназначено за въвеждане и извеждане на данни в сървъри, информационно-изчислителни центрове или големи компютърни системи.

Технология Bluetooth – Bluetooth е технология за безжично свързване на устройства от произволен тип. Предназначението й е да дефинира малкоформатни и икономични устройства за радиокомуникация между преносими компютри, устройства от тип PDA, клетъчни телефони и други мобилни системи със собствено захранване.

Технологията HIPERLAN/2 (High Throughput Technology) – Технологията HIPERLAN/2 е предназначена за предаване на данни, разговори и изображения в индустриални, административни и битови сгради. Чрез нея се реализират клетъчни WLAN с малък обхват, като се очаква масовото им разпространение.

Технологията Wi-Fi (Wireless Fidelity) – Wi-Fi е технология на безжичната мрежа (WLAN) базирана на спецификациите от серията IEEE 802.11. Разработена е за да бъде използвана от преносими изчислителни устройства работещи в локални мрежи (LAN).

Управляващи изчислителни комплекси (mainframe computers) – позволяват управление на много големи количества данни и решаване на много сложни изчислителни задачи.

Физическата топология – определя конфигурацията на свързващите проводници, мрежовото оборудване и потребителските станции в мрежата.

Фрагментирани съобщения (Fragmented messages) – комуникационен механизъм, при който данните се разделят и изпращат на фрагменти.

Фрейм (кадър) – Кадърът е единица информация, чийто източник е слоят за данни. Той се състои от глава (header) и тяло (trailer) и данни от по-горни слоеве. Главата и ремаркето съдържат контролна информация нужна за получателя.

Хопинг (Hoping) – периодична промяна на честотата, определяна от параметъра Hoping Sequence.

Циклични съобщения (Cyclic messages) – комуникационен механизъм, който се използва за периодично предаване на данни от slave към master устройствата.

Шлюз – обединява две несъвместими по процедури за достъп и протоколи мрежи, както локални, така и глобални мрежи (напр. DeviceNet и CANopen).

УЧЕБНА ПРОГРАМА

по ИНДУСТРИАЛНИ МРЕЖИ И ИНТЕРФЕЙСИ В СИСТЕМИТЕ ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ
(за работещи в малки и средни предприятия)

А. Теоретично обучение

Номер	Тема	Часове за подготовка
1.	Въведение в индустриалните мрежи за комуникация. Архитектура на системите за комуникация. Разпределени системи за управление. Системи за автоматично управление с мрежова комуникация.	2
2.	Комуникационна мрежа. Типове мрежи.	1
3.	Мрежови топологии и модели. Видове физически топологии. Устройства за физическо и логическо структуриране на мрежата. Мрежови модели.	1
4.	Полеви индустриални мрежи. Структура на полевите индустриални мрежи. Методи за предаване на информация, използвани в полевите мрежи. Комуникационни механизми в полевите мрежи. Съвременни спецификации за полеви мрежи.	2
5.	Спецификация за полеви мрежи PROFIBUS. Описание на протокола. Функциониране на PROFIBUS-DP. BUS Timing.	2
6.	Комуникационен протокол CANBUS и MODBUS. CANBUS комуникационен протокол организация на информационния пакет, видове кадри, арбитраж при	2

	предаване на данни. Скорост на предаване и дължина на мрежата. Предимства и недостатъци на CAN.	
7.	MODBUS комуникационен протокол – описание, формат на кадъра. Стандартни команди. Потребителски команди. Модел на данните. Контрол на грешката в протокола Modbus RTU.	2
8.	Индустриални мрежи от ниво "управление". Мрежова спецификация ControlNet. Мрежова спецификация ControlNet. Топология на мрежите ControlNet. Класове устройства в мрежите ControlNet.	2
9.	Индустриални мрежи от информационно ниво. Работа в реално време. Използвани устройства при мрежите от информационно ниво. Топология на мрежите и типове обмен при информационното ниво.	2
10.	Мрежова спецификация Ethernet. Преносна среда. Комуникационни протоколи. Протоколи ARP и RARP, протоколи TCP/IP, протокол User Datagram Protocol (UDP), Internet Protocol IP.	2
11.	Безжични комуникации в промишлена среда. Видове безжични мрежи. Логически топологии на безжичните мрежи. Защита на данните.	2

Б. Упражнения

Номер	Тема	Часове за изпълнение
1.	Архитектура на системите за комуникация. Разпределени системи за управление. Системи за автоматично управление с мрежова комуникация. Комуникационна мрежа. Типове мрежи.	2
2.	Мрежови топологии и модели. Видове физически топологии. Устройства за физическо и логическо структуриране на мрежата. Мрежови модели.	2
3.	Полеви индустриални мрежи. Методи за предаване на информация, използвани в полевите мрежи. Спецификации за полеви мрежи.	2

4.	MODBUS комуникационен протокол – описание, формат на кадъра. Стандартни команди. Потребителски команди.	2
5.	Мрежова спецификация Ethernet. Комуникационни протоколи. Протоколи ARP и RARP, протоколи TCP/IP, протокол User Datagram Protocol (UDP), Internet Protocol IP.	2

Използвана литература

1. Джиев, Ст., Индустриални мрежи за. комуникация и управление (учебник), ISBN 954-438-360-3, Изд.-ТУ София, 2002.
2. Електронни материали по дисциплина Индустриални компютърни мрежи. Технически университет – Габрово, http://umis.tugab.bg/e-mat.
3. A. I. Series Software Reference, Rockwell Software, 1997.
4. Bender, K., (editor), Profibus – the Fieldbus for Industrial Automation., Prentice Hall, 1992.
5. BOSCH CAN Specification – Version 2.0, Part A. 1991, Robert Bosch GmbH.
6. DeviceNet Specification, Open DeviceNet Vendor Association, Inc., Volume I, II, 2.03, 1997.
7. Fieldbus Foundation., Fieldbus Foundation specifications, 1994.
8. SIEMENS. SIMATIC. Step 7 – Micro Programming. Reference manual., Siemens AG, 1995.
9. Компютърни мрежи. Електронен учебен курс, http://193.192.57.240/po/courses/komputarni%20mrezi/start.html.
10. An Educator's Guide to School Networks, http://fcit.usf.edu/network/default.htm.
11. В мрежата. Уроци за компютърни мрежи и сигурност, http://vmrejata.info/.
12. Computer Experts Group. Мрежи. http://comexgroup.com/comm/lan_all/lan.htm.
13. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION http://www.Modbus-IDA.org.
14. MODBUS MESSAGING ON TCP/IP IMPLEMENTATION GUIDE http://www.Modbus-IDA.org.
15. Profibus Technology and Applicatin http://www.Modbus-IDA.org.