

Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Лекции по

**ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ
НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА
(ЗУПТ)**

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 1

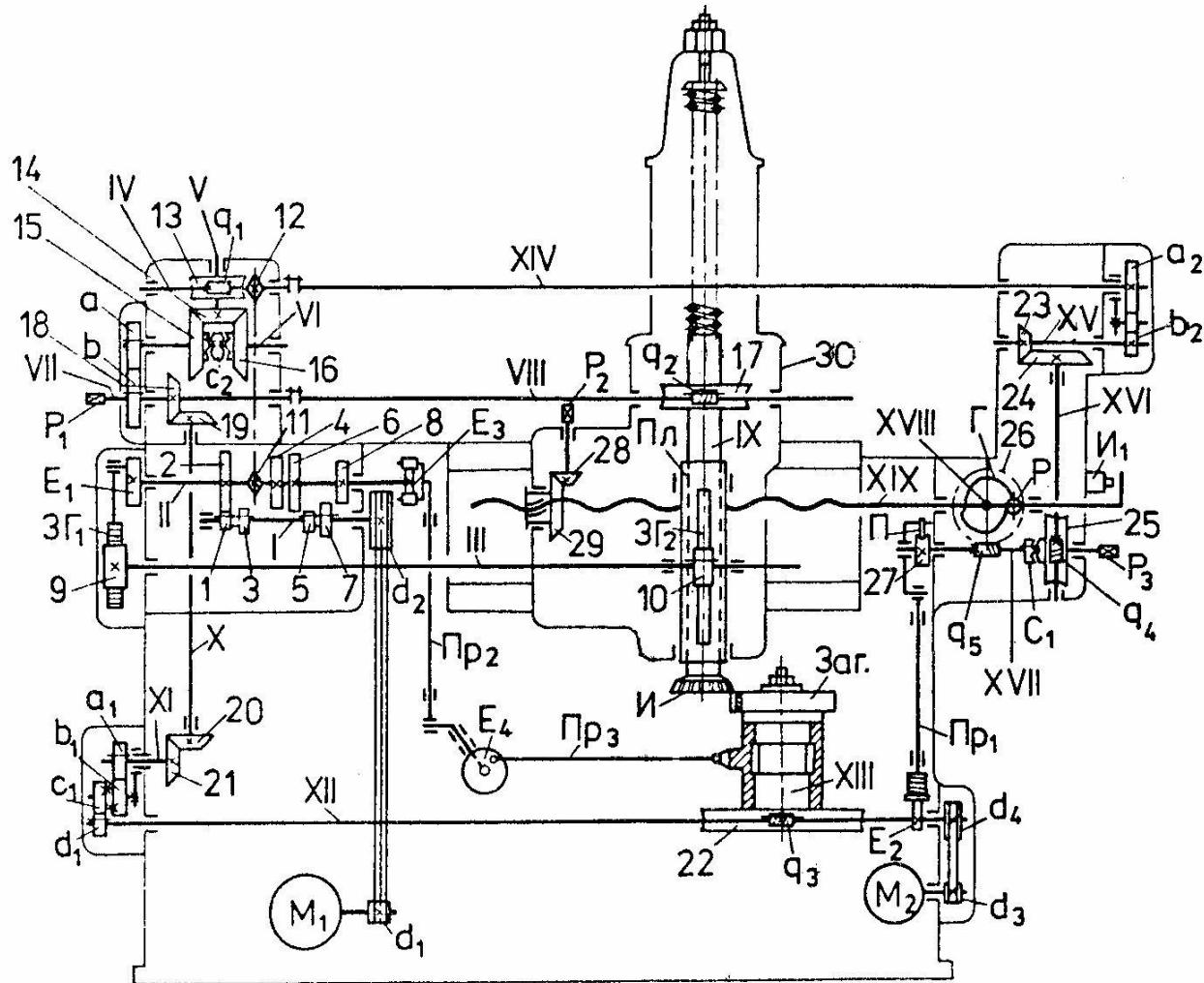
ОСНОВНИ СВЕДЕНИЯ ЗА ЗАДВИЖВАНИЯТА В МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предназначение и структура на задвижванията

Задвижването има за задача да осигури необходимите условия за изпълнението на различни по вид технологични процеси.

Задвижването на всеки работен орган съдържа **двигател, кинематична верига и средства за управление на движението.**

Предназначение и структура на задвижванията



Предназначение и структура на задвижванията

Двигател (M):

В машиностроенето, в зависимост от степента на тяхното използване, най-разпространени са електрическите двигатели, след тях се нареждат хидравличните двигатели и най-слабо разпространени са пневматичните двигатели.

Тъй като типа на двигателя е прието да дава и типа на задвижването, то задвижванията ги класифицираме като **електрически, хидравлични и пневматични**.

Предназначение и структура на задвижванията

Кинематична верига (КВ):

Нейното предназначение е да пренесе движението от двигателя до работния орган (РО), извършващ непосредствено технологичния процес (ТП).

Кинематичните вериги се характеризират с голямо разнообразие, както по отношение на пространственото расположение на двигателя и работния орган, така и на необходимостта на преобразуване параметрите на осигуреното от двигателя движение – скорост, въртящ момент, сила, ротационно в линейно движение и т.н.

Предназначение и структура на задвижванията

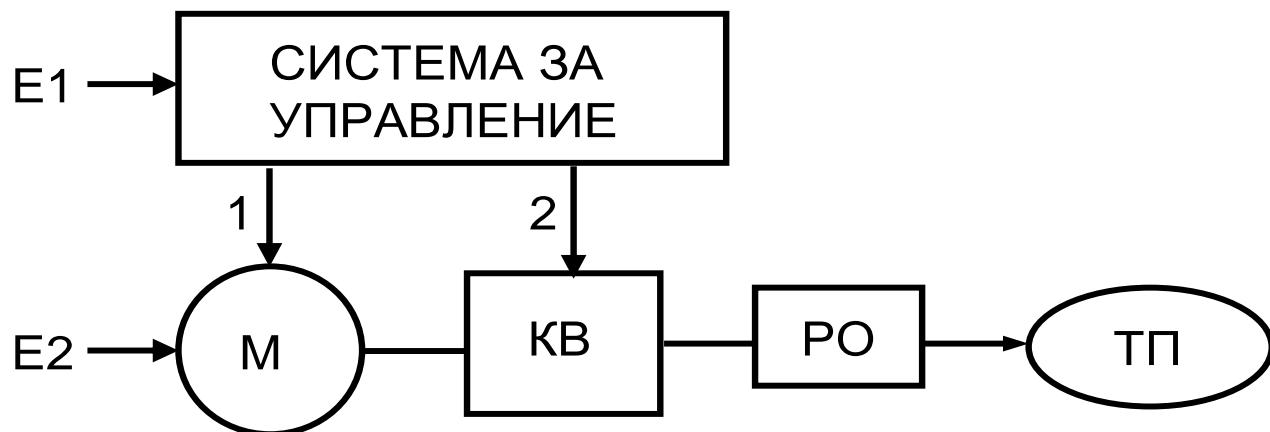
Средства за управление на движението:

Тяхната задача е при вече съществуващи двигател, кинематична верига и работен орган да осигурят необходимия диапазон от скорости, усилия и др., да поддържат зададена скорост или усилие на работния орган с необходимата точност по време на технологичния процес, както и да предпазват задвижването от повреда при недопустими стойности на отделни параметри или съчетания от тях.

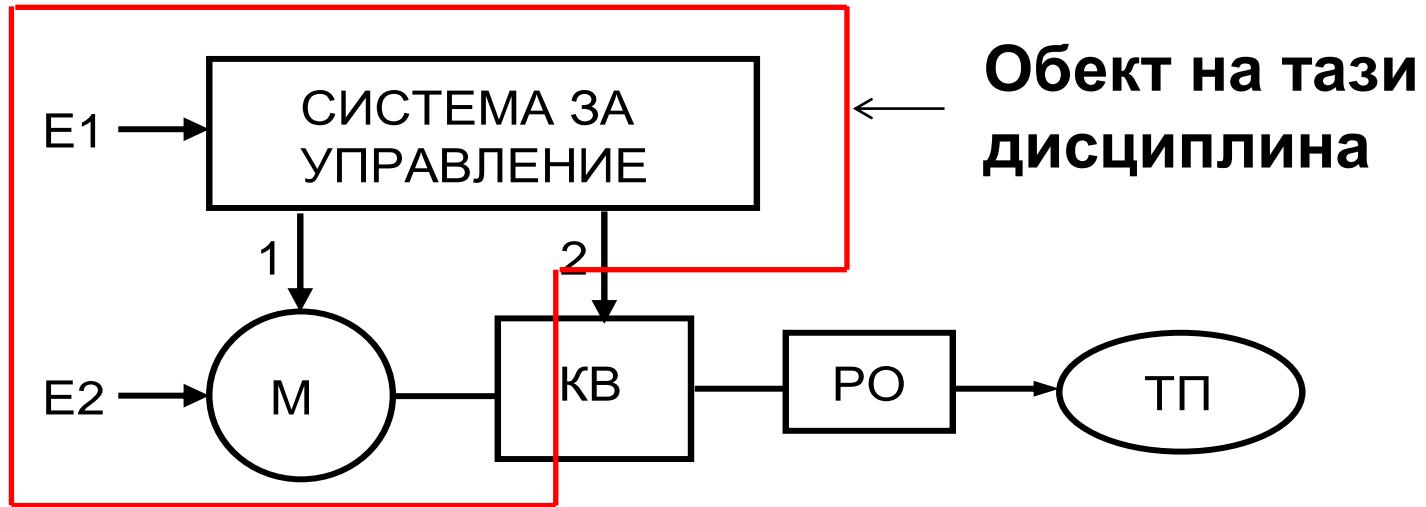
Те могат да влияят както на параметрите на движението, така и на параметрите на кинематичната верига.

Предназначение и структура на задвижванията

Прието е съвкупността от средствата за управление на движенията да се нарича **система за управление (СУ)**, като тя може да бъде за отделен работен орган или обща за цялата машина.



Предназначение и структура на задвижванията



М – двигател

КВ – кинематична верига

РО – работен орган

ТП – технологичен процес

E1 – основен вход за енергия към задвижването

E2 – допълнителен вход за енергия към задвижването

Предназначение и структура на задвижванията

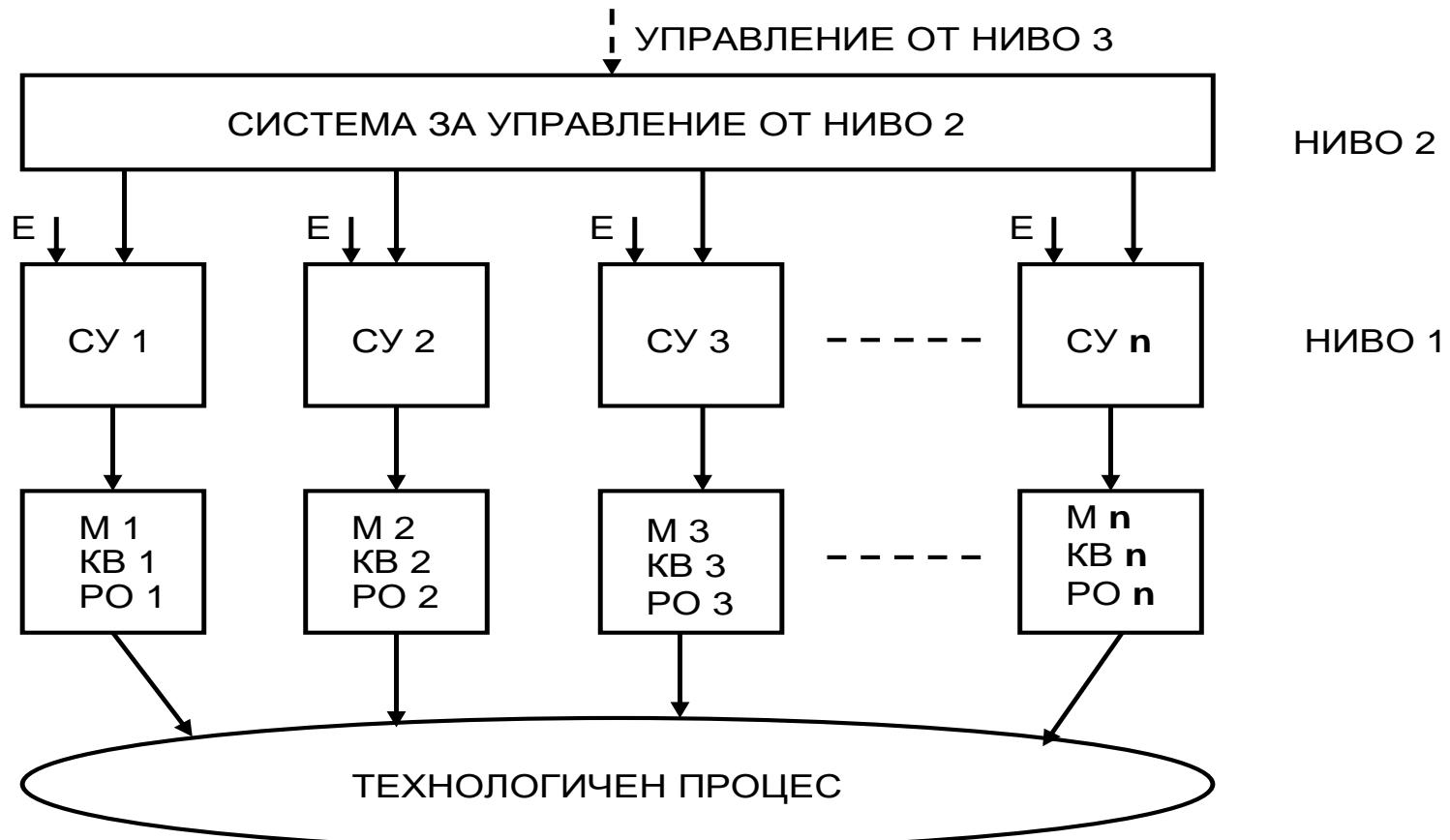
Йерархична структура – всеки работен орган има собствена система за управление, която е подчинена на система за управление (СУ) от по-високо ниво.

Предимства:

- СУ за отделен работен орган може да бъде оптимизирана за всеки конкретен случай;
- Облекчава проектирането на нови машини или технологични обекти;
- Възможност да бъдат използвани средства за задвижване и управление от различни производители;
- Възможност за нарастване на структурата до група машини, производствен участък, цех, завод и т.н.

Предназначение и структура на задвижванията

Пример на йерархична структура с две нива на управление и евентуално управление на трето ниво.



Основни изисквания към задвижванията

- Максимална производителност при зададена точност на движението;
- Лесна и удобна работа с машината;
- Ниска цена и малки експлоатационни разходи;
- Минимална маса и размери;
- Рационална конструкция.

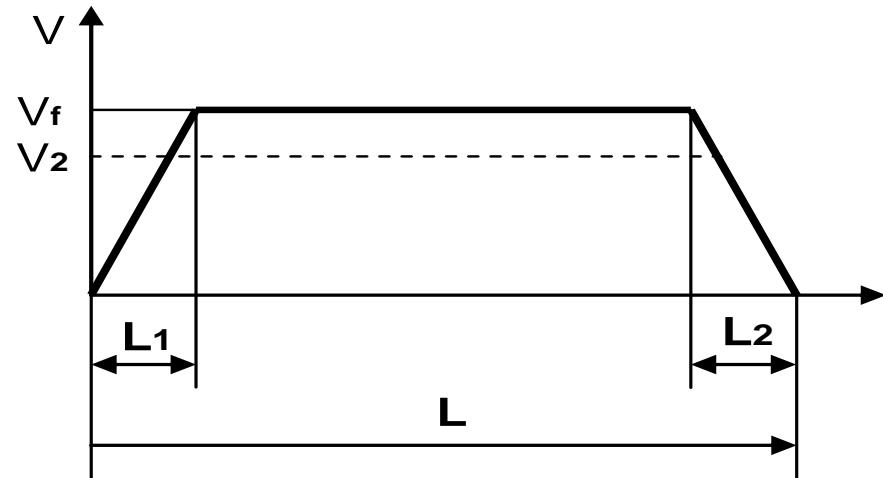
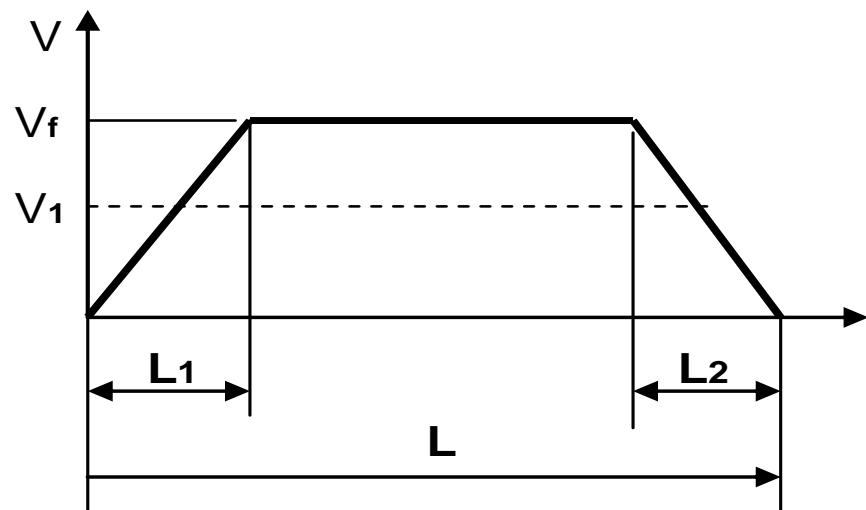
Тези основни изисквания се предявяват независимо от типа на задвижването.

Максимална производителност при зададена точност на движенията

Отнася се до задвижвания на работни органи, осигуряващи геометричните размери и взаимното разположение на повърхнините на обработените детайли.

$$T = L / V_1$$

T – технологично време



Лесна и удобна работа с машината

Изискването е свързано с:

- ▶ Физическо и психическо натоварване на човека-оператор
- ▶ Вероятност от допускане на грешки
- ▶ Получаване на некачествена или негодна продукция

Пример: При достатъчно добра система за управление разстоянието L_2 (началото на процеса на спиране) може да се определя автоматично като функция на скоростта V_f

Ниска цена и малки експлоатационни разходи

Изискванията се постигат чрез:

- ▶ Използване на съвременни конструктивни решения
- ▶ Използване на съвременна елементна база
- ▶ От особена важност е използване на унифицирани и възли и модули в задвижването и системата за неговото управление
- ▶ Тези изисквания не бива да се постигат чрез компромиси с техническите показатели и качеството на задвижването

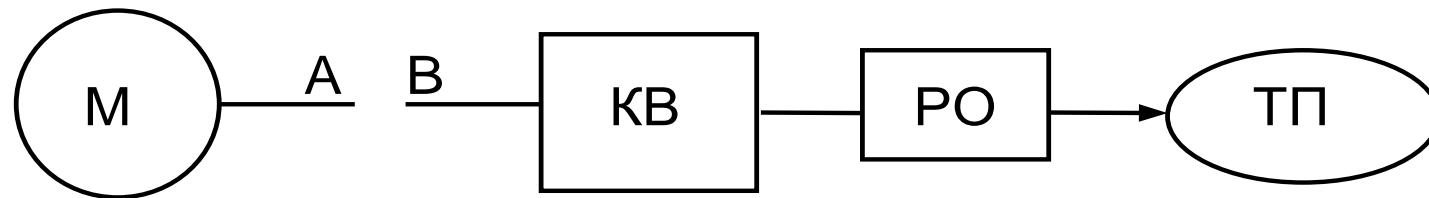
Минимална маса и размери

- ▶ В повечето случаи в условията на машиностроенето тези показатели не са от първостепенна важност
- ▶ При следване на естественото усъвършенстване на елементната база и конструктивните решения, свързани с нейното използване, не могат да се получат големи отклонения от аналогични изделия с подобни показатели
- ▶ Има области, в които масата и размерите са определящи показатели и за тях се налага използване на специални решения

Рационална конструкция

- ▶ Тя е естествено следствие на предишните показатели
- ▶ Косвено се изразява чрез понятията:
 - разходи за производство
 - вероятност за безотказна работа
 - средно време между два отказа
 - ремонтопригодност
- ▶ В зависимост от характера и сложността на задвижването рационалната конструкция има различни решения.

Механични характеристики на задвижвани обекти



Механичната характеристика на задвижвания обект се изразява чрез зависимостта между натоварването, което трябва да преодолее двигателят и неговата скорост при условие, че валът на двигателя се свърже към точка В.

- ▶ Те се дефинират след мислено прекъсване на връзката между вала на двигателя (т. А) и началото на кинематичната верига (т. В).
- ▶ Тези характеристики се отнасят само за точка В.

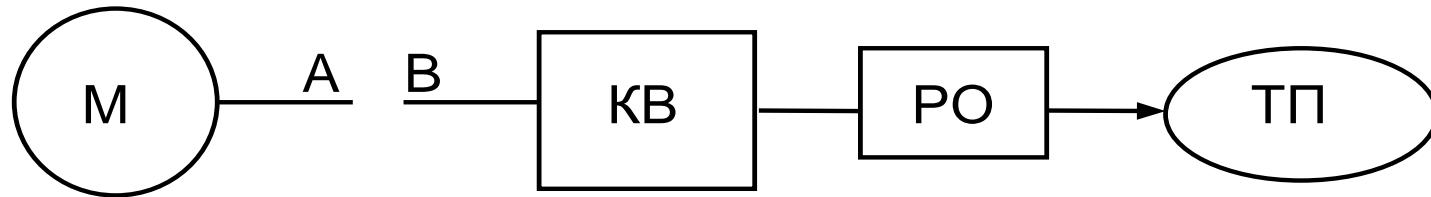
Механични характеристики на задвижвани обекти

- ▶ Основната причина за това е, че **двигателите осигуряват само прости движения – ротационни и линейни**, а технологичните процеси често изискват по-сложни движения, включително съгласувани движения на два и повече работни органа.
- ▶ Кинематичната верига има две основни задачи:
 - да **пренесе** движението от двигателя до работния орган;
 - да **съгласува** параметрите на движенията на двигателя и работния орган с цел осъществяване на технологичен процес.

Механични характеристики на задвижвани обекти

- ▶ Много често кинематичните вериги преобразуват типа на движението на двигателя – ротационно в линейно или линейно в ротационно.
- ▶ При машините, които реализират специфични технологични процеси, са необходими кинематични вериги, които да съгласуват определени движения.
- ▶ Не всяка кинематична верига с такова предназначение има собствен (т.е. самостоятелен) двигател. За двигатели на такива кинематични вериги може да се използва подходяща точка - начална, междинна или крайна - от други кинематични вериги.

Механични характеристики на задвижвани обекти



при **ротационно движение** в точка В:

$$M_c = \Phi_1(\omega, A_1 \dots A_n, B_1 \dots B_n) \quad (1.1)$$

където:

M_c – текуща стойност на съпротивителния момент;

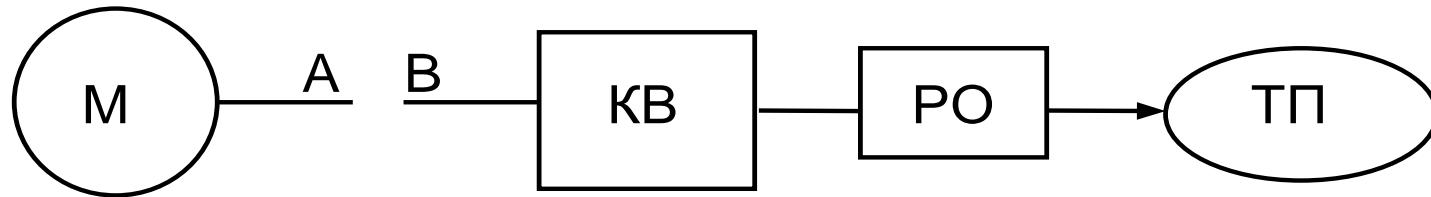
Φ_1 – функционална зависимост;

ω – текуща стойност на ъгловата скорост;

$A_1 \dots A_n$ – параметри на кинематичната верига;

$B_1 \dots B_n$ – параметри на технологичния процес.

Механични характеристики на задвижвани обекти



при трансляционно движение в точка В:

$$F_c = \Phi_2(V, A_1 \dots A_n, B_1 \dots B_n) \quad (1.2)$$

където:

F_c – текуща стойност на силата на съпротивление;

Φ_2 – функционална зависимост;

V – текуща стойност на линейната скорост;

$A_1 \dots A_n$ – параметри на кинематичната верига;

$B_1 \dots B_n$ – параметри на технологичния процес.

Механични характеристики на задвижвани обекти

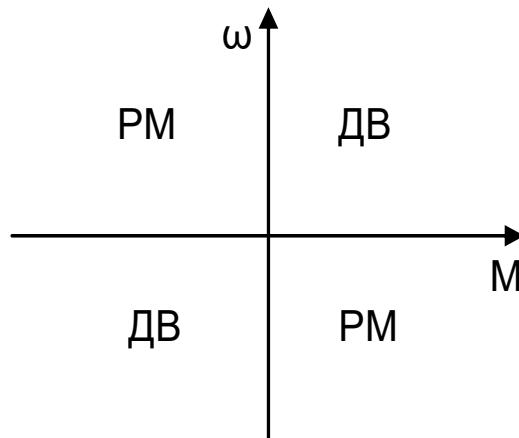
Важни особености:

- ▶ В съответствие с изразите (1.1) и (1.2) броят на параметрите на тези характеристики е голям
- ▶ По тази причина тяхното графично представяне е затруднено и затова те се групират в семейства
- ▶ Прието е механичните характеристики от всяко семейство да се изобразяват в **равнинна координатна система** както следва:
 - по **абсцисата** се нанася **съпротивителната сила или момент**;
 - по **ординатата** се нанася **линейната или ъглова скорост**.

Механични характеристики на задвижвани обекти

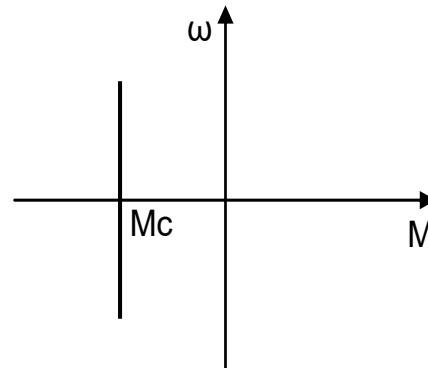
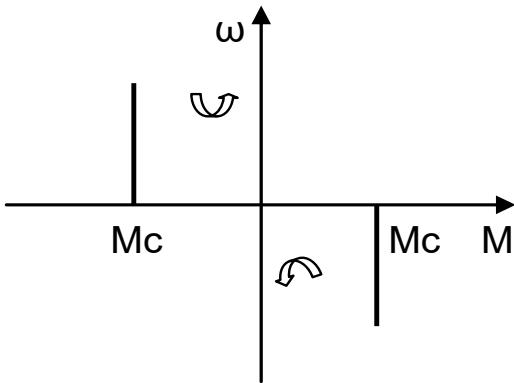
- ▶ В квадрантите, в които силата и скоростта имат еднакви знаци, се изобразяват механичните характеристики на двигателите;
- ▶ В квадрантите, в които силата и скоростта имат различни знаци, се изобразяват механичните характеристики на работните механизми.

Механични характеристики на задвижвани обекти



По-голяма част от задвижваните обекти имат реверсивно движение и затова е прието при движение в посоката, приета условно за положителна, характеристиките да се изобразяват във втори квадрант, а в другата посока, приета условно за отрицателна – в четвърти квадрант.

Механични характеристики на задвижвани обекти



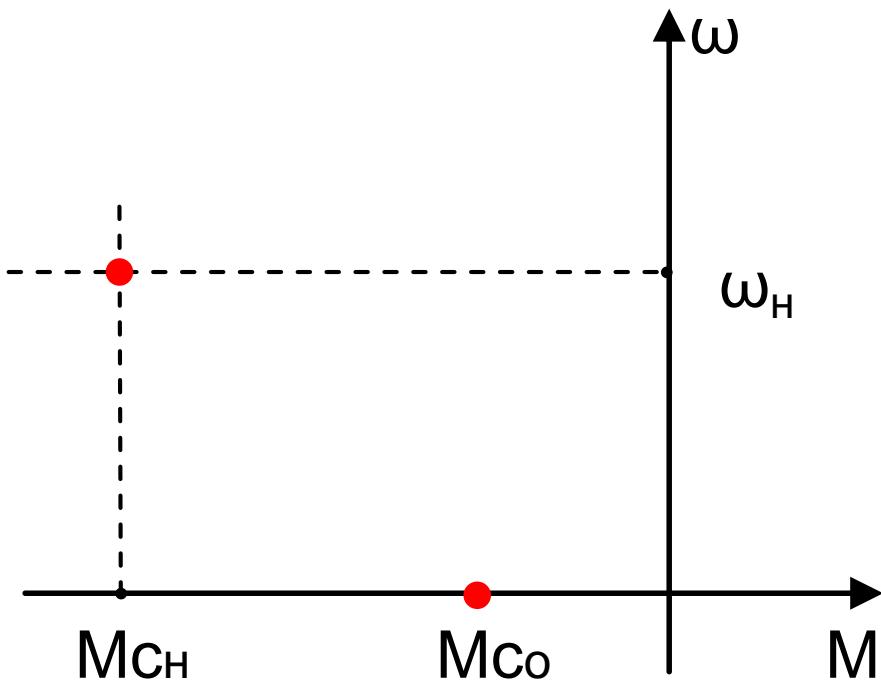
Съпротивителните сили и моменти от страна на технологичния процес могат да зависят от посоката на скоростта (реактивни) или да не зависят от нея (потенциални).

Механични характеристики на задвижвани обекти

- ▶ Изразите (1.1) и (1.2) не винаги са удобни за практическо използване, особено когато в проектираното задвижване се използват готови елементи и възли от друг производител;
- ▶ Причината за това е, че част от параметрите на готовите елементи и възли, необходими за прилагането на тези зависимости, са неизвестни за конструктора на задвижването;
- ▶ В такива случаи се препоръчва използването на аналитична зависимост, която достатъчно точно описва механичните характеристики на задвижваните обекти и техните компоненти.

Механични характеристики на задвижвани обекти

- Зависимостта се основава на факта, че механичните характеристики на всички задвижвани обекти минават през две характерни точки.



- Първата е с координати $\omega=0$ и M_{co}
- Втората е с координати $\omega = \omega_h$ и $M_c = M_{ch}$

Механични характеристики на задвижвани обекти

- ▶ Тази зависимост има вида:

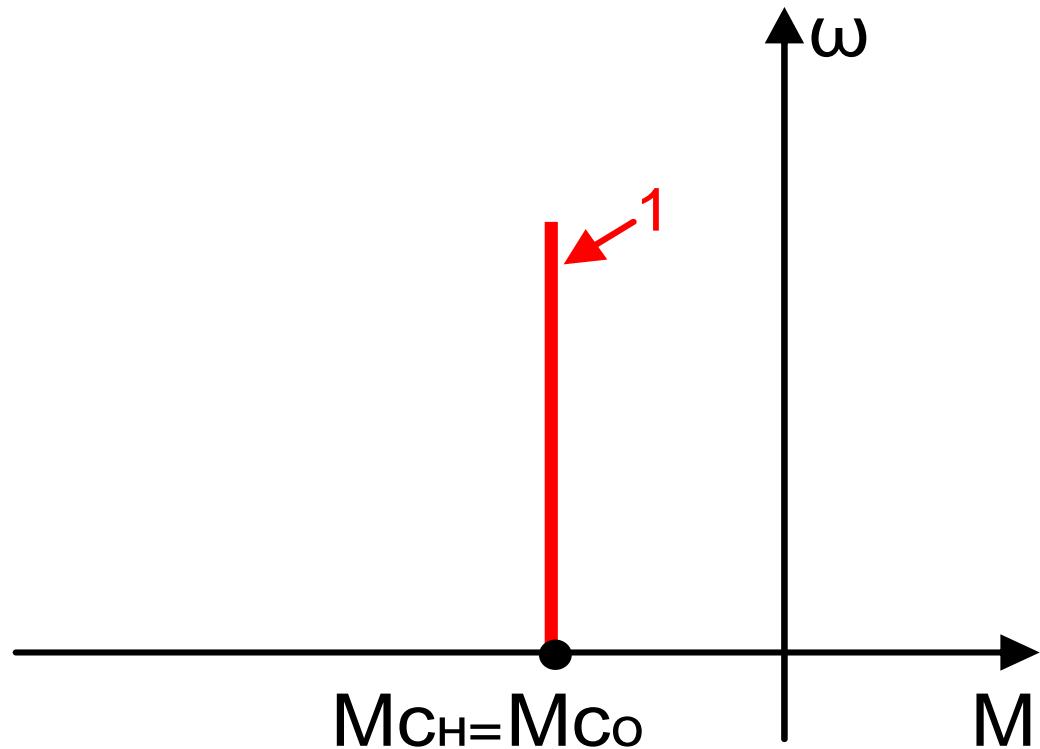
$$M_c = M_{co} + (M_{cn} - M_{co}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^K \quad (1.3)$$

- M_c** - момент от съпротивителните сили в т. **B** ;
 ω - текуща стойност на скоростта в т. **B** ;
 M_{co} - момент от съпротивителните сили в т. **B** при $\omega=0$;
 M_{cn} - номинален момент от съпротивителните сили в т. **B** при $\omega = \omega_n$;
 ω_n - номинална скорост на механизма;
 K - показател за степента на влиянието на скоростта ω върху M_c .

Механична характеристика, при която моментът от съпротивителните сили не зависи от скоростта

- ▶ Показателят $K=0$ и при заместване в (1.3) се получава $M_c=M_{ch}$. Такава характеристика имат голяма група механизми, при която моментът от съпротивителните сили се предизвиква от сили на триене.
- ▶ При металорежещите машини такава характеристика имат всички подавателни преводи и в определени случаи главни преводи.
- ▶ Тя има следния вид и линията, която я представя е означена с “1”:

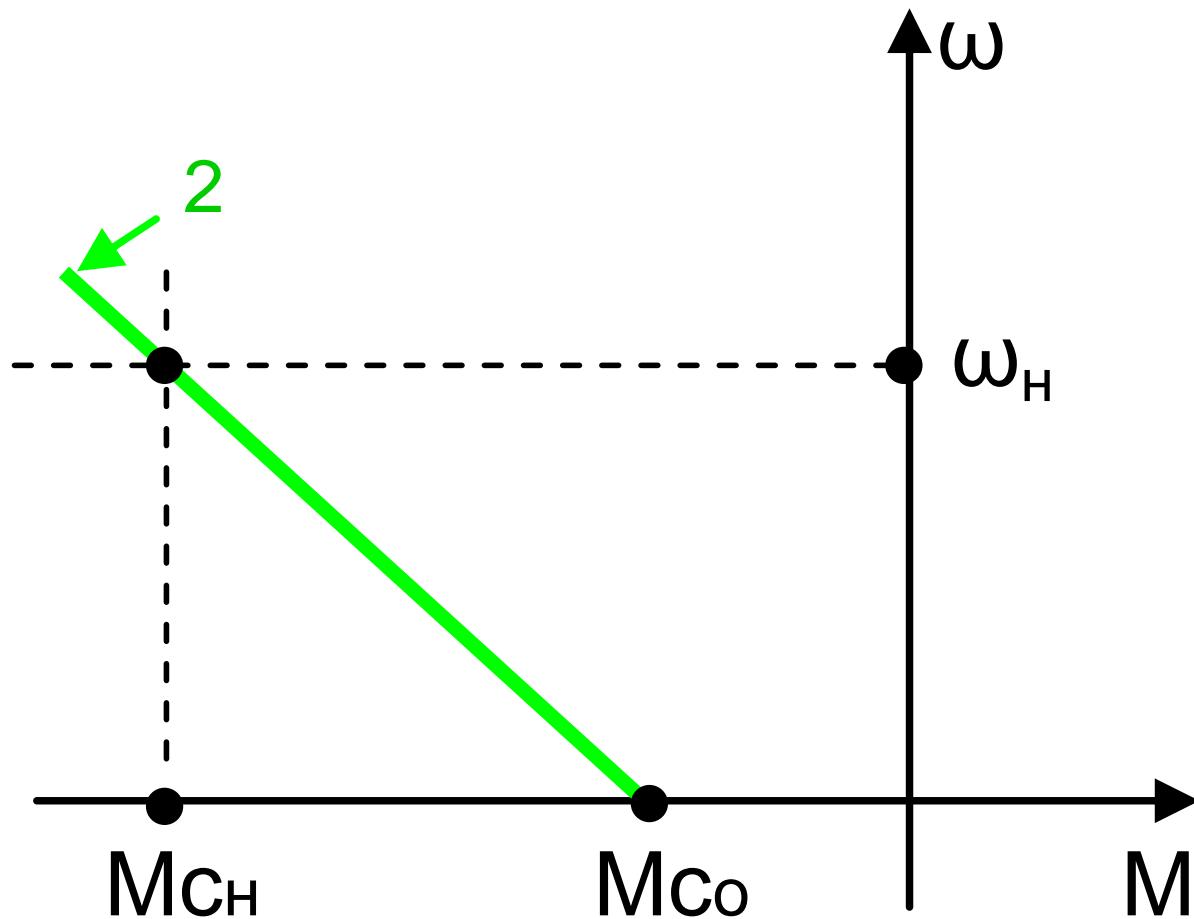
Механична характеристика, при която моментът от съпротивителните сили не зависи от скоростта



Линейна механична характеристика

- ▶ При нея показателят $K = 1$
- ▶ Такава е характеристиката на електрически генератори, работещи с постоянно натоварване
- ▶ Механизмите на машините в машиностроителното производство нямат такива характеристики.
- ▶ Механичната характеристика вида, представен чрез линията означена с “2”.

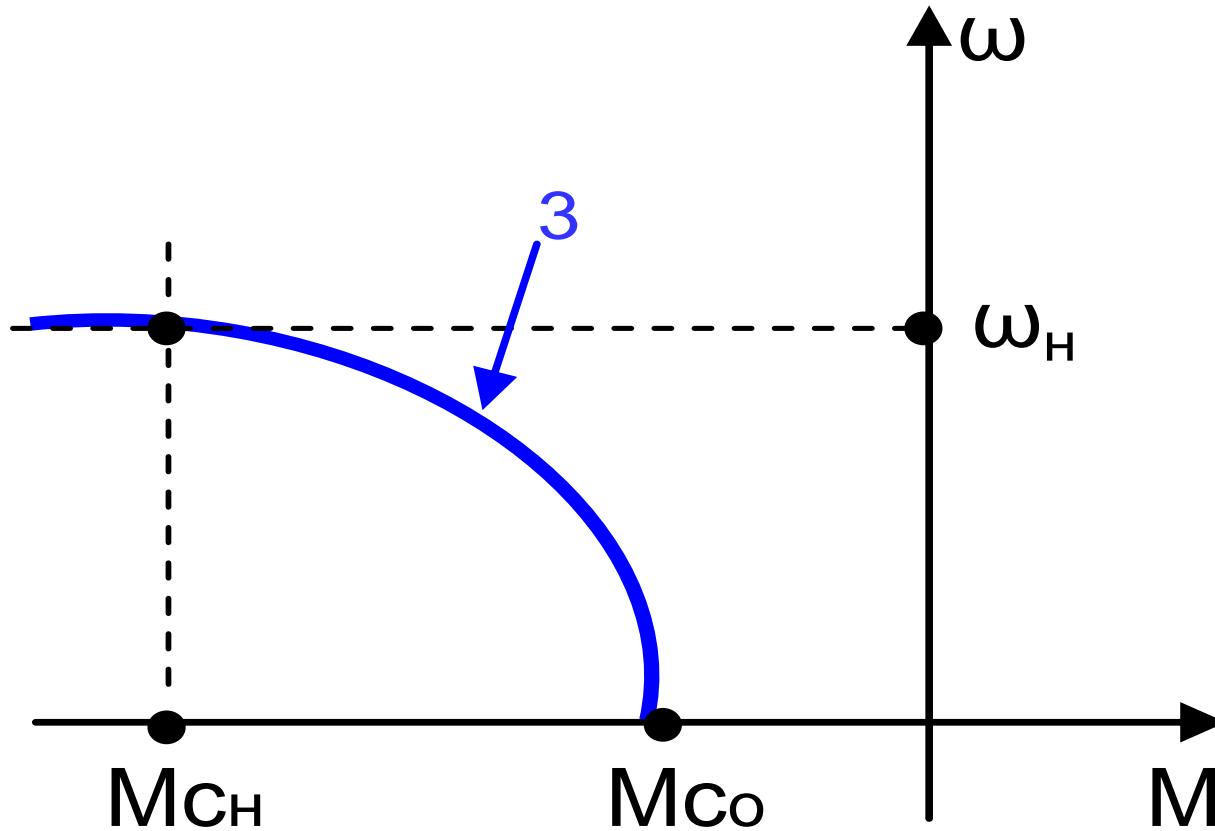
Линейна механична характеристика



Параболична механична характеристика

- ▶ За тази характеристика показателят $K > 1$
- ▶ Тя представлява парабола от k -ти ред
- ▶ Такава характеристика имат помпи, вентилатори, компресори и други съоръжения, които осигуряват флуид (масло, въздух, вода) под налягане и работят с постоянно натоварване
- ▶ За тях показателят K е в границите 1.5 – 5, в зависимост от вискозитета на работния флуид. За вода $K=2$.
- ▶ Тази механична характеристика има вида, представен с линия, означена с “3”.

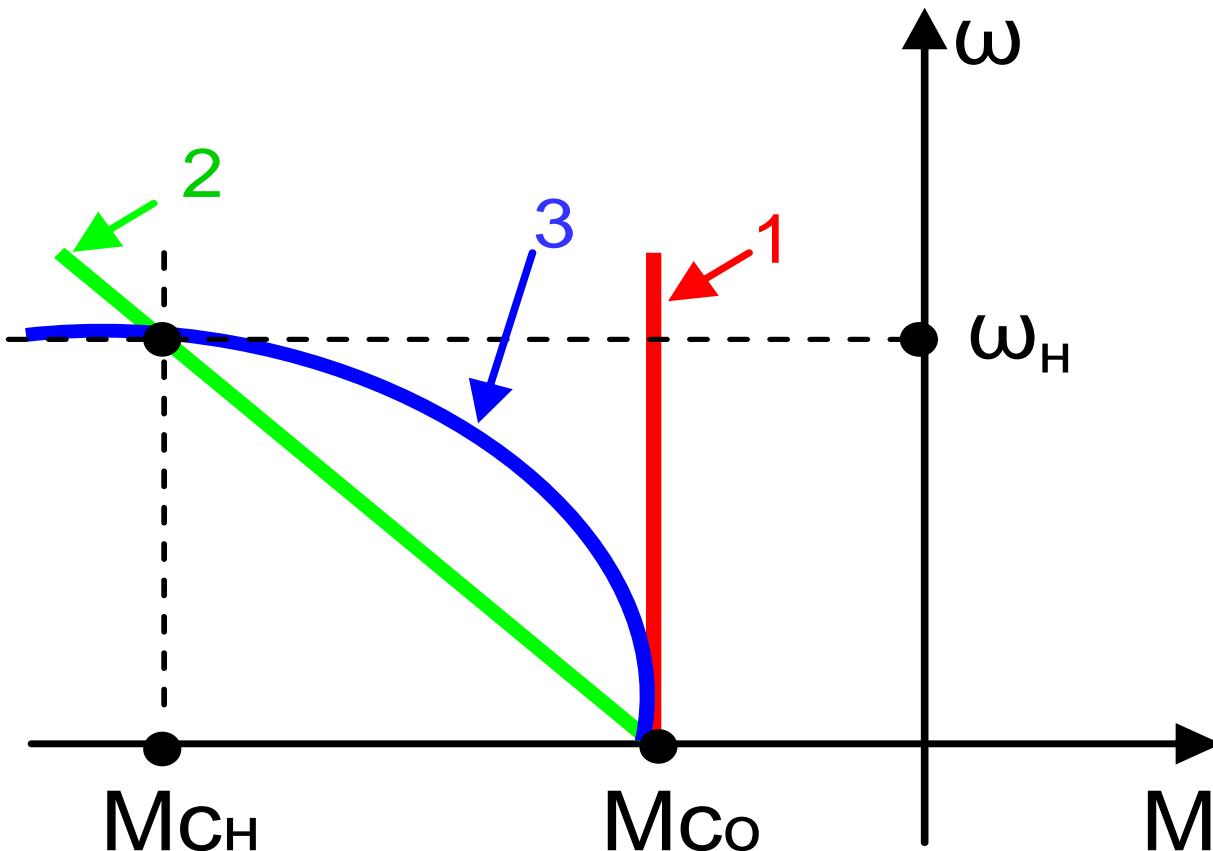
Параболична механична характеристика



Механични характеристики

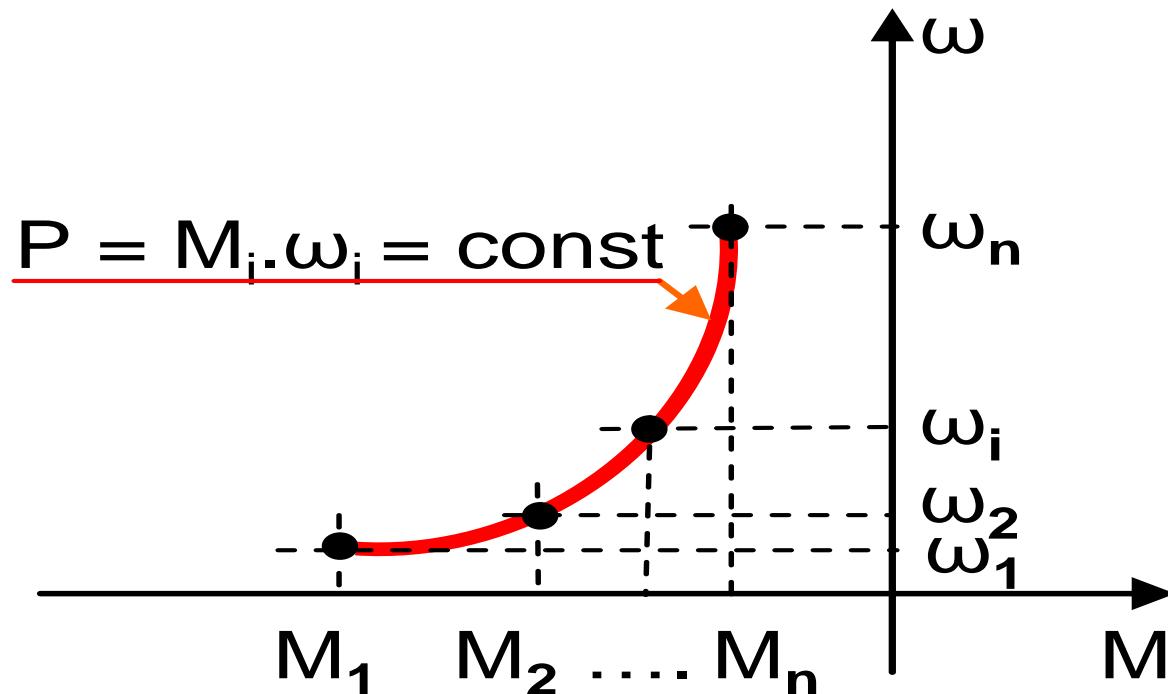
- ▶ На следната фигура за сравнение са представени трите вида механични характеристики при условие, че механизмите, за които се отнасят, **имат едни и същи**:
 - съпротивителен момент M_{co} при скорост $\omega=0$,
 - номинален съпротивителен момент M_{cn} при номинална скорост ω_n
- ▶ Запазени са вече направените означения на линиите 1, 2 и 3

Механични характеристики



Хиперболична механична характеристика

- За тази характеристика показателят $K = -1$ и тя има следният графичен вид:



Хиперболична механична характеристика

- ▶ **Хиперболичната характеристика** се получава при специален режим на работа на системата за управление на двигателя и се използва при главните преводи на металорежещите машини, когато при ограничена мощност на превода трябва да се постигне максимална производителност в режим на грубо обработване.
- ▶ При **хиперболичната характеристика** за всяка двойка точки (M_i, ω_i) произведението от техните стойности е константа, която е равна на мощността на задвижването (по-точно на максималната мощност на двигателя).
- ▶ $P_i = M_i * \omega_i = P_{max} = \text{const}$

Хиперболична механична характеристика

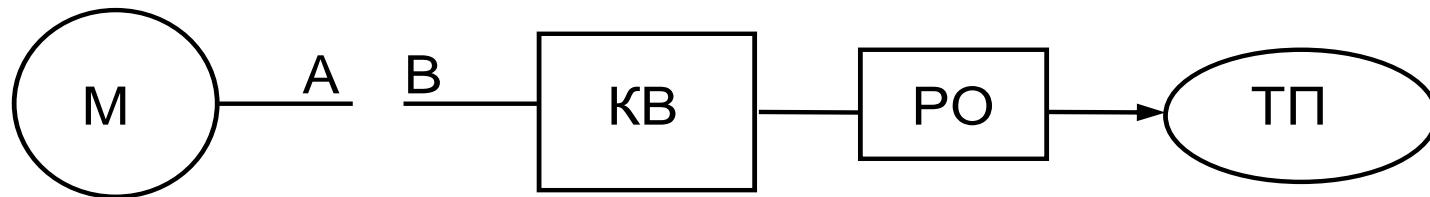
$$\omega M_c = \omega M_{co} + (M_{ch} - M_{co}) \cdot \omega_{ch} \quad (1.4)$$

$\omega M_c = P$ – мощност на работния механизъм

$M_{ch} \cdot \omega_{ch} = P_h$ – номинална мощност на задвижването

$$P = P_h - (\omega_{ch} - \omega) \cdot M_{ch} \approx \text{const.} \quad (1.5)$$

Механични характеристики на двигателя



Механичната характеристика на двигател се изразява чрез зависимостта между неговата скорост като функция на натоварването му, приложено в точка А.

Натоварването на двигателя може да бъде от момент при двигател за ротационно движение или сила при двигател за линейно движение.

Моментът, осигуряван от двигателя е прието да се нарича **двигателен**. Също така се приема, че в конструкцията на същия механизъм няма друг източник на движение.

Механични характеристики на двигателя

В общ вид механичната характеристика на двигателя се представя:

- при ротационно движение в точка А

$$\omega_{\partial} = \Phi_3(M, C_1 \dots C_n, D_1 \dots D_n) \quad (1.6)$$

- при трансляционно движение в точка А

$$V_{\partial} = \Phi_4(P, C_1 \dots C_n, D_1 \dots D_n) \quad (1.7)$$

където: Φ_3, Φ_4 – функционални зависимости;

ω_{∂} – текуща стойност на ъгловата скорост на двигателя;

V_{∂} – текуща стойност на линейната скорост на двигателя;

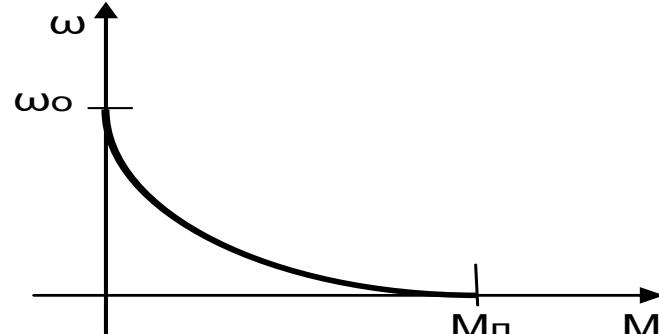
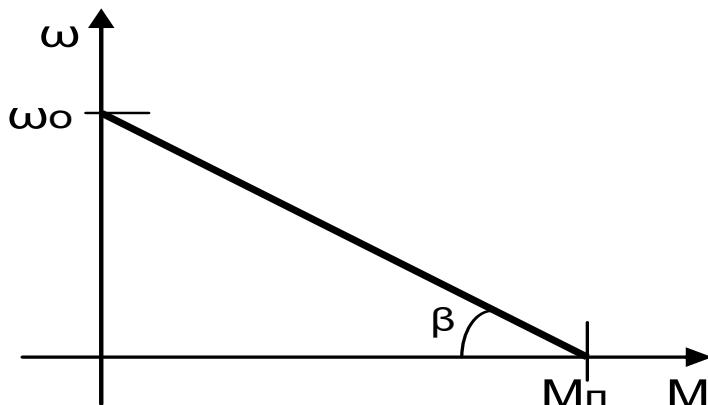
M – текуща стойност на въртящия момент;

V – текуща стойност на силата;

$C_1 \dots C_n$ – параметри на конструкцията на двигателя;

$D_1 \dots D_n$ – параметри на енергийния поток през двигателя;

Механични характеристики на двигателя



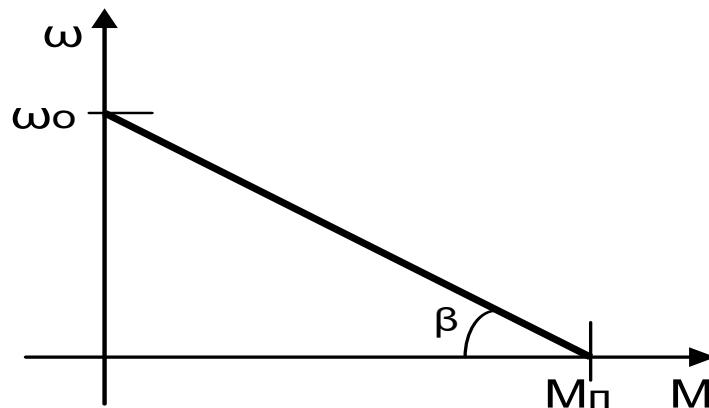
Механичните характеристики на двигателите, построени графично могат да бъдат линейни и нелинейни.

Характерни точки:

$(0; \omega_0)$ – скорост на идеален празен ход;

$(M_p; 0)$ – пусков момент на двигателя

Механични характеристики на двигателя



Линейна механична характеристика – уравнение на права линия

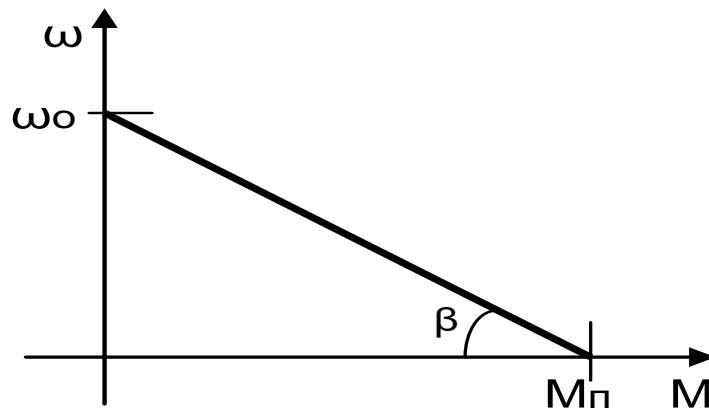
$$\omega = \omega_0 - b \cdot M \quad (1.8)$$

където: ω_0 – скорост на идеалния празен ход;

b – коефициент на наклона, равен на $\tan \beta = \omega_0 / M_p$;

M – текуща стойност на момента на двигателя;

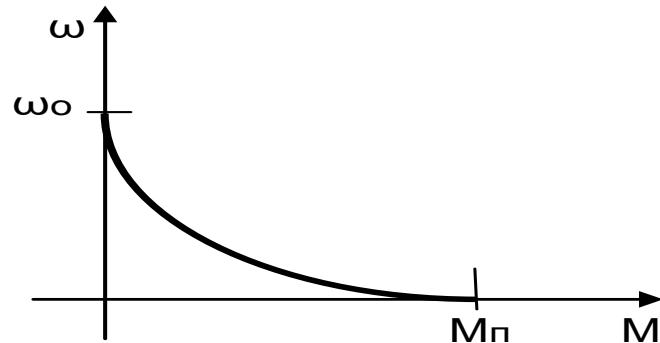
Механични характеристики на двигателя



Коефициента на наклона b е основен параметър на механичните характеристики на двигателя. В теория на задвижванията често се използва неговата реципрочна стойност, която се нарича твърдост на механичната характеристика (γ).

$$\gamma = \frac{M_p}{\omega_0} = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{\partial M}{\partial \omega} \quad (1.9)$$

Механични характеристики на двигателя



Нелинейните механични характеристики се дължат на факта, че коефициентът b не е константа и зависи от конструкцията на двигателя и режима, в който той работи. Тези характеристики се дават аналитично, графично или таблично от техните производители.

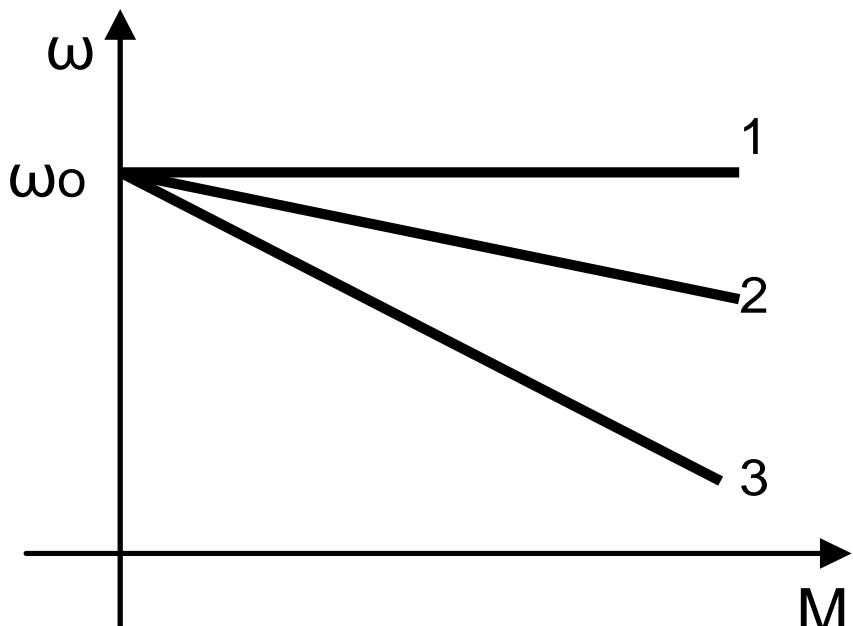
$$\gamma = \left(\frac{\Delta M}{\Delta \omega} \right)_{M=0,5M_h} = \left(\frac{dM}{d\omega} \right)_{M=0,5M_h} \quad (1.10)$$

Механични характеристики на двигателя

- ▶ По отношение на твърдостта, механичните характеристики се разделят на три групи:
 - абсолютно твърда
 - твърда
 - мека.

Механични характеристики на двигателя

- ▶ При абсолютно твърдата механична характеристика твърдостта $γ$ е безкрайност (линия 1).
- ▶ При твърдата механична характеристика твърдостта $γ$ е от 100 до 1000 (линия 2).
- ▶ При меката механична характеристика твърдостта $γ$ е от 10 до 100 (линия 3).



Механични характеристики на двигателя

Естествена и изкуствени механични характеристики на двигателите

- ▶ Всеки двигател, независимо от неговия тип и конструкция притежава една единствена **естествена** механична характеристика.

Механични характеристики на двигателя

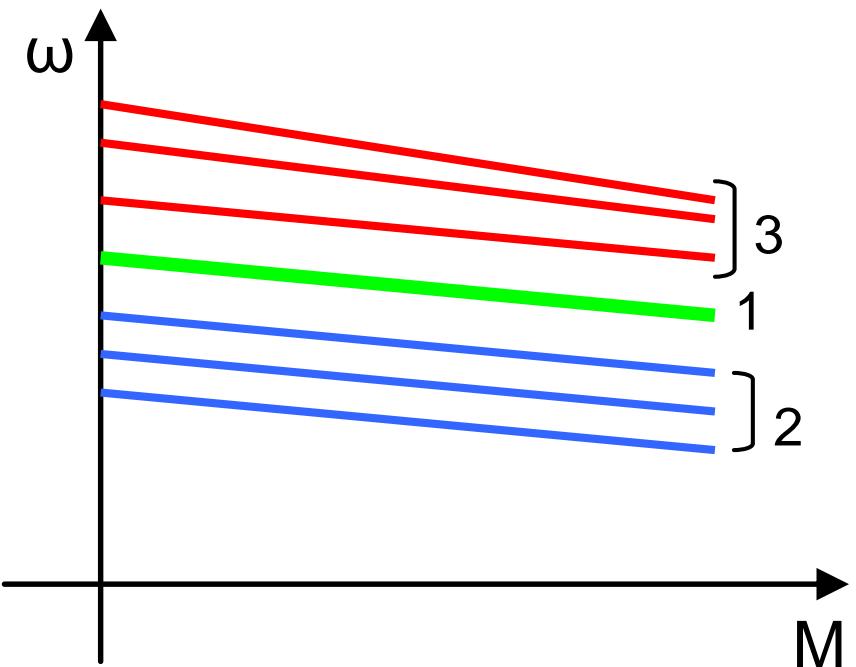
► Естествената механична характеристика се получава, когато:

- За двигателя се осигури източник на енергия (електрически, хидравличен, пневматичен) с параметри според предписанието на неговия производител
- Двигателят се свърже към този източник по посочен от производителя начин
- Двигателят се натоварва с момент, изменящ се принудително в границите от нула до пусковия момент
- За всяка стойност на момента се измерва скоростта на двигателя и механичната характеристика се построява по двойките стойности „момент-скорост”.

Механични характеристики на двигателя

- ▶ Изкуствените механични характеристики се създават чрез променяне на някое от условията за получаване на естествената механична характеристика
- ▶ На практика най-лесно се оказва променянето на параметрите на енергийния източник
- ▶ За двигателя се създава специален енергиен източник с управляеми параметри, който се използва вместо този, предписан от производителя, с цел получаване на естествената механична характеристика.

Механични характеристики на двигателя



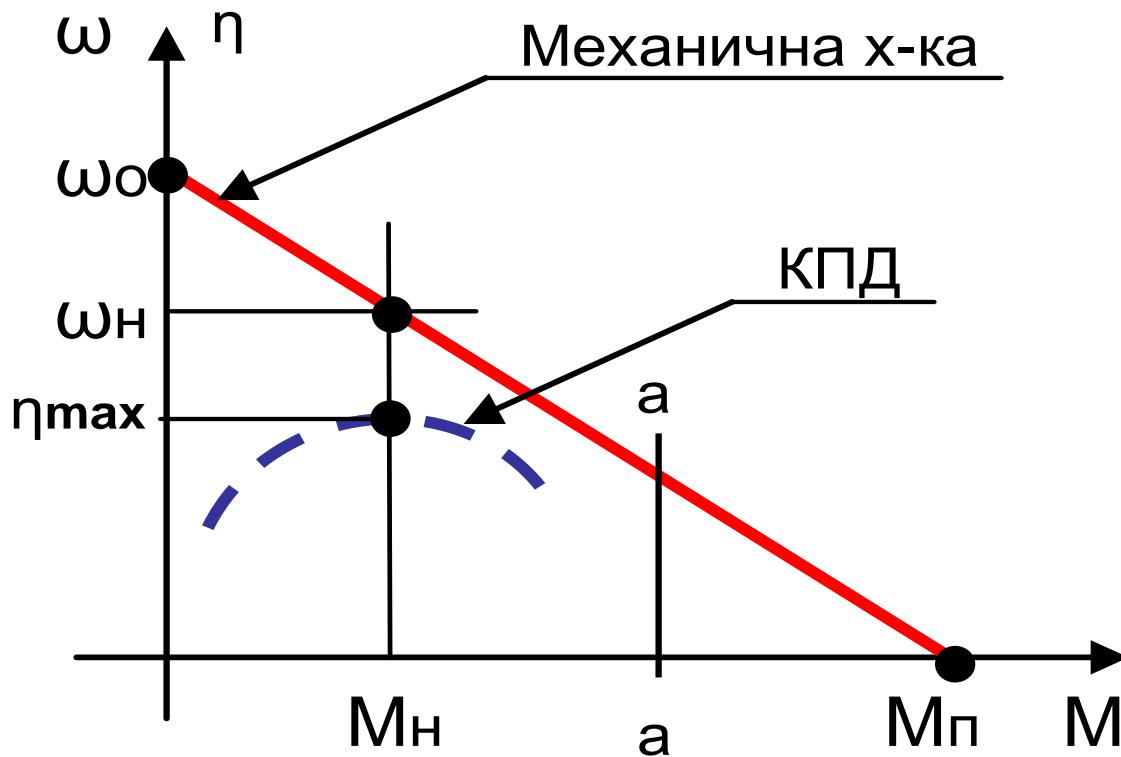
1. Естествена механична характеристика
2. Изкуствени механични характеристики, расположени под естествената
3. Изкуствени механични характеристики, расположени над естествената

Механични характеристики на двигателя

- ▶ Изкуствените механични характеристики са толкова на брой, колкото се осигуряват от енергийния източник. Съществуват два типа конструкции на тези източници:
 - с фиксиран брой на изкуствените характеристики, който може да достигне няколко десетки хиляди
 - с неограничен брой изкуствени характеристики, който теоретично клони към безкрайност
- ▶ Специално при металорежещите машини, практиката е показвала, че за техните главни движения са необходими не повече от 1000-1500, а за подавателните им движения, не повече 10000-20000 изкуствени характеристики

Механични характеристики на двигателя

- ▶ В практиката не се използва пълната механична характеристика, разположена между точките ω_o и M_p



Механични характеристики на двигателя

- ▶ В зоната надясно от линията **a-a** двигателят може да се намира ограничено време
- ▶ При работа в тази зона системата за управление започва автоматично да „пресмята“ топлината, която се отделя в двигателя и предизвиканото от нея повишение на температурата му
- ▶ Когато системата за управление прецени, че температурата е над определена стойност, изключва двигателя и по този начин го предпазва от повреда

Механични характеристики на двигателя

- ▶ На същата фигура с прекъсвана линия е показано изменението на коефициента на полезно действие η в зоната около неговия максимум.
- ▶ Този максимум се получава само при определено съчетание на текущите стойности на момента и скоростта на двигателя
- ▶ Прието е тези стойности да се наричат „**номинален момент**“ и „**номинална скорост**“ на двигателя, означени съответно с M_N и ω_N

Механични характеристики на двигателя

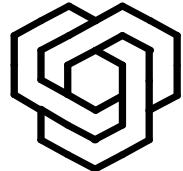
- **Номиналната мощност** на двигателя $P_{ном}$ е равна на тяхното произведение

$$P_{ном} = M_n \cdot \omega_n \quad (1.11)$$

- ▶ Параметрите „**номинален момент**”, „**номинална скорост**” и „**номинална мощност**” се посочват от производителя на двигателя като каталожна информация.

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

**ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ
НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА
(ЗУПТ)**

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 2

СЪВМЕСТНА РАБОТА НА ДВИГАТЕЛ И РАБОТЕН МЕХАНИЗЪМ

Въведение

- ▶ По време на работа двигателят създава, а кинематичната верига пренася различни по стойност скорости и усилия.
- ▶ Определянето на техните реални стойности има значение както за оразмеряване на самите елементи, така и за анализа на съвместната работа на двигателя и работния механизъм.
- ▶ Водещ в този процес е машинният конструктор. След проектирането на кинематичната верига той дефинира изискванията към задвижването и ги предава на конструктора на системата за управление.

Въведение

- ▶ Последният предлага различни варианти по отношение тип на двигател и неговите параметри, възможности и цена на системата за управлението му, които обикновено не съвпадат изцяло с изискванията на машинния конструктор.
- ▶ В резултат на това се **оказва целесъобразно**, машинният конструктор да промени в определена степен кинематичната верига и нейните елементи и първоначалните си изисквания, които отново да представи на инженера на системата за управление.
- ▶ Този процес е итерационен и е свързан с голям обем работа, особено при изискване за оптимални показатели на задвижването.

Въведение

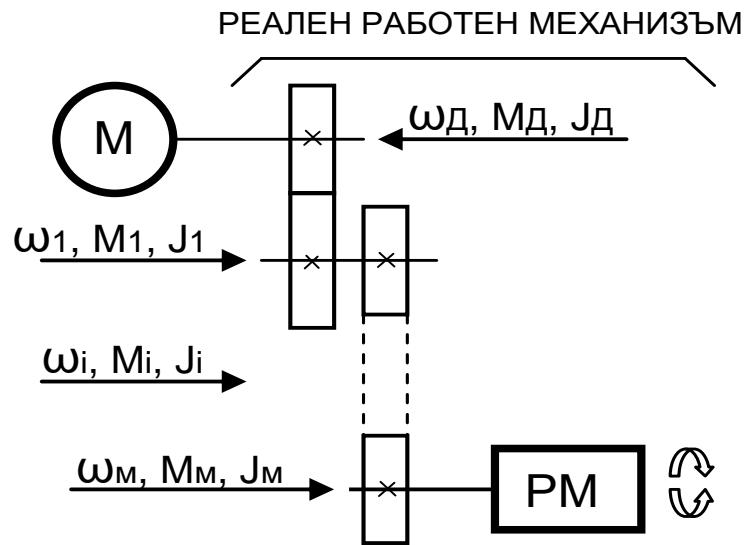
- ▶ Обемът на работа по проектиране на дадено задвижване може силно да се намали чрез прилагане на подход, при който след несложни **първоначални** пресмятания се дефинират границите на параметрите на работния механизъм, двигателя и системата за управление
- ▶ След това работите по кинематичната верига и задвижването се изпълняват **едновременно, независимо една от друга и еднократно**

Въведение

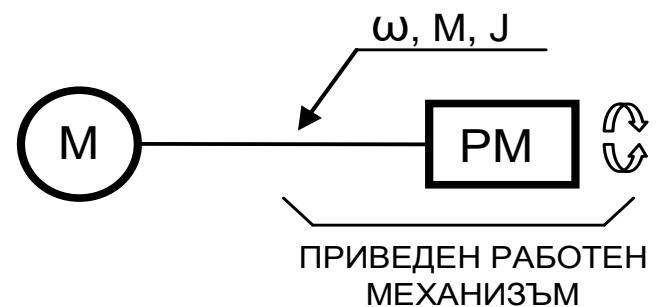
- ▶ В съответствие с този подход реалната кинематична верига и реалният работен механизъм (фиг. 2.1) се заменят с друг механизъм, максимално опростен и наречен „приведен”, който е свързан непосредствено към вала на двигателя (фиг. 2.2).

- ▶ Конструкцията на реалния механизъм е обект на машинния инженер, а конструкцията на системата за управление на приведения механизъм е обект на нейния инженер.

Въведение



Фиг. 2.1. Реален
механизъм



Фиг. 2.2. Приведен
механизъм

Въведение

- ▶ Единствената **обща точка** между двамата инженери е **валът на двигателя**.
- ▶ Привеждането на реалния механизъм към вала на двигателя се извършва при спазването на следните **три изисквания**:

Изисквания

- 1. Реалният механизъм и механизмът, приведен към вала на двигателя, трябва да пренасят една и съща мощност.**
- 2. Реалният механизъм и механизмът, приведен към вала на двигателя, трябва да имат една и съща запасена кинетична енергия.**
- 3. Реалният механизъм и механизмът, приведен към вала на двигателя, трябва да изискват една и съща допълнителна мощност при изменение на скоростта.**

Приведен съпротивителен момент

Моментът от съпротивителните сили се привежда към вала на двигателя на база равенство на мощността, отдавана от двигателя и мощността, необходима на работния механизъм плюс мощността, изразходвана за покриване на загубите в предавателния механизъм между двигателя и работния механизъм както следва:

$$M_m \cdot \omega_m = \eta \cdot M \cdot \omega \quad (2.1)$$

Приведен съпротивителен момент

От което следва:

$$M = \frac{\omega_m \cdot M_m}{\eta} = \frac{M_m \cdot i}{\eta} \quad (2.2)$$

където:

M – приведен към вала на двигателя момент от съпротивителните сили;

ω – ъглова скорост на вала на двигателя;

M_m – момент от съпротивителните сили на вала на работния механизъм

ω_m – ъглова скорост на вала на работния механизъм;

i – предавателно отношение на кинематичната верига ($i = \omega_{изх.} / \omega_{вх.}$)

η – коефициент на полезно действие на кинематичната верига

Приведен съпротивителен момент

Когато работния механизъм има праволинейно движение и се задвижва от двигател с ротационно движение със скорост ω , привеждането на съпротивителната сила на механизма в момент от съпротивителните сили към вала на двигателя става също на база равенство на мощностите, както следва:

$$F_m \cdot V_m = \eta \cdot M \cdot \omega \quad (2.3)$$

или

$$M = \frac{V_m \cdot F_m}{\omega \eta} \quad (2.4)$$

където:

V_m – скорост на праволинейното движение;

F_m – необходима сила на работния механизъм.

Приведен инерционен момент

Това понятие е пряко свързано с прилагането на второто изискване.

Всяко тяло, имащо маса m и движещо се праволинейно със скорост V , притежава кинематична енергия $A = m \cdot V^2 / 2$. Ако тялото се върти със ъглова скорост ω около ос, минаваща през него, то може да се представи като съвкупност от n на брой материални части с достатъчно малки размери, всяка от които има маса m_i и се намира на разстояние r_i от оста на въртене. Това позволява да се приеме, че всяка част от него на безкрайно малък интервал от време се движи транслационно. Пълната кинематична енергия A на тялото представлява сума от кинематичните енергии на неговите части и се определя по израза (2.5)

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{m_i V^2}{2} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i r_i^2 \omega^2}{2} \quad (2.5)$$

Приведен инерционен момент

От друга страна е известно, че произведението $m_i r^2$ представлява инерционния момент J_i на всяка от същите материални части, което позволява изразът (2.5) да се преобразува във вида (2.6)

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{J_i V^2}{2} = J \frac{\omega^2}{2} = J_{\text{пр}} \frac{\omega^2}{2} \quad (2.6)$$

Този израз позволява определянето на кинематичната енергия на тяло, въртящо се с ъглова скорост ω около ос, спрямо която има инерционен момент J .

Приведен инерционен момент

Пълната кинетична енергия на реалния механизъм ще бъде сума от кинетичната енергия, запасена във въртящите се части на двигателя и всички други части, свързани към неговия вал

$$A = J_{\mathcal{D}} \frac{\omega_{\mathcal{D}}^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_i \frac{\omega_i^2}{2} + \dots + J_M \frac{\omega_M^2}{2} \quad (2.7)$$

Приведен инерционен момент

A - пълната кинетична енергия, запасена в движещите се части на реалния работен механизъм;

$J_d, J_1, J_2, \dots J_i, \dots J_M$ - инерционните моменти на всички части, свързани с вала на двигателя и съответният вал на работния механизъм спрямо техните собствени оси на въртене;

$\omega_d, \omega_1, \omega_2, \dots \omega_i, \dots \omega_M$ - ъгловите скорости на двигателя и на съответният вал на работния механизъм.

- ▶ Приведеният работен механизъм трябва да има същата кинетична енергия, както определената по (2.7).
- ▶ Чрез приравняване на изразите (2.6) и (2.7) се определя каква трябва да бъде запасената кинетична енергия в приведения механизъм за да се удовлетвори **второто изискване** за съответствие между реален и приведен механизъм.

Приведен инерционен момент

При приравняване на последния член на 2.6 и 2.7 се получава:

$$J_{pr} \frac{\omega^2}{2} = J_{\partial} \frac{\omega_d^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_i \frac{\omega_i^2}{2} + J_M \frac{\omega_M^2}{2} \quad (2.8)$$

Ако двете страни на 2.8 се разделят на $\omega^2 / 2$ и се вземе предвид, че скоростите ω и ω_d са равни по стойност се получава:

$$J_{pr} = J_{\partial} + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega} \right)^2 + \dots + J_i \left(\frac{\omega_i}{\omega} \right)^2 + J_M \left(\frac{\omega_M}{\omega} \right)^2 \quad (2.9)$$

$\frac{\omega_1}{\omega}$, $\frac{\omega_2}{\omega}$, $\frac{\omega_i}{\omega}$, ..., $\frac{\omega_M}{\omega}$ - пълните предавателни отношения в кинематичната верига от двигател до съответната точка в нея.

Приведен инерционен момент

Това позволява 2.9 да се запише във вида:

$$J_{pr} = J_\partial + J_1 * i_1 + J_2 * i_1 * i_2 + \dots J_m * i_1 * i_2 * \dots * i_i * \dots * i_m \quad (2.10)$$

Този израз съдържа ценна информация за конструктора на механичната част на задвижването:

1. При предварително фиксирана по някаква причина стойност на приведения инерционен момент, конструктора на механичната част има свобода да избира, променя и оптимизира параметрите и конструкцията на кинематичната верига до получаване на зададения приведен инерционен момент;

Приведен инерционен момент

Това позволява 2.9 да се запише във вида:

$$J_{pr} = J_\partial + J_1 * i_1 + J_2 * i_1 * i_2 + \dots J_m * i_1 * i_2 * \dots * i_i * \dots * i_m \quad (2.10)$$

Този израз съдържа ценна информация за конструктора на механичната част на задвижването:

2. В подобни задвижвания често двигателят е звеното с най-висока скорост в кинематичната верига и предавателните отношения i_i като правило са по-малки от единица. Оттук следва, че първото след двигателя звено създава най-голямата част от приведения инерционен момент. По тази причина е целесъобразно предавателното отношение i_1 и инерционния момент J_1 да имат възможно най-малки стойности.

Приведен инерционен момент

Това позволява 2.9 да се запише във вида:

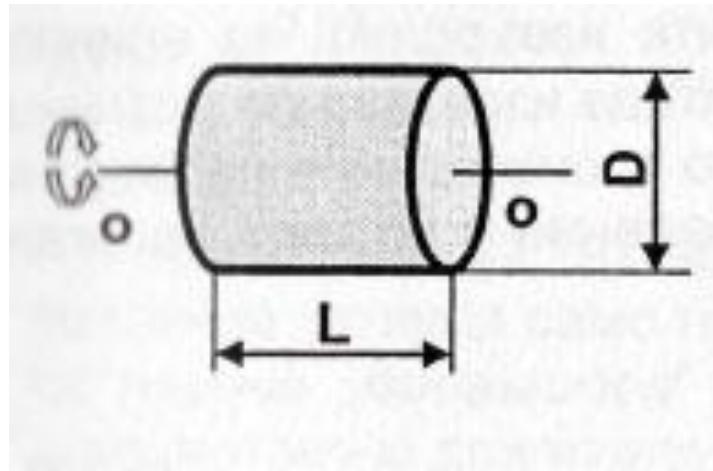
$$J_{pr} = J_{\partial} + J_1 * i_1 + J_2 * i_1 * i_2 + \dots J_m * i_1 * i_2 * \dots * i_i * \dots * i_m \quad (2.10)$$

Този израз съдържа ценна информация за конструктора на механичната част на задвижването:

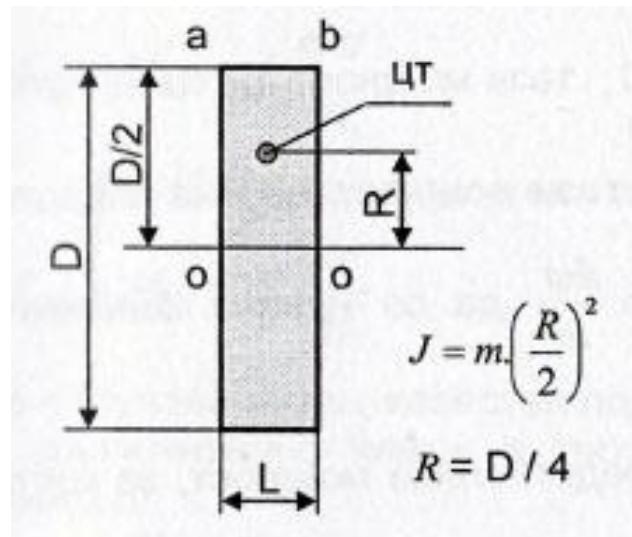
3. Конструктора може да пресметне от кое място нататък в кинематичната верига нарастването на приведения инерционен момент може да се пренебрегне, което означава, че след това място за него няма никакви практически ограничения за техническото реализиране на задвижването в различни варианти и той може да се съобрази с други допълнителни изисквания.

Приведен инерционен момент

Ако кинематичната верига пренася ротационно движение и нейните елементи са ротационно симетрични тела, то е възможно използването на известни зависимости (от теоретичната механика) за удобно пресмятане на собствените им инерционни моменти J_i .



Приведен инерционен момент



Масата m на цилиндъра може да се представи като произведение от неговия обем V и плътността ρ на материала, от който е изработен:

$$m = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \cdot \rho \quad (2.12)$$

Приведен инерционен момент

Чрез заместване на (2.12) в (2.11) се получава изразът, по който се изчислява инерционния момент на цилиндъра спрямо оста на въртене о-о (2.13)

$$J = \pi \frac{D^2}{4} \cdot L \cdot \rho \left(\frac{D}{8} \right)^2 = \pi \frac{D^4}{256} \cdot L \cdot \rho \quad (2.13)$$

Изменение на скоростта на задвижванията

- ▶ Третото изискване е **необходимост от една и съща допълнителна мощност при изменение на скоростта.**
- ▶ Тази допълнителна мощност се изразходва за промяна на кинетичната енергия, запасена в движещите се части.

$$A = J \cdot \frac{\omega^2}{2} \quad (2.14)$$

където:

А е пълната кинетична енергия за работния механизъм.

Изменение на скоростта на задвижванията

Ако изразът (2.14) се диференцира спрямо времето, се получава:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = J \cdot \omega \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{\partial J}{\partial t} \quad (2.15)$$

Първия компонент $\frac{\partial A}{\partial t}$ от гледна точка на физиката представлява енергията, изразходвана за единица време или работата, извършена за единица време. И в двета случая това е **мощност**.

Изменение на скоростта на задвижванията

$\frac{\partial A}{\partial t}$ енергия, изразходвана за единица време или работата извършена за единица време (т.е. мощност)

$$\frac{\partial A}{\partial t} = P = M \cdot \varpi = F \cdot V = U \cdot I = P \cdot Q$$

Изменение на скоростта на задвижванията

$$J \cdot \omega \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

мощност, необходима за **изменение на скоростта**, нарича се **“динамична мощност”**

$$\frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{dt}$$

мощност необходима за **изменение на инерционния момент J**, също се нарича **“динамична мощност”**

Изменение на скоростта на задвижванията

- ▶ За реално задвижване с двигател за ротационно движение и работен механизъм също с ротационно движение може да се запише:

$$\frac{dA}{dt} = P = M \cdot \omega = J \cdot \omega \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (2.17)$$

$$M \cdot \omega = J \cdot \omega \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (2.18)$$

Изменение на скоростта на задвижванията

$$M = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (2.19)$$

- ▶ моментът M има стойност, различна от нула само при промяна на скоростта ω на задвижването. Този момент се нарича „**динамичен**“ и се прието да се означава с $M_{дин}$:

$$M_{дин} = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

Изменение на скоростта на задвижванията

- ▶ Ако по време на изменение на скоростта на задвижването трябва да се изпълнява и технологичен процес, създаващ за двигателя съпротивителен момент M_C , двигателят трябва да осигурява момент M_{dB} с големина

$$M_{dB} = M_C + M_{дин}$$

$$M_{dB} = M_C + J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

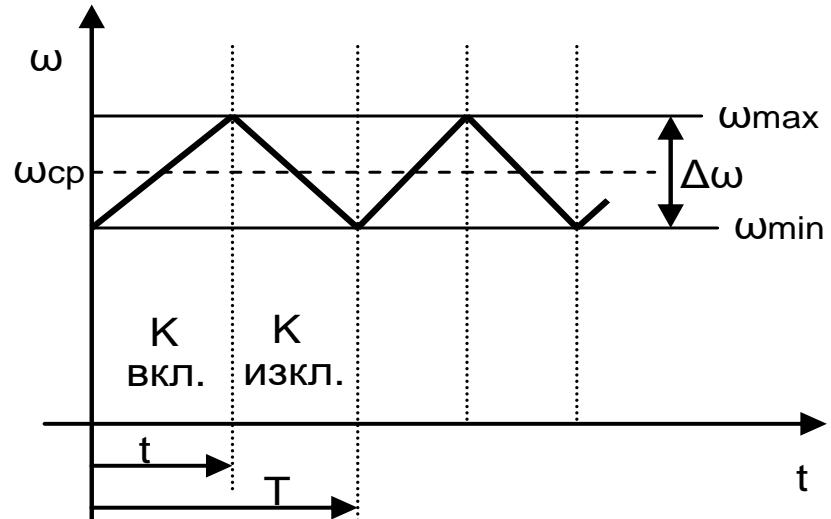
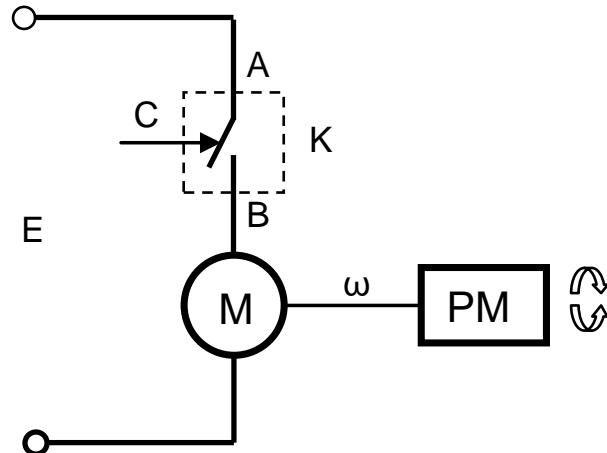
**основно уравнение на
задвижването**

Режими на задвижванията

$$\frac{d\varpi}{dt} \quad \left\{ \begin{array}{l} = 0, \text{ установлен режим на работа} \\ < 0, \text{ намаляване на скоростта (забавяне)} \\ > 0, \text{ увеличаване на скоростта} \\ \text{(ускоряване)} \end{array} \right.$$

Режими на задвижванията

Широчинно-импулсно управление на скоростта



Конструкция

Изменение на
скоростта

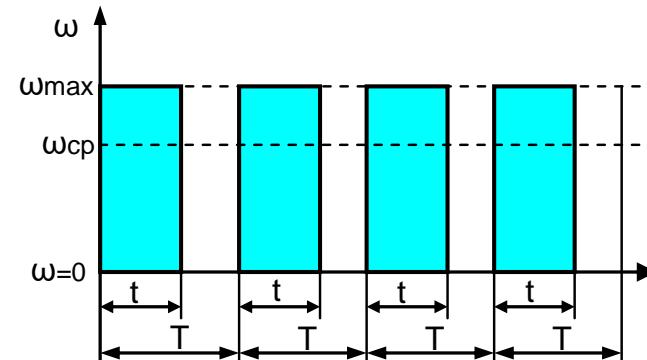
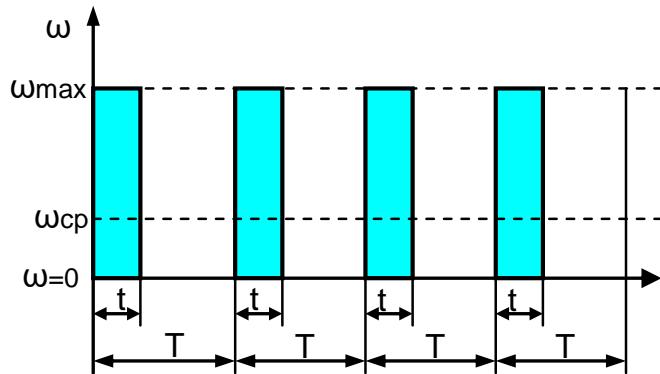
Изменение на скоростта на задвижванията

Параметри на широчинно-импулсното управление

- ▶ максимална скорост ω_{\max}
- ▶ минимална скорост ω_{\min}
- ▶ средна скорост ω_{cp}
$$\varpi_{cp} = \frac{\varpi_{\max} + \varpi_{\min}}{2}$$
- ▶ колебание на скоростта $\Delta\varpi = \varpi_{\max} - \varpi_{\min}$
- ▶ относително колебание на скоростта
$$\delta = \frac{\Delta\varpi}{\varpi_{cp}}$$

Режими на задвижванията

Широчинно-импулсно управление на скоростта



$$\varpi_{cp} = \varpi_{\max} \cdot \frac{t}{T} = \varpi_{\max} \cdot D$$

D = коефициент на запълване
граници 0 - 1 или
0% - 100%

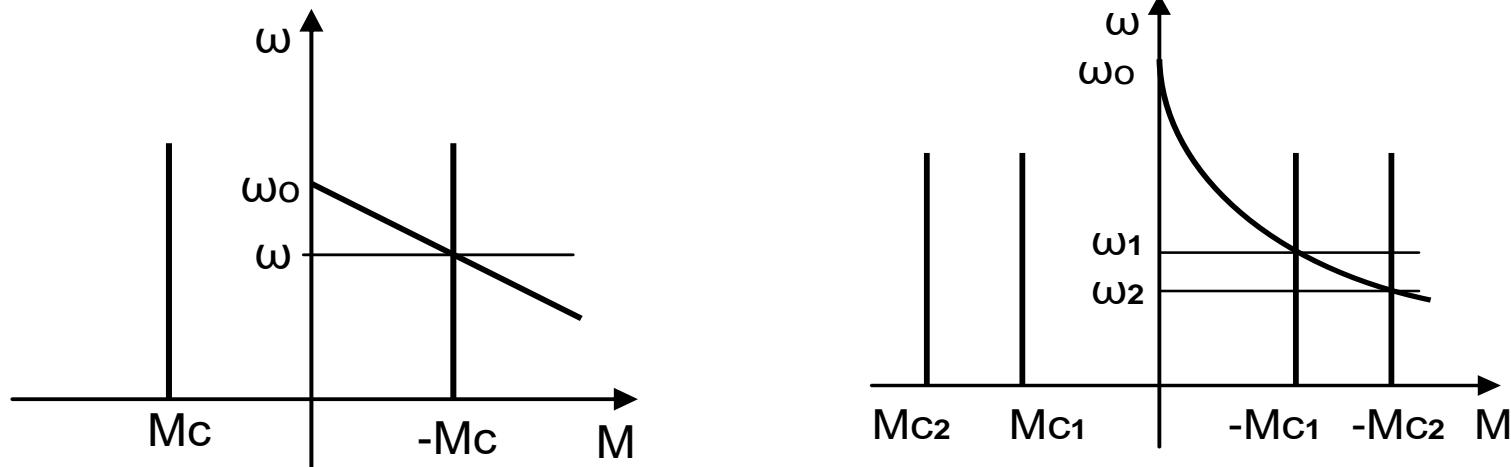
Определяне скоростта на задвижванията при установлен режим на работа

$$M_{dB} = M_C + J \cdot \frac{d\varpi}{dt}$$

$$J \cdot \frac{d\varpi}{dt} = 0 \quad \text{за установлен режим}$$

$$M_{dB} = M_C$$

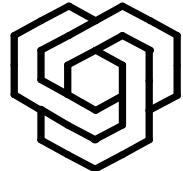
Определяне скоростта на задвижванията при установен режим на работа



Съвместна механична характеристика на задвижването

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

**ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ
НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА
(ЗУПТ)**

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 3

ХИДРАВЛИЧНИ И ПНЕВМАТИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО – ЧАСТ 1

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Хидравличните и пневматичните задвижвания са получили широко разпространение в машиностроителното производство
- ▶ Те са подобни в своята конструкция и принцип на работа
- ▶ Основна разлика между тях е типа на работния флуид
- ▶ От това произтичат следните особености:

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ **Хидравличните задвижвания** се използват за задвижване на работни органи с голям приведен инерционен момент/сила, обикновено над 200-500 пъти превишаващ собствения инерционен момент / инерционна сила на двигателя
- ▶ При тях този флуид е **хидравлично масло** с подходящи физико-механични, топлинни и химични свойства. Към едно от основните свойства на това масло трябва да се отнесе **липсата на свиваемост**
- ▶ Допълнителна особеност е, че хидравличното масло предпазва много ефективно от корозия работните повърхнини на частите на цялата хидравлична система

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При **пневматичните задвижвания** работният флуид е **газ** под налягане (обикновено въздух от атмосферата), чрез пренасянето на който се предизвикват премествания на работните механизми
- ▶ Газовете имат силно изразена зависимост между налягане и обем (известна като „свиваемост“), което ги прави непригодни за осигуряване на движения с точно определена големина и скорост
- ▶ По тази причина, при по-високи изисквания за точност на движенията, се използват неподвижно закрепени механични ограничители, които определят крайните точки на конкретните движения

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

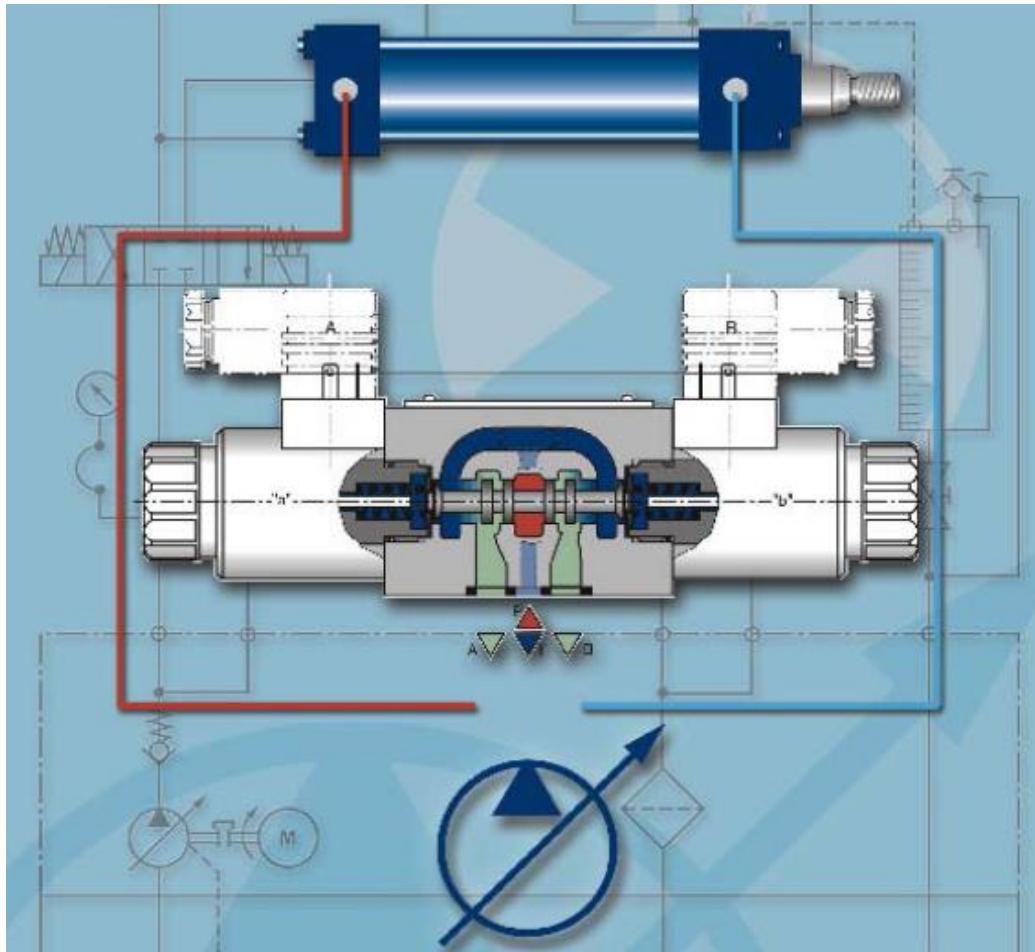
- ▶ Атмосферният въздух, като стандартен работен флуид, съдържа значителни количества водни пари и прах
- ▶ Водните пари и прахът предизвикват преждевременна корозия и износване на работните повърхнини на елементите от задвижването
- ▶ Въздухът, като работен флуид за пневматични задвижвания, трябва да се пречисти от механични примеси и да се обогати с маслени частици
- ▶ В машиностроителното производство пневматичните задвижвания се използват основно за осигуряване на спомагателни движения

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

3.2 Елементна база за изграждане на хидравлични и пневматични задвижвания

- ▶ Под понятието „елементна база“ се разбира съвкупността от техническите средства, необходими за цялостно изграждане на тези задвижвания
- ▶ Тя най-общо може да се групира в три направления:
 - изпълнителни механизми (двигатели)
 - средства за управление на енергийния поток през двигателите
 - средства за изграждане на системата за управление

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



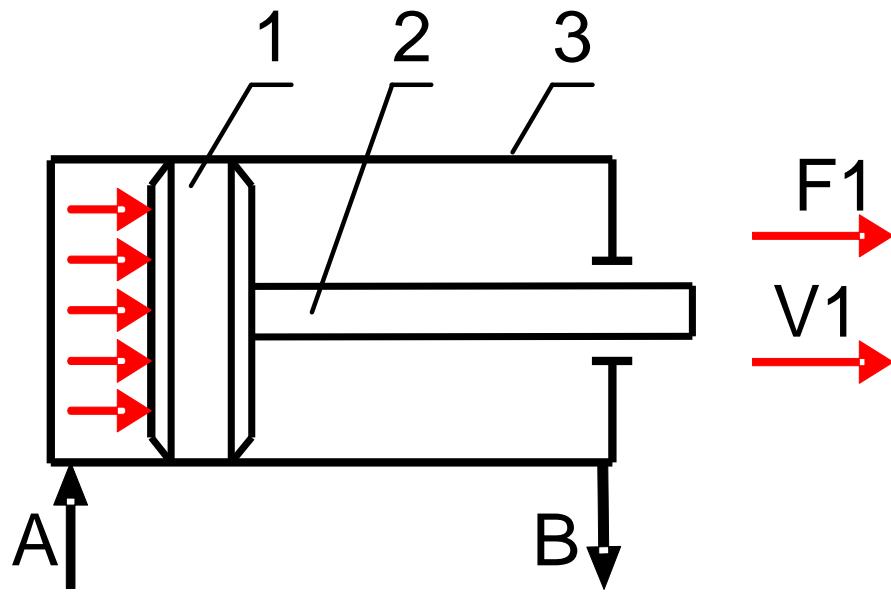
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Изпълнителни механизми (двигатели)

- ▶ Изпълнителните механизми съществуват в два варианта:
 - изпълнителни механизми за *линейно движение*, известни като *хидравлични цилиндри*
 - изпълнителни механизми за *ротационно движение*, известни като хидравлични мотори

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

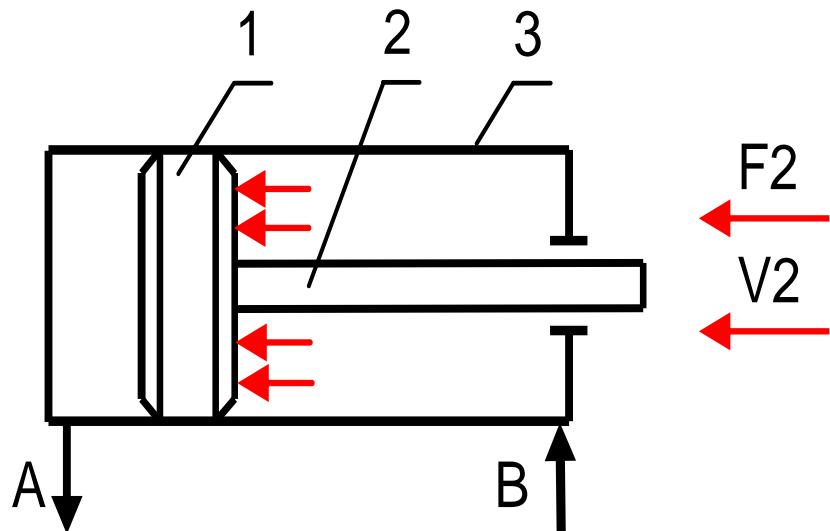
Хидравлични цилиндри



- 1 - бутало
- 2 - бутален прът
- 3 - цилиндър
- A - тръбна връзка А
- B - тръбна връзка В
- V_1 – скорост в посока
надясно
- F_1 – сила в посока
надясно

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

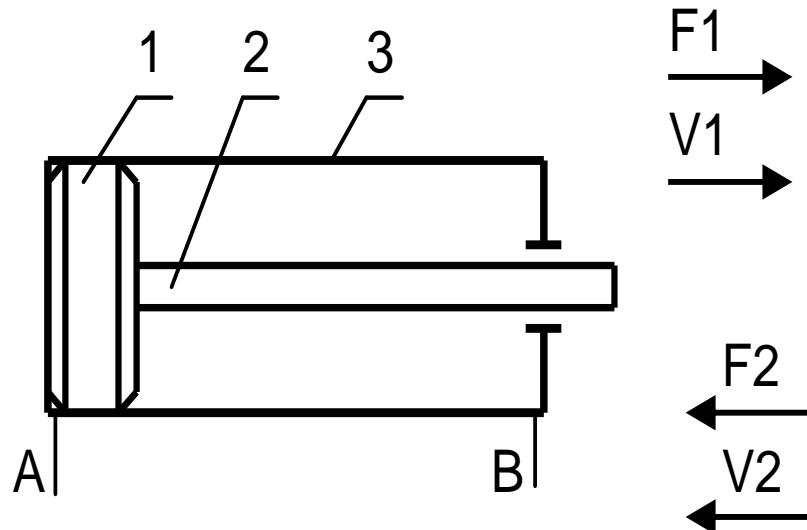
Хидравлични цилиндри



- 1 - бутало
- 2 - бутален прът
- 3 - цилиндър
- A - тръбна връзка
- B - тръбна връзка
- V2 – скорост в посока наляво
- F2 – сила в посока наляво

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри (обобщение)



- 1 - бутало
- 2 - бутален прът
- 3 - цилиндър
- A - тръбна връзка
- B - тръбна връзка
- V_1, V_2 – скорост в съответната посока
- F_1, F_2 – сила в съответната ПОСОКА

В хидравличните и пневматичните схеми всички работни органи и задвижванията им се показват в техните изходни положения

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри - конструкция



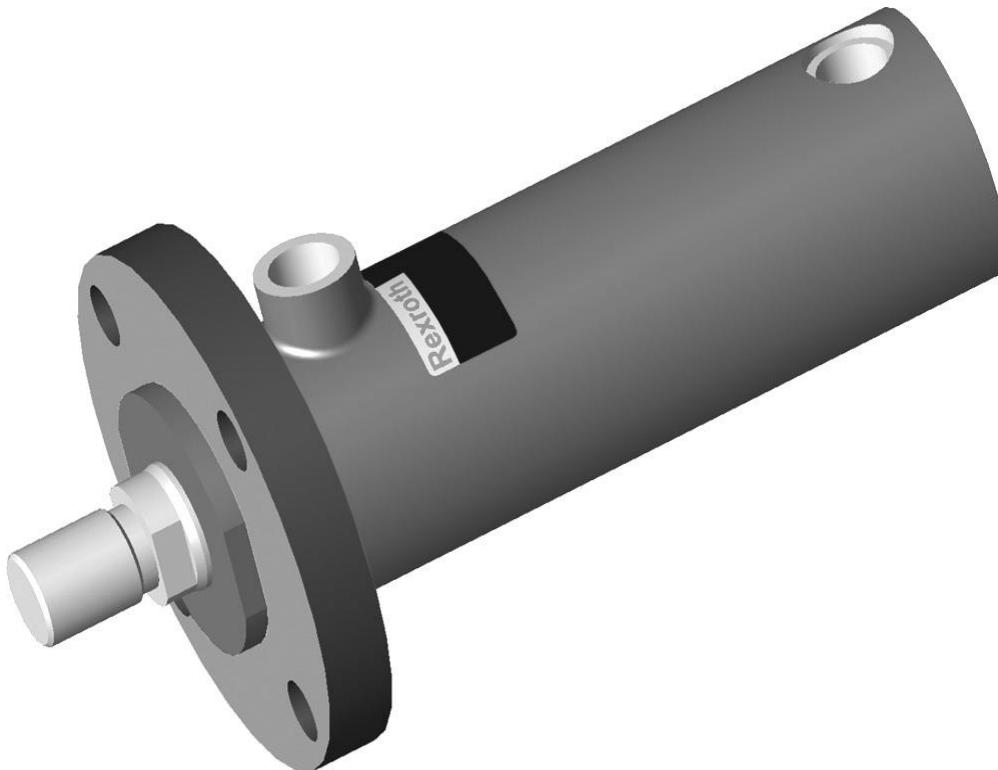
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри – общ вид



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри – общ вид



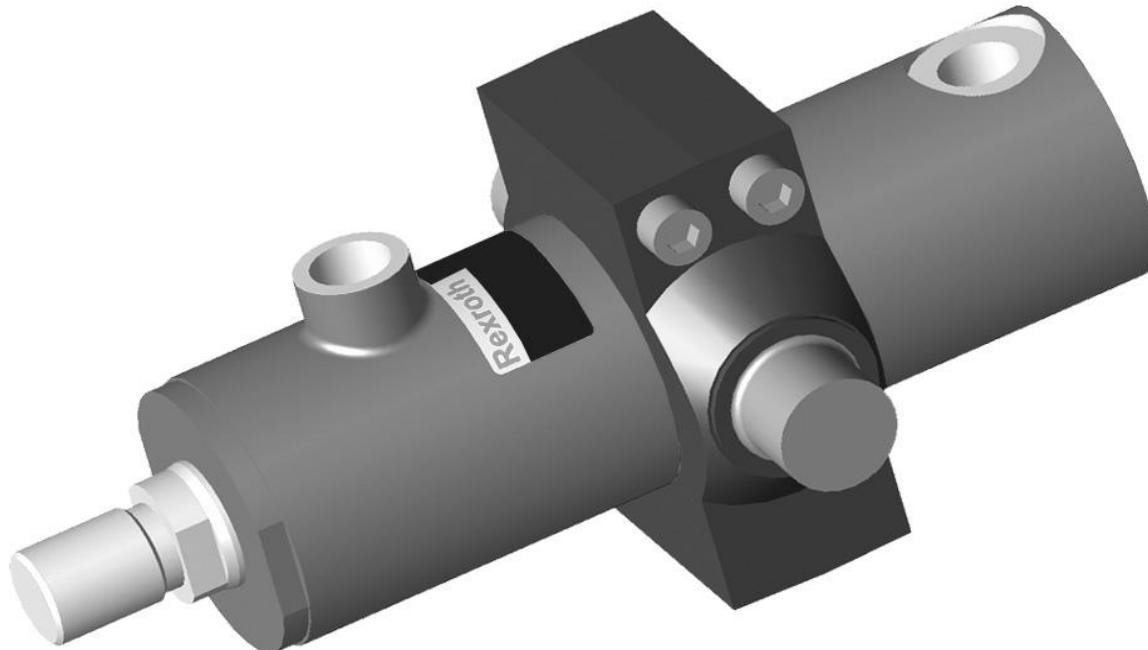
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри – общ вид



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри – общ вид



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

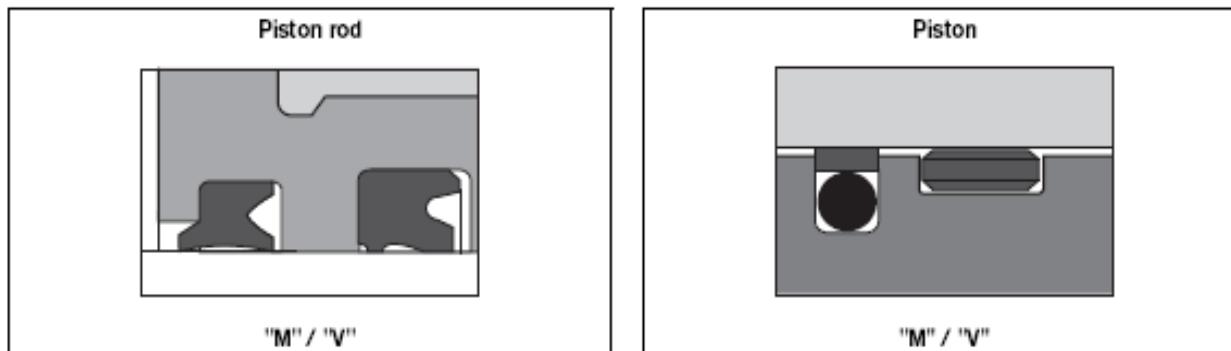
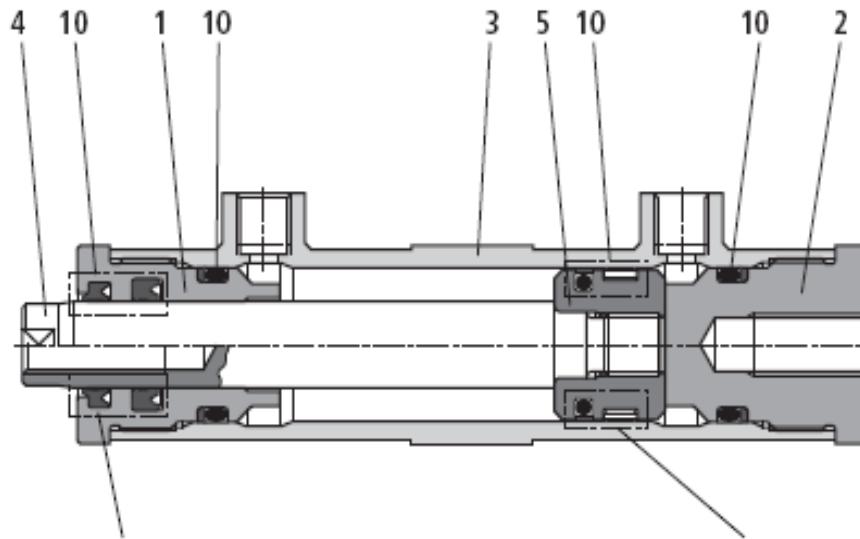
Хидравлични цилиндри – общ вид



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри – уплътнения за пръта и буталото

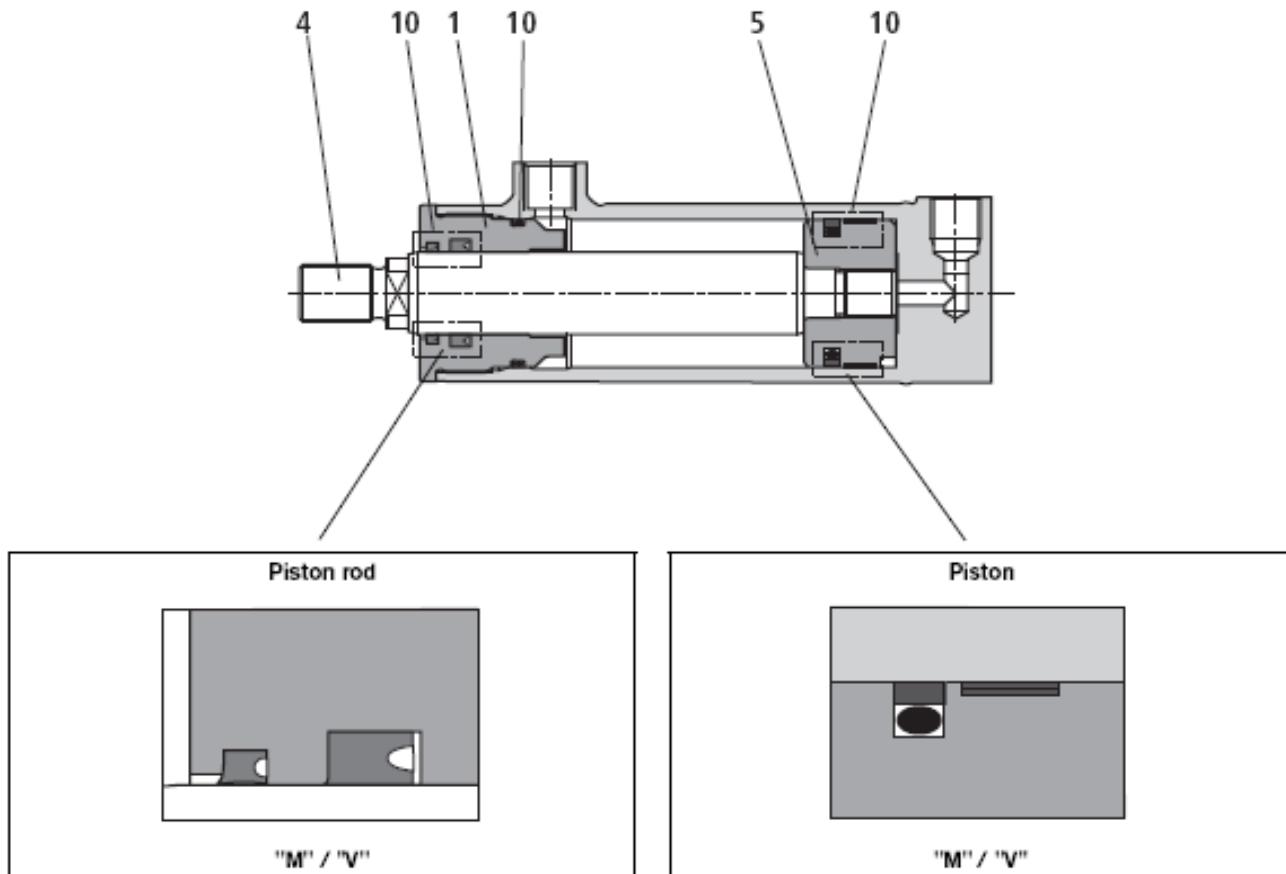
Бутало с
диам.
 $D = 25 - 32$
mm



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри – уплътнения за пръта и буталото

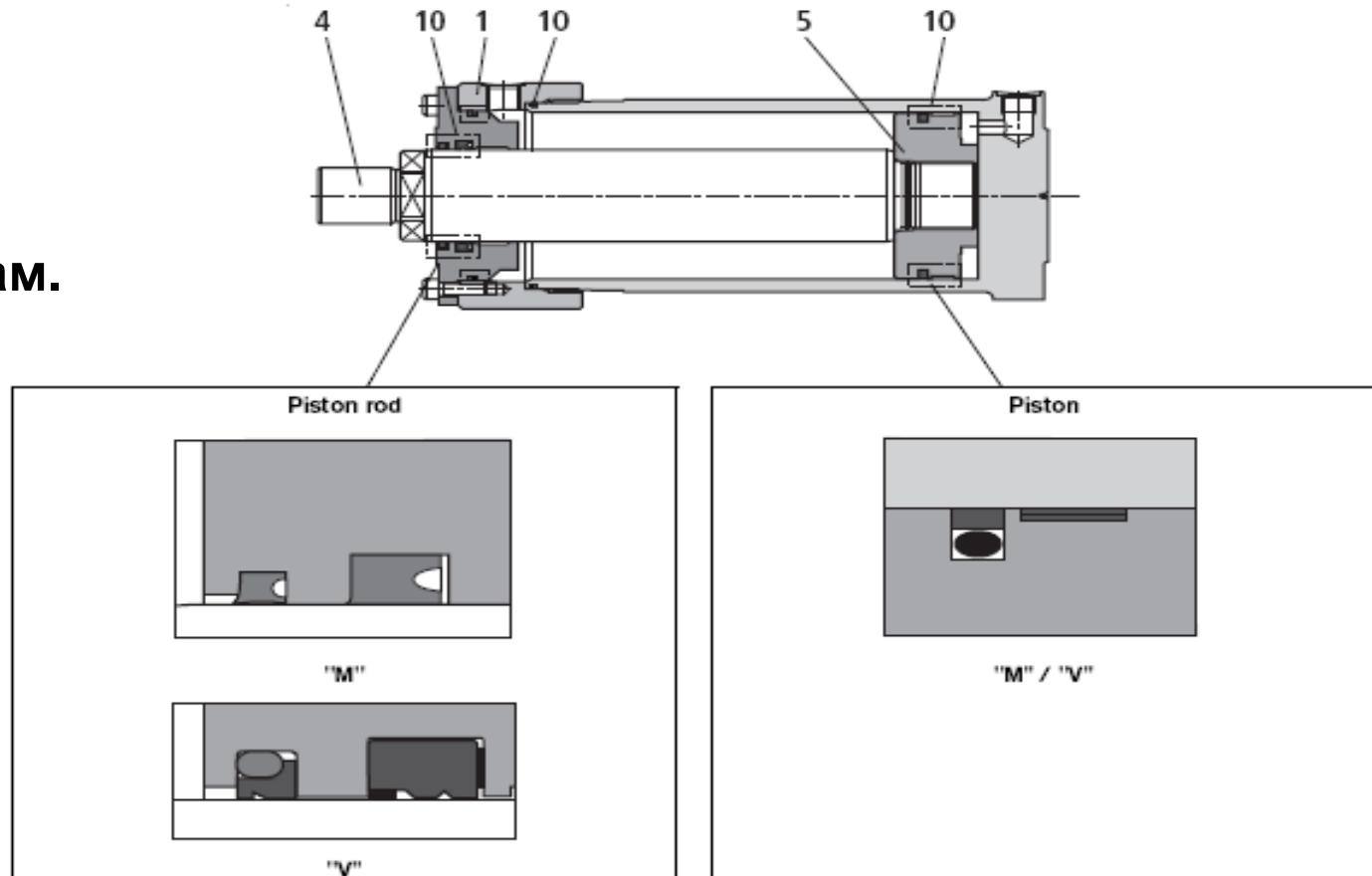
Бутало с
диам.
 $D = 40 - 125$
mm



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри – уплътнения за пръта и буталото

Бутало с диам.
 $D = 160 - 200$
mm



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри - анимация



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични цилиндри - анимация



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични мотори

- ▶ Когато през мотора се пропусне масло под налягане, на вала на мотора се получава въртящ момент
- ▶ Според посоката на въртене на вала съществуват два вида хидромотори:
 - не-реверсивни, валът на които може да се върти само в една посока. Тази посока е определена от конструкцията на мотора и след неговото производство не може да се променя
 - реверсивни, валът на които може да се върти в двете посоки при промяна посоката на флуида през мотора

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични мотори

Според принципа на работа хидравличните мотори са:

- ▶ **Зъбни**
- ▶ **Бутални**
- ▶ **Цевни**

Един от най-важните параметри на всички типове хидравлични мотори е обема флуид (масло), който предизвиква завъртане на вала на един оборот. Този обем се измерва в см^3 и се нарича “размер” или “габарит” на мотора

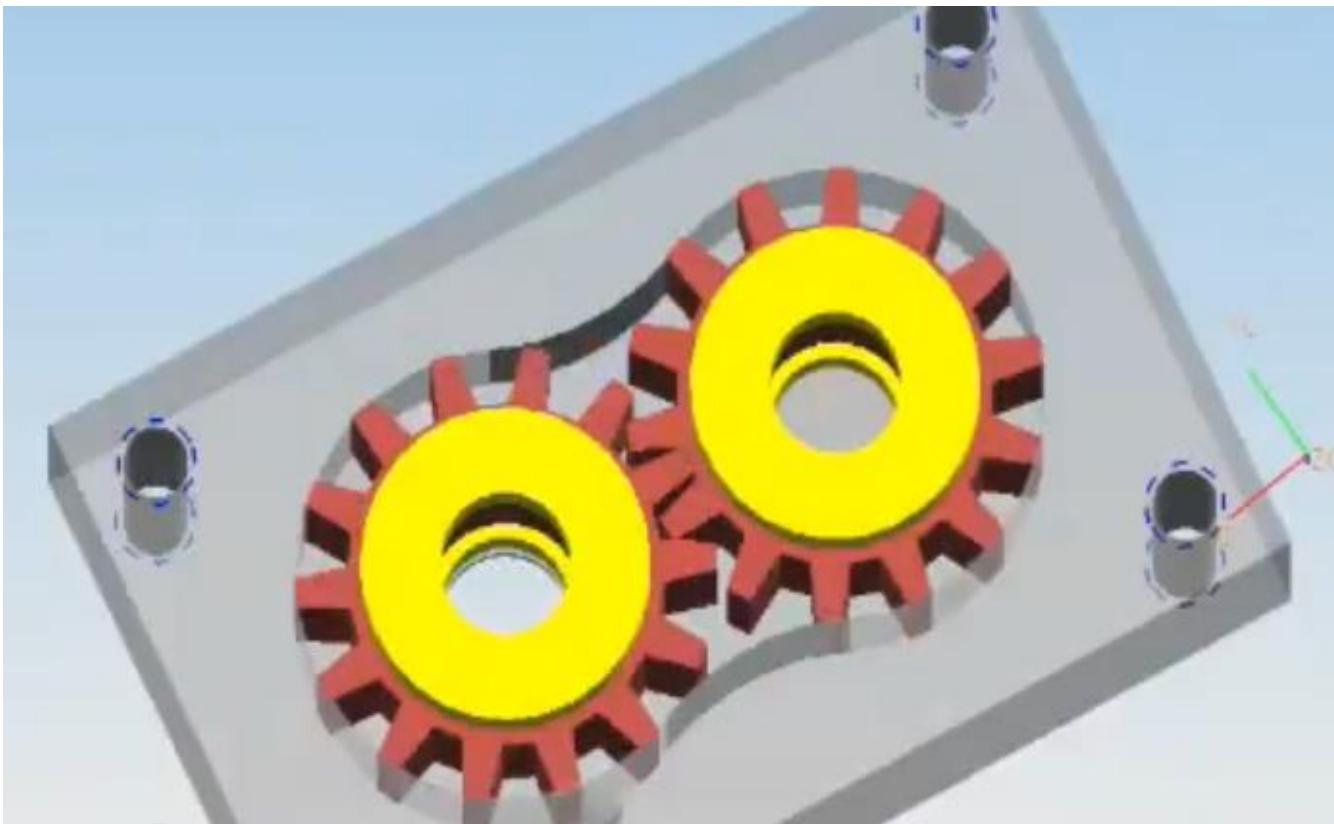
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зъбни хидравлични мотори

- ▶ Основните им елементи са две зацепени зъбни колела, разположени в общ корпус
- ▶ Едното зъбно колело е поставено на вал, който излиза от корпуса на мотора. От този вал се получава въртеливото движение на мотора
- ▶ Другото зъбно колело е поставено на вал, който не излиза от корпуса на мотора. По отношение на първото зъбно колело то се явява като паразитно
- ▶ И двете зъбни колела създават собствени въртящи моменти, които се сумират в мястото на зацепване
- ▶ Хлабините между външните цилиндрични и челни повърхнини спрямо съответните повърхнини на корпуса трябва да бъдат минимални, по възможност нула

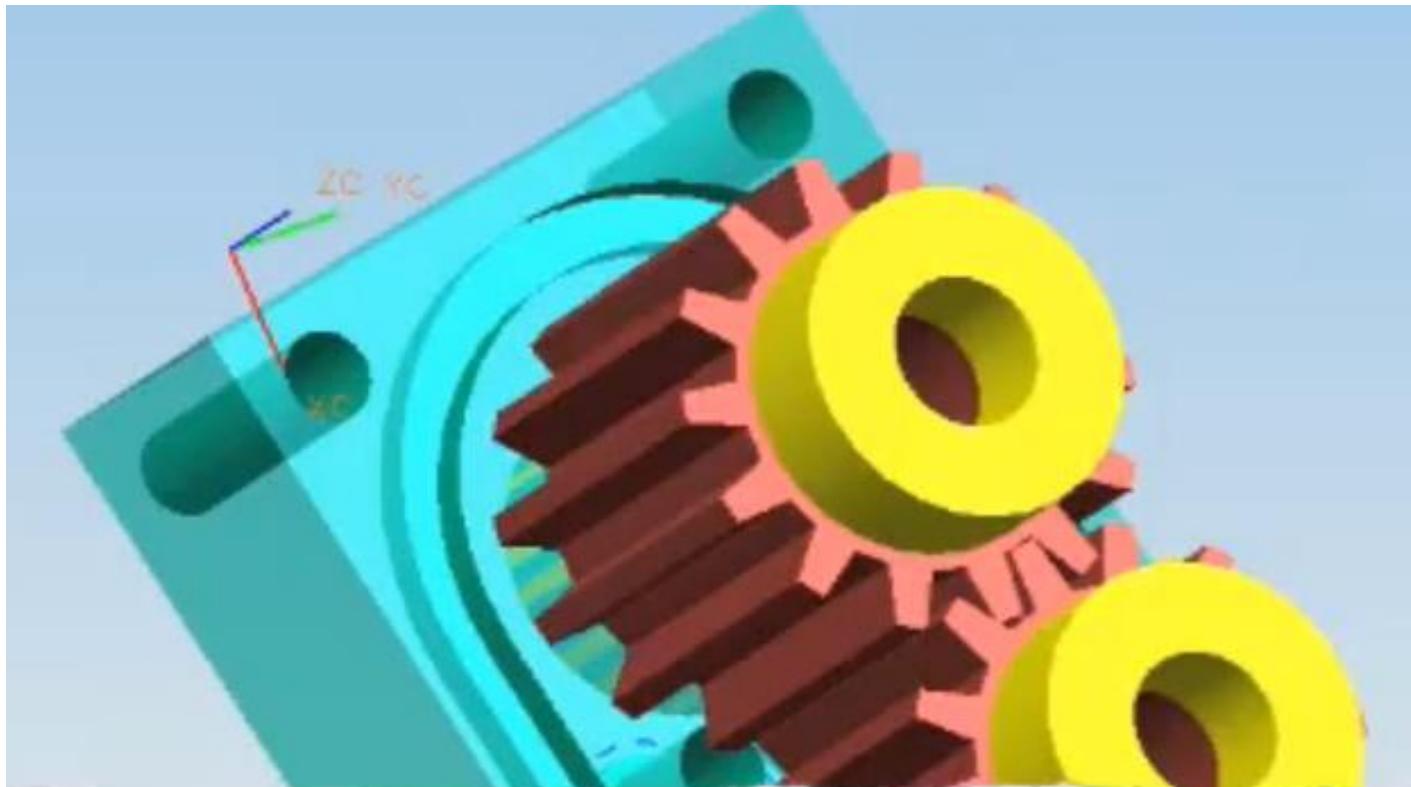
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зъбни хидравлични мотори



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зъбни хидравлични мотори



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зъбни хидравлични мотори

- ▶ Маслото с високо налягане се подава чрез входния тръбопровод в зоната между външните цилиндрични повърхнини на колелата и корпуса
- ▶ То запълва междузъбията и чрез тях се пренася към изходния тръбопровод
- ▶ Въртящ момент се създава само от разликата на налягане в две съседни междузъбия – едното в зоната с високо налягане и другото, което в този момент вече е излязло от нея
- ▶ Разделителната зона между входния и изходния тръбопровод е зоната на зацепване на двете колела

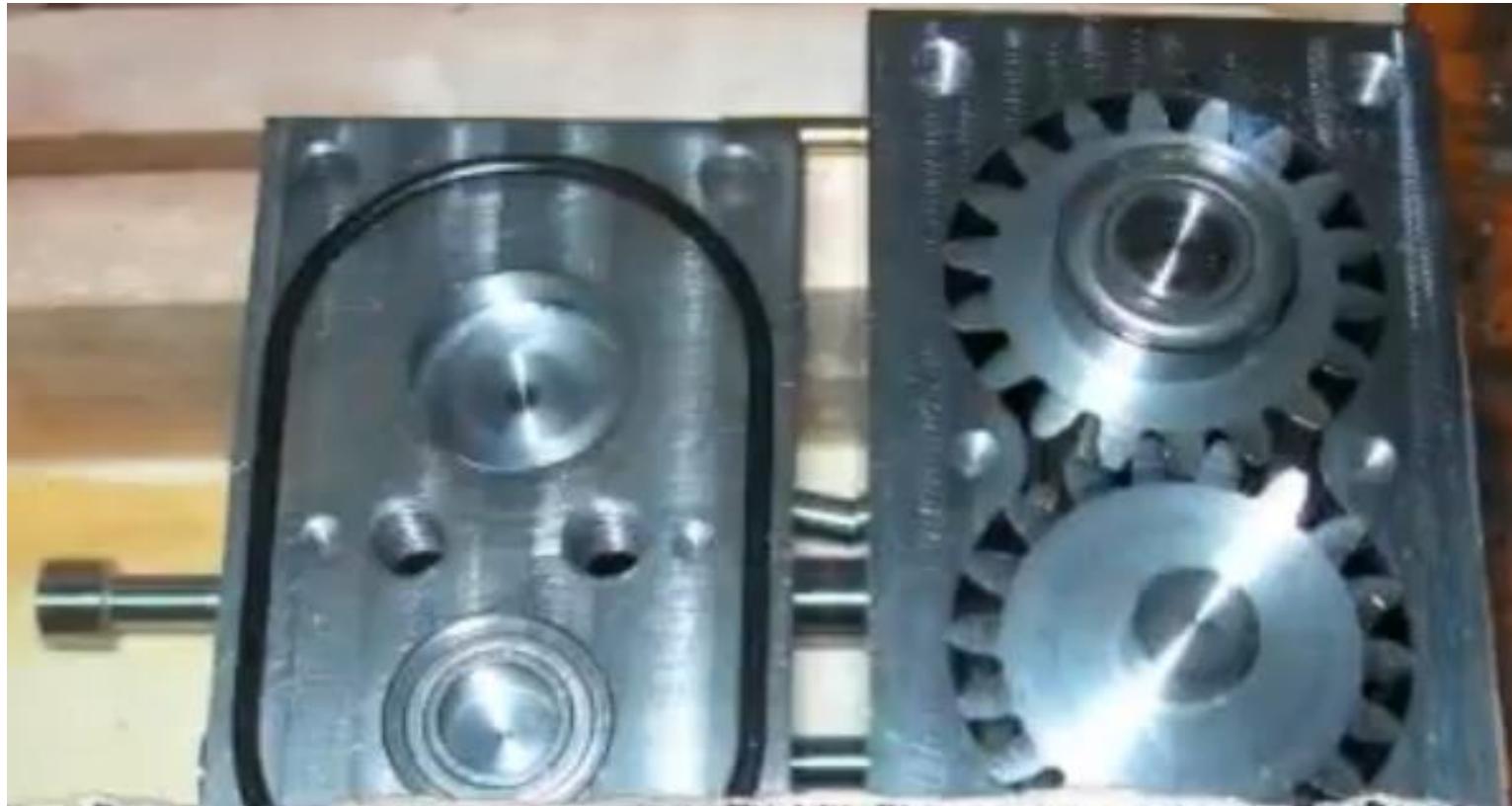
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зъбни хидравлични мотори



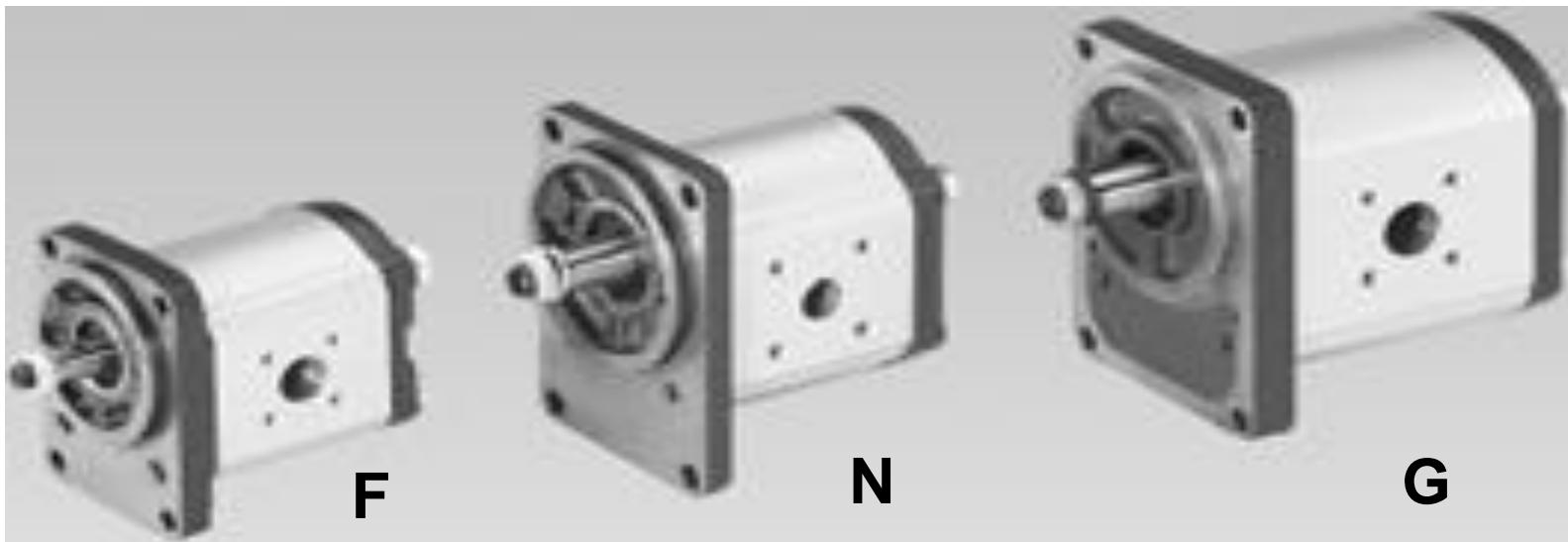
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зъбни хидравлични мотори



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зъбни хидравлични мотори



8 - 22.5
cm³/rev

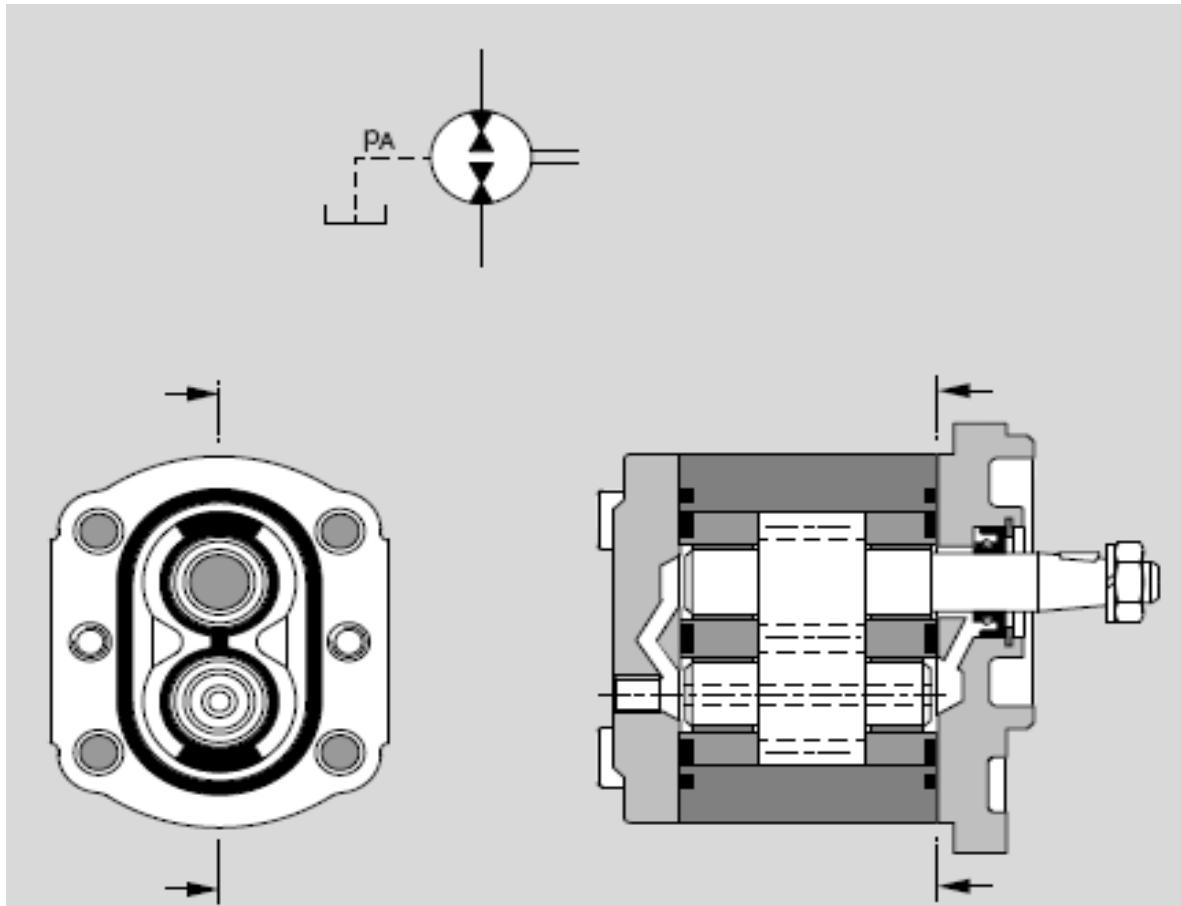
22 & 28
cm³/rev

22.5 - 45
cm³/rev

Гама от хидравлични зъбни мотори на фирма “REXROTH” -Германия
ЗУПТ Тема 3 доц. д-р инж. Григор Стамболов 32

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

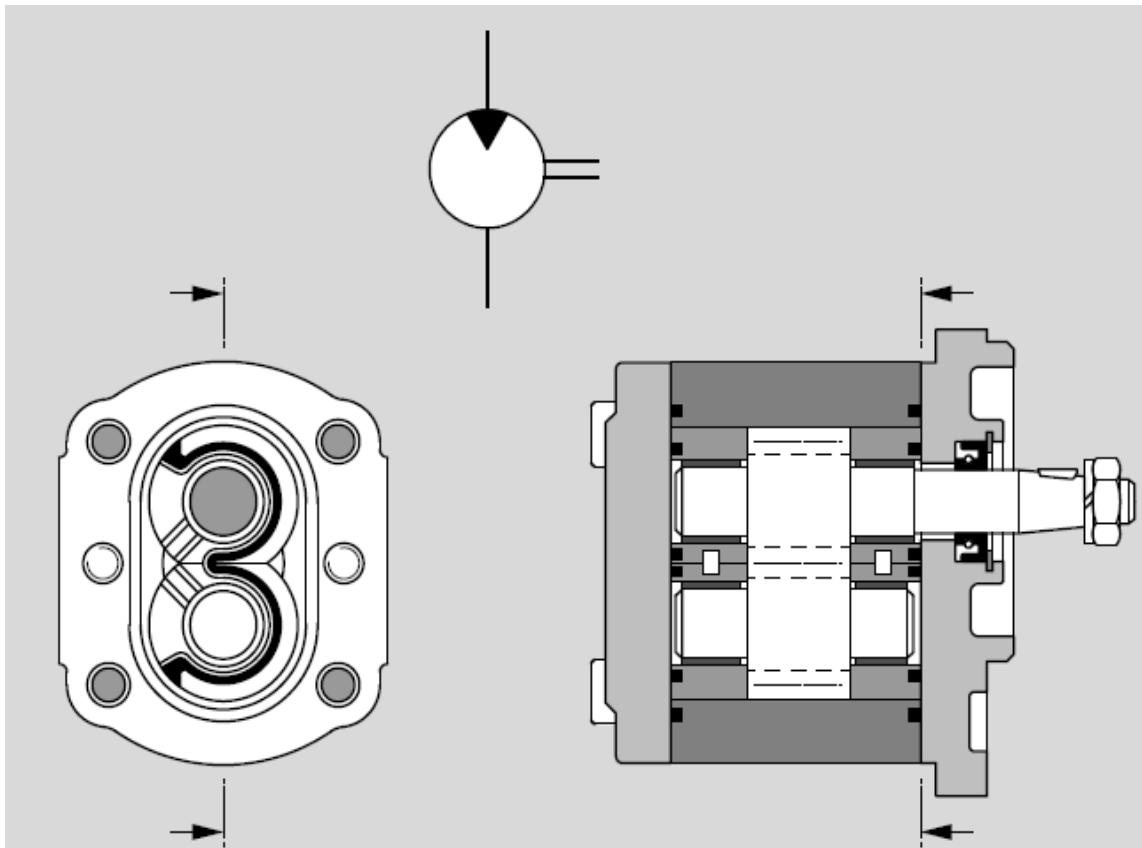
Зъбни хидравлични мотори



Конструкция на
реверсивен
зъбен
хидромотор на
фирма
“REXROT”

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зъбни хидравлични мотори



Конструкция
на не-
реверсивен
зъбен
хидромотор на
фирма
“REXROT”

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори

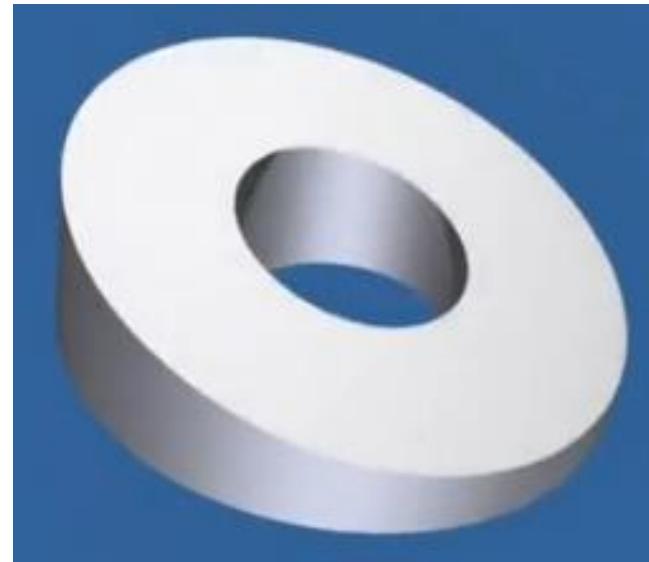
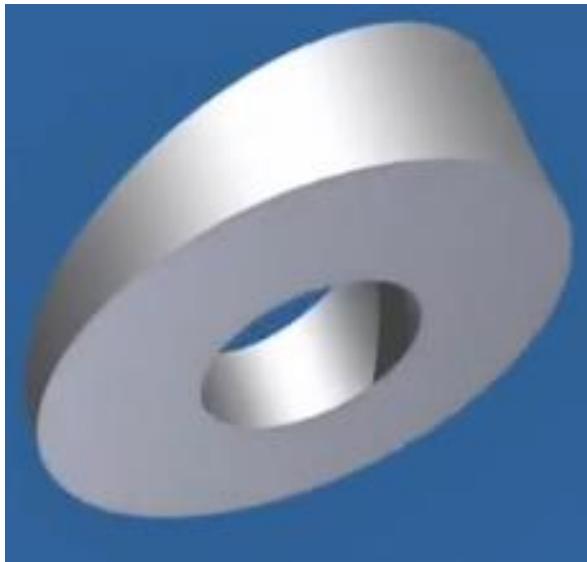
- ▶ При тях работната камера, в която действа налягането на маслото, се образува от челните повърхнини на двойката цилиндър-бутало. Броят на хидравличните бутала обикновено е 3 – 9 (винаги нечетен брой).

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори

Основни елементи на буталните хидравлични мотори

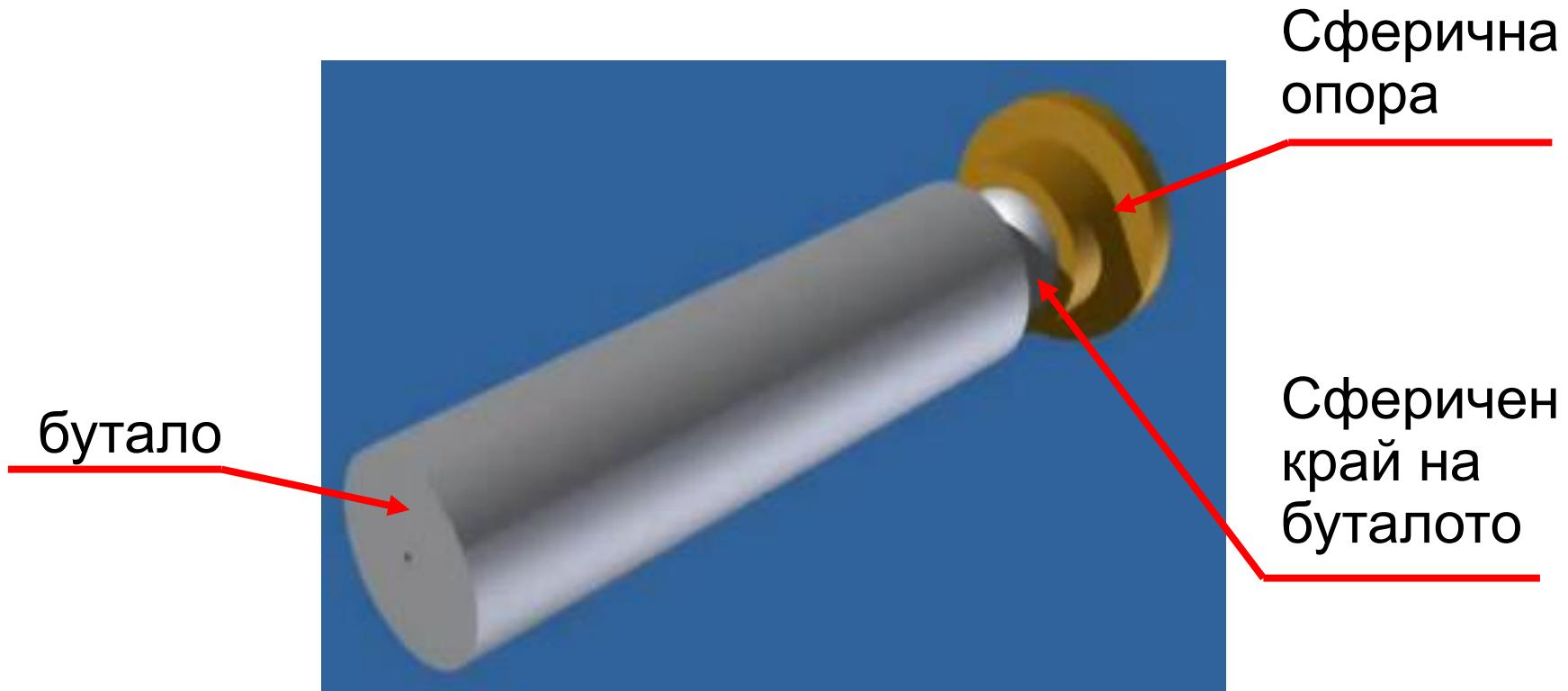
- ▶ аксиална гърбица със специален профил (на английски език се нарича “SWASH PLATE”).



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори

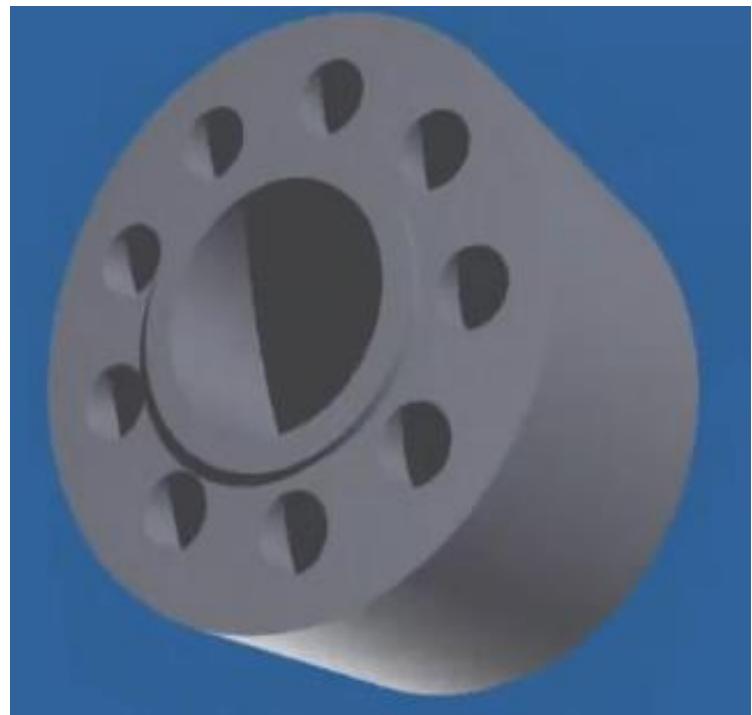
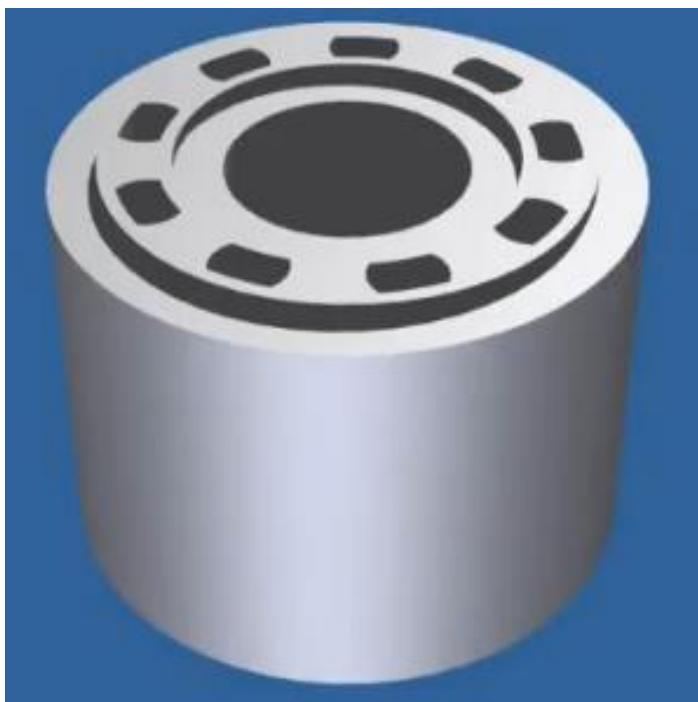
- ▶ Бутало със сферична опора



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори

- ▶ цилиндров блок

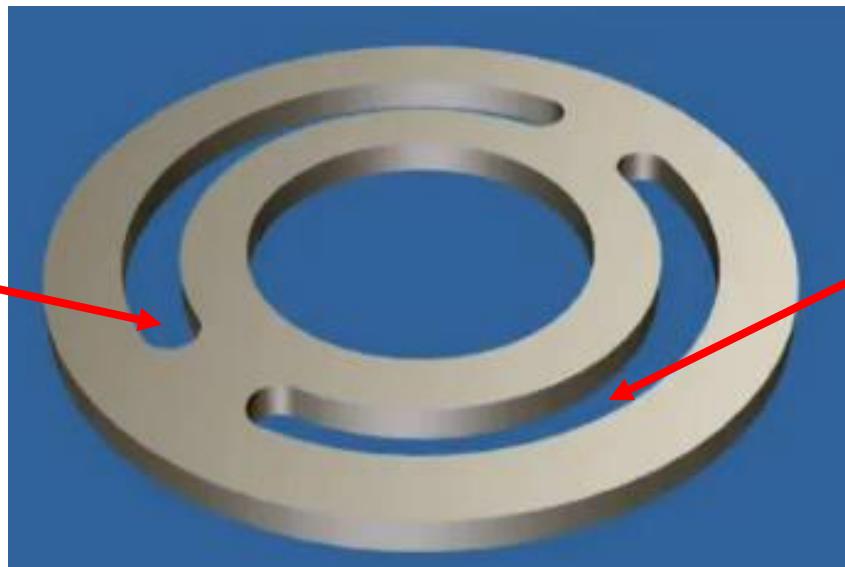


ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори

- ▶ плоча с клапани

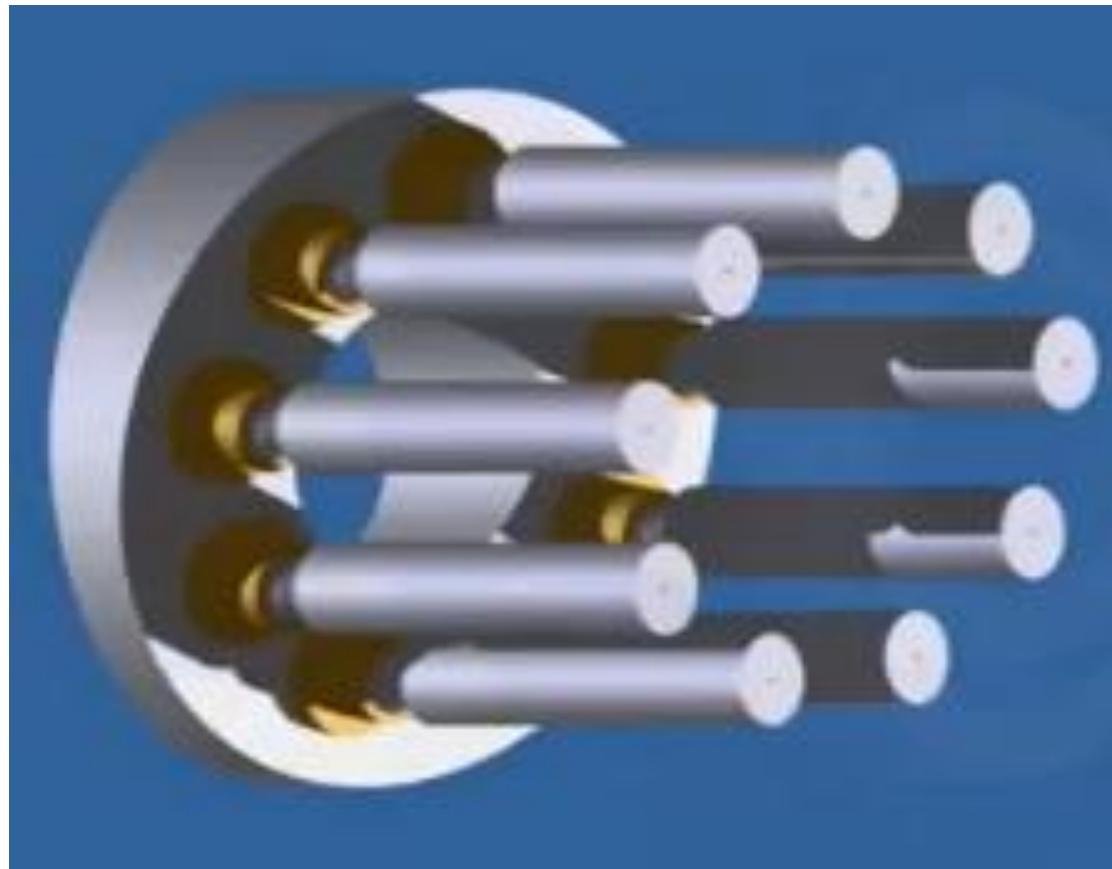
Сектор на
тръбна
връзка **A**



Сектор на
тръбна
връзка **B**

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

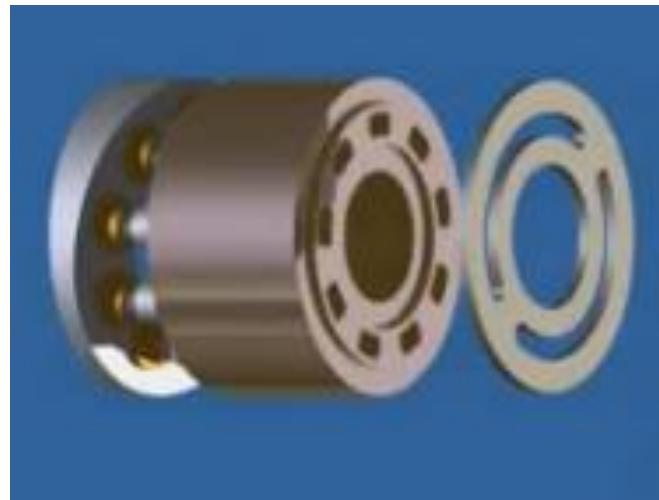
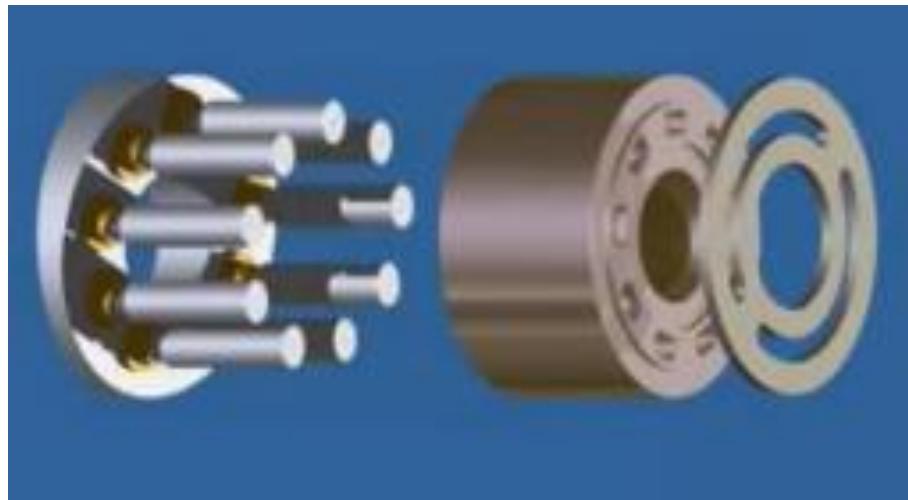
Бутални хидравлични мотори



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори

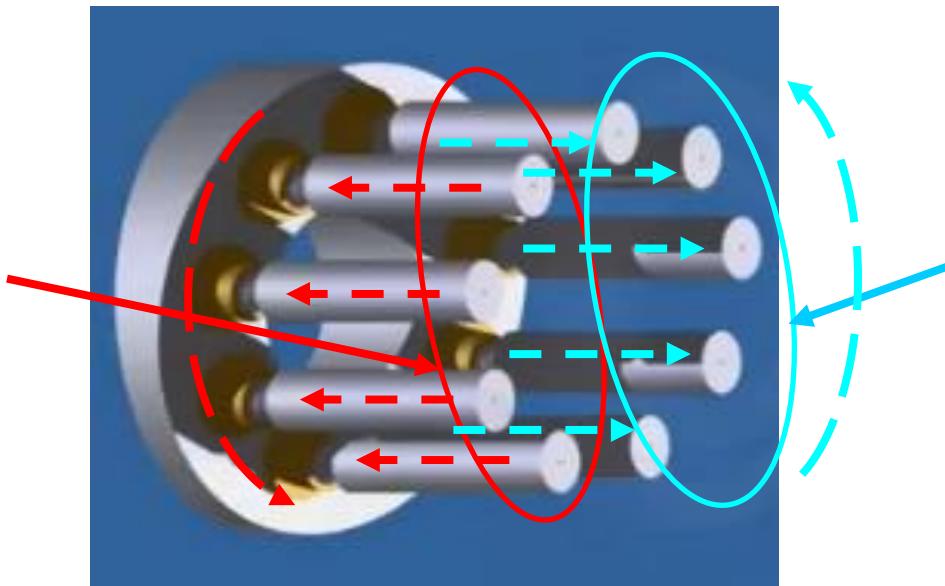
- ▶ Сглобен вид



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори

Бутала
в зоната
с високо
налягане



Бутала
в зоната
с ниско
налягане

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори



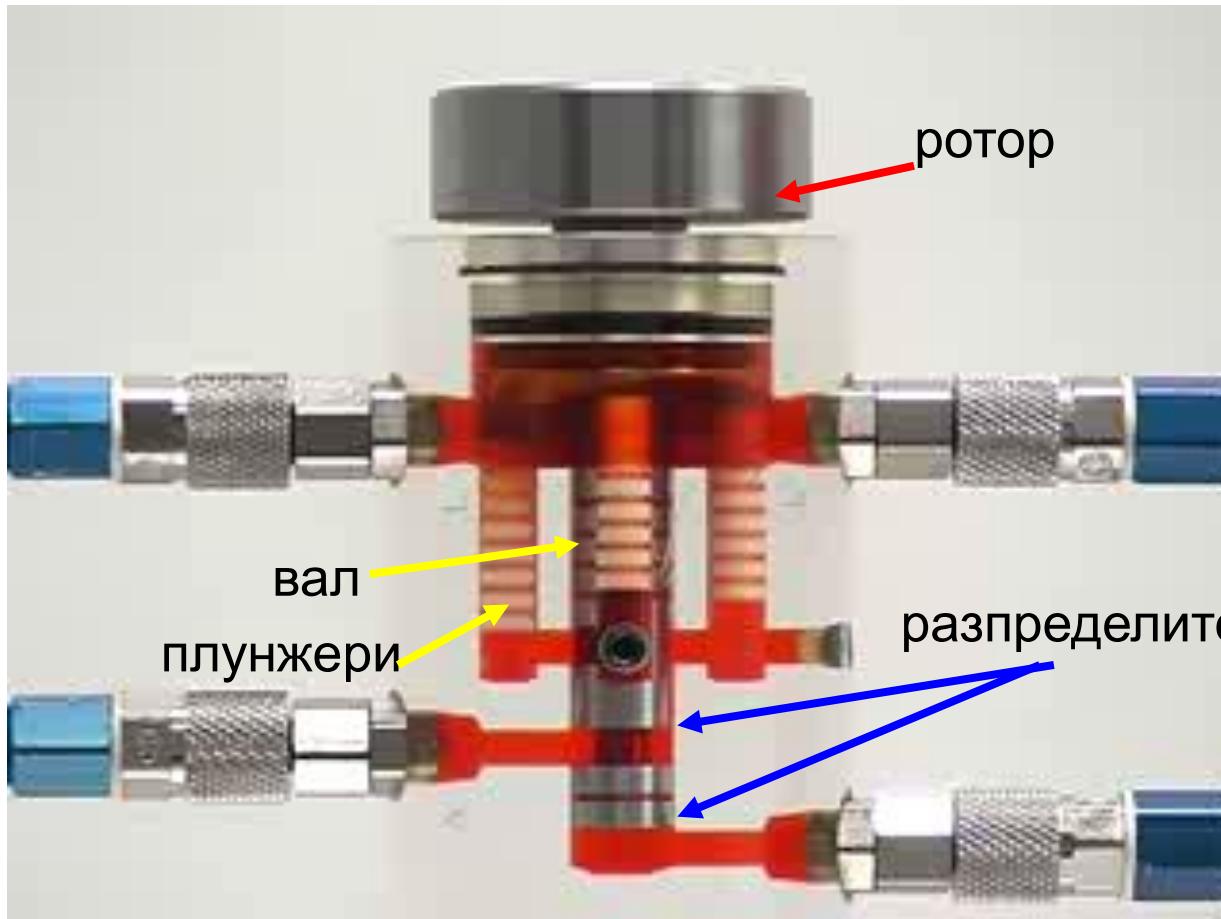
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални хидравлични мотори

Fixed Displacement Piston Pump
by
www.mechanisms.co
and
www.mekanizmalar.com
© S.E & M.E 2010

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални аксиални хидравлични мотори



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Бутални аксиални хидравлични мотори



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични мотори с цевно зацепване

- ▶ При тях работната камера, в която действа налягането на маслото, се образувана от детайли, които се зацепват по цилиндрични повърхнини.
 - Такова зацепване е известно като “цевно” зацепване
 - В западната техническа практика тези двигатели са известни като HTLS (**H**igh **T**orque **L**ow **S**peed) motors, което на български език се превежда като мотори с голям въртящ момент и ниска скорост

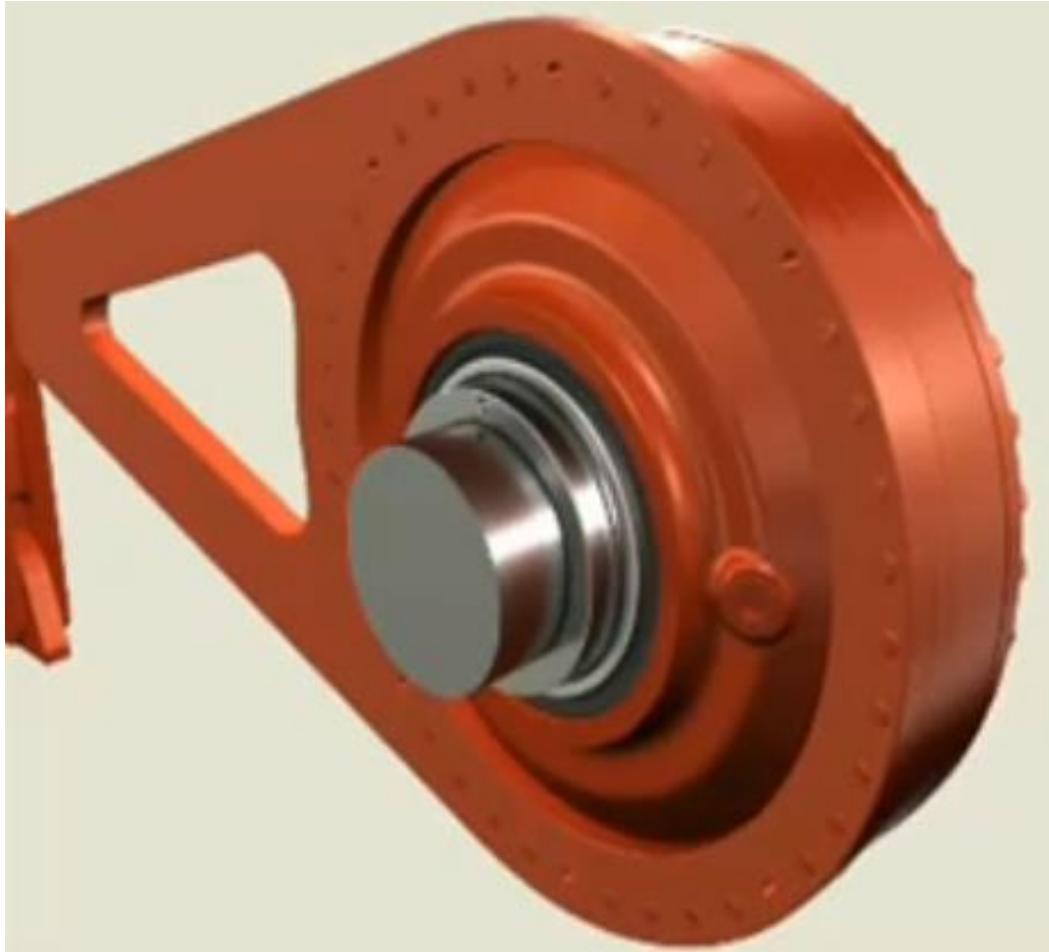
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични мотори с цевно зацепване

Общ вид на HTLS мотори



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



**Хидравлични
мотори с цевно
зацепване и
междинна двойка
цилиндър-бутало**

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

**Хидравлични мотори с голяма мощност, съдържащи
повече от една HTLS секции на общ вал**



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

**Хидравлични мотори с голяма мощност, съдържащи
повече от една HTLS секции на общ вал**



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за управление на енергийния поток през двигателите

- ▶ Тези средства могат да се обединят в две групи:
 - за включване, изключване и променяне посоката на флуида
 - за променяне на неговият дебит и налягане
- ▶ Средствата за включване, изключване и променяне посоката на флуида имат общото название „разпределители”

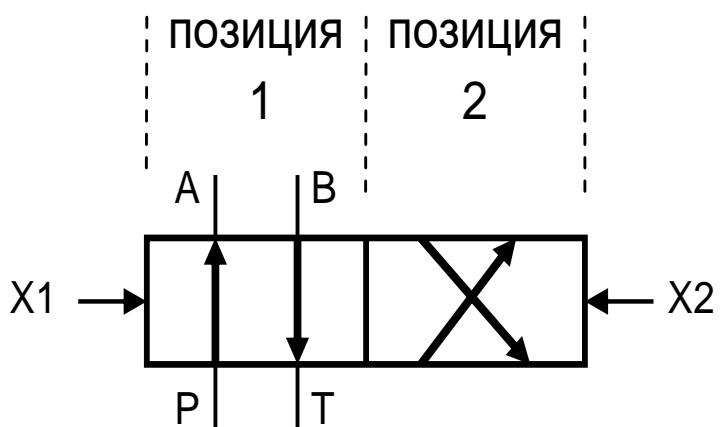
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Разпределители

- ▶ Устройството на разпределителите е сравнително сложно и за това в документацията, относяща се към конструкцията на задвижването, е прието те да се изобразяват чрез **условни графични означения**
- ▶ Условните графични означения трябва да показват максимално ясно начина на функциониране на съответния разпределител.

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

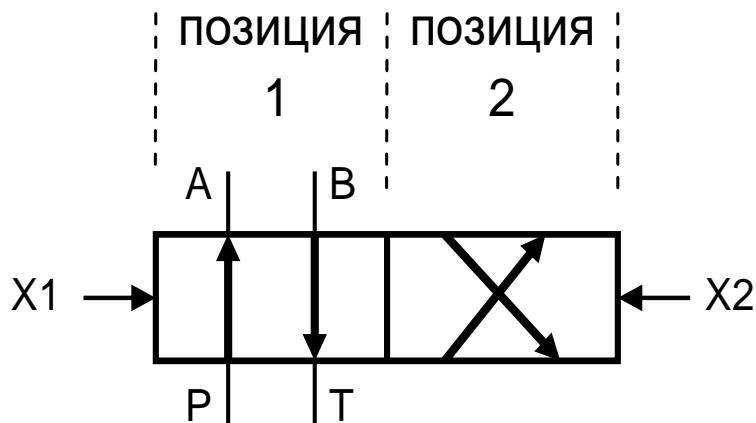
Разпределители



- ▶ А , В – връзки към изпълнителния механизъм (цилиндър, мотор)
- ▶ Р (Pump) – връзка към помпата
- ▶ Т (Tank) – връзка към резервоара
- ▶ X1 – управляващо въздействие, което осигурява (позиция 1)
- ▶ X2 – управляващо въздействие, което осигурява (позиция 2)

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

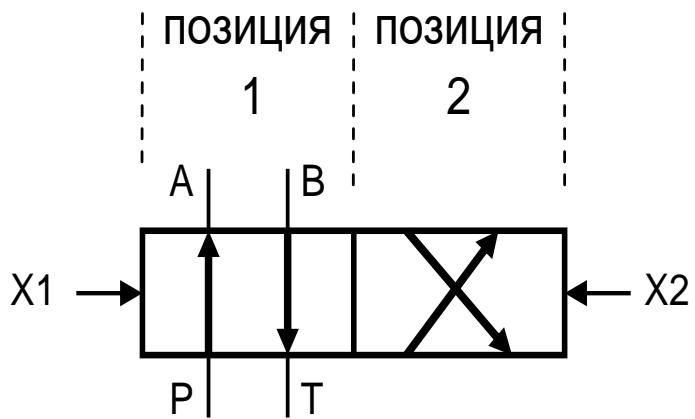
Разпределители



- ▶ Общ брой на връзките – 4
- ▶ Общ брой на позициите – 2
- ▶ Прието е връзките да се наричат “пътища”
- ▶ Съгласно действащите стандарти този разпределител е четирипътен, двупозиционен
- ▶ Той се означава като “**разпределител 4 / 2**”

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

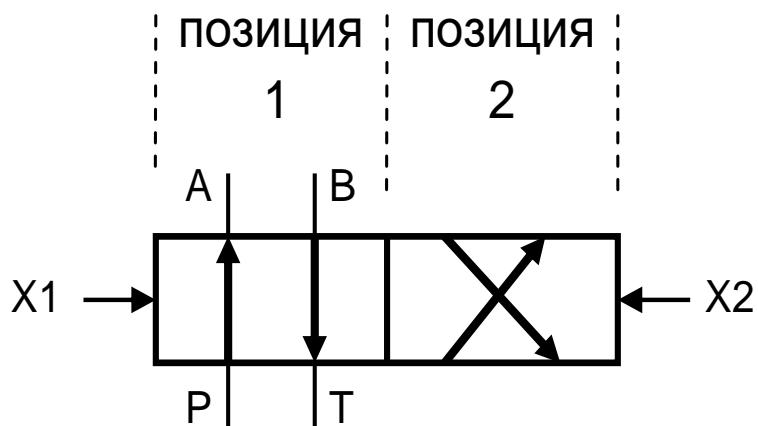
Разпределители



- ▶ Начинът, по който се осъществяват връзките в позиция 1 и в позиция 2 се нарича “**схема на връзките**”
- ▶ Всеки производител на разпределители осигурява определени схеми на връзки, наречени от него “**стандартни**”
- ▶ Обикновено за всяка стандартна връзка даден производител има условно означение, най-често с число от 00 до 99

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

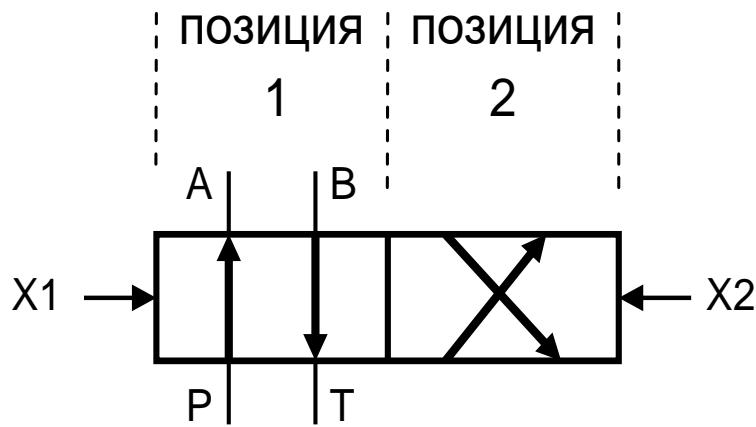
Разпределители



- ▶ X1 – въздействие, което осигурява позиция 1
- ▶ X2 – въздействие, което осигурява позиция 2
- ▶ Въздействията X1 и X2 са механични и винаги са бутащи по отношение на разпределителя

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Разпределители

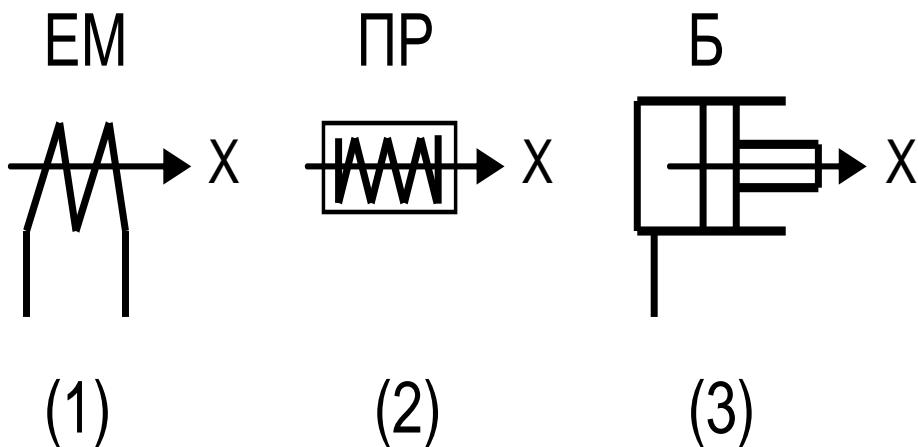


Всяко от въздействията X_1 и X_2 може да се създава от:

- Сила на човек
- Електромагнит
- Пружина
- Хидравлично или пневматично бутало с малки размери
- Всякаква комбинация от изброените, но не само с пружини от двете страни

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Разпределители



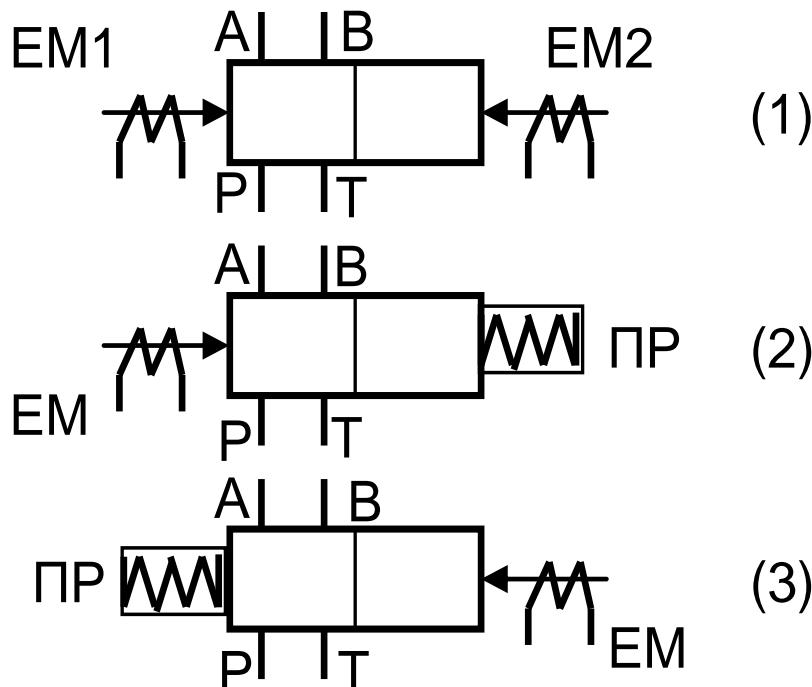
- ▶ (1) – електромагнит
- ▶ (2) – пружина,
създаваща само
сила на натиск
- ▶ (3) – хидравлично
или пневматично
бутало с малки
размери

Възможните комбинации от тези средства за създаване на въздействията X_1 и X_2 определят възможния брой на позициите на разпределителите да бъде 2 или 3.

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Разпределители

Двупозиционни (с две устойчиви позиции)



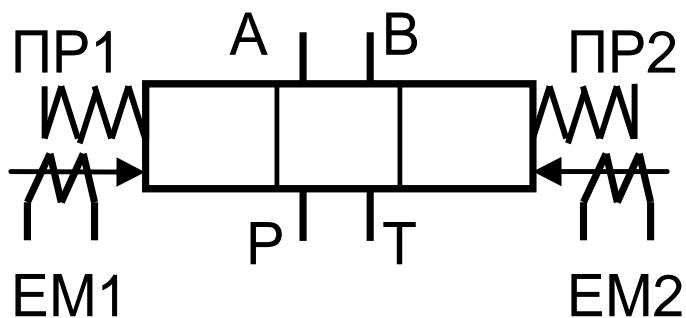
Възможни съчетания между
средствата за действие на
разпределителите

- 1 – два електромагнита
- 2 – електромагнит и пружина
- 3 – пружина и електромагнит

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Разпределители

Трипозиционни (с три устойчиви позиции)



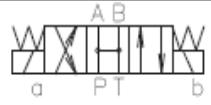
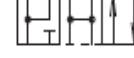
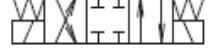
- ▶ Средната позиция се нарича “изходна”
- ▶ Тя се осигурява от съвместното действие на PR1 и PR2
- ▶ Крайните позиции се осигуряват от електромагнитите EM1 и EM2

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Разпределители

Част от стандартните схеми на разпределителите

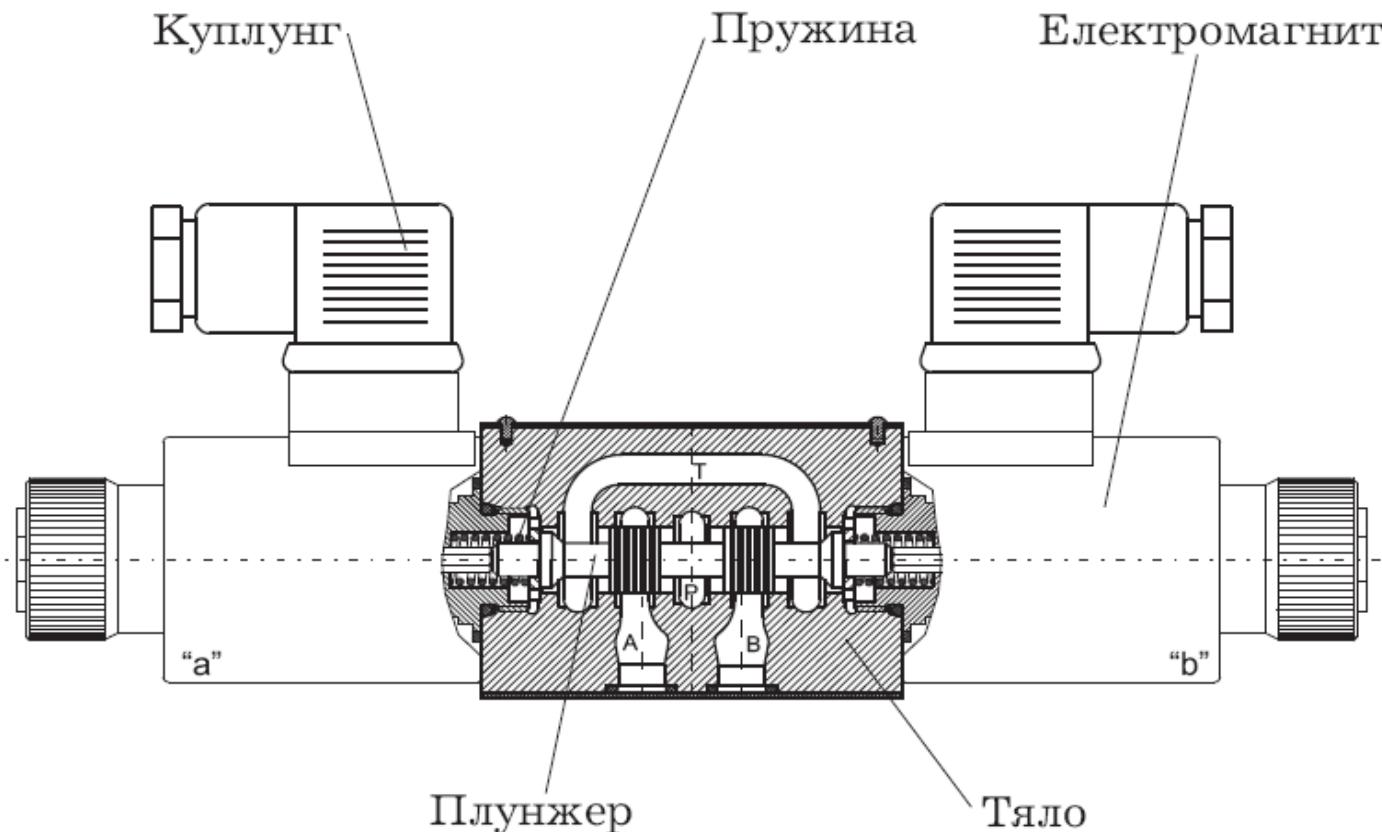
СХЕМИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ

ОЗНАЧЕНИЕ	СХЕМА	МЕЖДИННА ПОЗИЦИЯ	Вид на управлението					ОЗНАЧЕНИЕ	СХЕМА	МЕЖДИННА ПОЗИЦИЯ	Вид на управлението				
			1	2	4	6	7				1	2	4	6	7
00			✓	✓		✓	✓	82*			✓	✓		✓	
01			✓	✓		✓	✓	83			✓	✓	✓	✓	✓
02			✓	✓		✓	✓	98			✓	✓		✓	✓
04			✓	✓		✓	✓	99			✓	✓		✓	✓

* Схеми 19, 20 и 82 са с фиксация. Всички работни позиции са фиксирани и няма нужда от продължително задействане на електромагнита. За трипозиционните клапани (вид 7-ръчно) управлението е от страна "а" с изключение на схеми 42, 61 и 62, чито управления са от страна "б". За двупозиционните клапани виж таблицата горе. Възможни са и други схеми по желание.

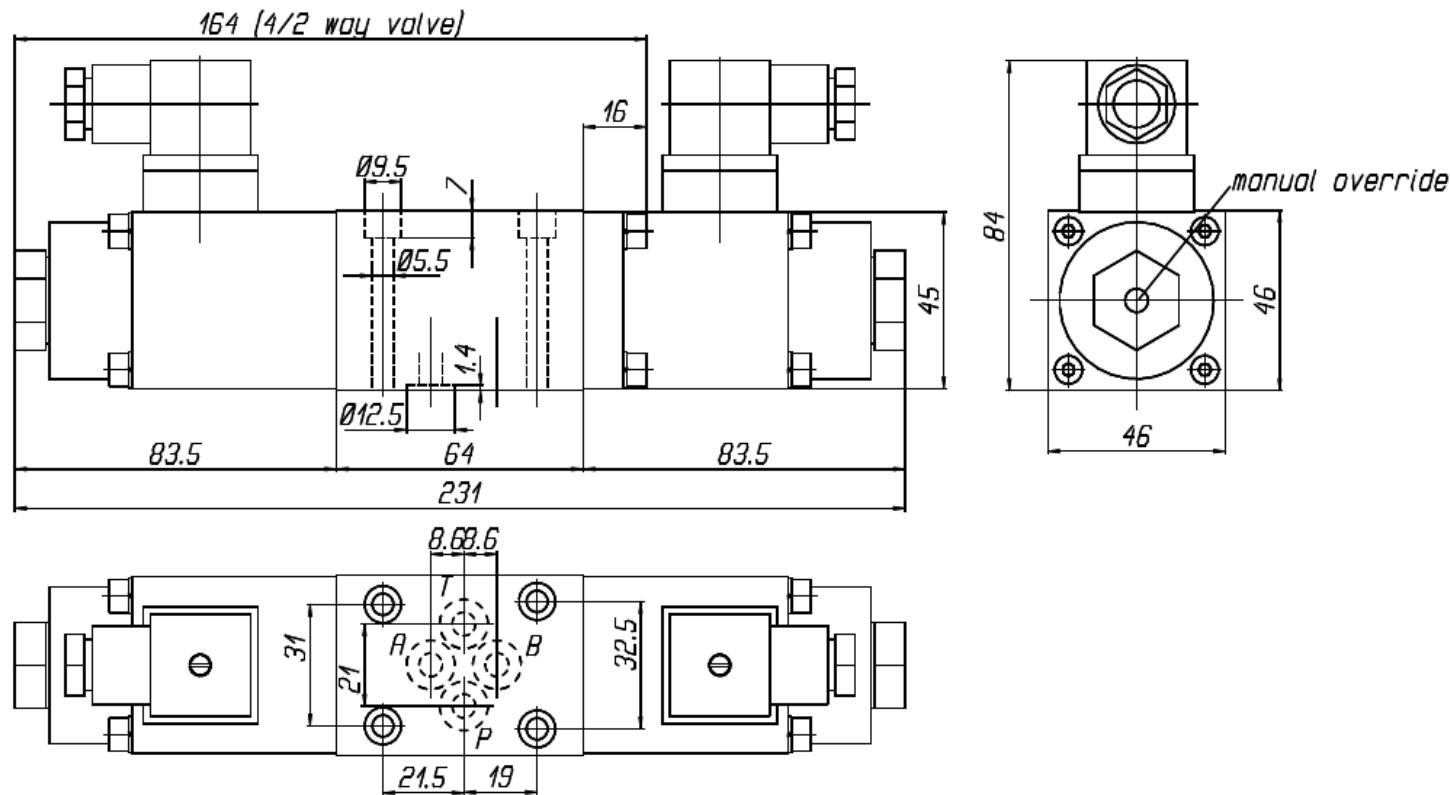
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Разпределители – примерна конструкция



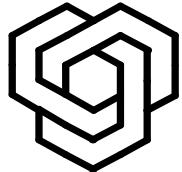
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Разпределители – характерни размери



**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 3

ХИДРАВЛИЧНИ И ПНЕВМАТИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО – ЧАСТ 2

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за управление дебита на флуида

- ▶ Те са принципно необходими за получаване на различни скорости на движение на работните органи **в съответствие с режимите на технологичните процеси**
- ▶ Имат общото название „**дросели**“
- ▶ Представляват изкуствено създадени стеснения по пътя на флуида
- ▶ Разполагат се на определени места в хидравличната / пневматичната част на задвижването.
- ▶ Дебитът и съответно скоростта на движение могат само да се намаляват спрямо техните максимални стойности.

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

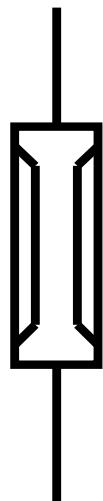
Средства за управление дебита на флуида

- ▶ По конструкция дроселите могат да бъдат с:
 - постоянна пропускателна способност, получена веднъж завинаги при тяхното производство
 - изменяема пропускателна способност, задавана от човек-оператор по време на експлоатация на задвижването

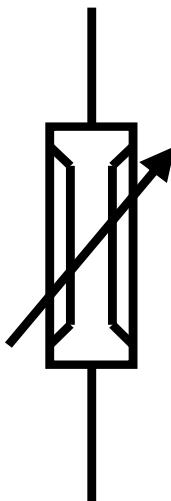
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за управление дебита на флуида

Условни графични означения на дросели с:



а)



б)

а) Постоянна пропускателна способност

б) Изменяема пропускателна способност

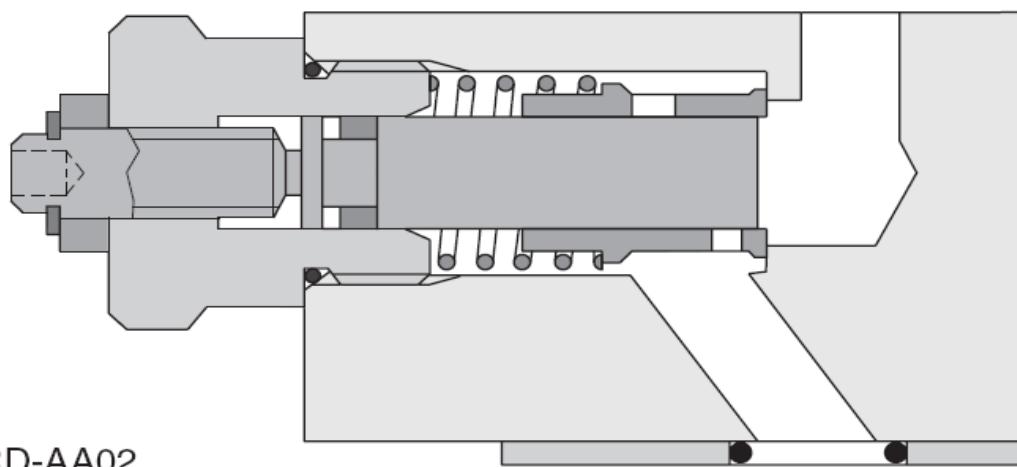
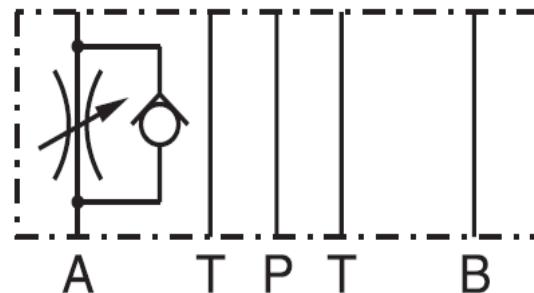
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за управление дебита на флуида

- ▶ С постоянна пропускателна способност:
 - тръби с малък диаметър (капиллярни тръби)
 - дроселиращи втулки
 - дроселиращи шайби
 - пакети от шайби
- ▶ С изменяема пропускателна способност:
 - клапани с плъзгаща двойка втулка-бутало
 - дюза със средство от плъзгащ/въртящ тип за припокриване на нейния отвор
 - дюза с припокриване на нейния отвор със средство от типа винт-гайка

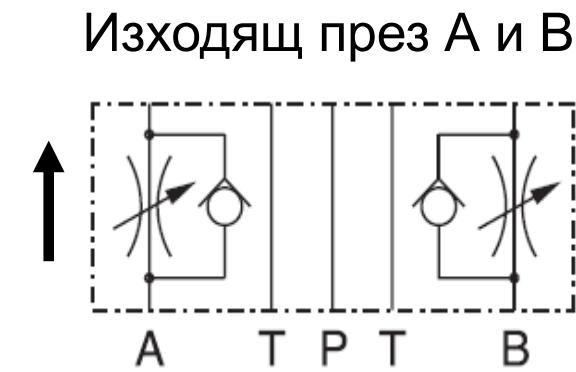
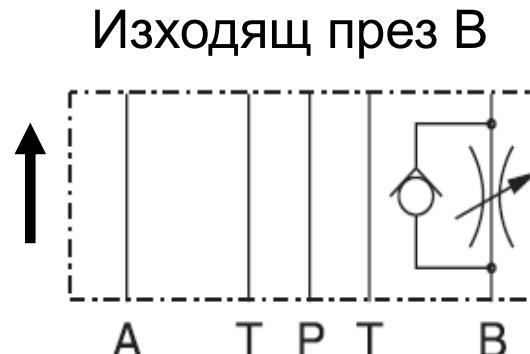
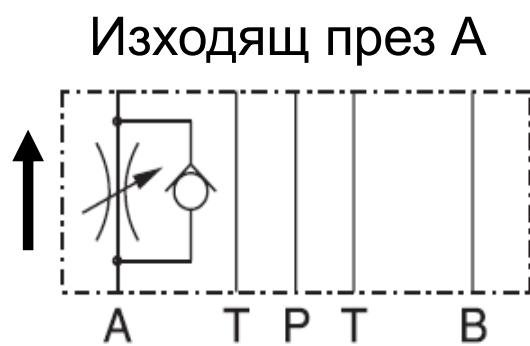
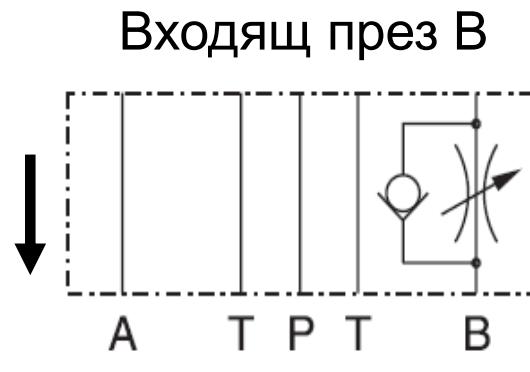
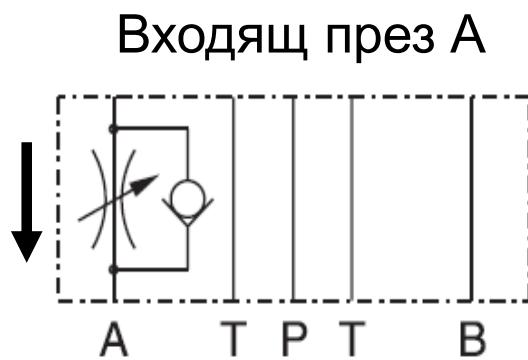
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за управление дебита на флуида



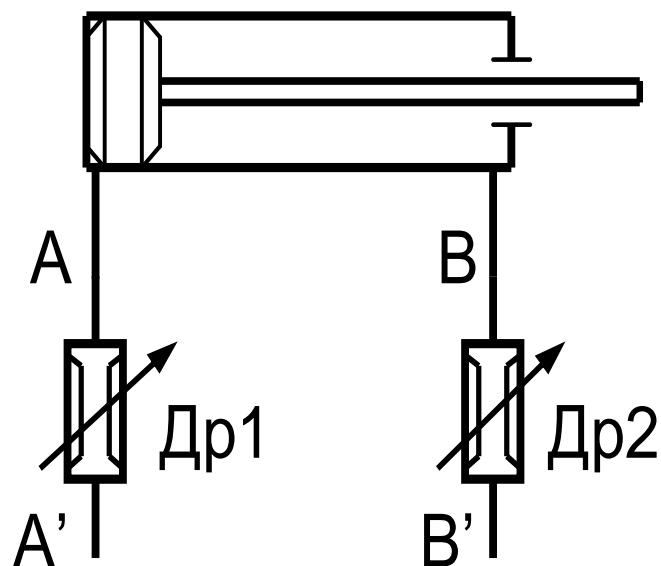
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за управление дебита на флуида



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за управление дебита на флуида



- ▶ Възможни места за поставяне на дроселите
- ▶ Поставя се **само на едно** от тях, определено от условията на работа

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Показаните дросели имат **само ръчно** задаване на пропускателната им способност
- ▶ При необходимост задвижването да осигури автоматично няколко различни скорости за един негов цикъл, трябва да се използват съответен брой **предварително** настроени дросели (по един за всяка скорост)
- ▶ Необходимият за момента дросел се свързва чрез разпределител към съответното място в хидравличната част на задвижването.

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за изграждане на системата за управление

Тези средства могат да се обособят в ***три направления:***

- ▶ сензори за определяне на текущото положение на работните органи
- ▶ апарати със специализирано предназначение
- ▶ Средства за общуване между човек-оператор и системата за управление

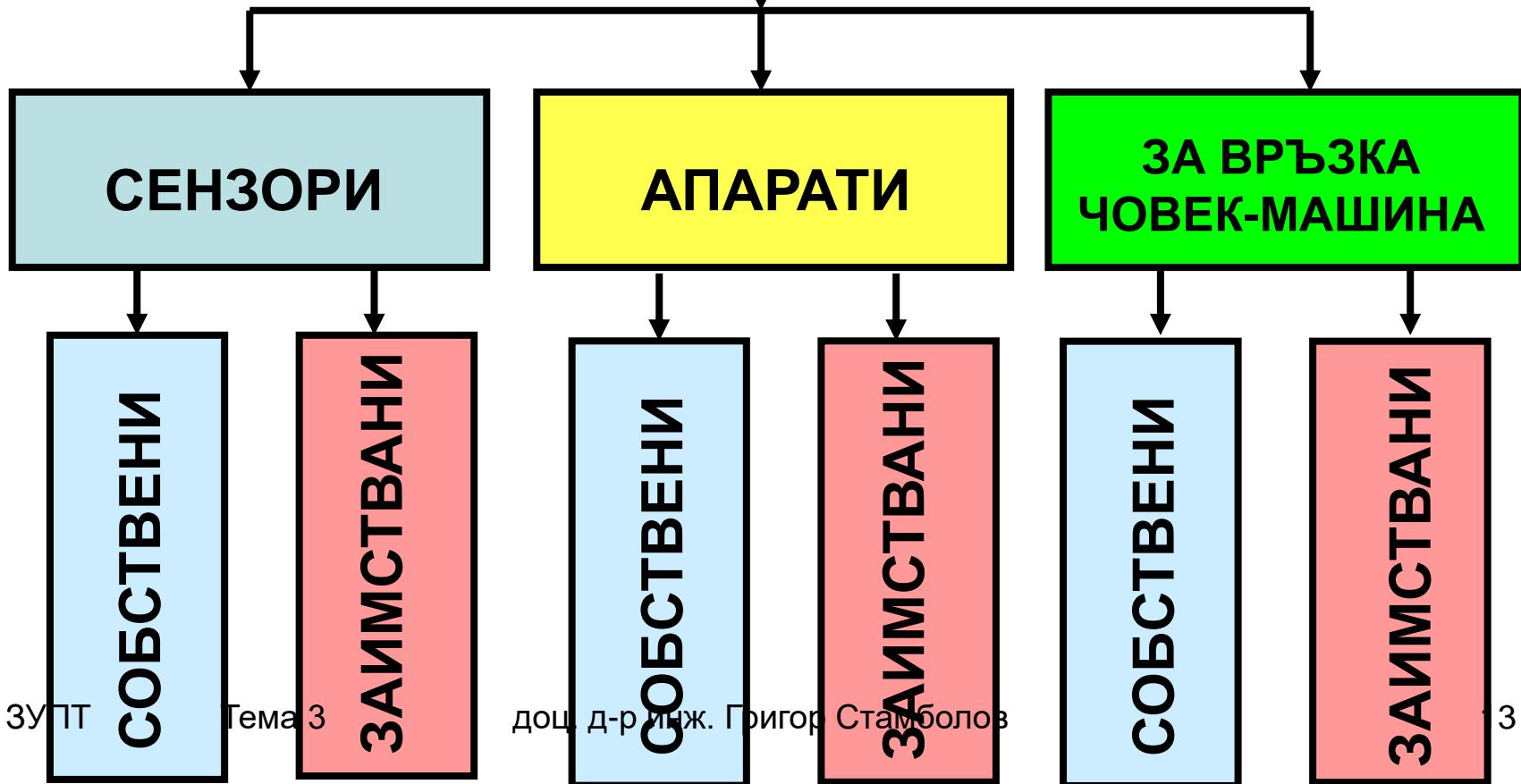
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за изграждане на системата за управление

- ▶ Във всяко от посочените три направления елементната база може да бъде класифицирана в две групи:
 - създадена при естественото развитие на хидравличните и пневматичните задвижвания
 - заимствана от други области на техниката

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за изграждане на системата за управление



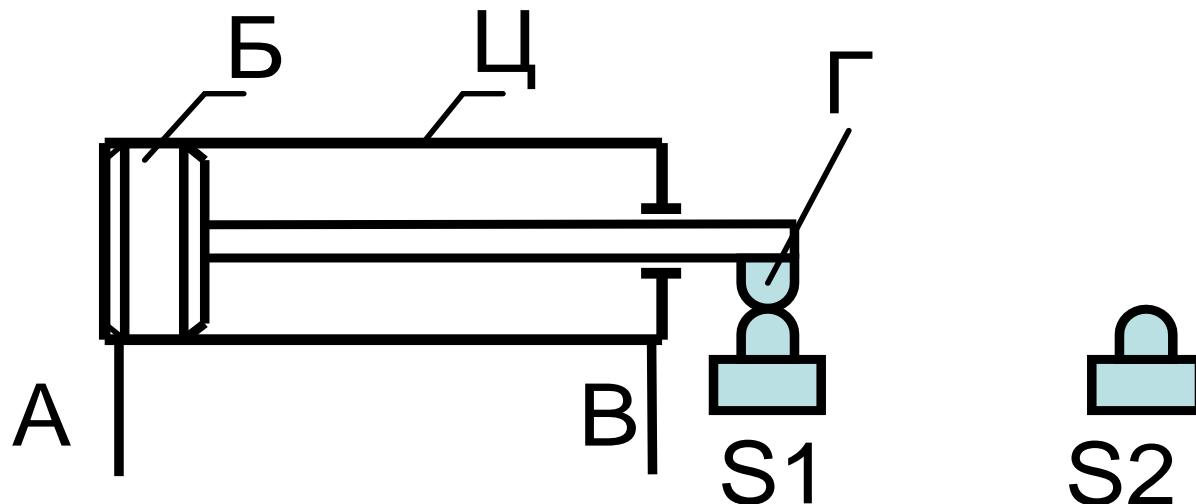
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Средства за изграждане на системата за управление

- ▶ Към настоящия момент в хидравлични и пневматични задвижвания, предназначени за автоматизиране на производствени процеси реално не се използват средствата от първата група
- ▶ Разнообразието на използваните средства от втората група е голямо и е основно от областта на:
 - електротехниката,
 - електрониката
 - компютърните технологии

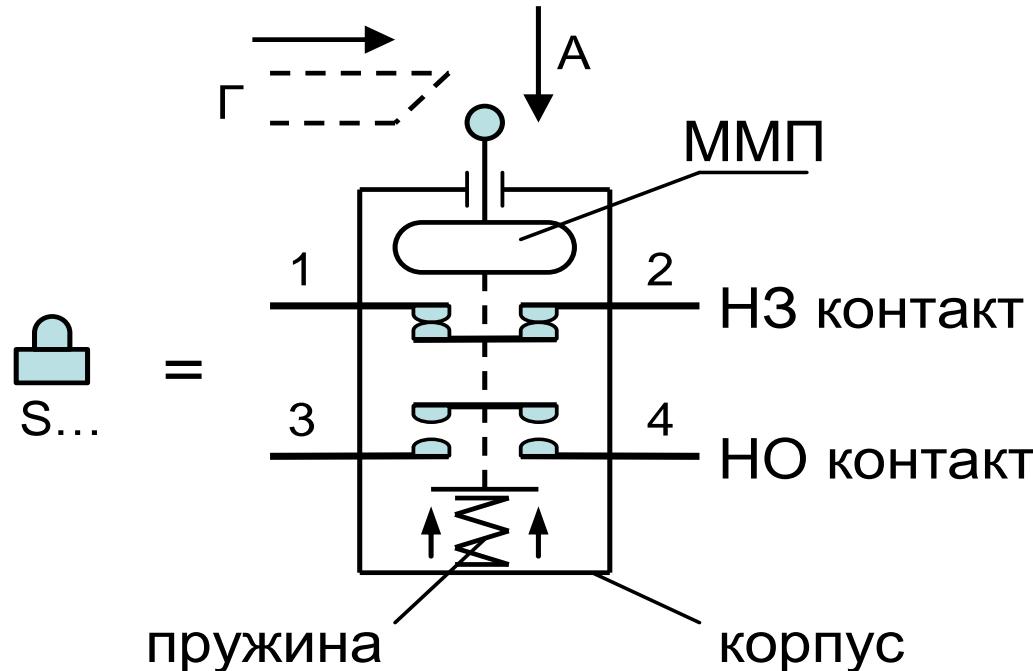
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидро-механично задвижване с един цилиндър



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Типичен сензор за електро-хидравлично задвижване



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

- ▶ използват се широко за:
 - технологични процеси за механично обработване
 - действия със спомагателен характер.
- ▶ За тях е характерно, че последователността от движения, които те изпълняват, не може да се променя в процеса на експлоатация
- ▶ позволяват изменение на големините на скоростите и преместванията на работните органи.

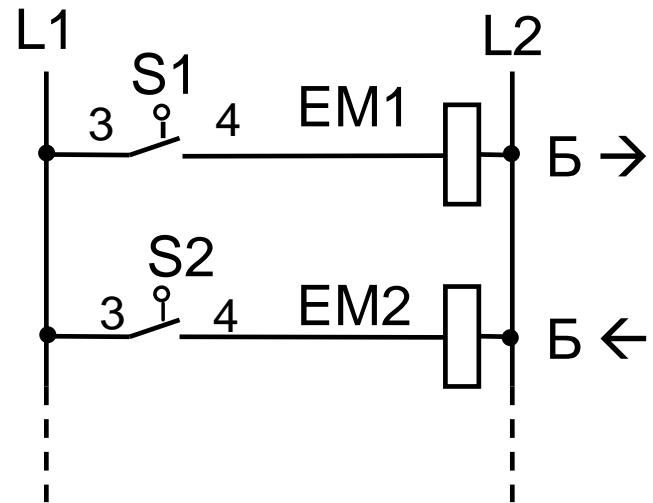
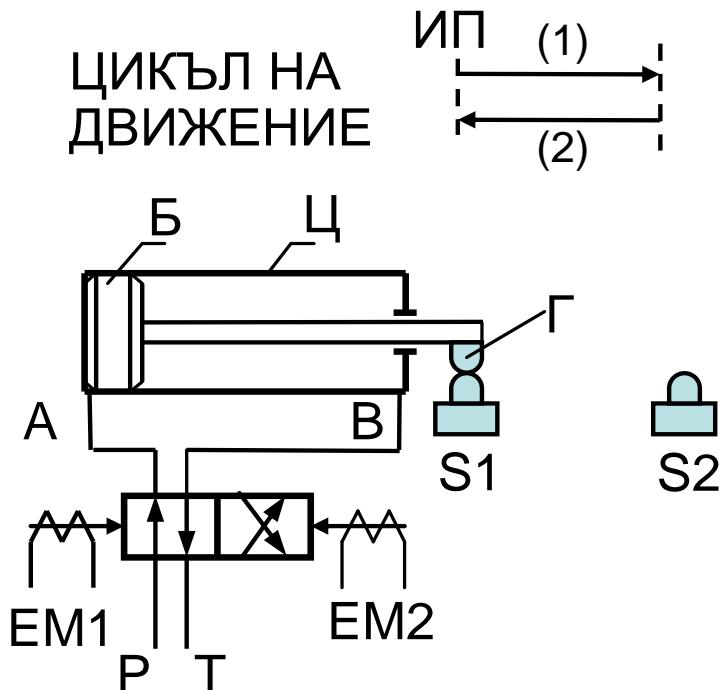
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

- ▶ в основата са на производствени единици с добре обмислен фиксиран цикъл и значителни технологични възможности
- ▶ системата за управление на тези задвижвания като правило не е с голяма сложност и е по възможностите на всеки машинен инженер

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл



Към схемите за управление на другите хидравлични механизми в машината

Хидро-механична схема

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

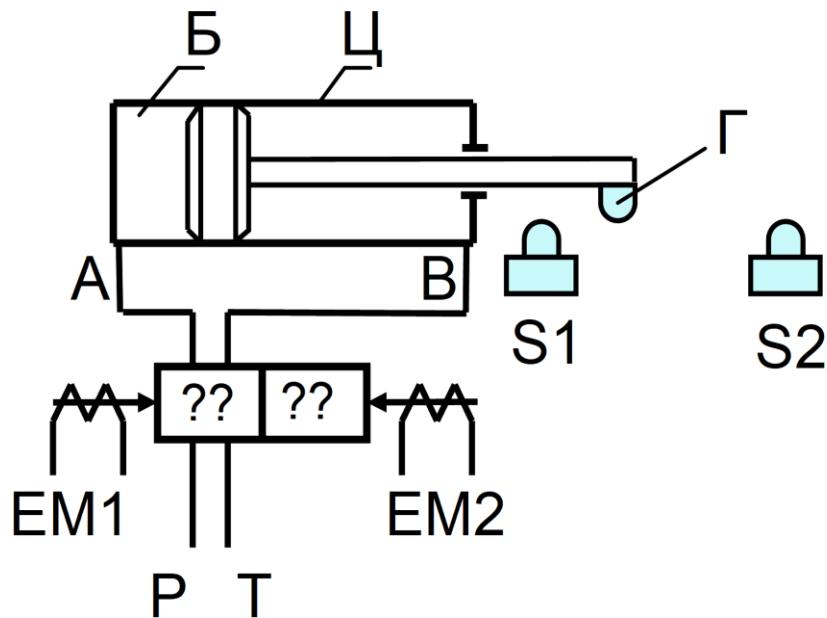
Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

Особености:

- ▶ след започване на движението на буталото надясно движение (1) от цикъла, гърбицата Γ ще освободи сензора $S1$, което ще предизвика изключване на електромагнита $EM1$.
- ▶ това няма да наруши правилната работа на задвижването, тъй като положението на плунжера на разпределителя ще остане в същото положение докато не се включи $EM2$.

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

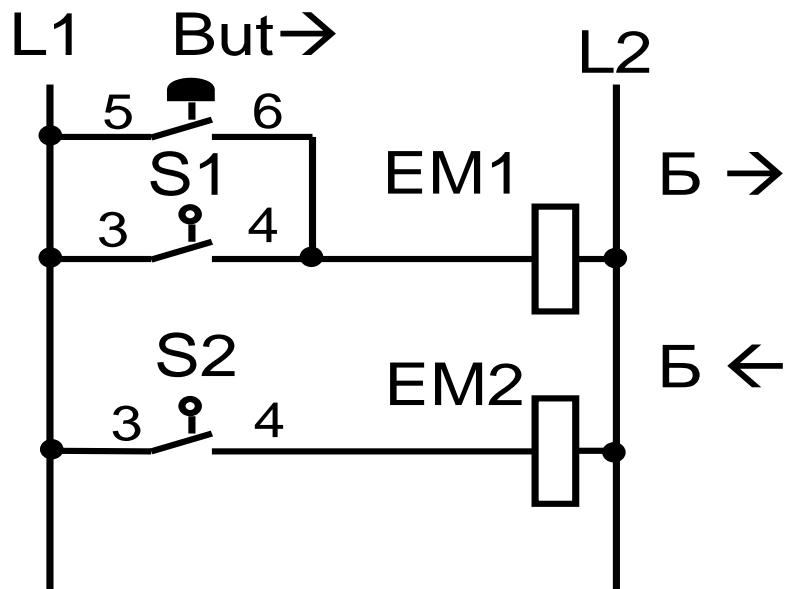
Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл



► Ако при предшестващото изключване на машината буталото *B1* е спряло между двата сензора задвижването започва работа в посока, определена от положението на плунжера на разпределителя

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл



- ▶ Сензорът S1 се „заобикаля“ чрез допълнителна верига през бутона *But→*
- ▶ Той се разполага на удобно място и се задейства ръчно от оператора на машината

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

- ▶ В тази схема на управляващата част от сензорите S1 и S2 са използвани само техните нормално отворени контакти между изводите 3 и 4.
- ▶ Нормално затворените им контакти между изводите 1 и 2 в случая не са необходими и независимо от това, че ги има в сензорите, те не са свързани към системата за управление

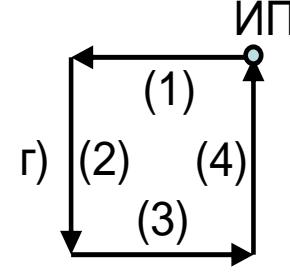
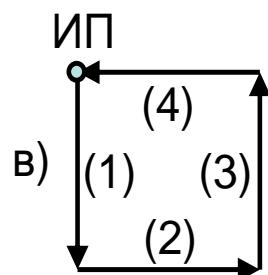
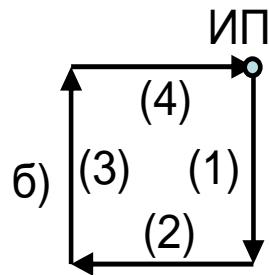
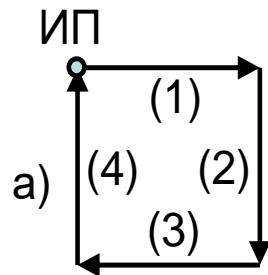
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

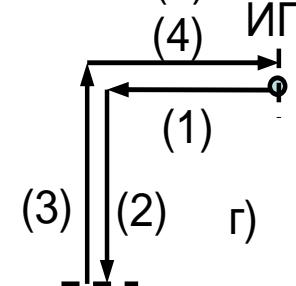
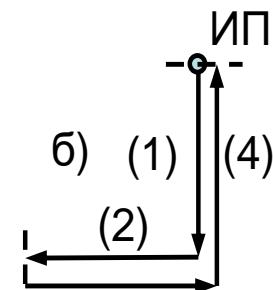
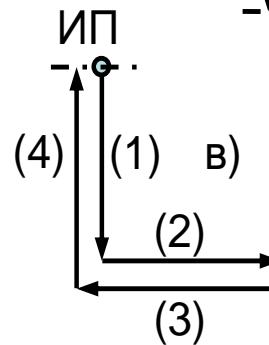
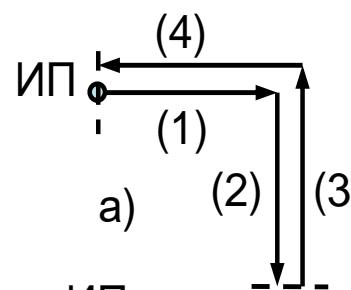
- ▶ Практиката показва, че съвкупността от движенията на хидравличните и пневматичните задвижвания, намерили приложение в машиностроителното производство и работещи по фиксирани цикли, реално се получава от съчетаване на така наречените „O“-цикъл и „Г“ -цикъл, приети като основни.

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл



“О” – цикъл с различно място на изходното положение ИП



“Г” – цикъл с различно място на изходното положение ИП

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

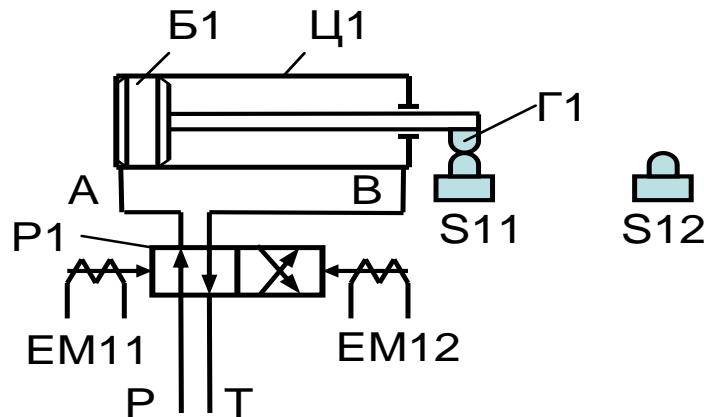
Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

- ▶ Тези цикли са получили наименованията си от приликата им със съответните букви от българската азбука. В западната техническа литература „Г“- цикълът се нарича „Л“ – цикъл.
- ▶ Всеки от тези цикли се използва в различни варианти по отношение на изходното положение ИП, последователност и посока на изпълнение на неговите движения.

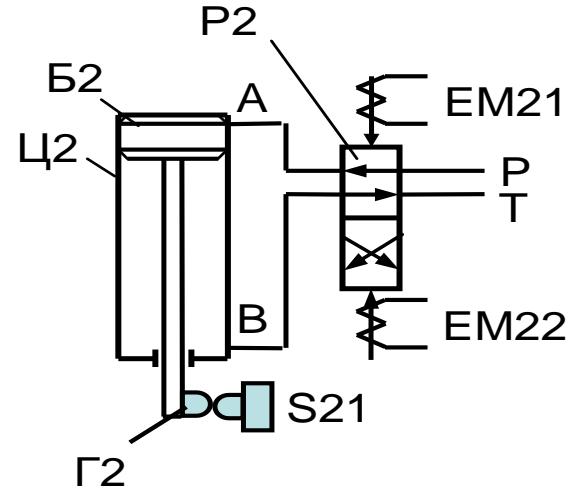
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

Примерна хидромеханична част, която може да се използва за осигуряване на движенията на “О” - и “Г” - циклите



ПОДСИСТЕМА 1



ПОДСИСТЕМА 2

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

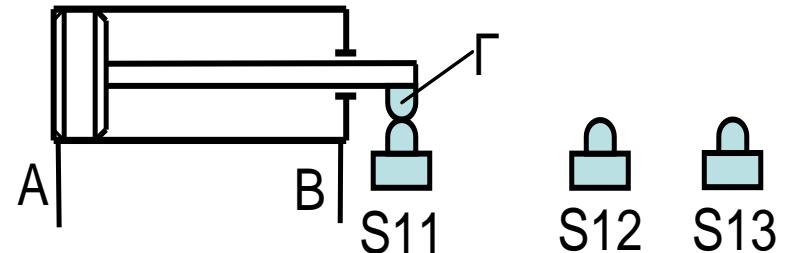
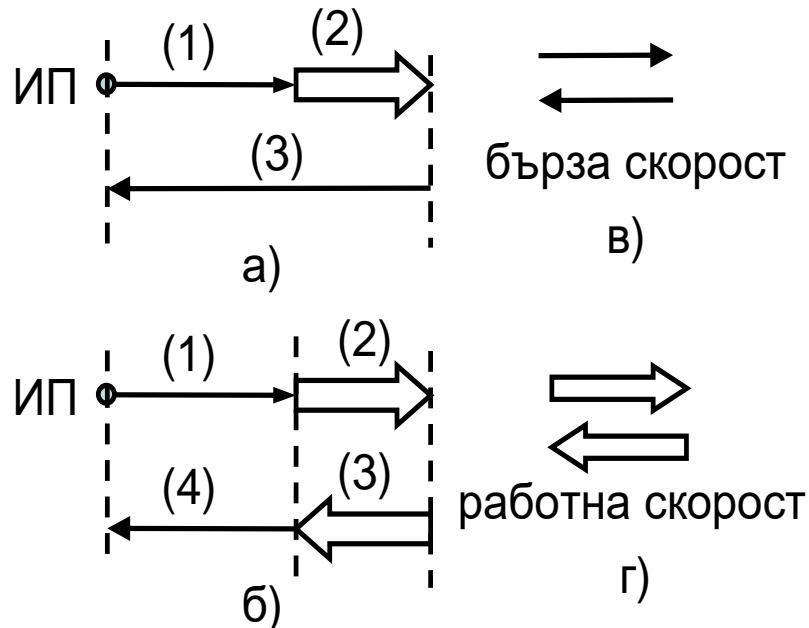
Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

- ▶ Съчетаването на движенията от „О” – и „Г” – циклите в механизъм, изпълняващ конкретен технологичен процес, може да бъде в различни варианти по отношение
 - брой на повторение на всеки от циклите като цяло или на елементи от тях
 - скоростта на всяко от движенията.
- ▶ По отношение на скоростта движенията чрез които става механично обработване имат поне два участъка с различни скорости, изисквани от конкретния технологичен процес

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични и пневматични задвижвания, работещи по фиксиран цикъл

- ▶ Типични последователности на движения (а) и (б) и условни означения за големините на скоростта (в) и (г).



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Помпи

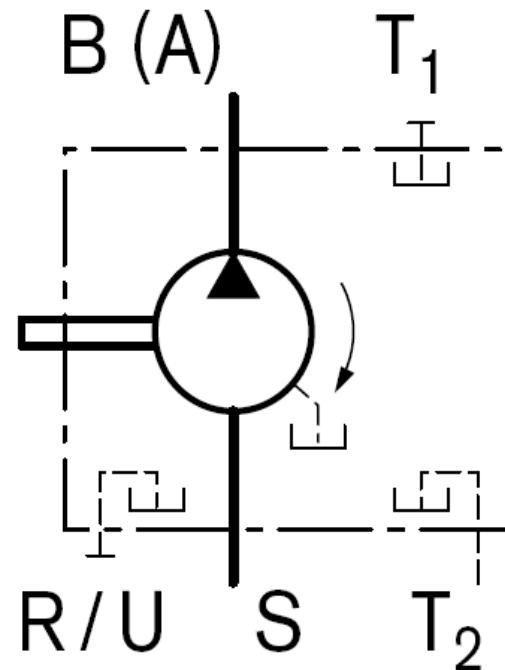
Хидравлични помпи за самостоятелни приложения на фирмата “Bosch – Rexroth” AG, Германия.

Основни характеристики:

- ▶ Размер – количеството масло [см^3], получавано за един оборот на вала на помпата
- ▶ Принцип на работа – аксиално-бутални и зъбни
- ▶ Помпещите елементи са от типа цилиндър с бутало
- ▶ Дебитът е пропорционален на скоростта на въртене на вала на помпата

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Общ вид на помпи с два помпещи елемента тип А2FO

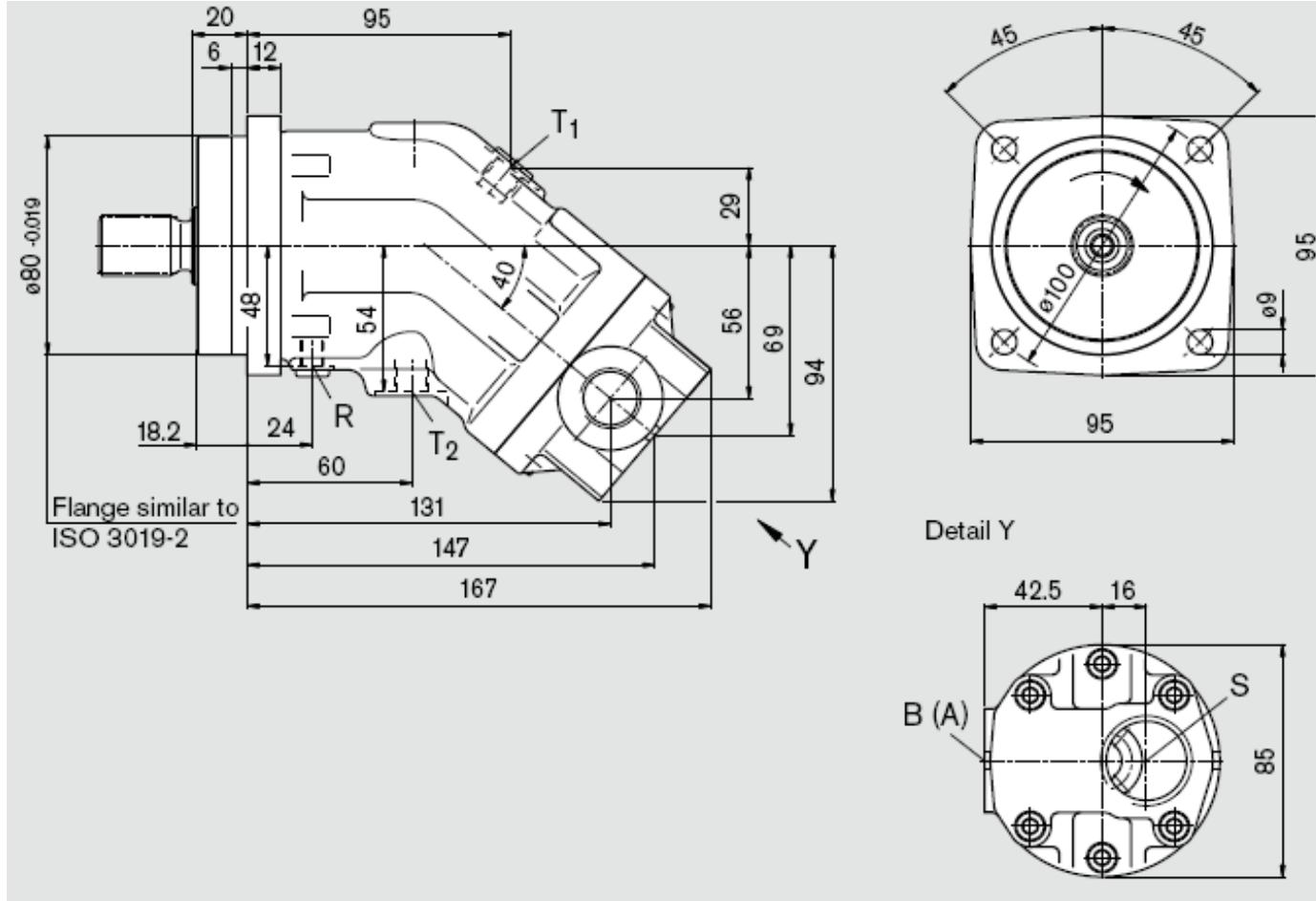


S - смукател
B – изход

A – изход

T₁, T₂ – утечка
R / U – обезвъздушаване /
промиване на лагерите

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

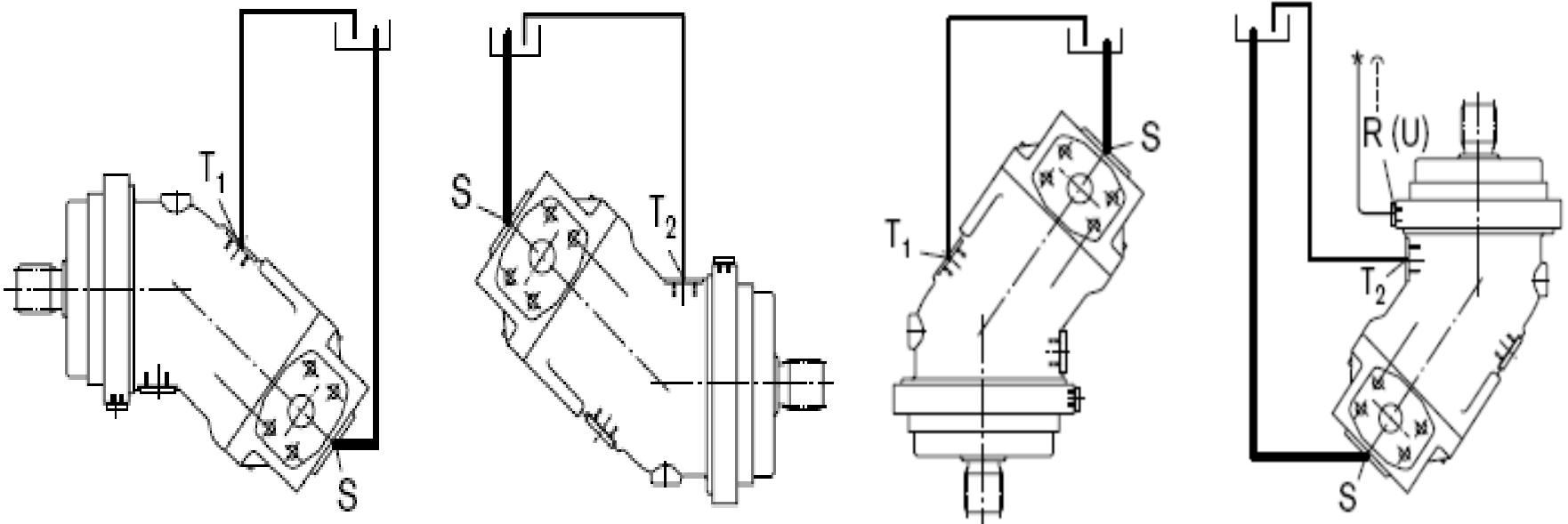
Аксиални бутални помпи с помпещи елементи

- ▶ Размери:
 - 5 (малък)
 - 10 – 200 (среден, включващ 16 междинни стойности)
 - 250 – 1000 (голям, включващ 5 междинни стойности)
- ▶ Налягане - номинално 350 bar, максимално 400 bar
- ▶ Скорост на въртене
 - минимална 0 об/мин
 - максимална 8000 об/мин (зависи от размера)
- ▶ Валът на помпата може да се върти в две посоки – по и срещу часовниковата стрелка

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

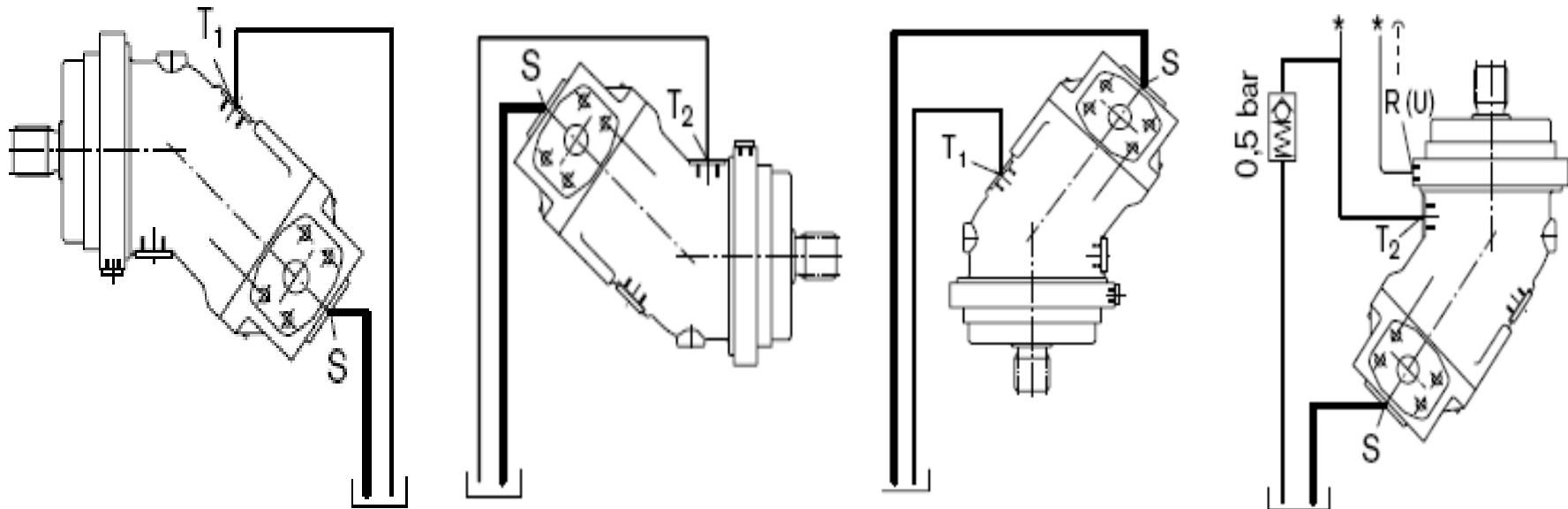
- ▶ Посоката на въртене на помпата се определя, като помпата винаги се гледа от страната на вала
 - фабричната настройка на помпата е за въртене на вала по посока на часовниковите стрелки, за нея се отнася чертежа на помпата, при което изходът на помпата се означава с “**B**”
 - при необходимост от въртене на помпата в другата посока, от нея трябва да се разглоби терминалния блок, осигуряващ връзките A, B и S, същият да се завърти на 180° спрямо първоначалното си положение без да се отделя от помпата и отново да се сглоби към нея, при което изходът на помпата се означава с “**A**”

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



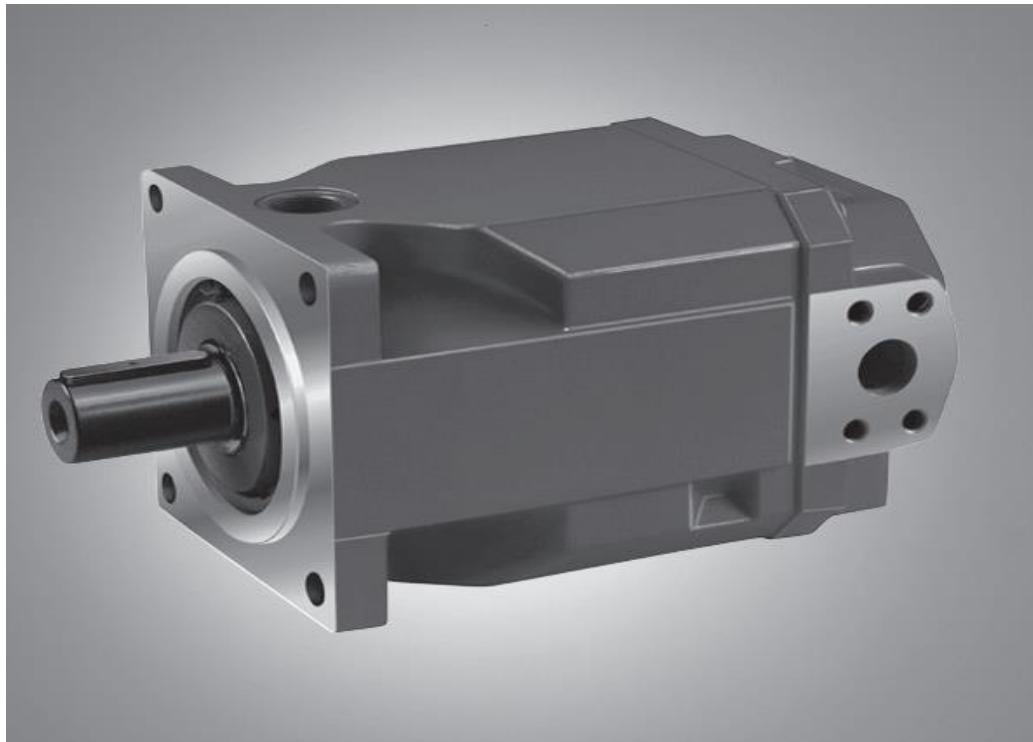
Варианти на монтиране на помпа A2FO (1)

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



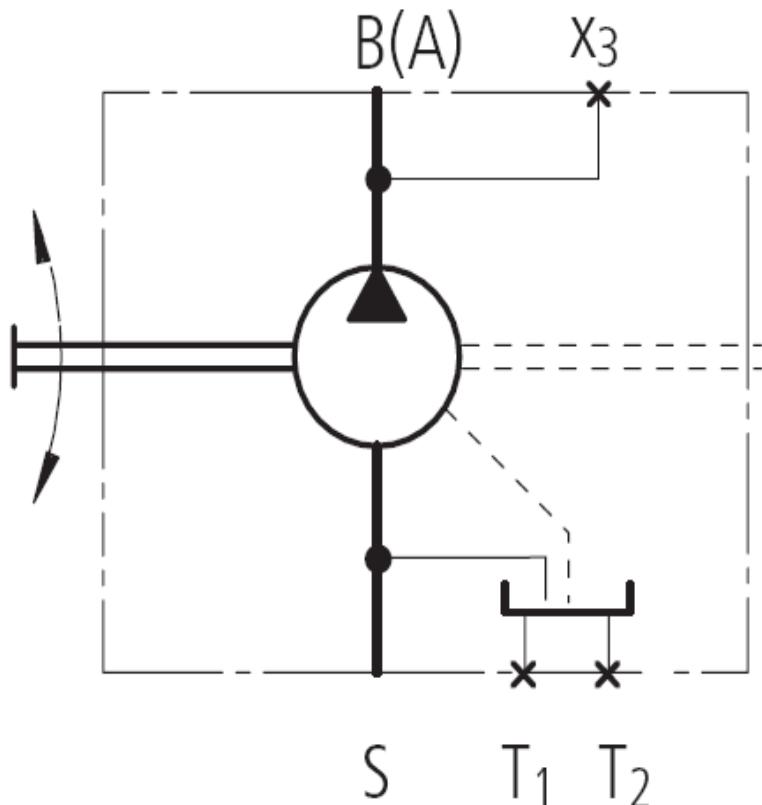
Варианти на монтиране на помпа A2FO (2)

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Общ вид на помпа с 4 помпещи елемента тип А4FO

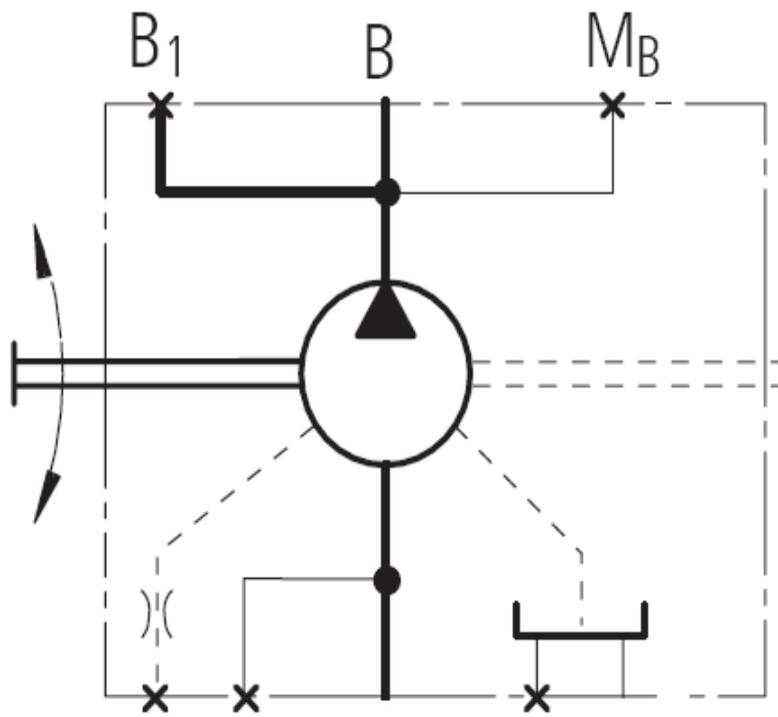
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



- A, B – основен изход на помпата
- S – смукател
- T₁, T₂ – изходи за утечки
- X₃ – извод за манометър за работно налягане
- X – доставя се с тапа на посочения извод

Графично означение на помпа A4FO – размери 16 - 40

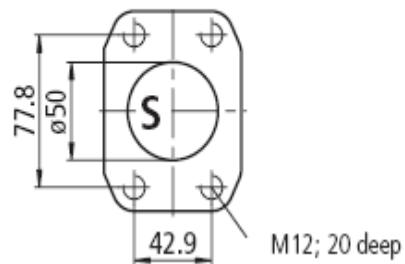
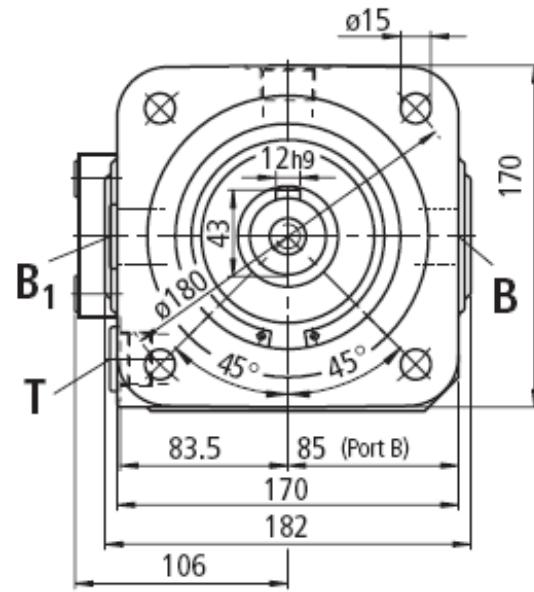
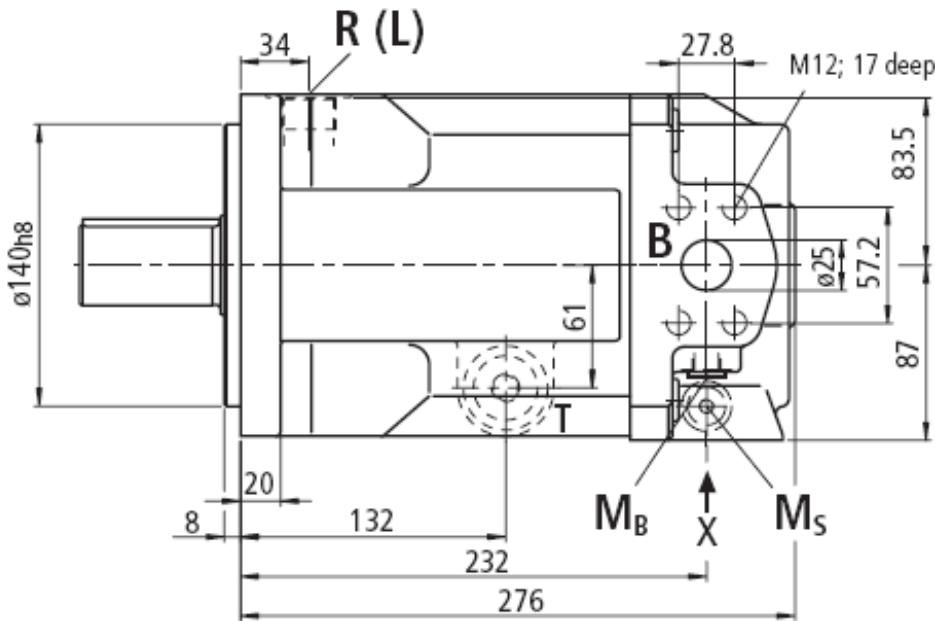
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



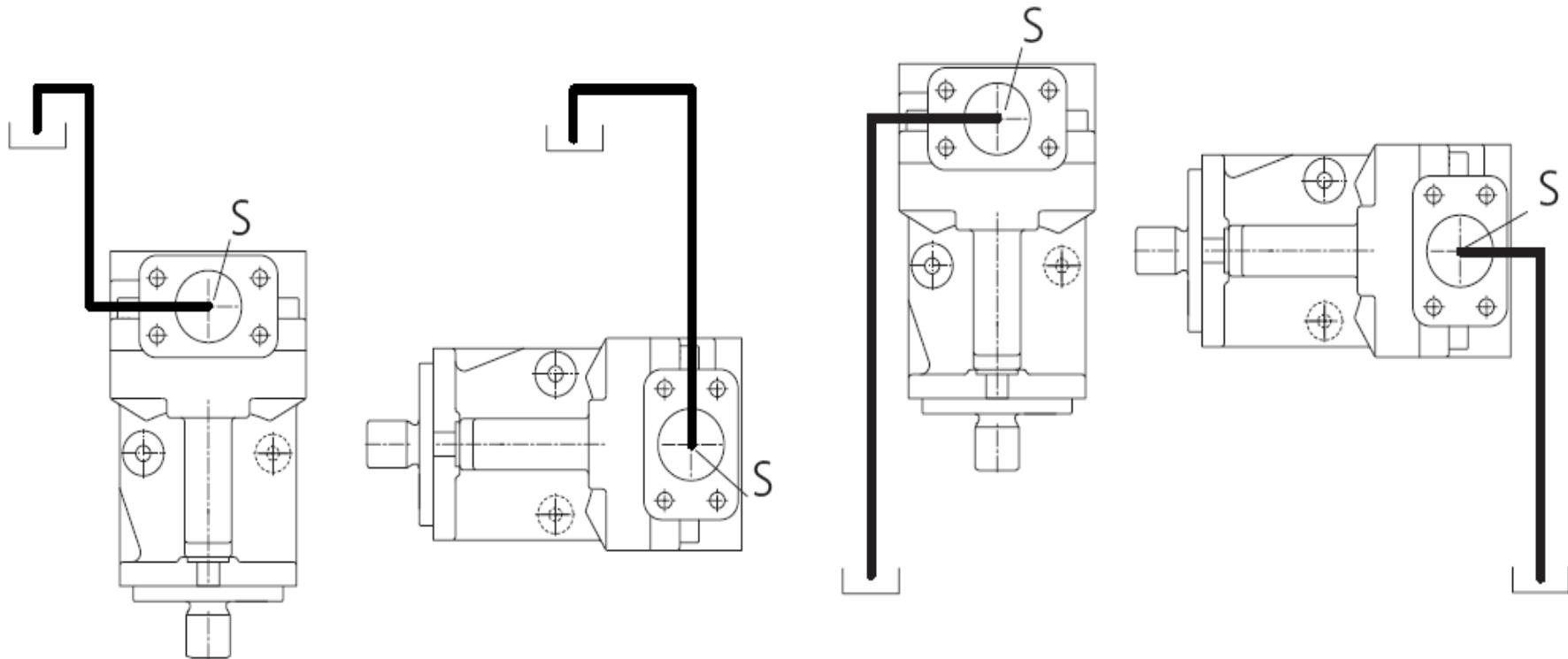
- | | |
|------------|--|
| A, B | – основен изход на помпата |
| A_1, B_1 | – допълнителен изход на помпата |
| S | – смукател |
| $T, R(L)$ | – изходи за утечки |
| M_S | – извод за манометър за налягане в смукателя |
| M_B | – извод за манометър за работно налягане |
| U | – изход на маслото за промиване на лагерите |
| x | – доставя се с тапа на посочения извод |

Графично означение на помпа A4FO – размери 71 - 500

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Инсталиране под
нивото на резервоара

Инсталиране над
нивото на резервоара

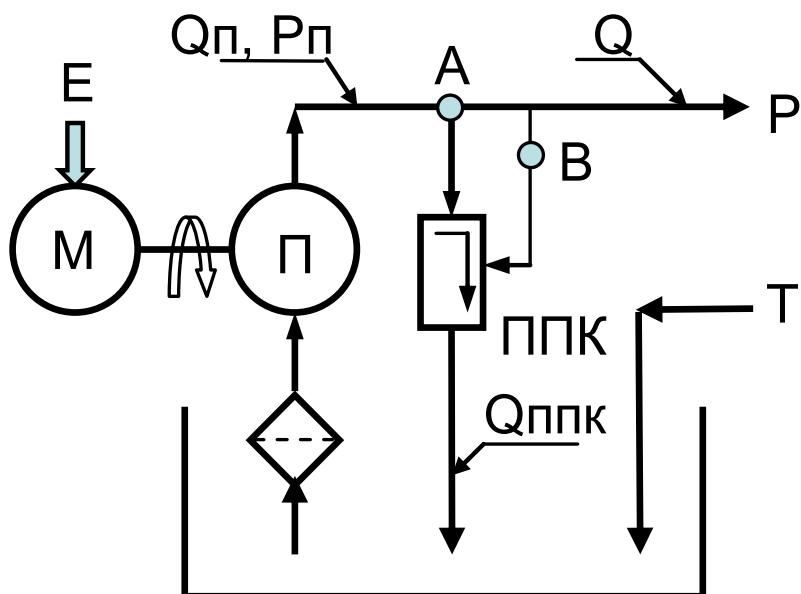
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравличен агрегат

- ▶ Флуидът, необходим за работата на хидравличните задвижвания, се осигурява от енергиен източник, известен под името „хидравличен агрегат“
- ▶ В повечето случаи той не е обект на проектиране от конструктора на задвижването, а е готово изделие
- ▶ Принципът на неговата работа не е сложен, но има някои особености, които трябва да бъдат пояснени

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравличен агрегат - структура и потоци на флуид



Е – първичен източник на енергия
М – мотор
П – помпа
ППК – предпазно-преливен клапан
Q – използваем дебит на агрегата

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравличен агрегат - структура и потоци на флуид

- ▶ Полезната мощност на потока от флуид, който се подава към задвижването, е числено равно на произведението от налягането на помпата $P_p [N/m^2]$ и дебитът $Q [(m^3/s)]$.

$$p = \frac{N}{m^2} * \frac{m^3}{s} = \frac{N \cdot m}{s} [W]$$

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравличен агрегат - структура и потоци на флуид

- ▶ За да се осигури независимост на налягането спрямо текущата консумация на флуид в структурата на хидравличния агрегат е включен предпазно-преливният клапан ППК , който поддържа (стабилизира) налягането P
- ▶ В точка A той отклонява дебит $Q_{\text{ппк}}$, който е част от дебита на помпата Q_p .
- ▶ Дебитът Q , с който разполага задвижването е:

$$Q = Q_p - Q_{\text{ппк}}$$

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравличен агрегат - структура и потоци на флуид

- ▶ В точка B не се изразходва дебит, защото чрез тази връзка се измерва действителното налягане
- ▶ помпата Π е необходимо да осигури дебит

$$Q_{\Pi} = Q + Q_{ПК}$$

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравличен агрегат - структура и потоци на флуид

- ▶ Практиката показва, че за да се осигури приемлива стабилност на налягането P , дебитът $Q_{плк}$ през предпазно-преливния клапан $ППК$ във всеки един момент трябва да бъде 30-60% от максимално необходимия дебит Q за задвижването
- ▶ Това обуславя коефициент на полезно действие след помпата 0,63 - 0,77

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравличен агрегат - структура и потоци на флуид

- ▶ Реалният к.п.д. на двигателя M (асинхронен с ротор на късо) е 0,6-0,7
- ▶ к.п.д. на помпата е около 0,9
- ▶ От посочените стойности сумарният к.п.д. на този източник на хидравлична енергия по отношение на консумираната електрическа енергия E не превишава 0,27 (27%)
- ▶ Частта от маслото, отклонявана през предпазно-преливния клапан предизвиква допълнителни загуби

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравличен агрегат - структура и потоци на флуид

- ▶ Причината за тях е, че маслото преминава през относително малки сечения в клапана и се загрява от триенето между неговите молекули
- ▶ Това повишава общата температура и променя (намалява) вискозитета на маслото в задвижването.
- ▶ За поддържането на неговата температура и вискозитет в допустимите граници, в резервоара се поставят средства за охлажддане, за работата на които се изразходва допълнително електрическа енергия и намалява допълнително посочения КПД.

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

ХИДРАВЛИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ СЪС СПЕЦИАЛНО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични акумулатори

- ▶ Хидравличните акумулатори съхраняват флуид с работно налягане, който е необходим за работа на задвижването при аварийни ситуации
- ▶ Обемът на флуида в тях трябва да осигури правилна работа на задвижването до неговото пълно спиране по безопасен начин
- ▶ Процесът на спиране на задвижването в аварийни ситуации може да се управлява от оператор или да бъде напълно автоматизиран

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Общ вид на хидравлични акумулатори



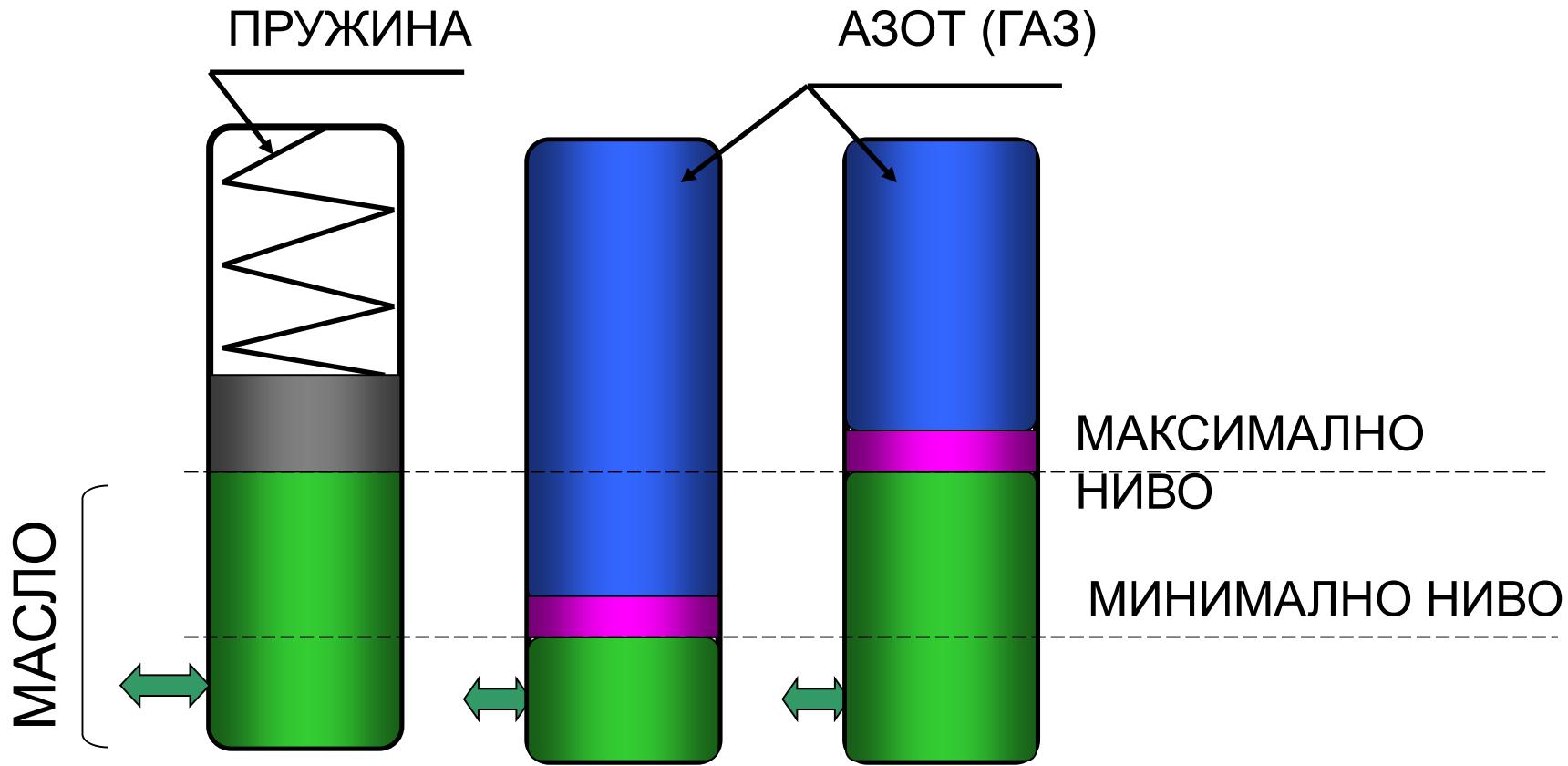
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични акумулатори - конструкция

- ▶ Съществуват различни конструкции на хидравлични акумулатори, но общото за тях е, че върху **предварително ограничен обем флуид** се създава налягане от газ или пружина, когато първичният енергиен източник на задвижването е наличен и функционира нормално
- ▶ при пневматичните акумулатори, **ако газът, създаващ налягането в акумулатора е различен от газа, използван като работен флуид**, за разделител между двета газа задължително се използва мембрана или бутало

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични акумулатори - конструкция



РАЗДЕЛИТЕЛ БУТАЛО

ЗУПТ

Тема 3

РАЗДЕЛИТЕЛ ГРАНИЧЕН СЛОЙ

доц. д-р инж. Григор Стамболов

54

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични акумулатори - конструкция

- ▶ Газът, който създава налягането в акумулатора, **независимо от работния флуид на задвижването**, трябва да бъде **азот**
- ▶ Когато работният флуид е масло, а за създаване на налягане в акумулатора се използва газ, като правило, не се използва разделител (мембрана или бутало)
- ▶ Конструкцията на акумулатора е такава, че газът, създаващ налягане **образува мехур над маслото**

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хидравлични акумулатори - управление

- ▶ Системата за управление на процеса за зареждане на акумулатора е напълно самостоятелна и е на по-високо ниво от системата за цялостното управление на задвижването
- ▶ В тази система трябва да има средства за ръчно (от човек) включване/разрешаване на работата на акумулатора и за неговото разтоварване (пълно освобождаване) както от работния флуид, така и от флуида, създаващ налягането

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

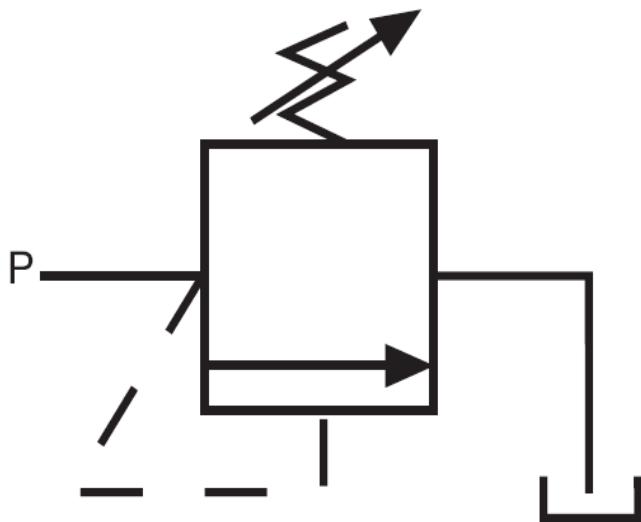
Хидравлични акумулатори - управление

- ▶ Задължително изискване е докато акумулаторът не се зареди напълно, задвижването по никакъв начин обектът да не може да бъде пуснато в действие

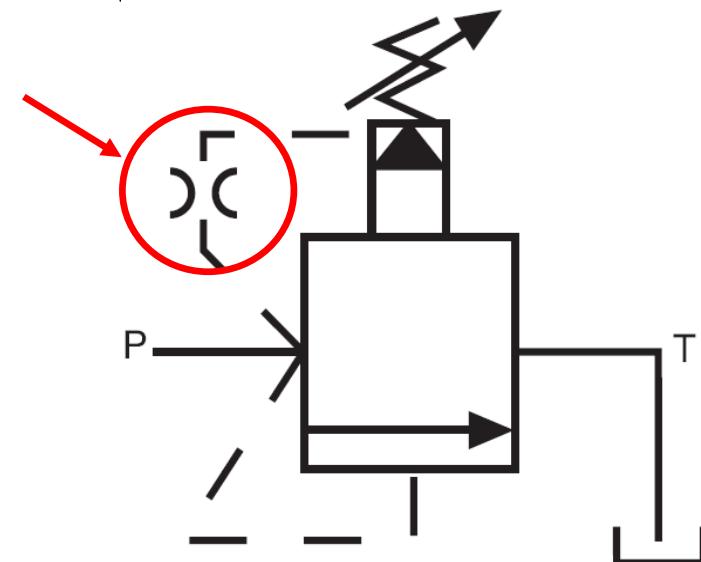
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предпазно преливни клапани

Основно предназначение – ограничаване на налягането до определена допустима стойност



С пряко действие



С хидравлическо усиливане

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Пропорционални разпределители

- ▶ Пропорционалните разпределители се явяват естествено развитие на обикновените разпределители с действие включено-изключено
- ▶ Основната разлика спрямо тях е, че осигуряват плавен преход между отделните позиции на разпределителя
- ▶ Дебитът през техните канали в зоната на превключване зависи пропорционално от силата на тока през съответния електромагнит

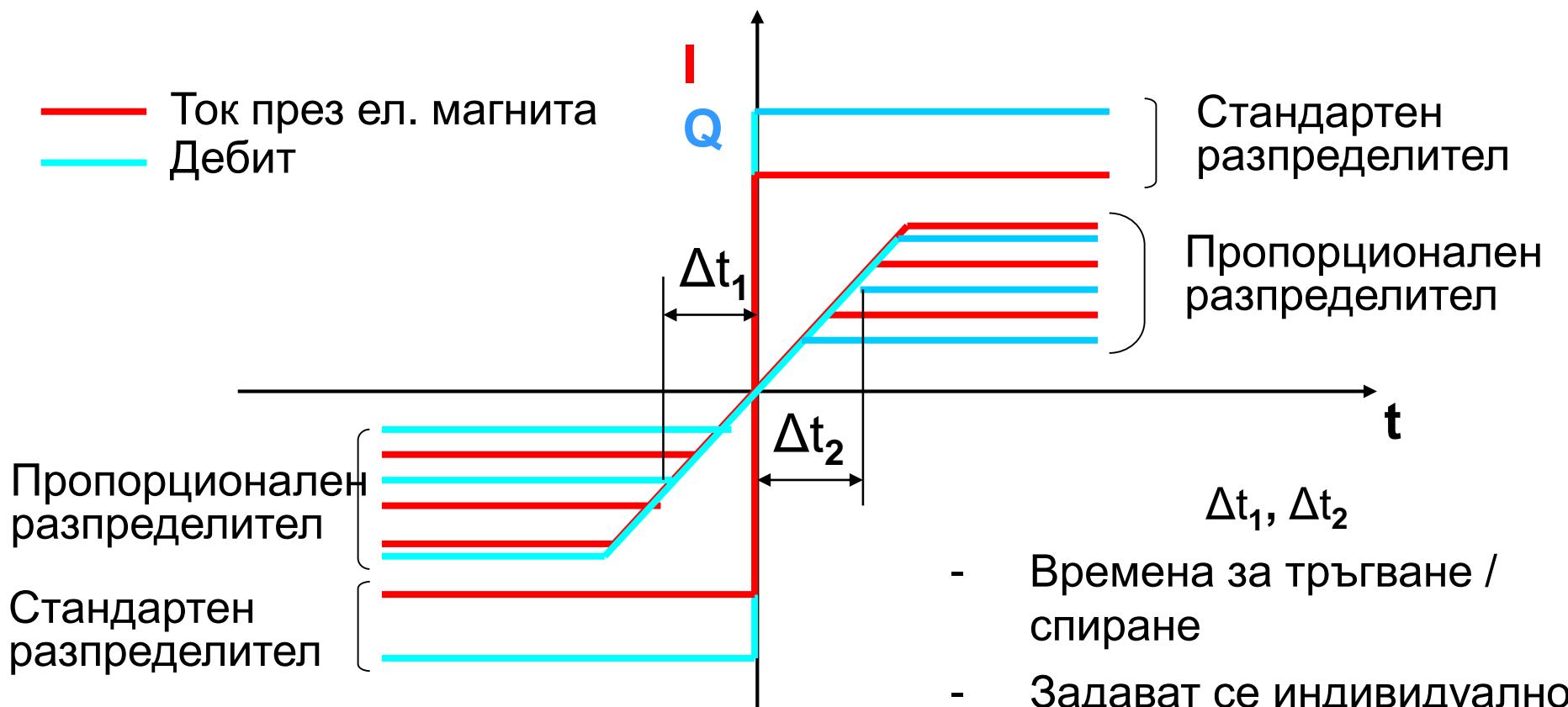
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Пропорционални разпределители

- ▶ Позволяват управление на скоростта (точност $\pm 5\text{-}10\%$) при тръгване и спиране на задвижвания с голям приведен инерционен момент или инерционна сила с цел избягване на удари в краищата на ходовете
- ▶ **Не осигуряват поддържане на сила, налягане, дебит и положение на работен орган**
- ▶ Законът, по който се изменя силата на тока през електромагнита в посока нарастване и намаляване, се осигурява от електронно устройство с висока степен на сложност, монтирано върху самия разпределител или извън него на друго подходящо място (ел. шкаф).

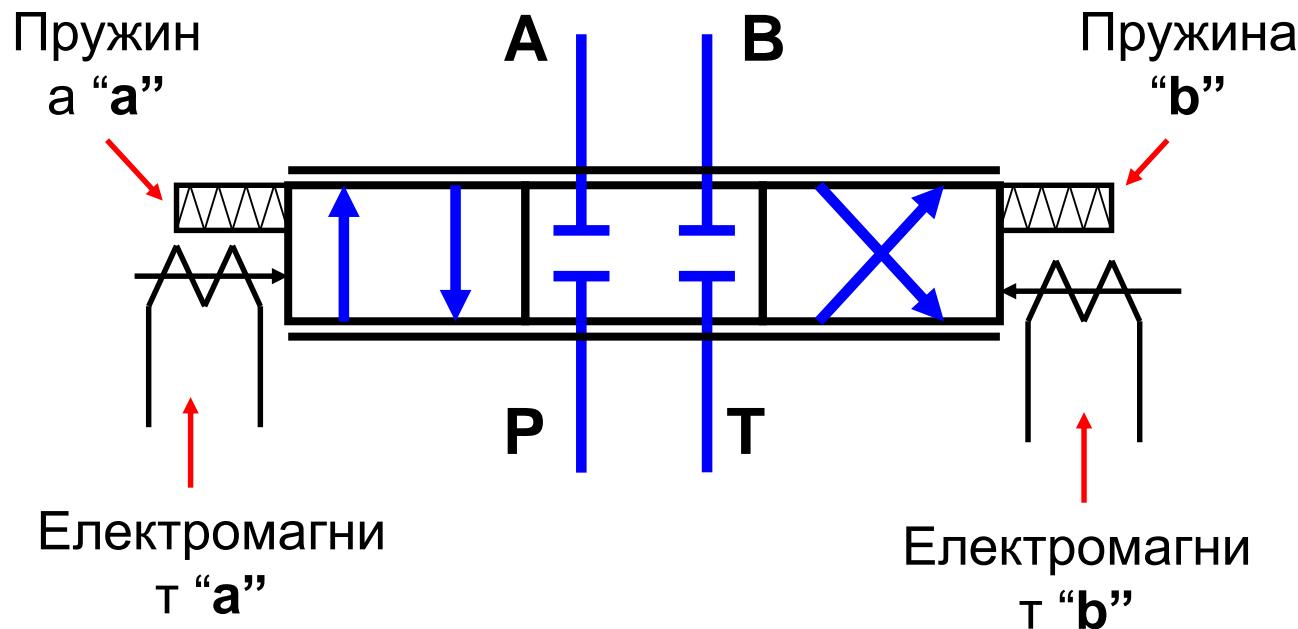
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Пропорционални разпределители



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Пропорционални разпределители – хидравлична схема и условно означение



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

**4/3 пропорционален разпределител с директно
управление на електромагнитите (Bosh-Rexroth),
габарити 6 и 10**

Съединител
към системата
за управление
от по-високо
ниво

Електромагнит 1



Електронен
блок

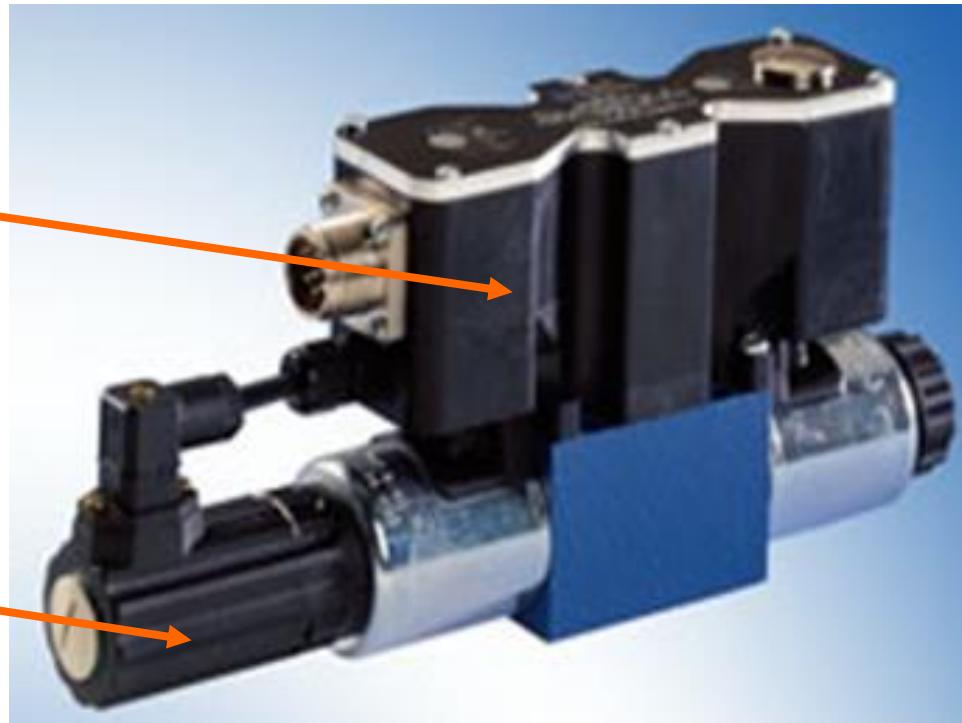
Електромагнит 2
Стандартен 4/3
хидравличен
разпределител

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

**4/3 пропорционален разпределител с интелигентно управление на електромагнитите (Bosh-Rexroth),
габарити 6 и 10**

Електронен блок
с интерфейси
CAN, Field Bus,
Profi Bus и др. по
поръчка

Сензор за
действителното
положение на
плунжера



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Особености

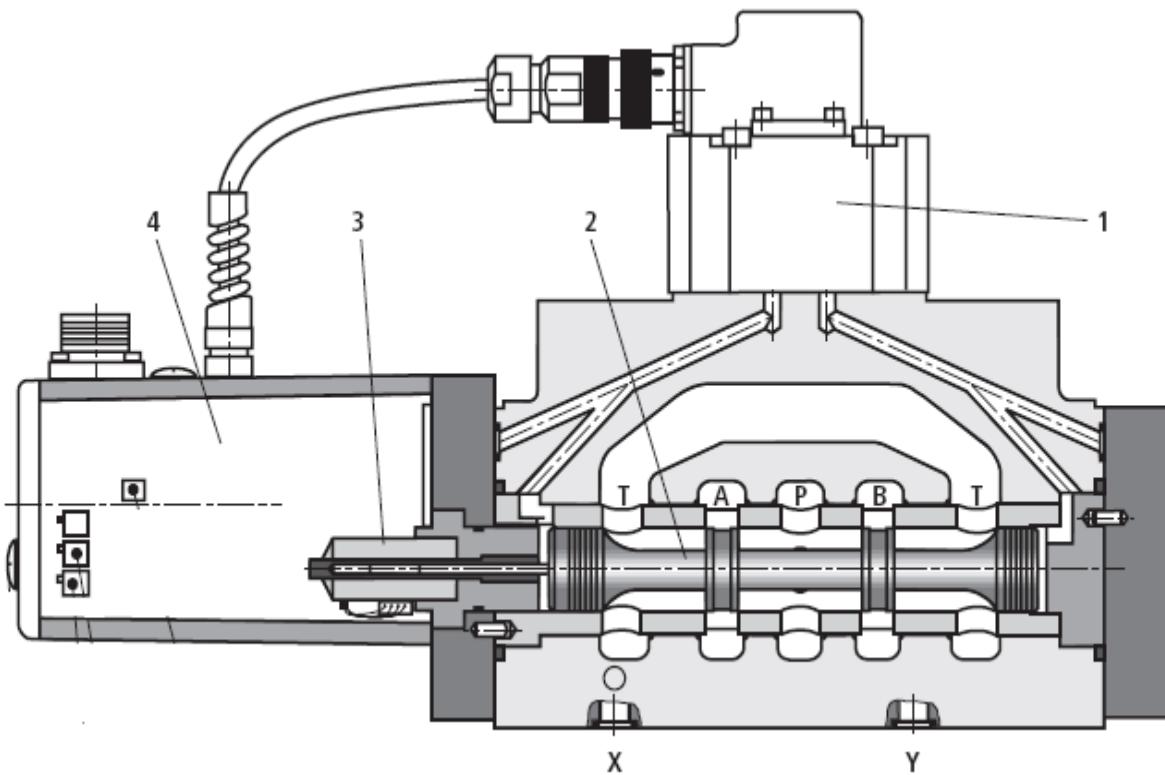
- ▶ Електромагнитите за преместване на плунжера на разпределителя имат ограничена сила (max. 3-4 N)
- ▶ Когато трябва да се задвижват работни органи с голямо тегло, за постигане на технологичната скорост се използват пропорционални разпределители с двустъпално управление

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Плунжерът на първото стъпало създава масло с налягане, необходимо за второто стъпало и затова:
 - управлява малък дебит
 - има малки размери и тегло
 - може да се премества непосредствено от електромагнитите
- ▶ Плунжерът на второто стъпало:
 - управлява голям дебит
 - има големи размери и тегло
 - прието е да се премества хидравлично от първото стъпало

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Конструкция на разпределител с две стъпала (REXROTH)



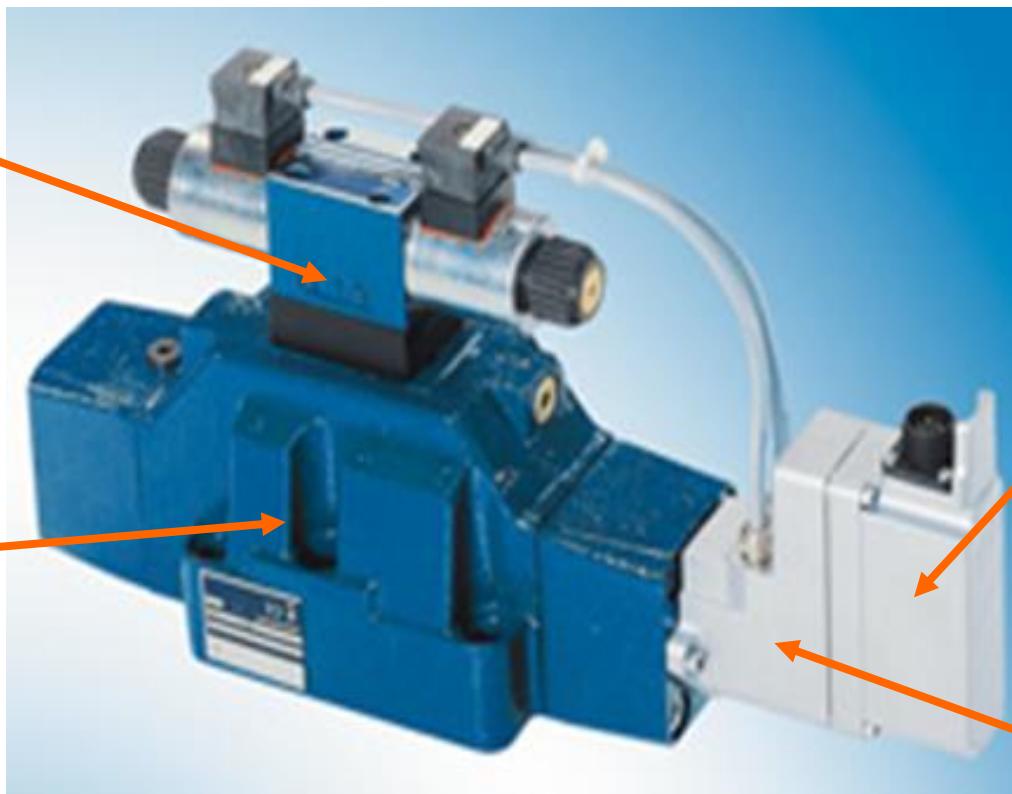
- 1 – Междинен 4/2 (4/3) хидравличчен разпределител
- 2 – Плунжер на главния разпределител
- 3 – Сензор
- 4 – Електронен блок
- X, Y – Хидравлични входове за външно управление на главния разпределител

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

4/3 пропорционален разпределител с междинен
разпределител (Bosh-Rexroth), габарити 10 – 35

Междинен 4/3
хидравличен
разпределите
л

Основен 4/3
хидравличен
разпределите
л



Блок за връзка
със системата
за управление

Сензор за
действителното
положение на
плунжера

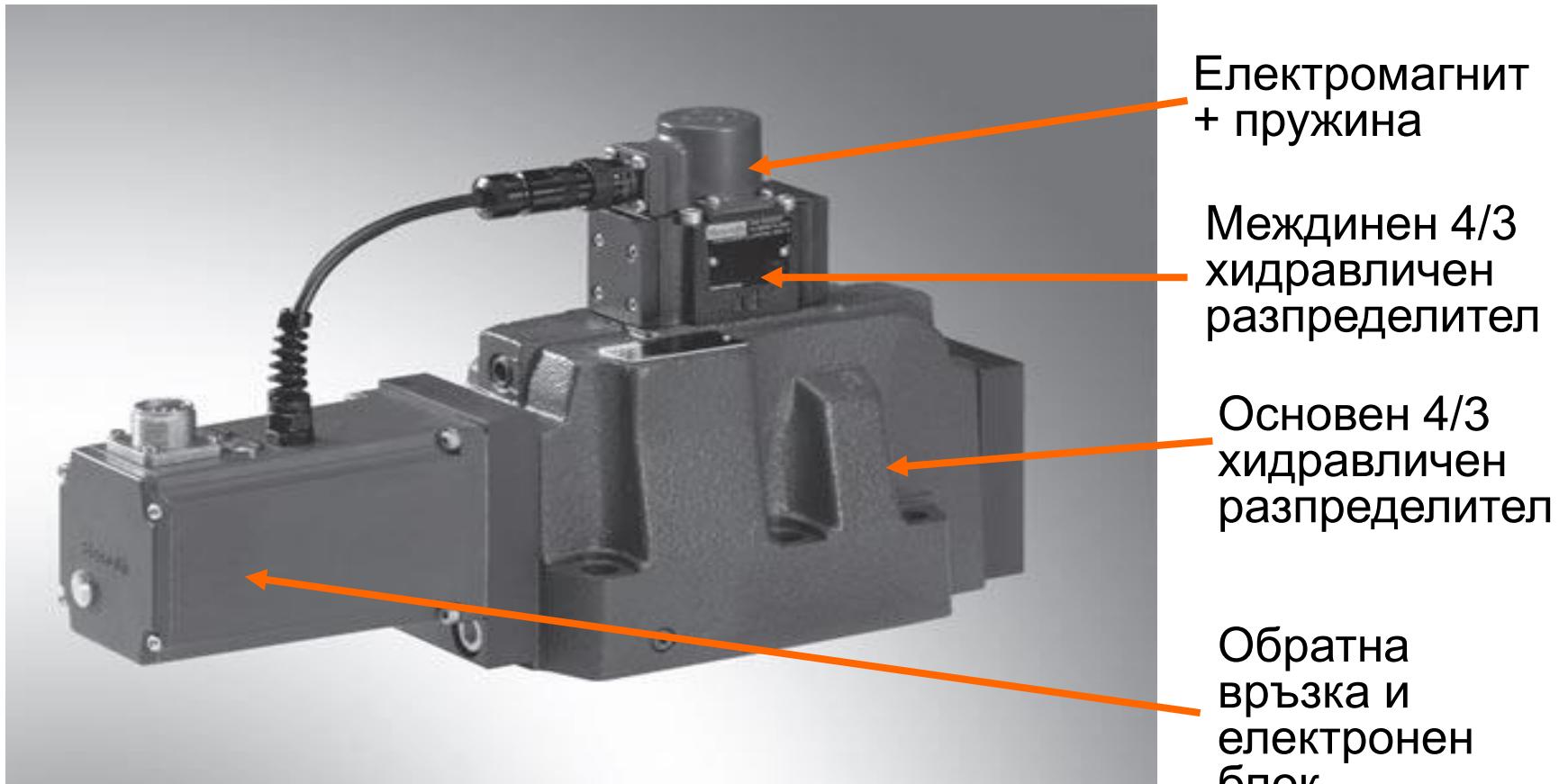
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Серво разпределители

- ▶ Серво-разпределителите се явяват като естествено развитие на пропорционалните разпределители и се използват по следните две главни причини:
 - Когато точността на пропорционалните разпределители е недостатъчна за поддържане на зададена скорост;
 - При необходимост от поддържане на сила, налягане, дебит и положение на работен орган с висока точност

ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

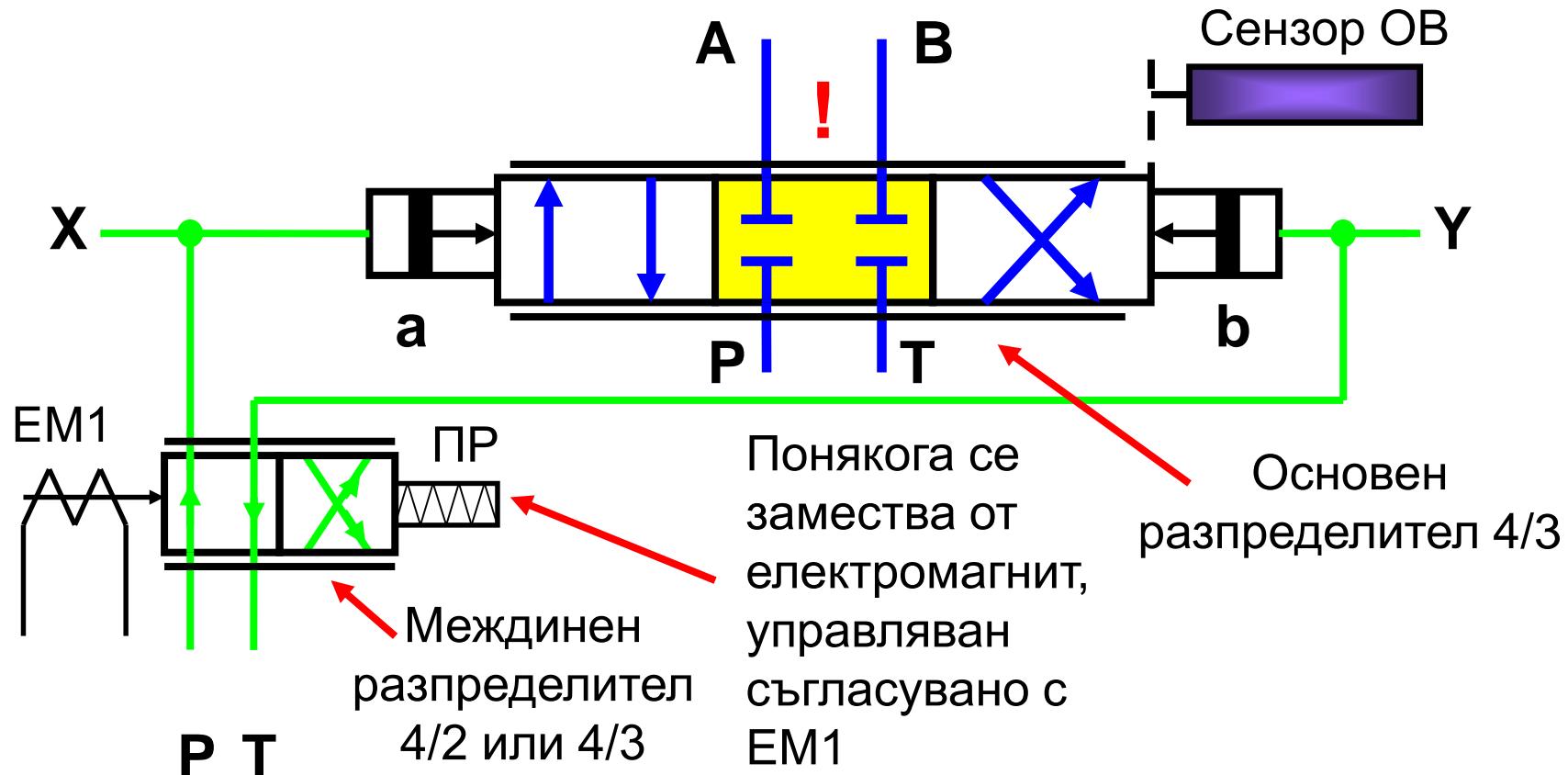
Серво разпределители – външен вид (REXROTH)



ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Серво разпределители – конструкция (REXROTH)

Еквивалентна хидравлична схема



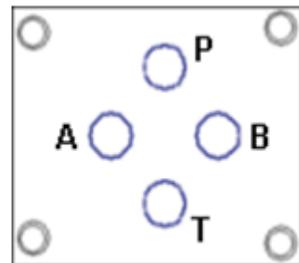
ХИДРО- И ПНЕВМО- ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Присъединителни повърхнини на разпределители и клапани

Номинален размер 6

$Q_{max} = 60 \text{ l/min}$

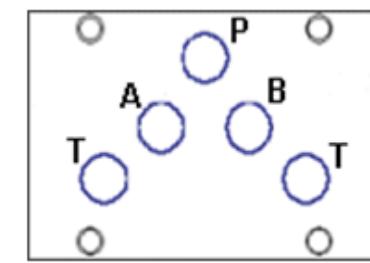
$P_{max} = 315 \text{ bar}$



Номинален размер 10

$Q_{max} = 120 \text{ l/min}$

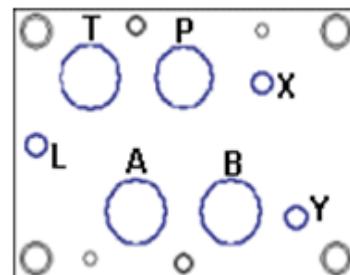
$P_{max} = 315 \text{ bar}$



Номинален размер 16

$Q_{max} = 300 \text{ l/min}$

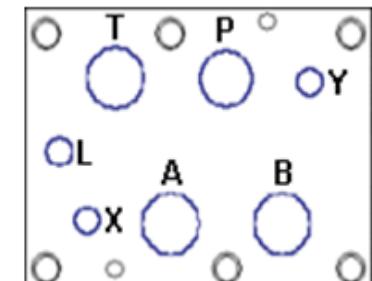
$P_{max} = 315 \text{ bar}$



Номинален размер 22

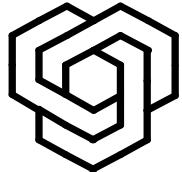
$Q_{max} = 415 \text{ l/min}$

$P_{max} = 315 \text{ bar}$



**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

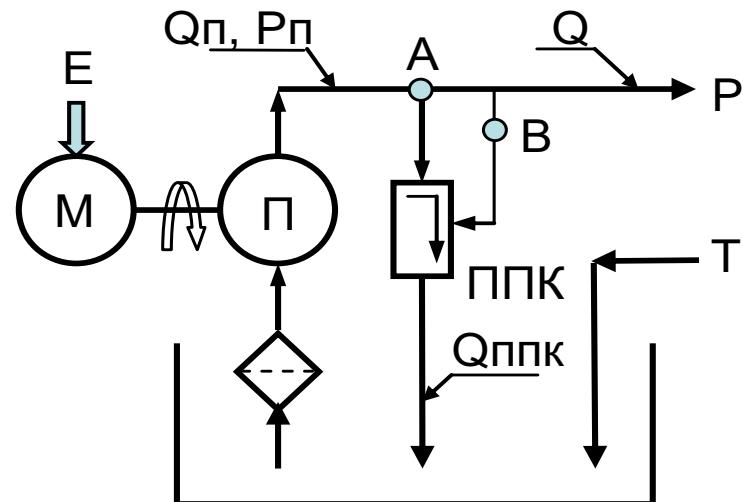
Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 4

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ В МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО – ЧАСТ 1

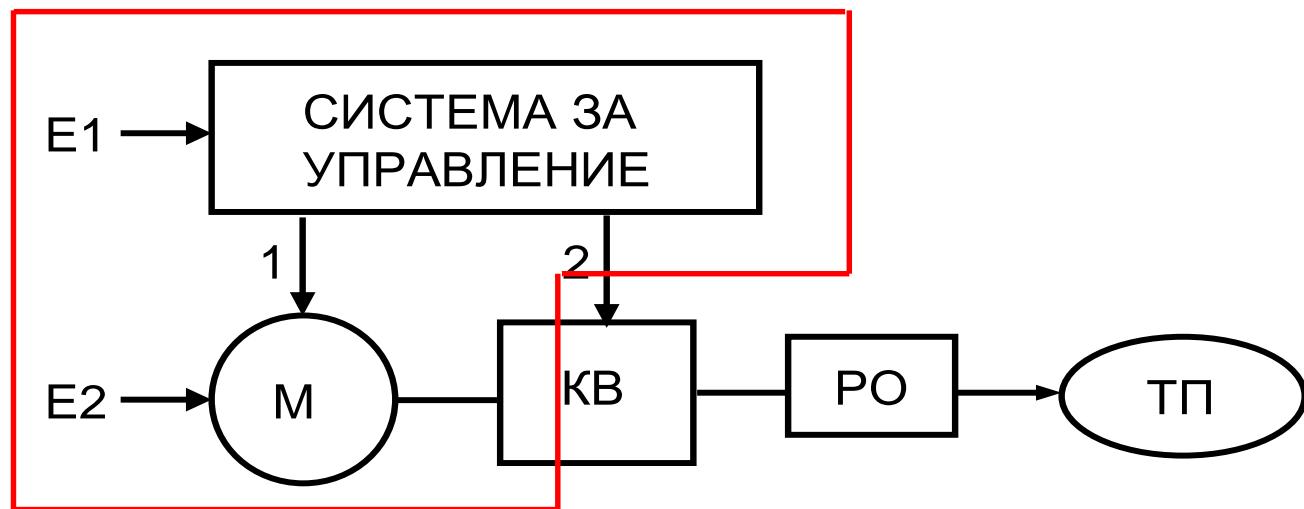
Въведение

Към настоящия момент електромеханичният тип задвижвания са основния тип задвижвания в индустрията. Има множество причини за тази констатация, но една от главните е, че за разлика от хидравличните и пневматичните задвижвания, електромеханичните използват непосредствено енергията на електрическата мрежа и не са необходими допълнителни средства за преобразуване на първичната енергия.

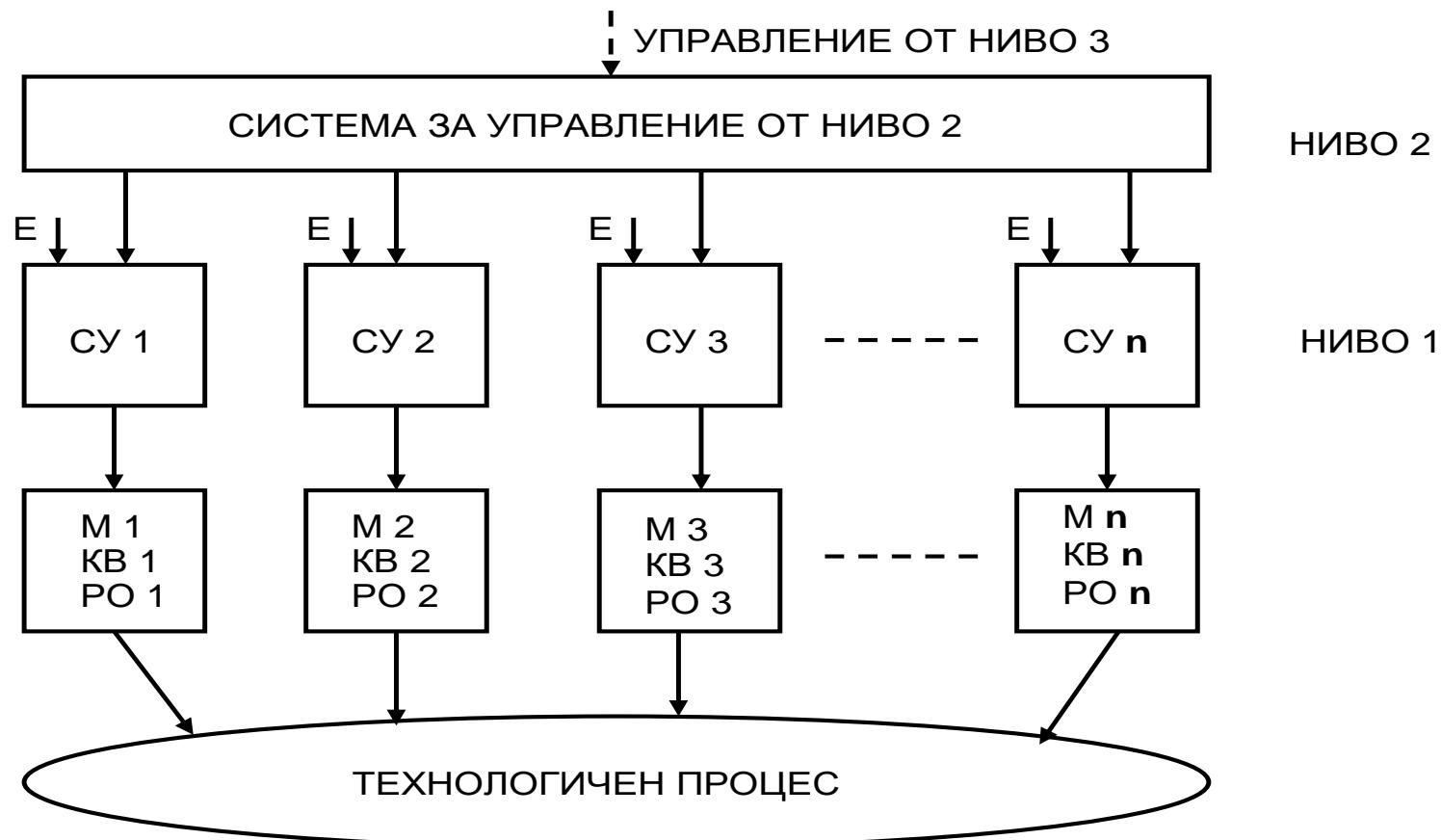


Въведение

Електромеханичните задвижвания съответстват напълно на структурата на задвижванията, както и на юерархичната структура на управление



Въведение



Въведение

Източникът на механична енергия е електродвигател, чиито основни параметри се определят от машинния инженер.

Всички електродвигатели имат един и същ общ принцип на работа, който се основава на механично взаимодействие (привличане или отблъскване, в зависимост от посоката на движение) между **две магнитни полета**, в резултат на което се създава **механична сила**.

Ако източниците, които създават тези полета, са оформени по подходящ начин (например могат да се движат транслационно или ротационно един спрямо друг, без да се нарушават условията за създаването на самите полета), не е трудно да се реализират линейни или ротационни двигатели.

Съществен момент е, че при определени условия силата на взаимодействие между полетата може да има както **максимална стойност**, така и стойност **нула**.

Въведение

Принципът на работа и управление на електродвигателите задължително изисква използването на средства, които винаги осигуряват максимална механична сила на взаимодействие между тези полета.

Обикновено едното поле се създава от неподвижен в пространството възел, наречен „**статор**“. Тъй като статорът е неподвижен, няма никакви конструктивни трудности неговото поле да се създава от електрически ток.

Другото магнитно поле по принуда трябва да се създава от възел, който се движи в пространството на двигателеля. Прието е той да се нарича „**ротор**“ при двигателите за ротационно движение и „**плъзгач**“ при двигателите за линейно движение.

Въведение

Чрез външен източник на електрически ток роторът (или плъзгачът) могат да осигурят по-силни магнитни полета, отколкото ако тези полета се получават от постоянен магнит.

Различните типове електродвигатели са създадени в резултат на техническото решаване на тези проблеми.

В зависимост от типа на осигуряването движение, електродвигателите могат да обособят в две основни групи – за ротационно и за транслационно движение.

Електродвигатели за ротационно движение

В движението на производствената техника в машиностроенето се използват следните типове електродвигатели с ротационно движение, подредени по степен на използване:

- Асинхронни електродвигатели (най-използвани);
- Постояннотокови електродвигатели;
- Постояннотокови електродвигатели с електронна комутация;
- Стъпкови електродвигатели;
- Синхронни електродвигатели (най-малко използвани).

Асинхронни електродвигатели

Конструкция и принцип на работа

Асинхронните електродвигатели са най-често използвания тип двигатели в индустриалните задвижвания с общо предназначение. Те имат несложна конструкция, относително ниска цена, изискват малко по обем поддържане и могат да работят направо от промишлената електрическа мрежа.

При трифазните асинхронни двигатели то се създава по естествен път от трифазната електрическа мрежа, докато при еднофазните е необходимо използване на допълнителни технически средства, които по същество реализират изкуствена втора фаза за създаване на въртящо поле.

Асинхронни електродвигатели

Конструкция и принцип на работа

По време на работа във вътрешността на двигателя се създават две групи от електромагнити, взаимодействието между които осигурява получаване на механично движение.

Първата група електромагнити се получава в резултат на конструкцията на статора и включването на неговите намотки към електрическата мрежа.

В съответствие на закона на Ленц за електромагнитната индукция в ротора се образува **втората група електромагнити**. В западната литература този тип двигатели се наричат „индукционни“.

Взаимодействието между магнитните полета на тези две групи електромагнити създава въртящ момент, в резултат на което роторът на двигателя се върти в посока, определена от посоката на резултантното магнитно поле.

Асинхронни електродвигатели

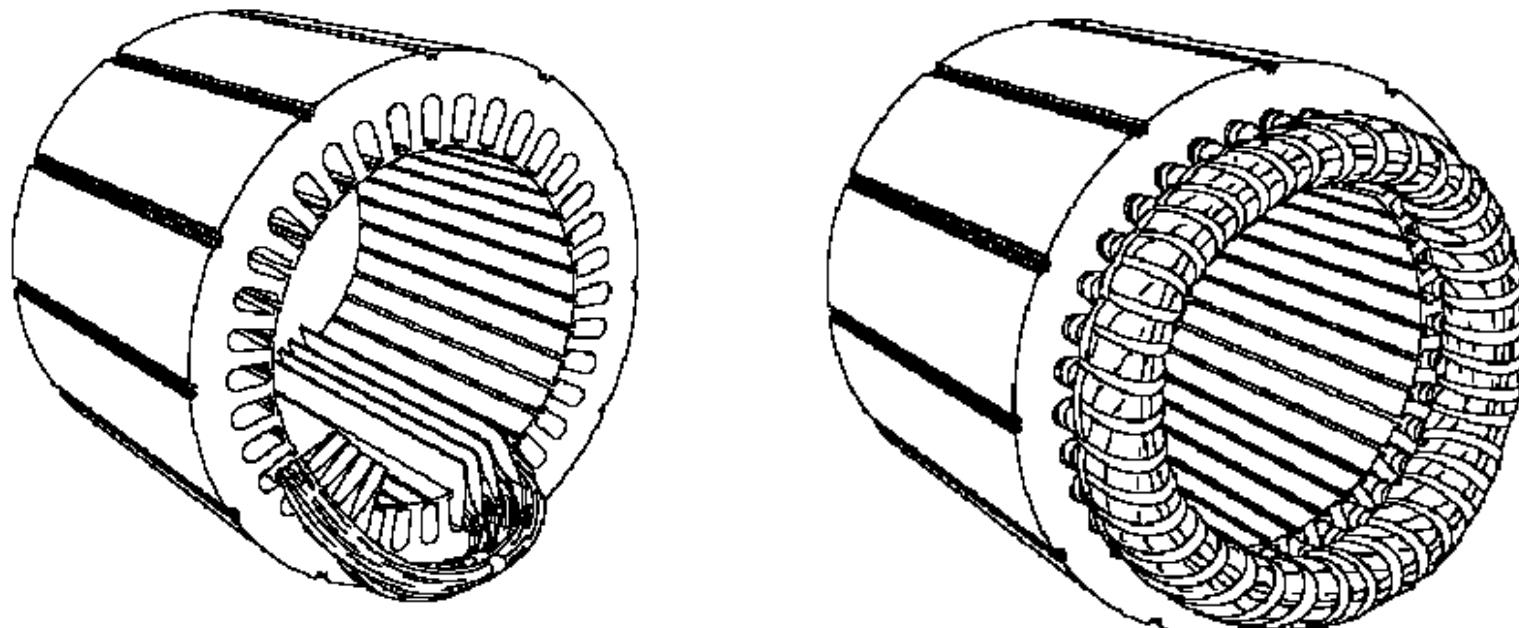
Конструкция и принцип на работа

Статорът и роторът на двигателя са изработени от електротехническа ламарина с необходимите характеристики. Те се състоят от групирани в пакет тънки дискове (с дебелина 0,3-0,5 мм) с изрези. Изрезите на дисковете са ориентирани в пакета така, че да образуват канали за съответните намотки. Тази част от пакета, която се намира между два съседни канала се нарича „зъб“ (не е правилно „полюс“). В каналите на статора се разполага намотка, изработена от определен брой предварително оформени секции.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

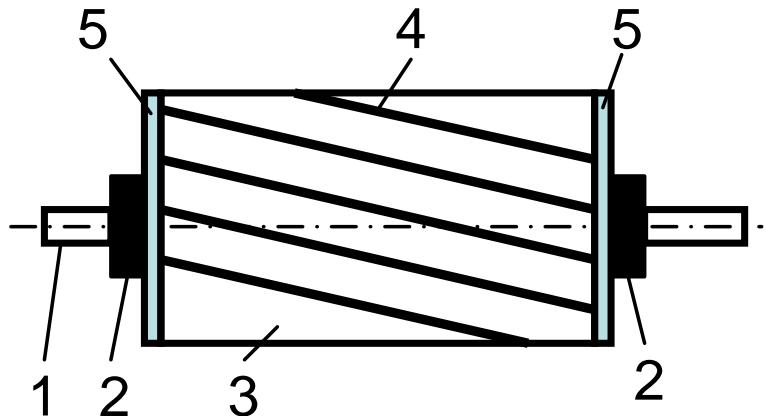
Конструкция и принцип на работа



Статор

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

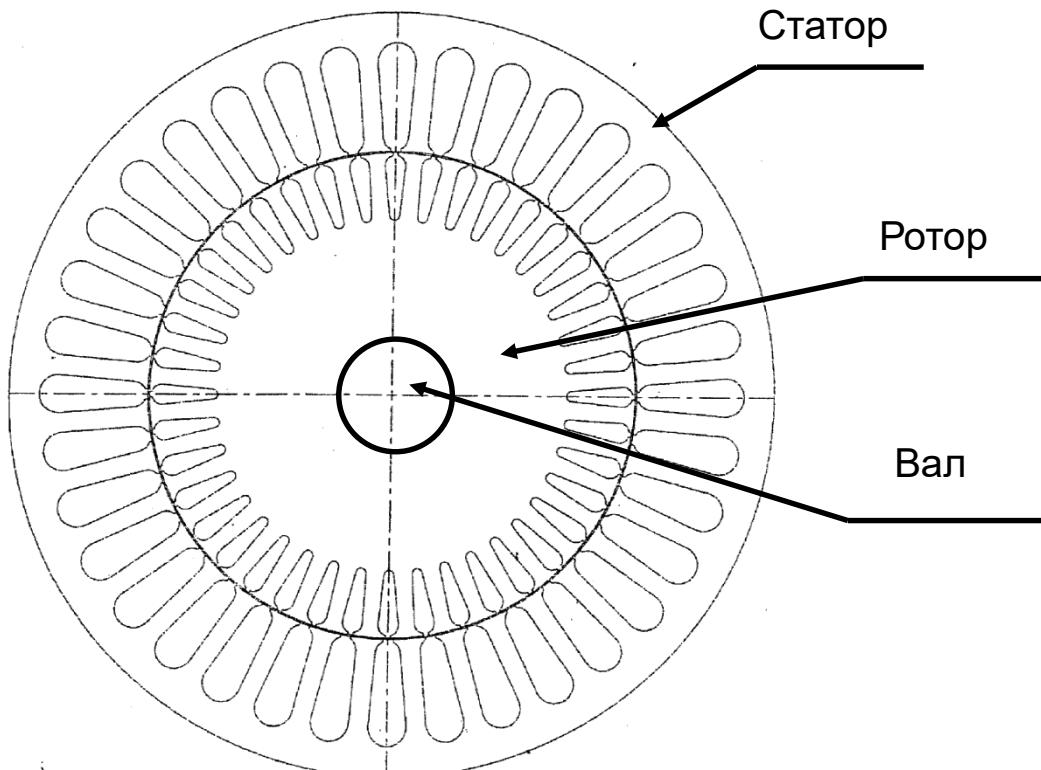


- 1 – Вал
- 2 – Лагери
- 3 – Роторен пакет
- 4 – Намотка на ротора
- 5 – Съединителни пръстени

Ротор

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели



Напречен разрез
на ротора и
статора на
асинхронен
електродвигател с
ротор накъсо

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ Необходимите условия за работоспособност на този тип двигатели са:
 - Определено **пространствено разположение** на фазите на статора и техните секции;
 - Определен **начин на свързване на секциите** от всяка фаза;
 - Определени **условия за протичане на тока през фазите.**
 - Всяка фаза трябва да има две (или друг четен брой секции), разположени диаметрално една спрямо друга.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

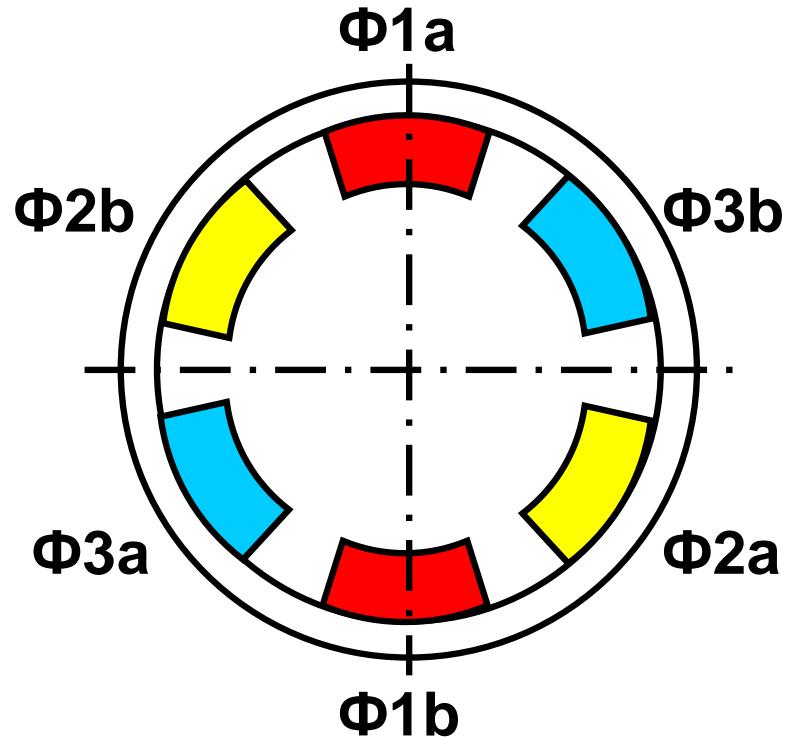
Асинхронни електродвигатели

- ▶ Възможни са *четири различни* съчетания между посоката на въртене на приспособлението за изработване на секцията:
 - по часовниковите стрелки
 - срещу часовниковите стрелкии мястото от което започва полагане на проводника:
 - началото на секцията да бъде отляво
 - началото на секцията да бъде отдясно.
- ▶ В електрическите схеми началото на секцията се означава с точка, разположена до нейния извод.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

ПРОСТРАНСТВЕНО РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА ФАЗИТЕ



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

ПРОСТРАНСТВЕНО РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА ФАЗИТЕ

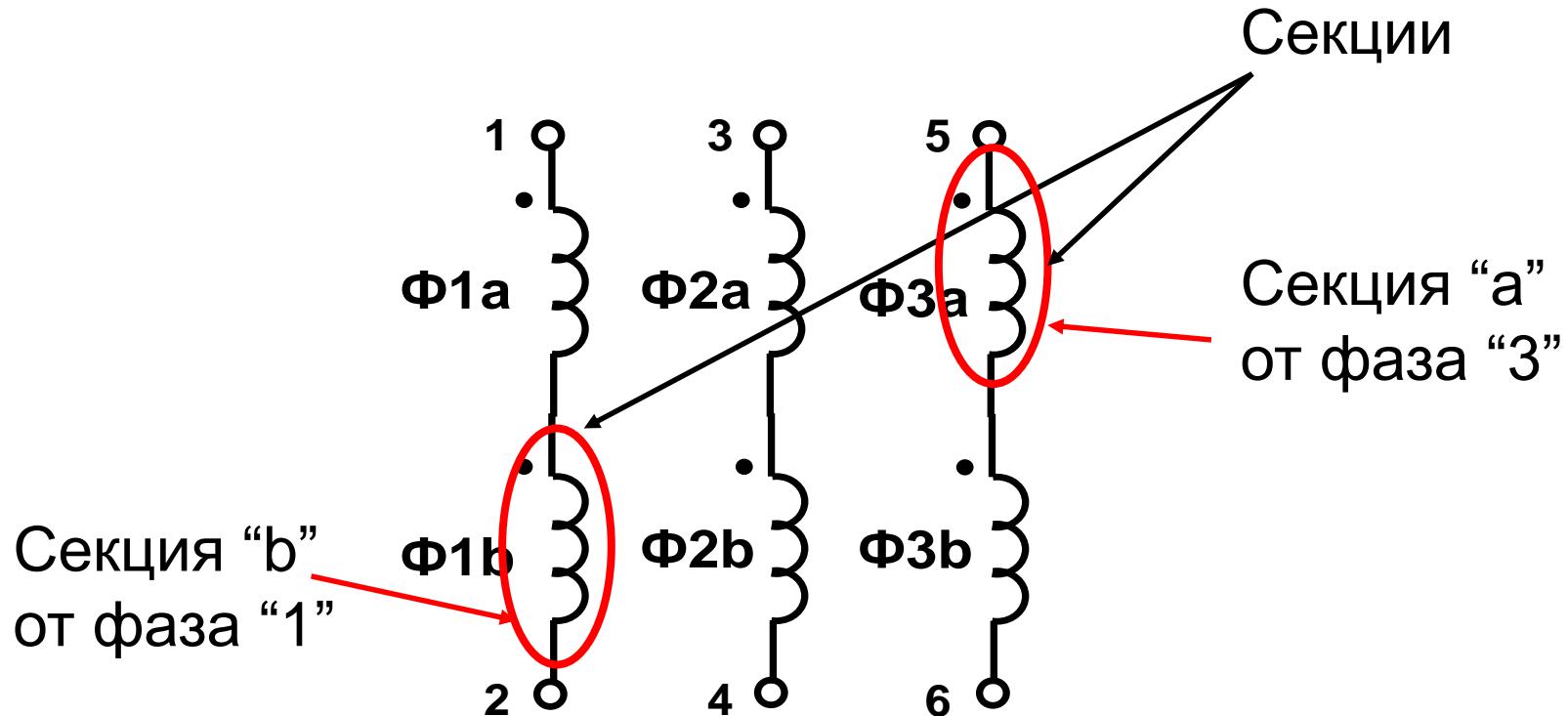


ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

СВЪРЗВАНЕ НА ФАЗИТЕ

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

НЕЗАВИСИМО СВЪРЗВАНЕ НА ФАЗИТЕ



Двигателят се свързва към системата
за управление чрез точките 1 – 6

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ Много често се оказва, че има изискване за минимална цена на системата за управление на този тип двигатели.
- ▶ Една възможност за това е да се направят връзки вътре в самия двигател.
- ▶ С течение на времето, тези връзки са получили популярните названия схема „звезда“ и схема „триъгълник“.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

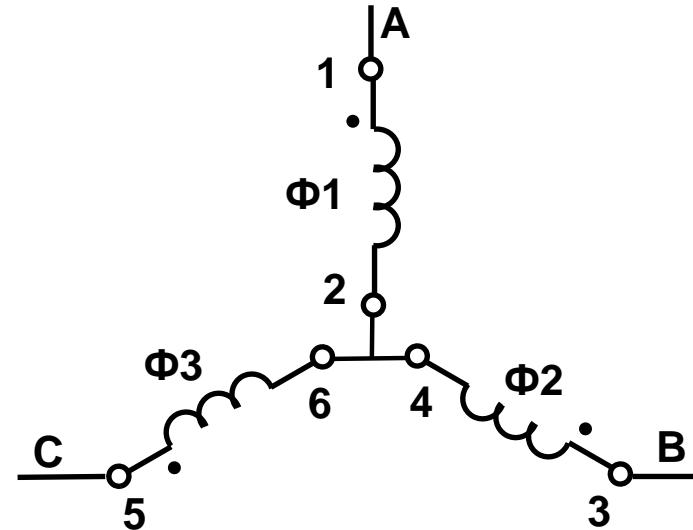
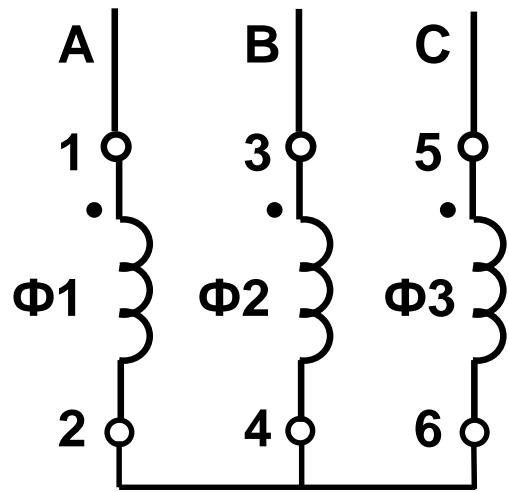


Схема „ЗВЕЗДА“

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

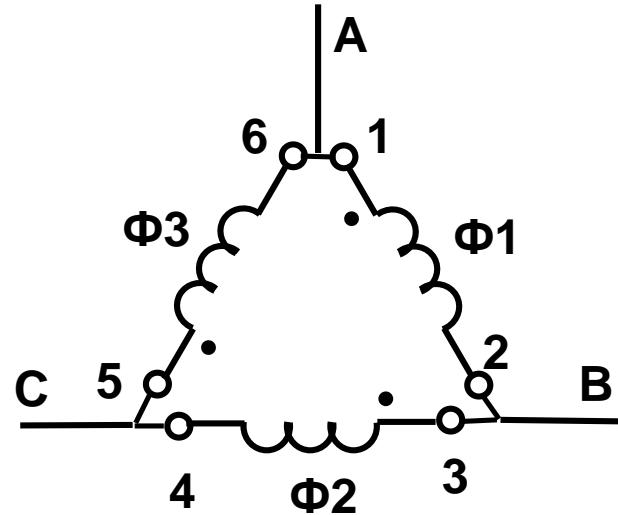
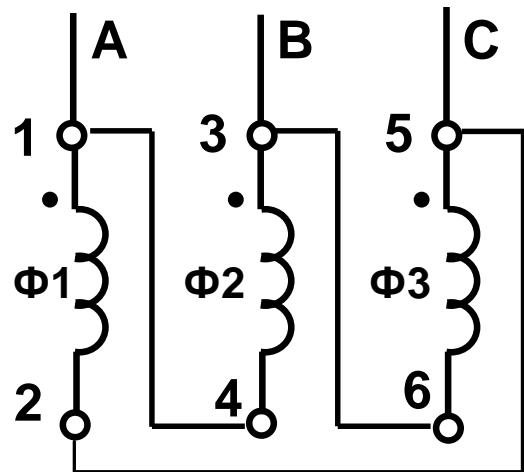


Схема „ТРИЪГЪЛНИК“

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

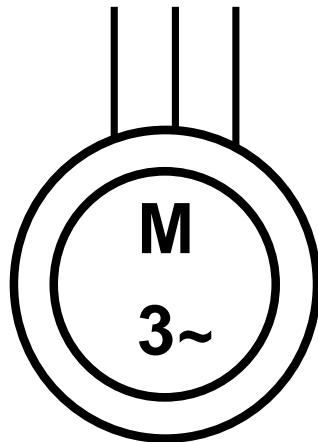
Асинхронни електродвигатели

- ▶ При асинхронни двигатели с мощност над 30 kW или предназначени за задвижвания с голям приведен инерционен момент се предпочита в каналите на ротора да бъде положена намотка, вместо те да са запълнени с алуминиева сплав.
- ▶ Роторната намотка е оформена също както статорната – с фази и секции, и се свързва със системата за управление чрез специален възел от контактни пръстени и четки.
- ▶ Тази конструкция е известна като „**асинхронен двигател с навит ротор**“

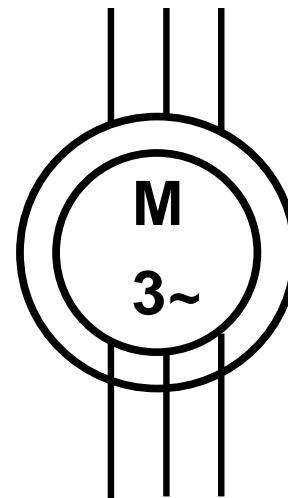
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

Условно графично означение на асинхронните
електродвигатели



Асинхронен
електродвигател
с ротор на късо



Асинхронен
електродвигател
с навит ротор

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

Механични характеристики на асинхронните електродвигатели

- ▶ Механичната характеристика на асинхронните електродвигатели е функция на:
 - параметрите на енергийния поток от захранващата мрежа
 - конструкцията на двигателя.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

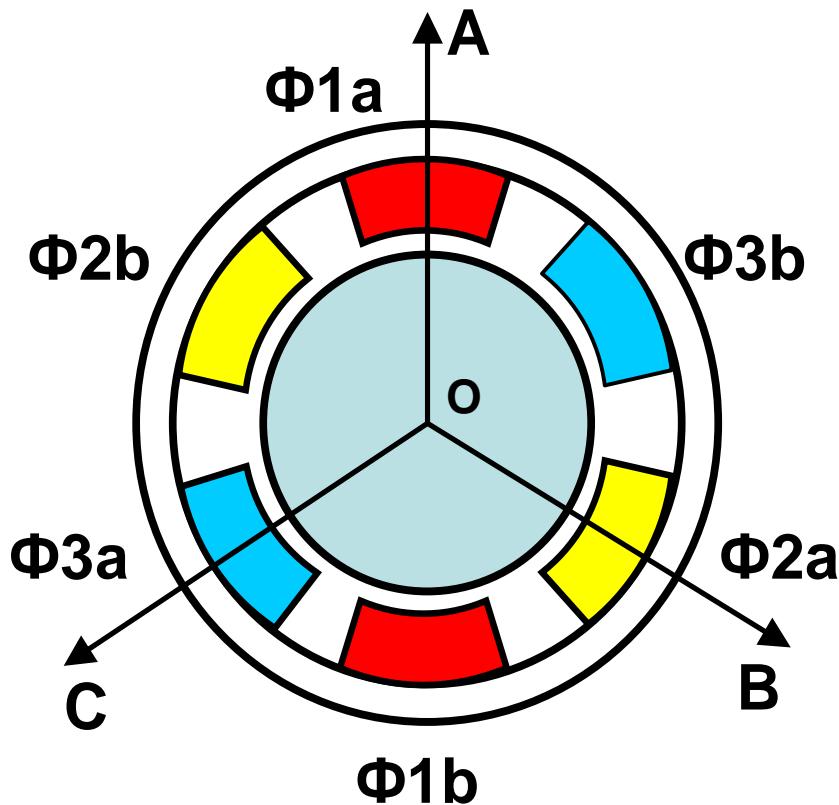
Асинхронни електродвигатели

Механични характеристики на асинхронните електродвигатели

- ▶ За удобство при аналитичното и графичното представяне се използват няколко координатни системи
- ▶ Началото на всички координатни системи е в геометричния център на ротора
- ▶ Координатните оси на всички координатни системи са разположени в равнина, перпендикулярна на осевата линия на ротора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели



Естествена
координатна
система **оABC**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

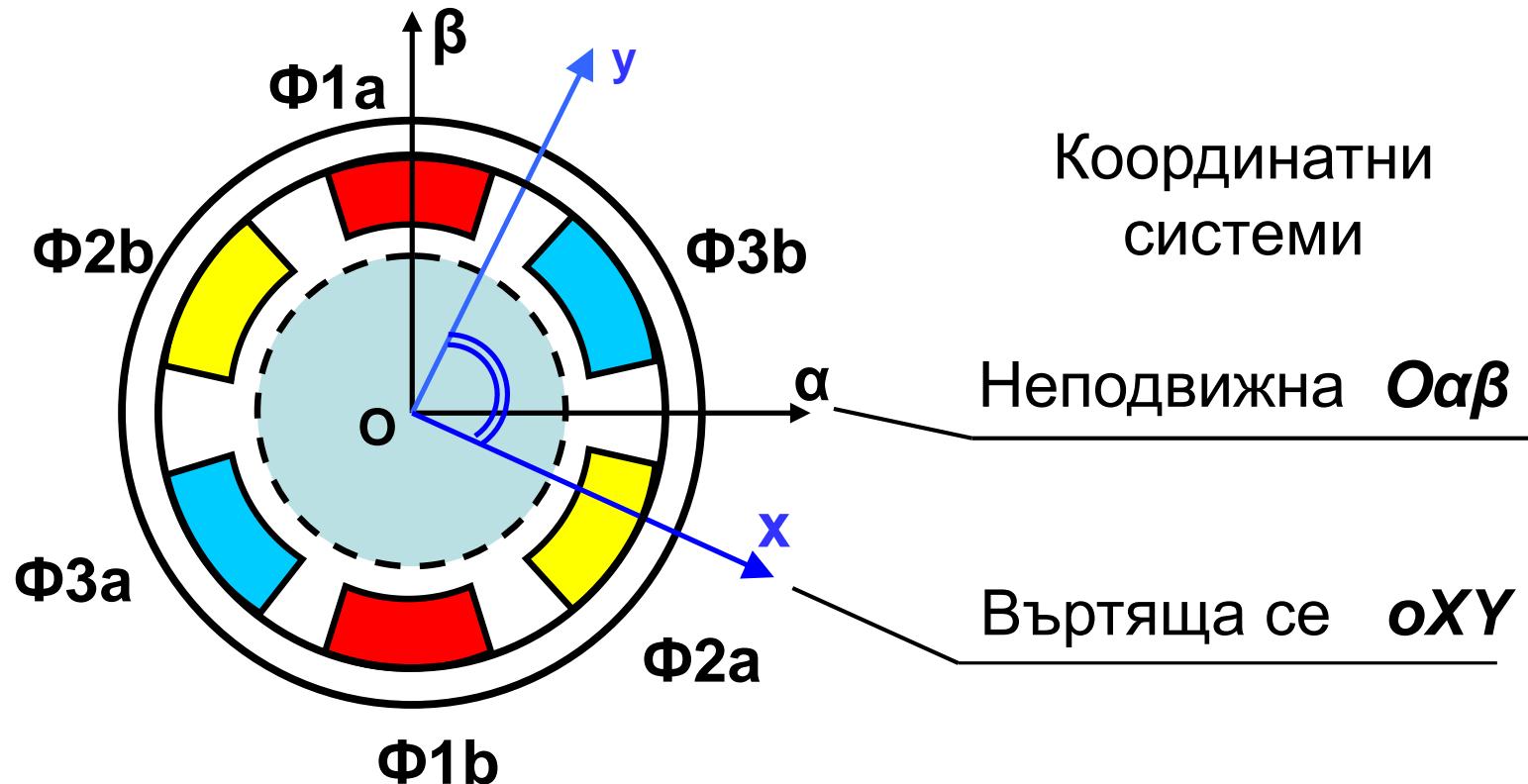
Асинхронни електродвигатели

Естествена координатна система $oABC$

- ▶ Тя е неподвижна в пространството на двигателя, и има три координатни оси A , B и C , разположени в под ъгъл 120° една спрямо друга.
- ▶ Не е особено удобна, тъй като представените в нея зависимости съдържат голям брой тригонометрични функции от ъгли 30° , 60° , 120° и кратни на тях, имат голям брой членове с неявни връзки между тях и обикновено се преобразува в една от останалите координатни системи.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

Координатна система $o\alpha\beta$

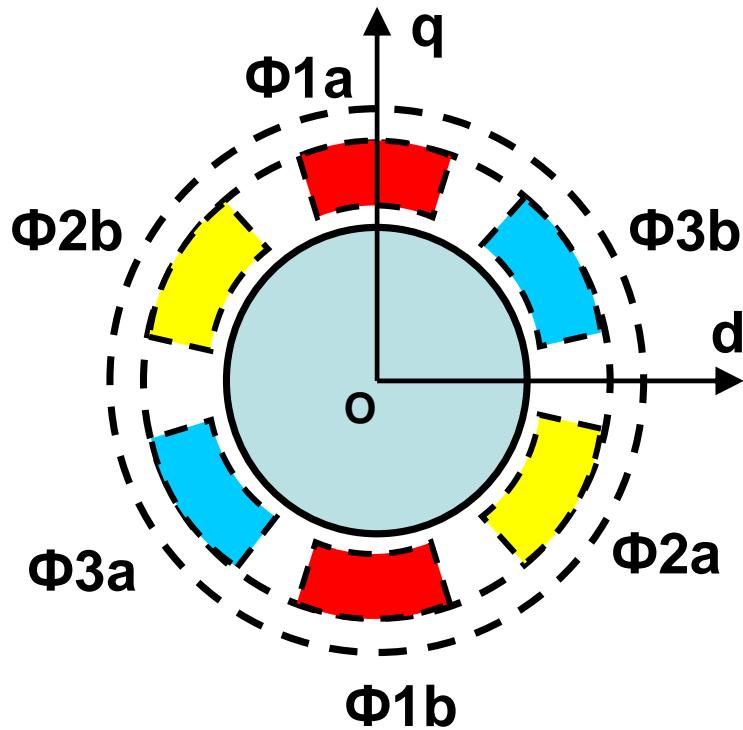
- ▶ Тя е неподвижна спрямо статора и е удобна за представяне и анализиране на електромагнитните процесите в статора.

Координатна система oXY

- ▶ Тя се върти с електромагнитното поле на статора. Удобна е при представяне и анализиране процесите в статора.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели



Координатна система odq

- ▶ Тя се върти заедно с ротора на двигателя
- ▶ Удобна е при представяне и анализиране на процесите в ротора.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ Скоростта на двигателя във всички координатни системи е:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} [\text{rad/s}] \quad (4.1)$$

или

$$n_0 = \frac{60f}{p} [\text{min}^{-1}]$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

където:

ω_o – синхронна скорост [rad/s]

n_o – синхронна скорост [min^{-1}]

f – честота на захранващата мрежа [Hz];

p – брой на чифтовете полюси;

π – 3.14.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ Скоростите ω_0 и n_0 се наричат „синхронни”, тъй като те съответстват на честотата на захранващата мрежа
- ▶ Роторът създава въртящ момент, пропорционален на броя на силовите линии, пресичани от него за 1 s
- ▶ Ако роторът се върти със синхронна скорост, той ще има едно и също взаимно разположение спрямо силовите линии на статора, т.е. те няма да ги пресича
- ▶ От това следва, че в намотката на ротора няма да се индукира ток и създаваният от него момент $M_{дв}$ ще бъде нула

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ В съответствие с основното уравнение на задвижването

$$M_{dB} = M_C + J \cdot \frac{d\varpi}{dt}$$

скоростта му ще започне да намалява спрямо синхронната

- ▶ Силовите линии на статора ще започнат да пресичат навивките на ротора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ В резултат на тази особеност при определена разлика между **シンхронната и действителната** скорост:
 - ще се получи равенство между създадения от ротора двигателен момент $M_{дв}$ и момента от съпротивителните сили M_c
 - задвижването ще премине към установлен режим
- ▶ Прието е, разликата между синхронната и действителната скорост да се нарича „хлъзгане”, да се означава с буквата „ s ” и да се изразява в относителни единици:

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \cdot 100\%$$

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- Действителната скорост при отчитане на хлъзгането е:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} \cdot (1 - s) \quad [\text{rad/s}]$$

(4.3)

или

$$n = n_0 \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s) \quad [\text{min}^{-1}]$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ Въртящият момент на асинхронния двигател е:

$$M = \frac{m \cdot U_1^2}{2 \cdot \pi \cdot f} \cdot \frac{R'_2 \cdot s}{(R_1 \cdot s + R'_2)^2 + X_2^2 \cdot s^2} \quad [\text{Nm}] \quad (4.4)$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

m – брой на фазите на статора;

U_1 – напрежение на всяка фаза на двигателя [V];

f – честота на захранващата мрежа [Hz];

π – числото 3.14

R_1 – активно съпротивление на една фаза от статорната намотка [Ohm];

R_2' – приведено активно съпротивление на една фаза от роторната намотка към статорна намотка [Ohm];

S – хлъзгане (в абсолютни единици);

X_2 – реактивно съпротивление на една фаза от роторната намотка [Ohm].

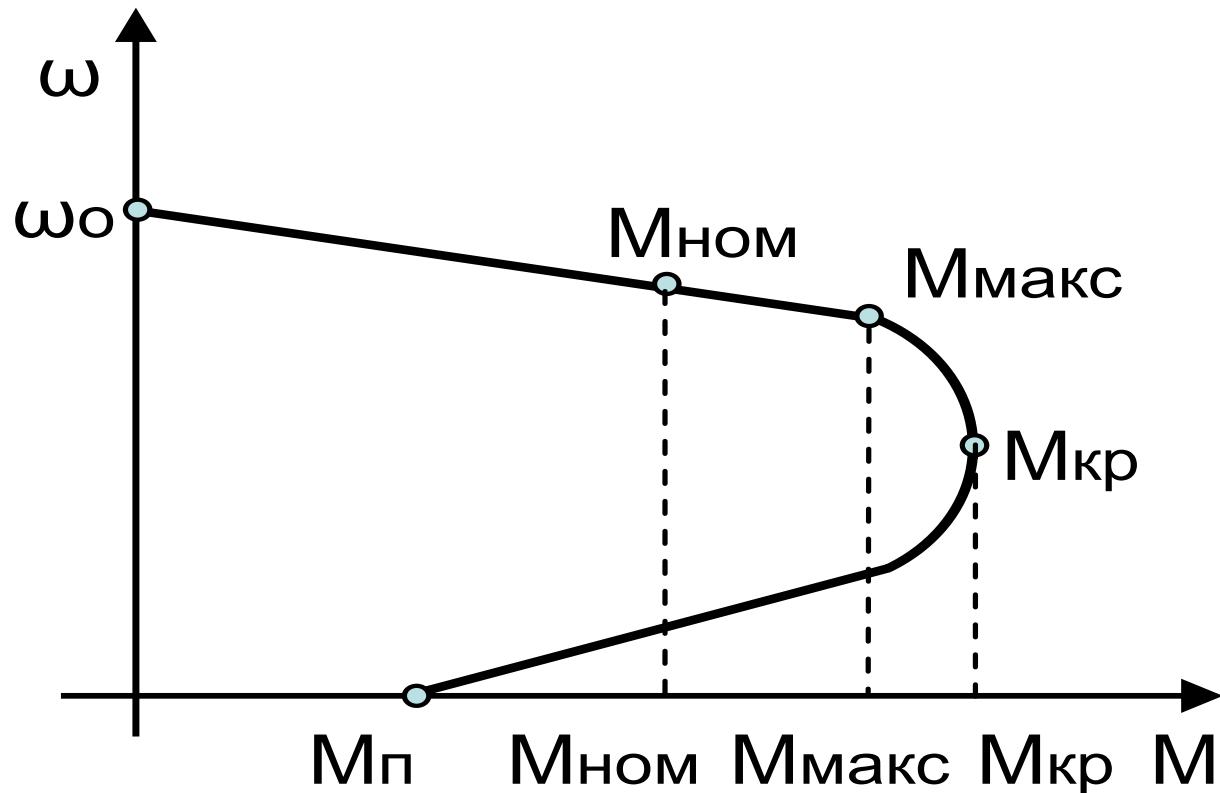
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ Графичното изобразяване на зависимостта (4.4) в координатна система $M - \omega$ представя механичната характеристика на асинхронния двигател с ротор на късо
- ▶ В общия случай има вида:

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели



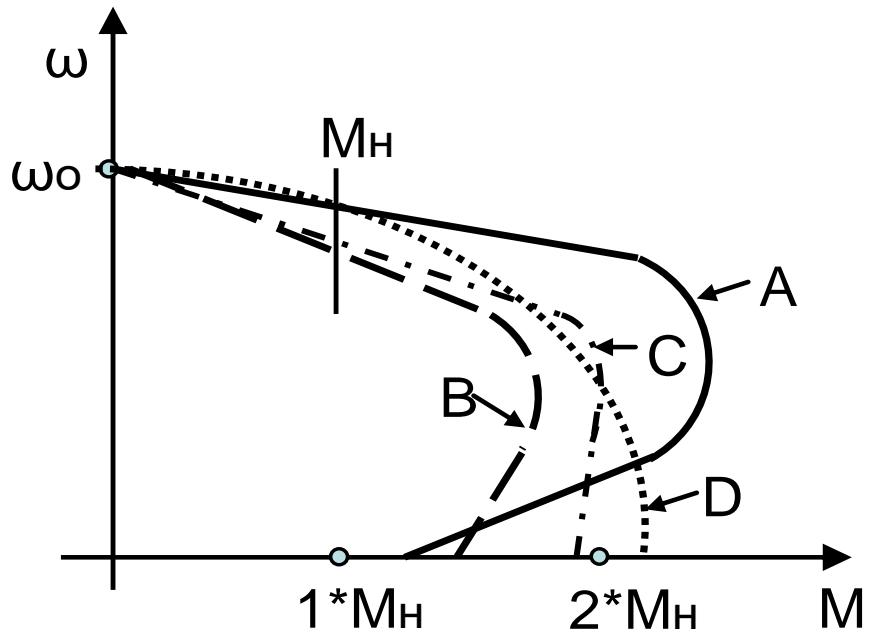
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ Характерните точки от тази характеристика са M_p , $M_{ном}$, ω_0 , $M_{макс}$ и $M_{кр}$
- ▶ Точката $M_{кр}$ представя така наречения „критичен момент”, тъй като след нея вида на механичната характеристика принципно се променя
- ▶ Ако вече пуснато задвижване с такъв двигател започне да се натоварва с момент, нарастващ от нула до неограничена стойност, при достигане на $M_{кр}$ двигателят рязко си намалява скоростта и спира

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели



- ▶ Реалните механични характеристики на асинхронните двигатели с ротор накъсо могат да са обобщят в четири типа
- ▶ Всички производители условно означават типовете характеристики с буквите **A - D**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ **Тип А – Двигател с тази характеристика има пусков момент 1,2-1,5 пъти по-голям от номиналния, най-голям критичен момент и голям пусков ток. Издържа претоварване за кратко време.**
- ▶ **Основното предназначение на двигатели с тази характеристика е за задвижване на машини за пресоване на течни (разтопени) и прахообразни материали.**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ **Тип В –** Двигател с тази характеристика има пусков момент 1,5 – 2 пъти по-голям от номиналния, по-малък пусков ток от двигател с характеристика тип А, може да тръгва от спряло положение с повечето производствени механизми без да се налага използване на съединител между него и механизма и има добър к.п.д.
- ▶ **Основното предназначение на двигатели с тази характеристика е за задвижване на металорежещи машини, помпи и вентилатори.**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ **Тип С –** Двигател с тази характеристика има висок пусков момент, около два пъти по-голям от номиналния, и относително малък пусков ток. Допуска се моментно превишаване на натоварването до 10% от номиналния момент на двигателя.
- ▶ **Основното му предназначение е за задвижване на механизми с изразено ударно и неравномерно натоварване като конвейери, трошачки, бъркачки, механизми с възвратно-постъпателно движение, компресори и др.**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

- ▶ ***Тип D*** – Двигател с тази характеристика има най-висок пусков момент в сравнение с другите типове, относително малък пусков ток, ниска скорост при пълен товар (мека характеристика) и повишено хлъзгане (5-13%).
- ▶ **Подходящ е за механизми и машини работещи с рязко сменяване на скоростта и имащи маховици за съхранение на енергия, като преси за щанцована и рязане, подемници, коляномотовилкови механизми, машини в металургичното производство и др.**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

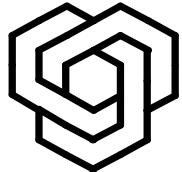
Асинхронни електродвигатели

- ▶ Механичните характеристики *тип A – тип D* се получават при една и съща конструкция на статора на двигателя
- ▶ Разликата е в конструкцията на ротора и има два аспекта:
 - съотношение между височината и ширината на напречното сечение на каналите на ротора, залети алуминиевата сплав
 - дълбочина на разполагане на тези канали спрямо външната цилиндрична повърхност на ротора
 - **Площта на каналите е фиксирана от мощността на двигателя**

с

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 4

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ В МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО – ЧАСТ 2

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

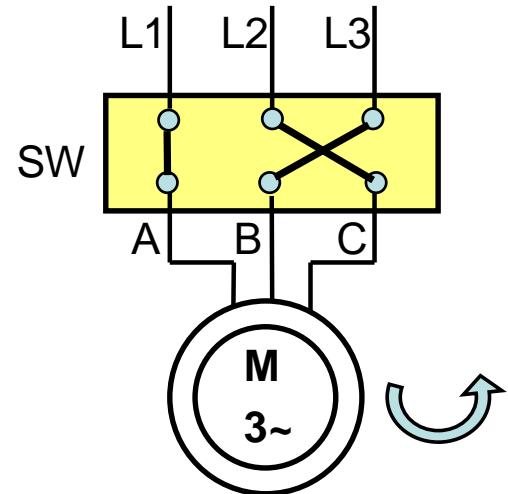
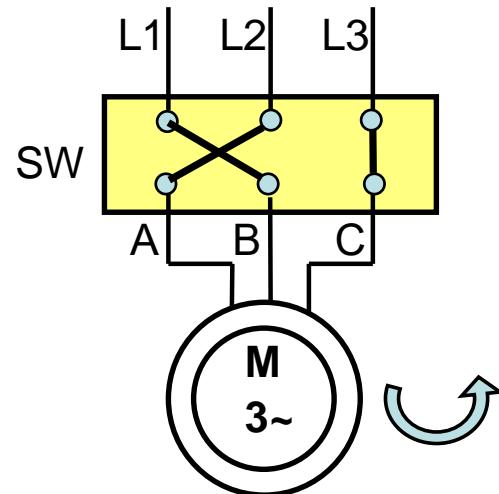
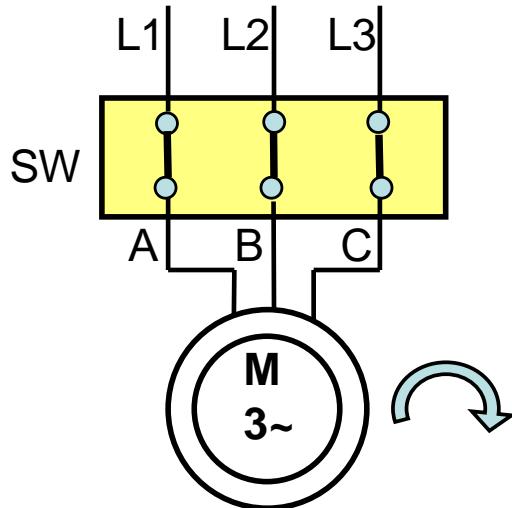
Асинхронни електродвигатели

Управление на посоката на движение на асинхронни електродвигатели

- ▶ Управление на посоката на движение на трифазните асинхронни двигатели става чрез промяна на посоката на статорното магнитно поле
- ▶ В технически аспект се използва устройство, което има 6 точки за електрически връзки и осигурява:
 - три връзки L1, L2 и L3 към захранващата мрежа
 - три връзки към изводите A, B и C на двигателя M

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Асинхронни електродвигатели

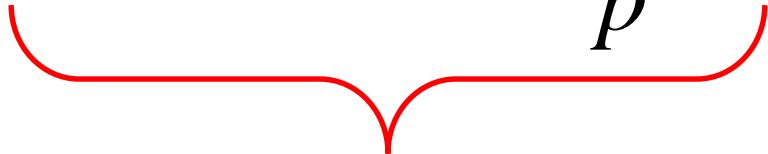


- Връзките в устройството SW могат да се реализират от:
- електромеханични контакти
 - електронни ключове

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта на асинхронни електродвигатели

- ▶ Възможностите за управление скоростта на въртене на асинхронните двигатели непосредствено следват от вече известната зависимост (4.3), използвана както е показано

$$n = n_0 \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s) \quad (4.3)$$


ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► Параметри, чрез които може да се управлява скоростта:

- честотата “ f ” на захранващата мрежа
- броят “ p ” на чифтовете полюси
- хлъзгането „ s ”.

Важно:

- Хлъзгането „ s ” не е независим параметър, а е пряко следствие от натоварването на двигателя
- Изменянето на хлъзгането с цел управление на скоростта по принцип е възможно и става чрез:
- работа с **меки изкуствени механични характеристики**
 - **умишлено създаване на загуби** в двигателя

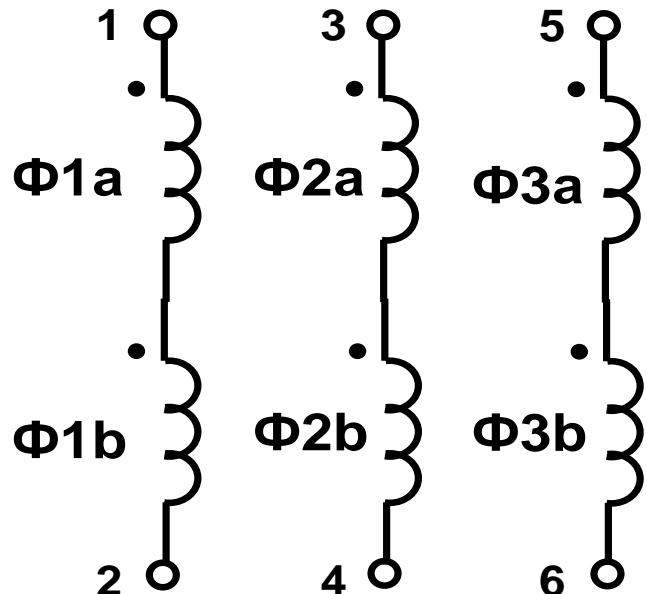
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна броя на чифтовете полюси

- ▶ Броят на чифтовете полюси винаги е цяло число, от което следва, че отделните скорости имат предварително фиксирани стойности
- ▶ За целта се използват технически средства, които променят по определен начин свързането между секциите на които е разделена всяка от fazите

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

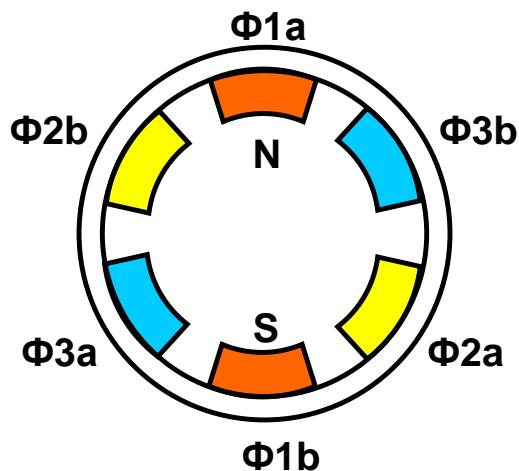
Свързване на секциите



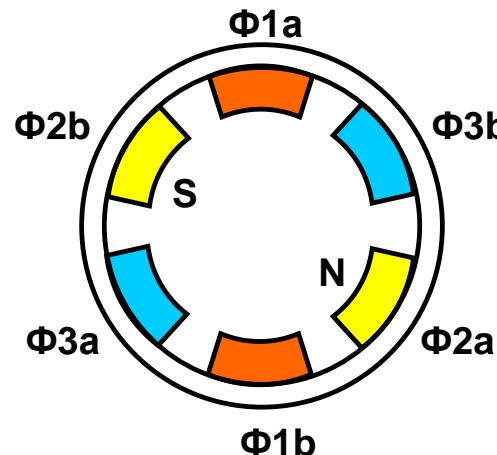
- ▶ При това свързване на секциите, всяка фаза създава една двойка полюси
- ▶ Двойките полюси се преместват в пространството, заето от ротора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

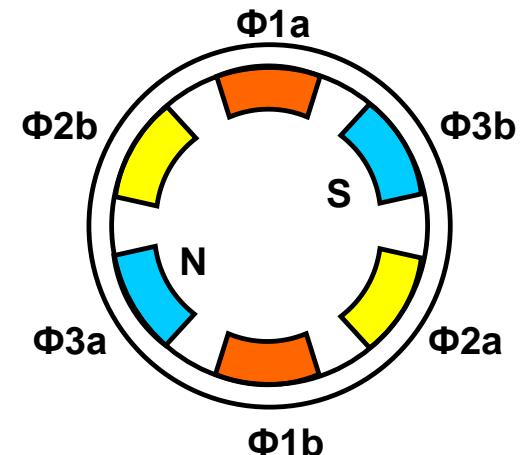
Преместване на двойките полюси в
пространството на ротора



$p=1$



$p=1$

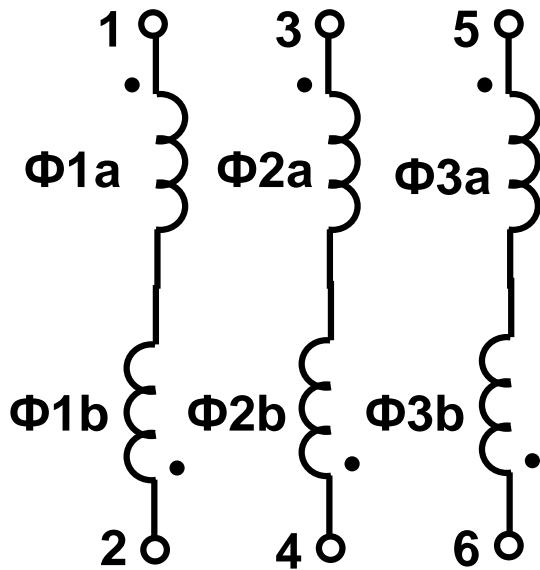


$p=1$

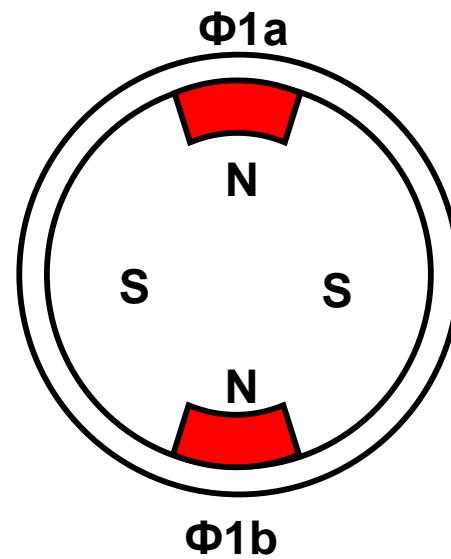
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Ако свързването между секциите на всяка фаза се промени така, че да се разменят двета края на всички секции „b”, се оказва, че всяка фаза създава по два чифта полюси **N-S**, т.е. “ p “ = 2
- ▶ За прегледност са показани само двета чифта полюси, получени от фаза 1
- ▶ Произходът на полюсите N по принцип е ясен
- ▶ Полюсите S се получават на показаните места чрез магнитопровода на статора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



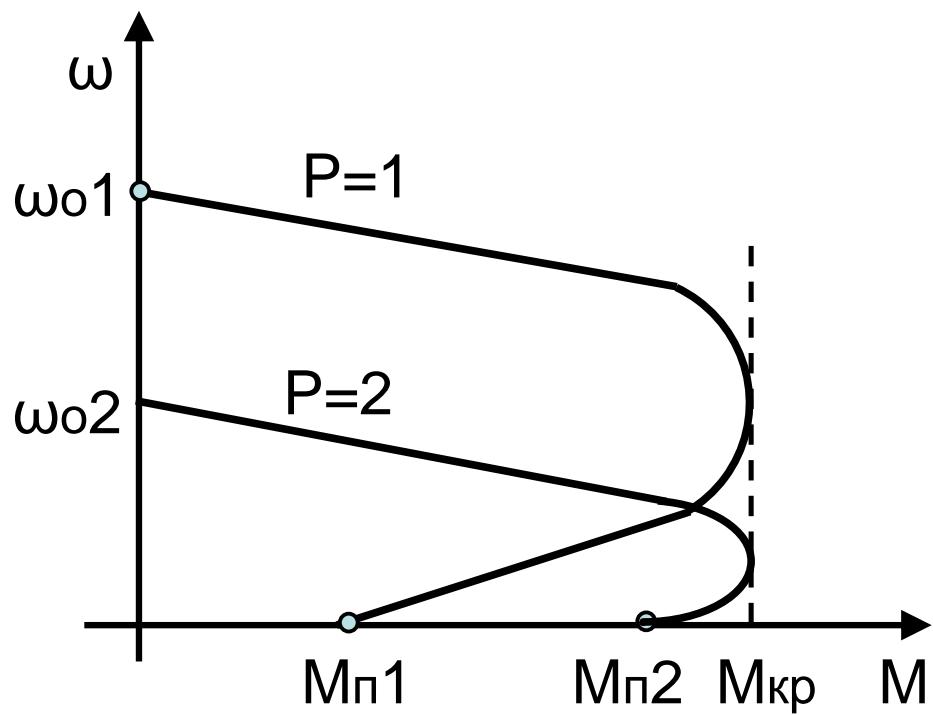
Ново свързване



Създадени полюси само
от фаза 1, $p=2$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Механични характеристики



Мощност:
 $P=M\cdot\omega$

При $P=2$ мощността на двигателя е два пъти по-малка, което не винаги е приемливо.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ За отстраняване на този проблем при $p=1$ секциите на всяка фаза се свързват **последователно еднопосочно**, а fazите се свързват в схема “звезда”
- ▶ При $p=2$ секциите на всяка фаза се свързват **последователно противопосочно**, а самите фази се свързват в схема “триъгълник”. През всяка фаза протича почти двойно (1.73 пъти) по-силен ток и тя създава въртящ момент, пропорционален на тока
- ▶ Този начин на управление на скоростта се използва широко при металорежещите машини със степенни главни и подавателни преводи и облекчава конструкцията на самите преводи

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата

- ▶ Управлението на скоростта на асинхронните електродвигатели чрез променяне на честотата на захранващото напрежение осигурява безстепенно изменение на тяхната скорост в определени граници

$$n = n_0 \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s)$$

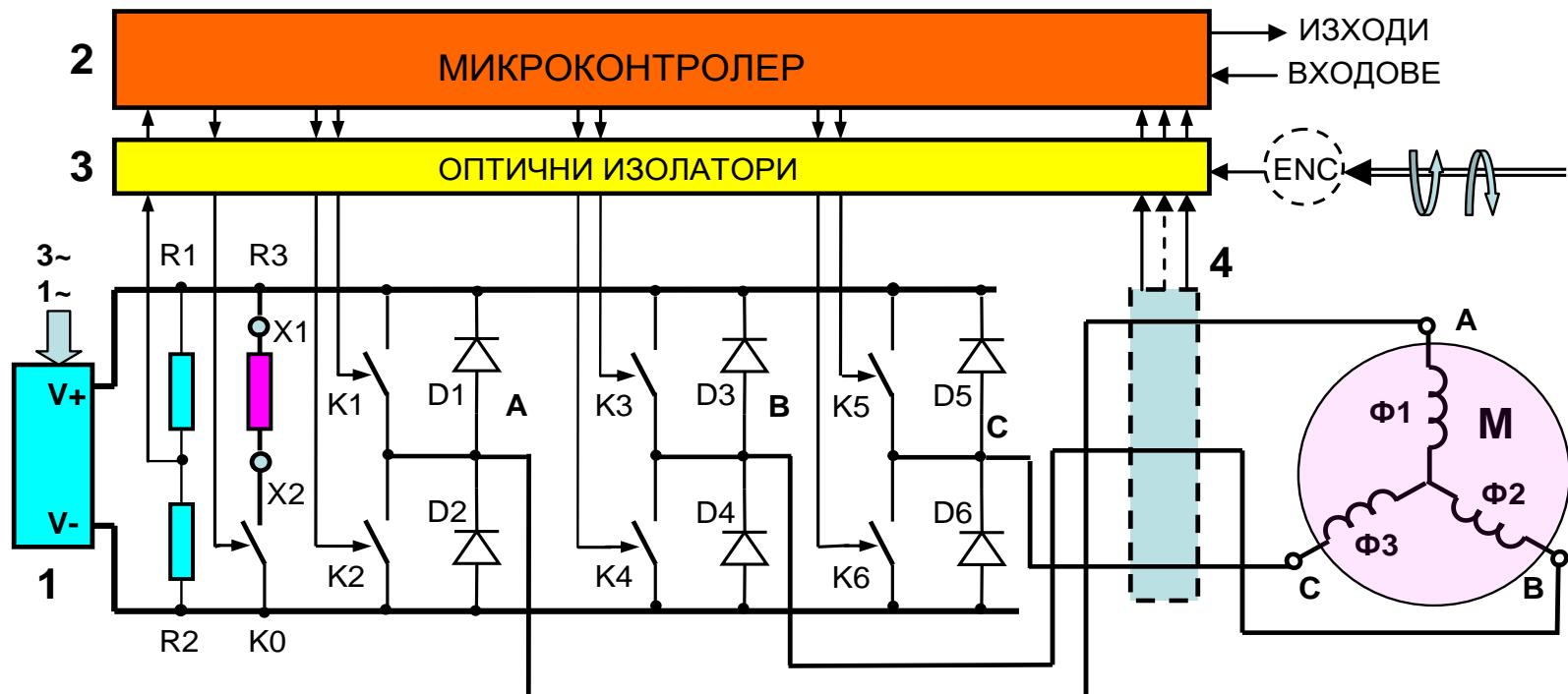
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата

- ▶ Средствата, чрез които се реализира промяната на честотата, са известни с общото име „**честотни инвертори**“
- ▶ В момента се е наложила конструкция, която е известна като „**честотен инвертор с междинно звено за постоянен ток**“

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



Честотен инвентор – обща структура

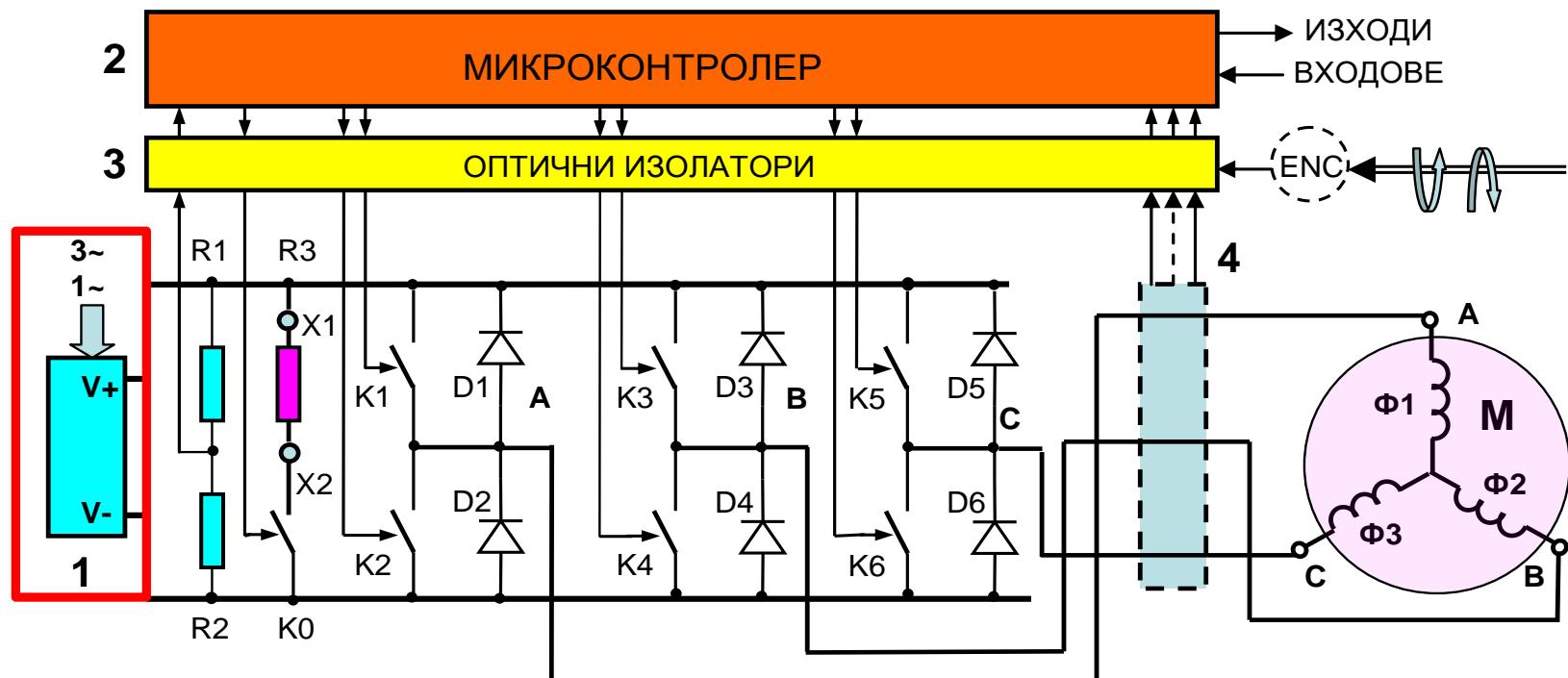
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Този тип инвертори имат основните предимства:

- ▶ **Без значение за работата на инвертора и двигателя** са следните параметри на първичната енергийна мрежа:
 - видът напрежението (постоянно или променливо),
 - честотата на напрежението
 - стойността на напрежението
 - броят на fazите (от 1 до 3)
- ▶ Независимо от посочените предимства, **честотните инвертори са предназначени за управление само на стандартни трифазни електродвигатели**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



Блок 1 - Токоизправител

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

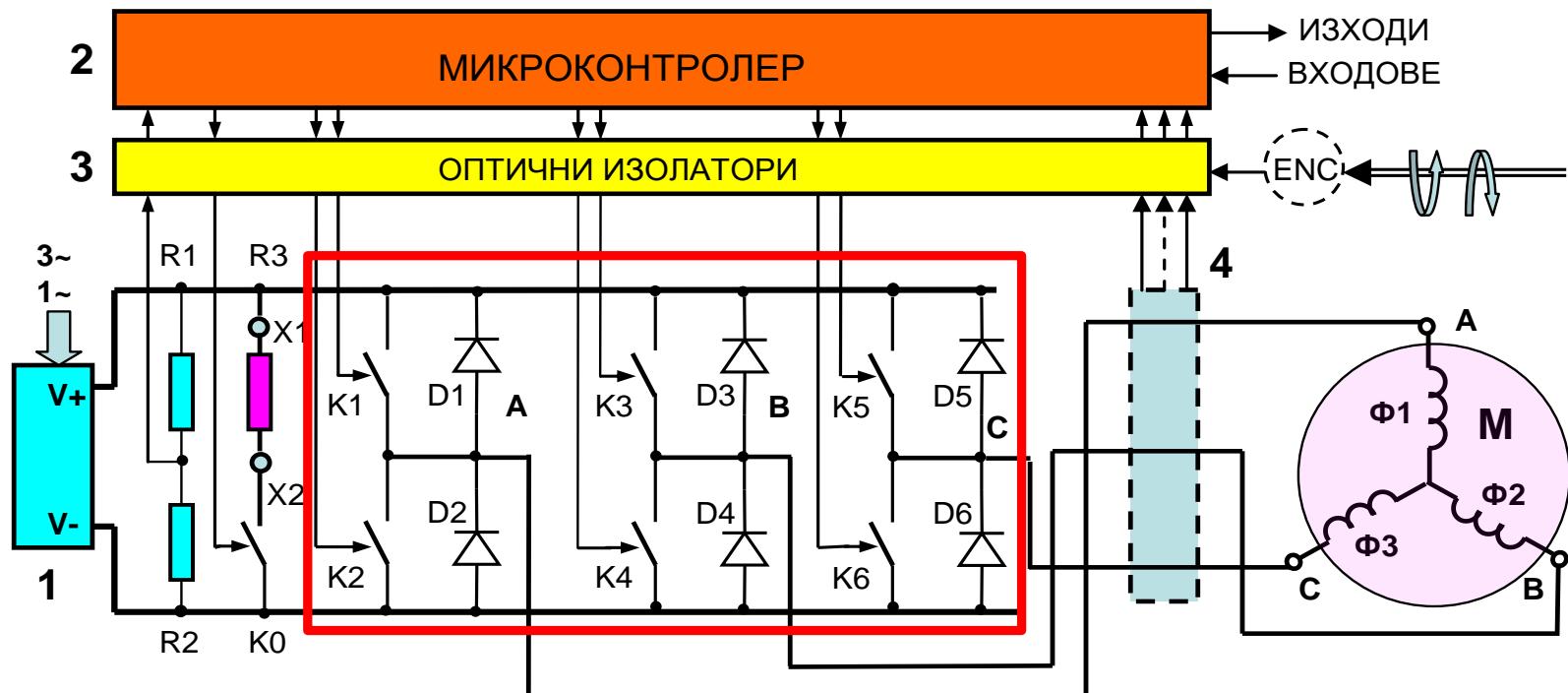
Управление на скоростта чрез промяна на честотата

Блок 1 - Токоизправител

- ▶ Преобразува напрежението на електрическата мрежа от променливо в постоянно
- ▶ Задължително е постоянното напрежение между изводите „ V_+ “ и „ V_- “ да съответства на номиналното напрежение на асинхронния електродвигател
- ▶ Прието е, пътят, чрез които това напрежение достига до ключовете, да се нарича „постоянно токова магистрала“

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



Група от ключове $K1-K6$ и група от диоди $D1-D6$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата

Група от ключове K1-K6 и група от диоди D1-D6

- ▶ Чрез тях фазите A, B и C на двигателя M се свързват към постояннотоковата магистрала
- ▶ Всички ключове са еднакви и са от електронен тип

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

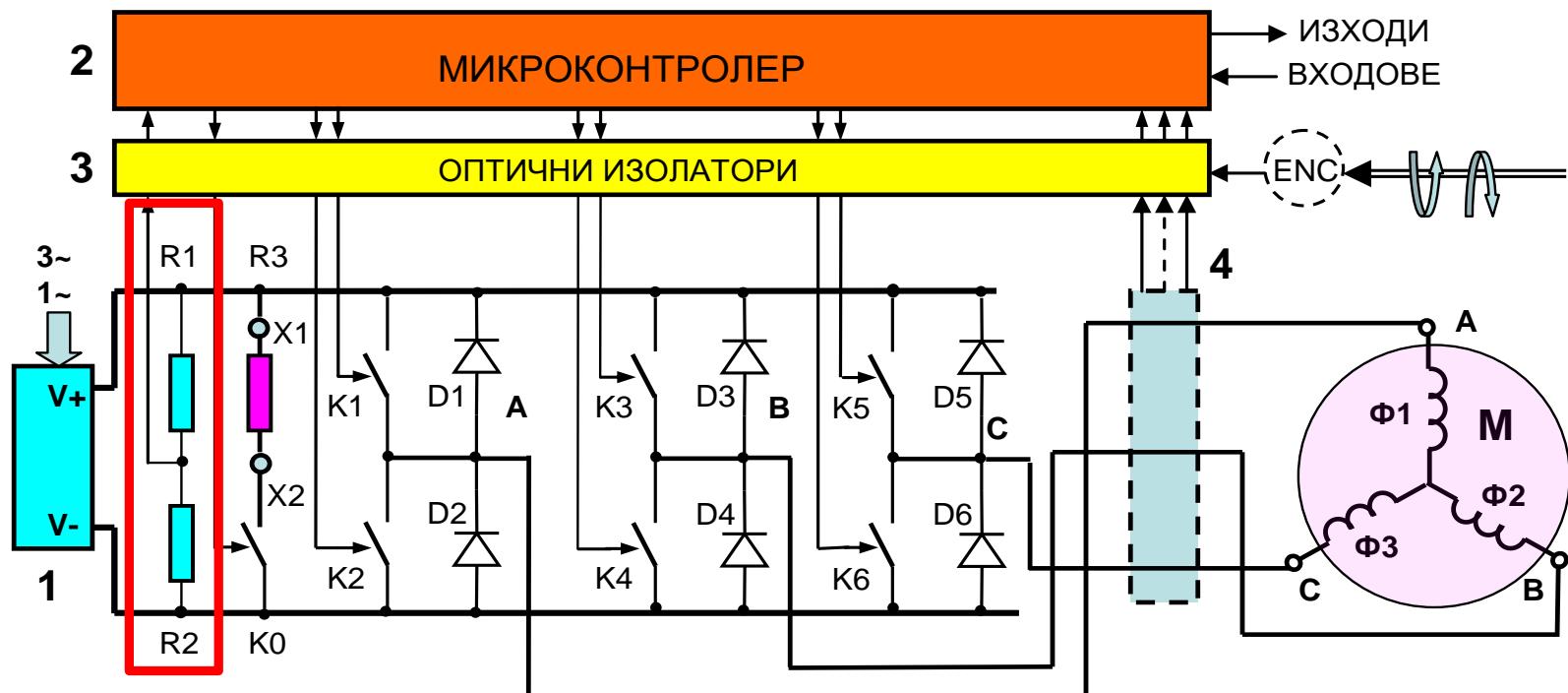
Управление на скоростта чрез промяна на честотата

Група от ключове K1-K6 и група от диоди D1-D6

- ▶ Диодите D1-D6 осигуряват затворени вериги за протичане на ток след отварянето на свързаните към тях ключове. Този ток се създава от запасената енергия в намотките на отделните фази.
- ▶ Прието е тези диоди да се наричат „циркуационни”, което достатъчно точно представя тяхната функция.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



Резистори R1 и R2

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

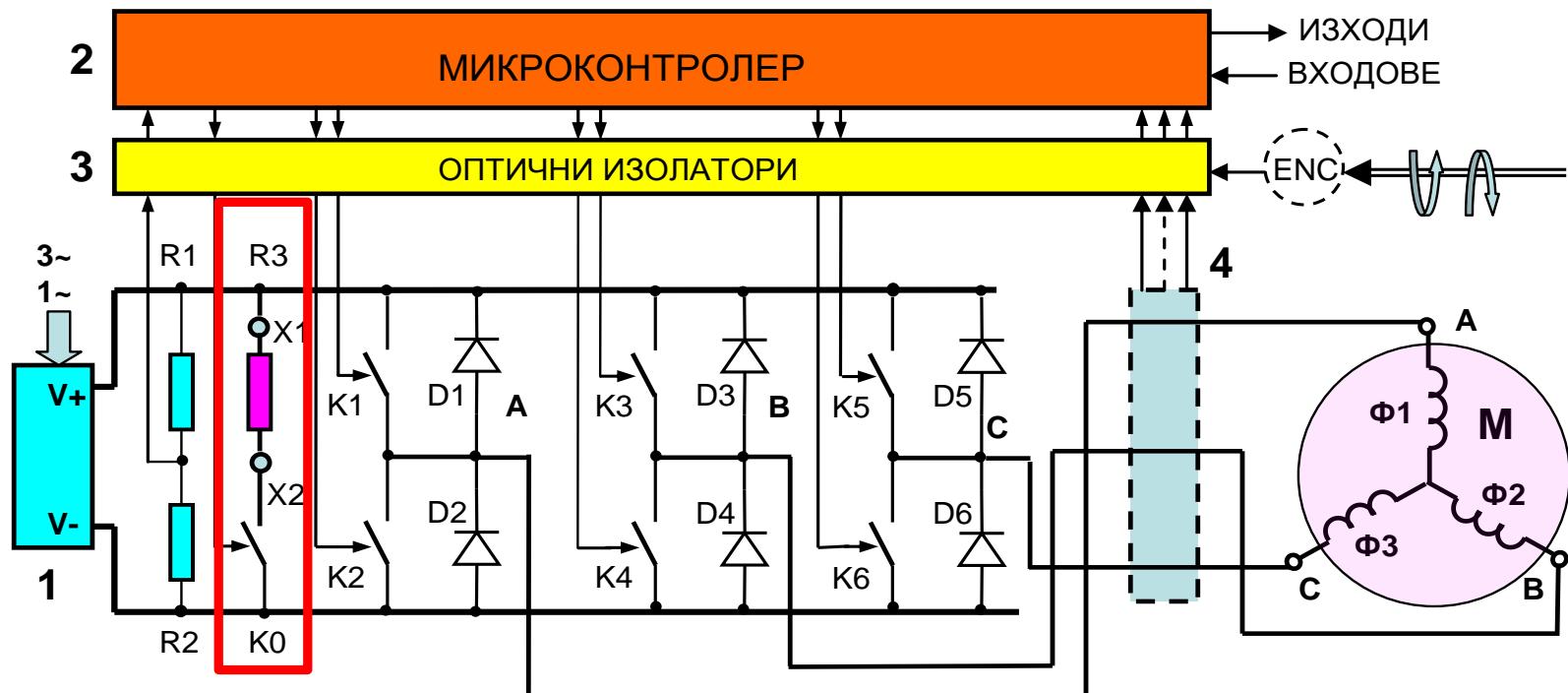
Управление на скоростта чрез промяна на честотата

Резистори R1 и R2

- ▶ Чрез резисторите $R1$ и $R2$ се осигурява измерване на текущата стойност на напрежението в горната магистрала
- ▶ Тези резистори са за измервателни цели, тяхната мощност е малка ($0.1\text{-}0.5 \text{ W}$) и те се монтират вътре в инвертора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



Резистор R_3 и ключ K_0

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата

Резистор R3 и ключ K0.

- ▶ При интензивно намаляване на скоростта на задвижвания, в движещите се части на които е запасено голямо количество кинетична енергия, напрежението в тази магистрала се повишава, тъй като двигателят работи като генератор и се доказва, че създаденото от него напрежение се сумира с напрежението на магистралата

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата

Резистор $R3$ и ключ $K0$.

- ▶ Когато това напрежение достигне граница, приета като опасна за инвертора и електродвигателя, чрез ключа $K0$ се включва резисторът $R3$
- ▶ Това се прави с цел да се създаде допълнителна консумация и напрежението да спадне до безопасна стойност

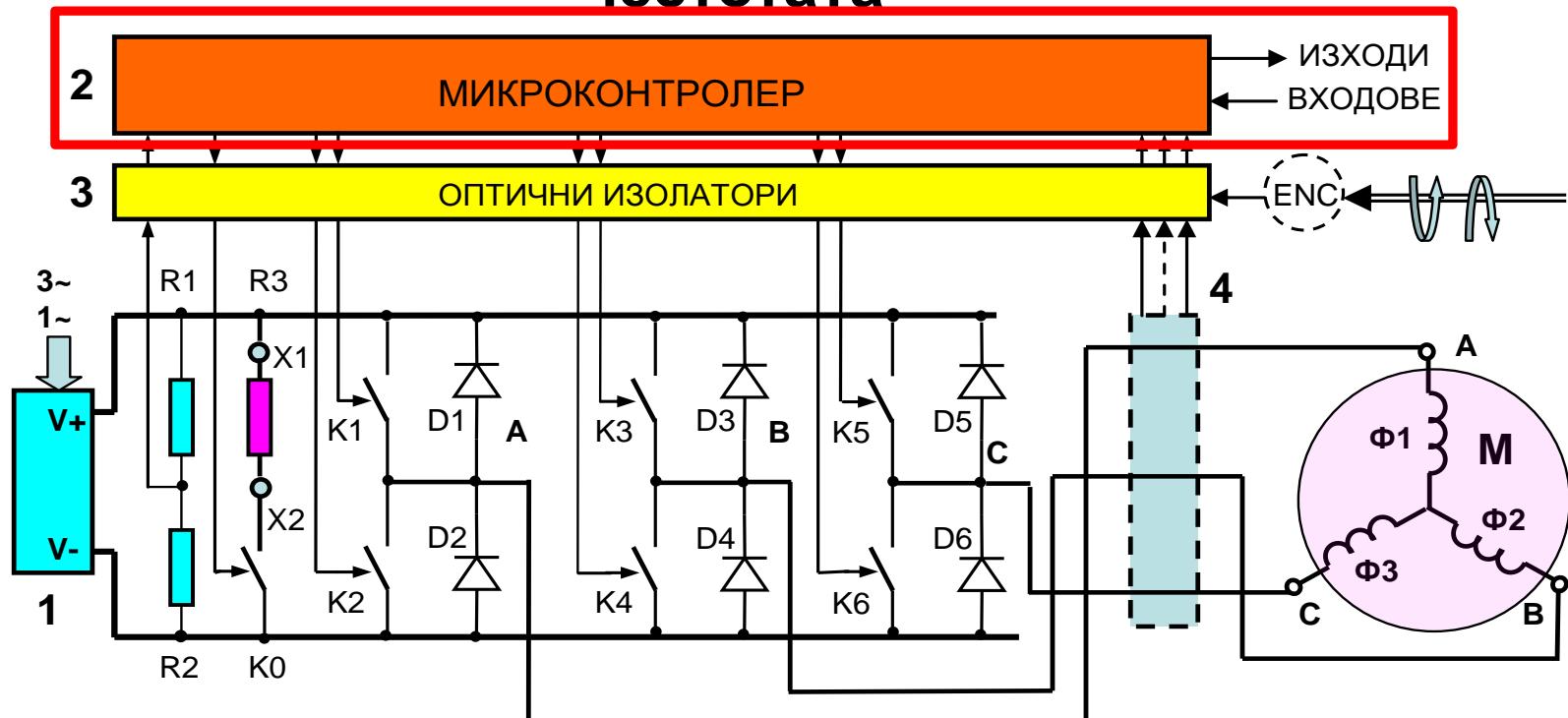
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата

- ▶ По установена от времето традиция, резисторът R_3 се нарича „спирачен”
- ▶ Неговата стойност и мощност зависят от мощността на двигателя и интензивността на намаляване скоростта на задвижването
- ▶ Мощността му е в границите от няколко десетки вата до единици и десетки киловата, той е с големи размери и отделя значително количество топлина
- ▶ При необходимост от такъв резистор той се поставя извън инвертора и се охлажда принудително

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



Блок 2 - микроконтролер

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата

Блок 2 - микроконтролер

- ▶ Микроконтролерът е изделие на компютърните технологии
- ▶ Неговото основно предназначение е да изработва управляващи сигнали за ключовете К0-К6
- ▶ Той осигурява и допълнителни възможности на инвертора

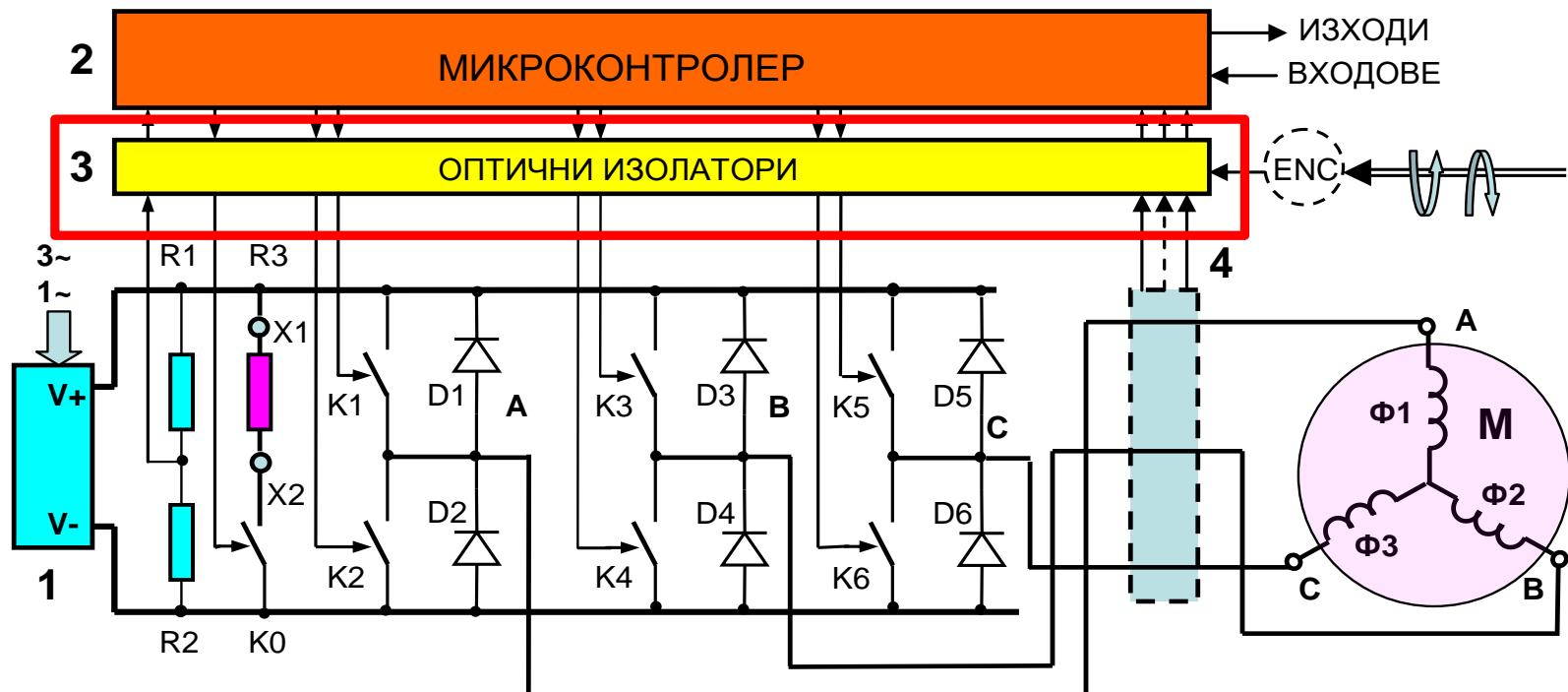
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата

- ▶ Работата на инвертора е в съответствие с параметри, които предварително са въведени в микроконтролера
- ▶ При инвертори с по-универсално приложение общият брой на параметрите е 60-150
 - част от тях са информационни и осигуряват получаване на текуща информация от задвижването с цел анализиране на неговата работа, основно при първоначално настройване на съвместната работа на инвертора, двигателя и задвижвания механизъм.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



Блок 3 - оптични изолатори

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Блок 3 - оптични изолатори

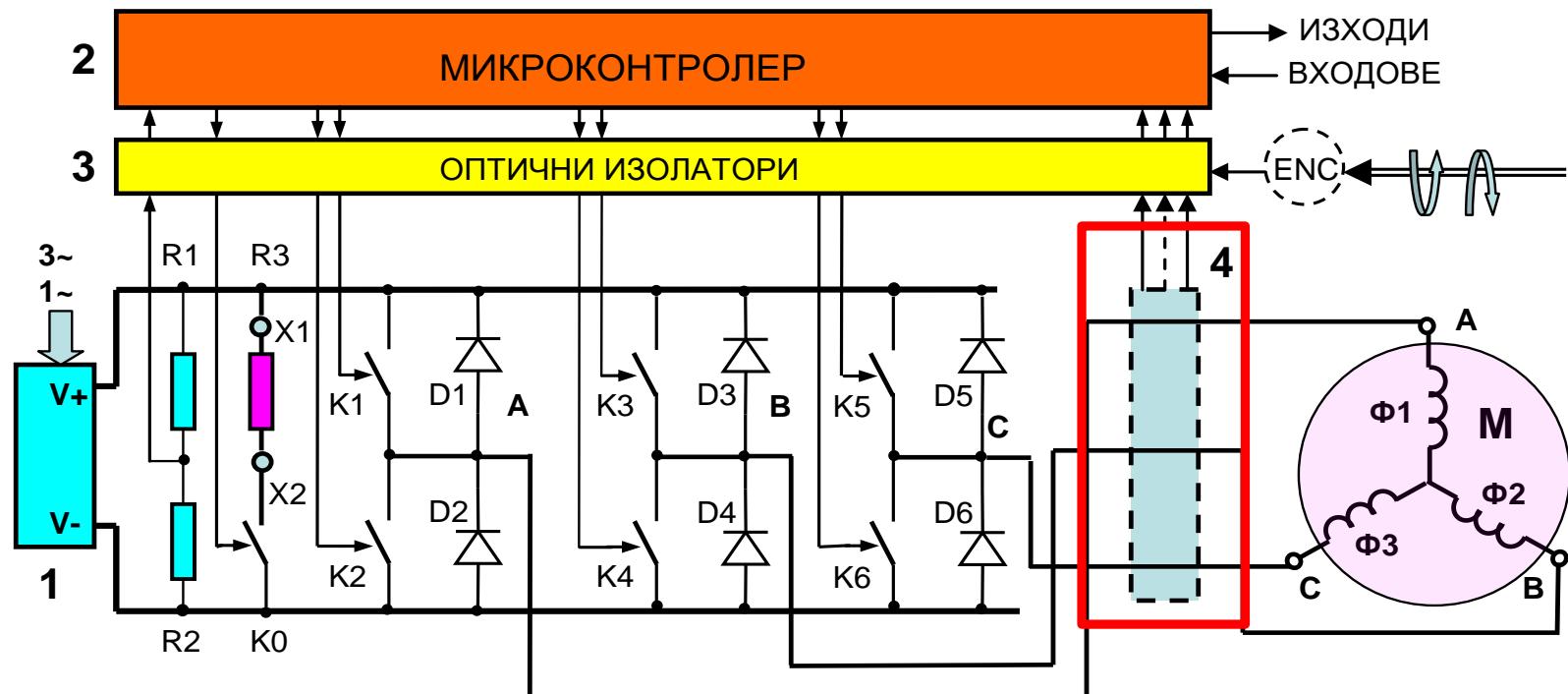
- ▶ Те за предназначени за разделяне на електрическите вериги в силовата част на инвертора по отношение на електрическите вериги в микроконтролера
- ▶ Веригите в силовата част на инвертора работят с напрежения, равни на напрежението на захранващата първична мрежа, обикновено 220V или 380V
- ▶ Веригите на микроконтролера работят с напрежение 5V
- ▶ Попадането на напрежение от силовата част на инвертора във веригите на микроконтролера ще го повреди

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Основен компонент на този блок са така наречените „оптрони”
- ▶ Те са изделия на микроелектрониката, които имат вход и изход и пренасят електрически сигнал от входа към изхода чрез управляем поток от светлина

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



*Блок 4 – директна обратна връзка по ток и
индиректна обратна връзка по скорост*

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Блок 4 – директна обратна връзка по ток и индиректна обратна връзка по скорост

- ▶ Този блок по принцип не е задължителен за работата на инвертора, обаче подобрява някои характеристики на задвижването
- ▶ По отношение на връзките между инвертора и двигателя този блок не оказва никакво влияние върху тях и затова на връзките през него са изобразени с **плътни линии**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ В него **най-често** има две групи технически средства:
- ▶ Първата група е предназначена да измерва силата на тока през всяка фаза на двигателя с цел подобряване на управлението му и предпазване от претоварване
 - основен елемент в тази група е полупроводников елемент, известен като „сензор на Хол”
 - в тази група има по един сензор на Хол за всяка фаза

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Втората група от средства е предназначена за измерване на действителната скорост на въртене на двигателя
 - Тя използва така нареченото „противо-електродвижещо напрежение”, създавано от ротора във всяка от fazите на статора.
 - Точността на измерване на скоростта по този начин е ниска
 - Алтернативен и **многократно по-точен** начин за измерването на тази скорост е използване на енкодера *ENC*.

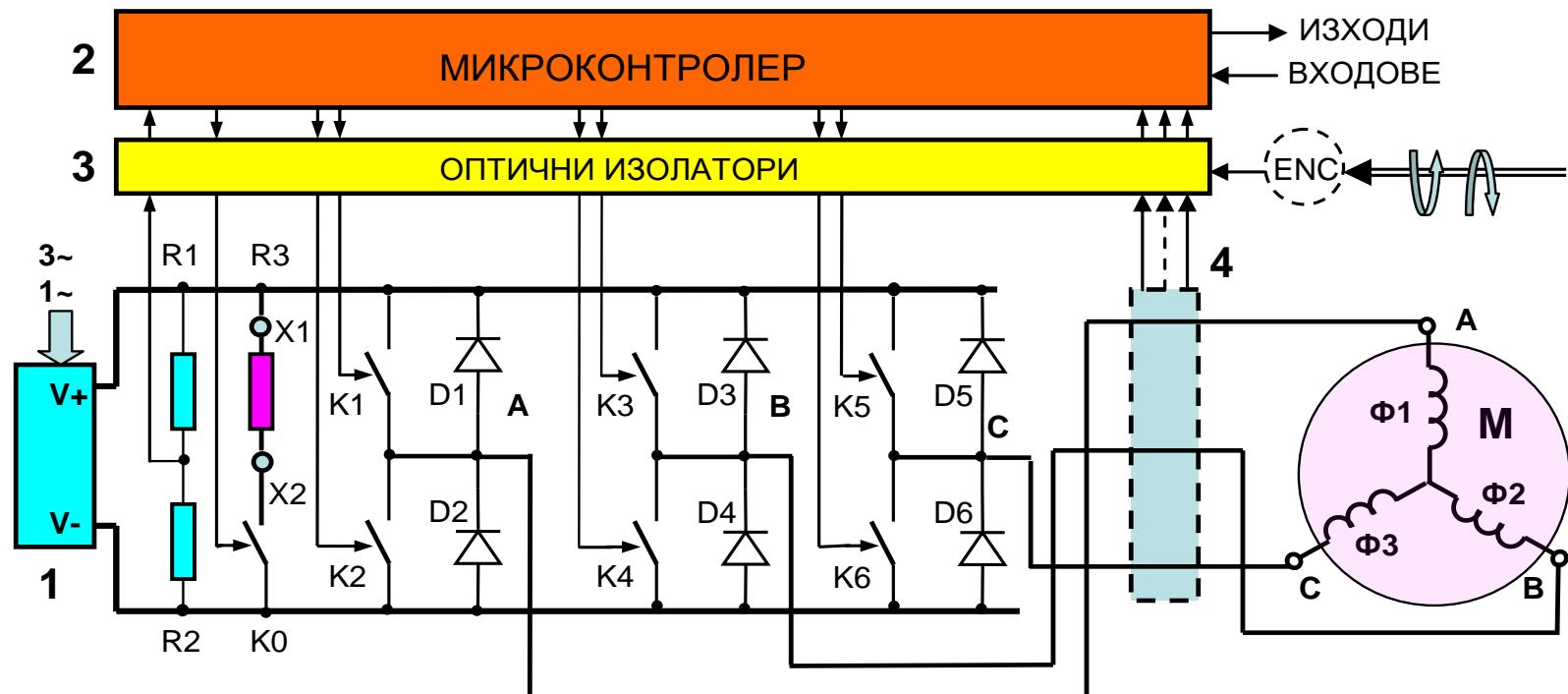
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Работа на честотния инвертор

- ▶ Създаването на въртящо магнитно поле става чрез включването и изключването на $K1-K6$ в определен ред, **в зависимост от необходимата посока на движение**
- ▶ **Не е допустимо едновременно** затваряне, т.е. осигуряване на проводимо състояние на ключове, чрез които двета проводника от магистралата за постоянен ток се свързват непосредствено един с друг, като $K1$ и $K2$ и/или $K3$ и $K4$ и/или $K5$ и $K6$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез промяна на честотата



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Ако настъпи подобно явление, се получава късо съединение
 - най-благоприятният резултат от него е разрушаване на едновременно затворените ключове
 - най-лошият резултат е заедно с тези ключове да се разруши и блок 1 – токоизправител

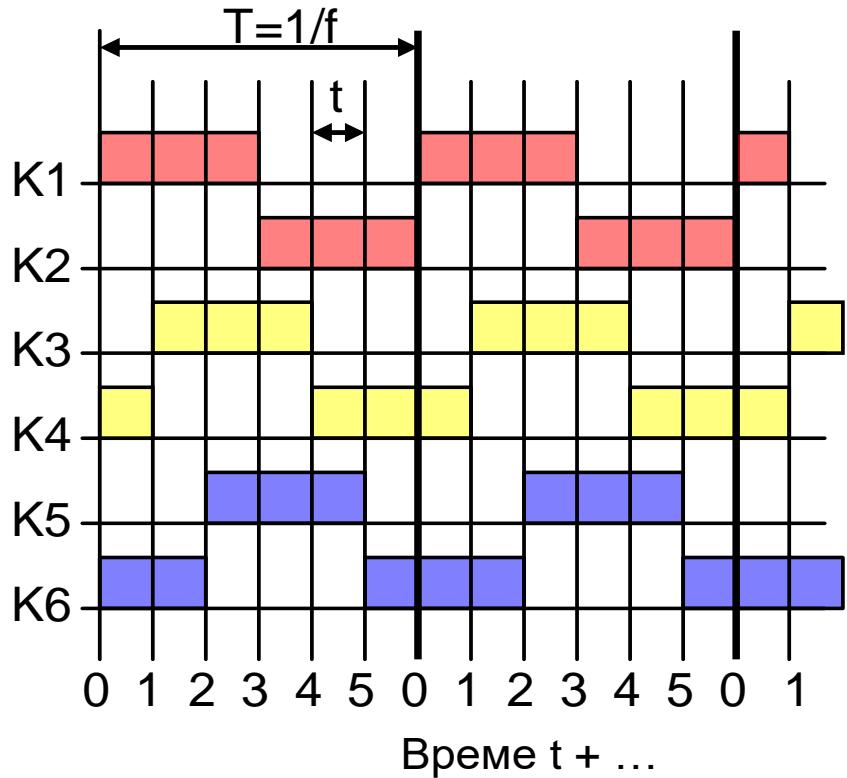
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Последователността на работата на ключовете

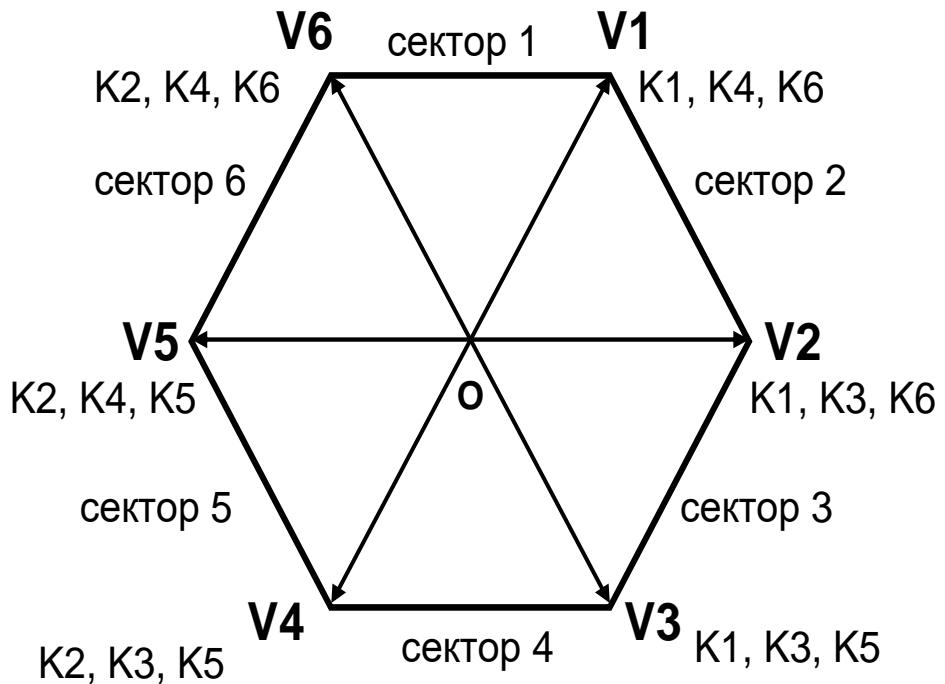
- ▶ Оцветената част показва проводящото състояние на съответния ключ, а нейното отсъствие – непроводящото му състояние
- ▶ Цвета за означаване на проводящото състояние и съответства на цвета, възприет и използван при изобразяване на fazите на двигателя

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Състояние на
ключовете



Вектори на магнитното
поле



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Получаване на въртящо магнитно поле

Начин 1:

- ▶ Микроконтролерът изработва само шестте основни вектора **$oV1 - oV6$**
- ▶ Това става чрез включването на съответните ключове през интервали от време $t=1/6T$
 - пример:
 - за да се изработи вектора **$oV1$** се включват едновременно $K1, K4$ и $K6$, както е означено в края на същия вектор

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Броят на всички възможни състояния на ключовете е 6
- ▶ Този начин за управление е известен като „**шест стъпков алгоритъм**“
- ▶ Прилага се в инверторите от по-ниските класове (т.е. с по-ниски цени)
- ▶ Основен недостатък на метода е, че при ниски скорости се получава забележима неравномерност в движението и шум

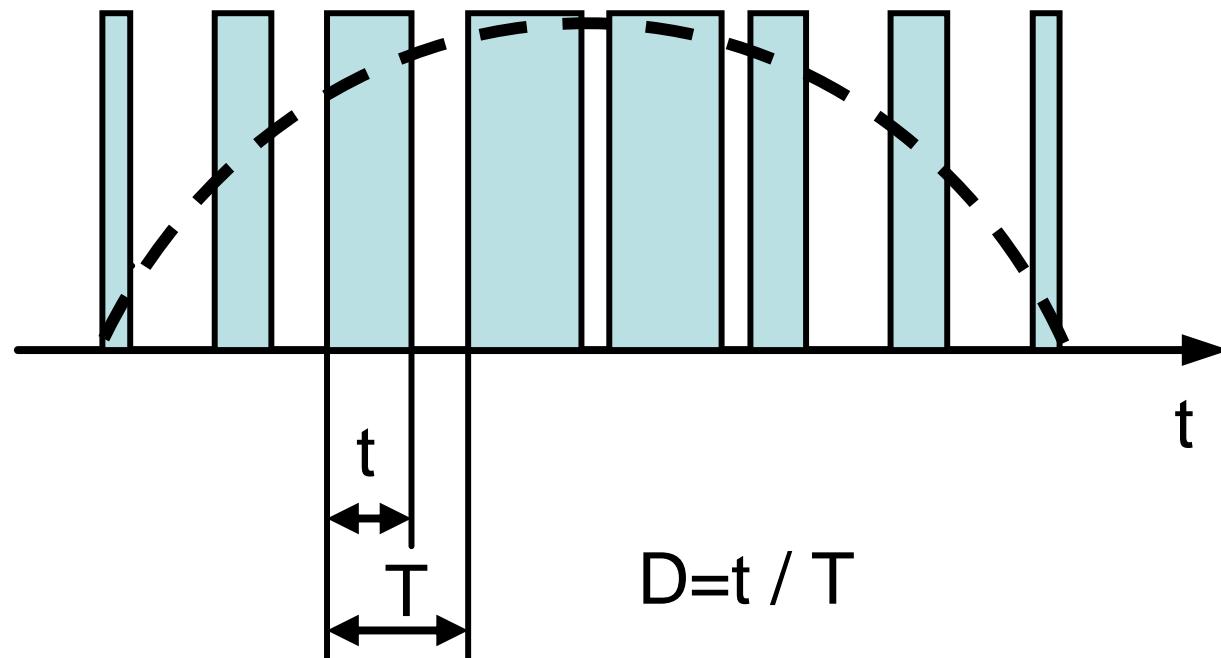
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Начин 2:

- ▶ Използва се широчинно-импулсна модулация (ШИМ) приложена едновременно към всички ключове – $K1-K6$
- ▶ Целта е вместо правоъгълни зони за включеното състояние на всеки ключ се оформя зона със синусоидална форма
- ▶ Тази форма осигурява същите напрежения и токове във фазите на двигателя както при стандартната трифазна мрежа

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Коефициентът на запълване „D” на ШИМ се променя по програма, записана в микроконтролера



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

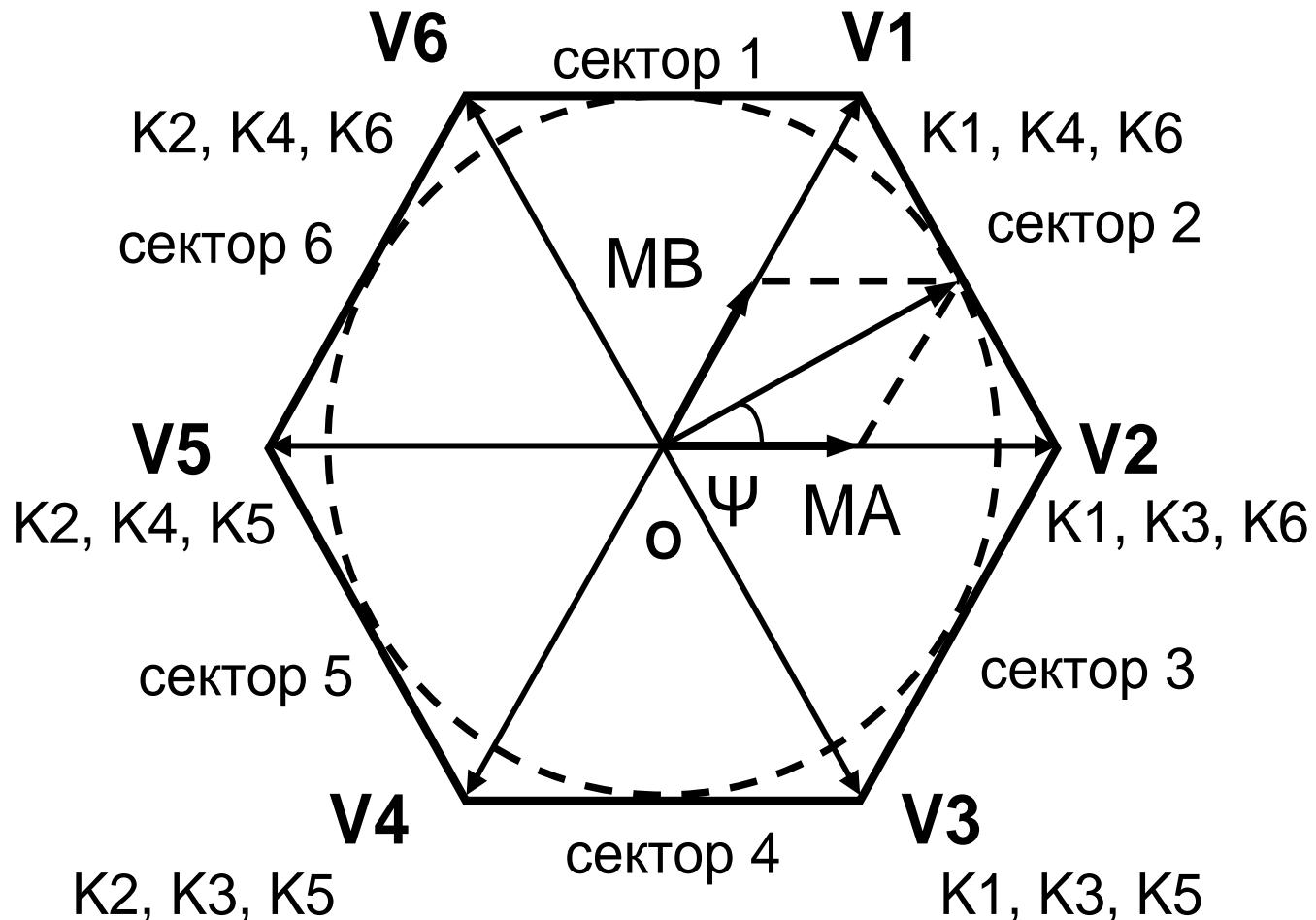
- ▶ Този начин на управление е известен като „**синусоидална ШИМ**” и се използва в инверторите от нисък и среден клас
- ▶ Предимството му е, че неравномерността на движение и шума при ниски скорости са по-малки
- ▶ Основен недостатък е, че за получаване на синусоидална ШИМ е необходимо за един период с време „ t ” съответния ключ много пъти да си смени състоянието, което създава силни електромагнитни смущения

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Начин 3:

- ▶ За създаване на въртящо поле се използва шестстъпковия алгоритъм, но изменен така, че между всеки два съседни вектора се изработва множество от междинни вектори (не повече от 10-15)
- ▶ Това става чрез сумиране на текущите големини и посоки на два специално създадени вектора, означени като **ОМА** и **OMB**
- ▶ **Задължително условие е, върхът на вектора представляващ тяхната сума винаги да лежи на окръжност, вписана в шестоъгълника**, образуван от върховете на основните вектори OV1- OV6

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ За създаване на магнитно поле, съответстващо на вектора OV_1 , се изисква едновременно включване на K_1 , K_4 и K_6 , а на поле, съответстващо на вектора OV_2 – едновременното включване на K_1 , K_3 и K_6
- ▶ За преминавате от вектора OV_1 към вектора OV_2 е необходимо запазването на включеното състояние на K_1 и K_6 , и променяне на състоянията на K_4 и K_3
- ▶ Използва се ШИМ, приложена в този момент само към K_3 и K_4

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При вектора $OV1$ коефициентът на запълване D за ключа $K4$ е 100%, а за ключа $K3$ - 0%
- ▶ За да се премине от вектора $OV1$ към вектора $OV2$ е необходимо:
 - коефициентът на запълване D за ключа $K4$ да се намалява от 100% до 0%
 - съгласувано с това коефициентът на запълване D за ключа $K3$ се увеличава от 0% до 100%
- ▶ По същия начин се осигурява получаването на векторите $OV3$ - $OV6$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Този алгоритъм на управление на ключовете в честотния инвертор е известен като „**пространствена векторна модулация**“ (*Space Vector Modulation* – съкратено **SVM**)
- ▶ Той съчетава положителните страни на „шест стъпковия алгоритъм“ и „синусоидалната ШИМ“, като създава електромагнитен шум с по-ниско ниво
- ▶ Използва се в честотните инвертори от висок клас

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ За осигуряване на движение в другата посока е най-лесно да се използва нова времедиаграма, произтичаща от вече разгledаната
- ▶ В новата времедиаграма се **разменят редовете за състоянията на определени ключове**, например:
 - редовете за K_1 и K_2 от втората времедиаграма са същите като редовете K_3 и K_4 от първата
 - редовете за K_3 и K_4 от втората времедиаграма са като редовете K_1 и K_2 от първата

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При изменението на честотата с цел управление скоростта на асинхронните двигатели е задължително да се изменя и напрежението към фазите на двигателя
- ▶ Причините за това са **основни физически закони**
- ▶ **За определяне на зависимостта между честотата и напрежението се прилагат различни изисквания**
- ▶ ***При всички изисквания като правило се пренебрегва хълзгането*, по причина, изяснена по-нататък**

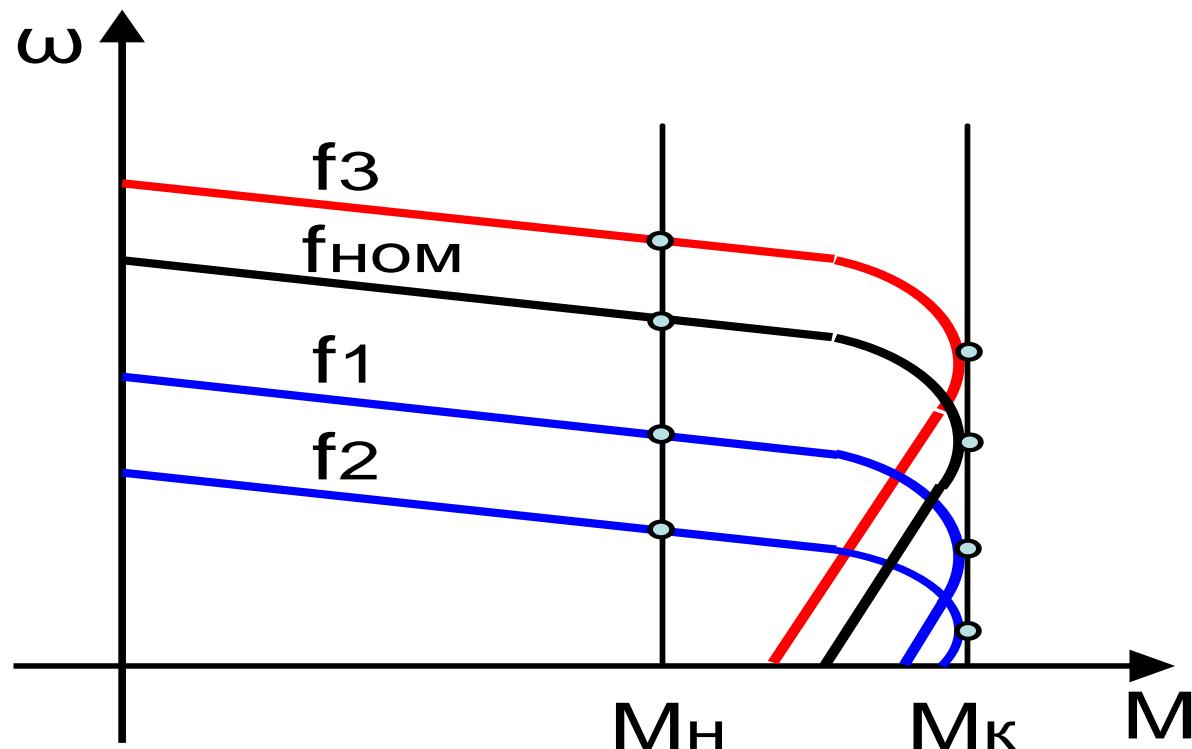
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Примерно изискване № 1

- ▶ Съотношението между номиналния момент M_n и критичния момент $M_{кр}$ да бъде едно и също, както за естествената механична характеристика, така и за всички изкуствени характеристики

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- Механичните характеристики при това условие имат вида:



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Удовлетворяването на това условие се дава от **удобната за практическо използване** зависимост:

$$\frac{U_{1fi}}{U_{1fk}} = \frac{f_{1i}}{f_{1k}} \cdot \sqrt{\frac{M_{ni}}{M_{nk}}} \quad (4.5)$$

U_{1fi} - напрежение към една фаза от статора при честота f_{1i} ;
 U_{1fk} - напрежение към една фаза от статора при честота f_{1k} ;
 M_{ni} - желан номинален момент на двигателя при честота f_{1i} ;
 M_{nk} - желан номинален момент на двигателя при честота f_{1k} ;

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При желание номиналните моменти за всички скорости да бъдат равни, се получава зависимостта:

$$\frac{U_{1fi}}{U_{1fk}} = \frac{f_{1i}}{f_{1k}} \quad (4.6)$$

- ▶ Напрежението, подавано към всяка фаза на статора трябва да бъде право пропорционално на честотата на инвертора (скоростта на двигателя)

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Примерно изискване № 2

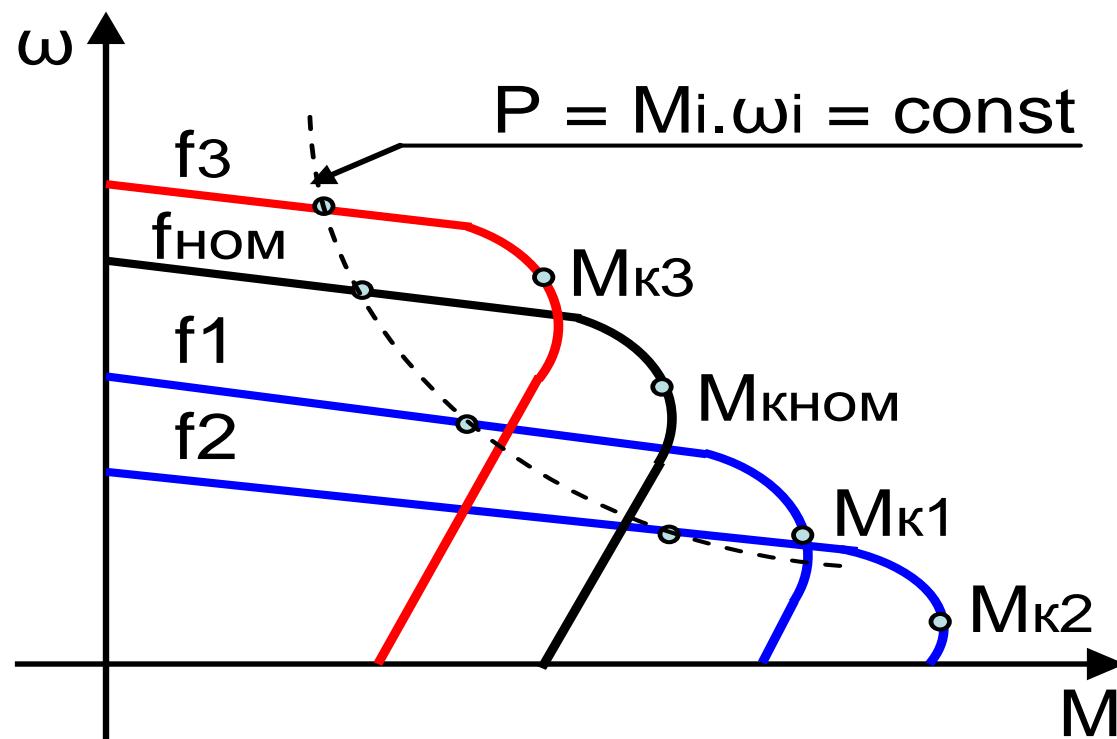
- Задвижваният обект да получава една и съща мощност при различна скорост:

$$\frac{U_{1fi}}{U_{1fk}} = \frac{f_{1i}}{f_{1k}} \cdot \sqrt{\frac{M_{1i}}{M_{1k}}} = \frac{f_{1i}}{f_{1k}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{P}{2\pi \cdot f_{1i}}}{\frac{P}{2\pi \cdot f_{1k}}}} = \frac{f_{1i}}{f_{1k}} \cdot \sqrt{\frac{f_{1k}}{f_{1i}}} = \sqrt{\frac{f_{1i}^2 \cdot f_{1k}}{f_{1k}^2 \cdot f_{1i}}} = \sqrt{\frac{f_{1i}}{f_{1k}}}$$

(4.7)

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- Механичните характеристики който съответстват на този израз имат вида:



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Прието е този начин на управление на скоростта на асинхронен електродвигател да се нарича „**управление напрежение-честота**“
- ▶ В западната техническа литература този начин е известен с името „***U-F control***“
- ▶ ***Пренебрегването на хлъзгането с цел получаване на горните зависимости е без значение за правилната работа на инвертора***
- ▶ Действителната (или каквато и да е оправдана) стойност на хлъзгането се въвежда като параметър в инвертора и микроконтролерът автоматично завишива с тази стойност скоростта на задвижването.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Изменението на напрежението най-евтино се реализира при синусоидалната ШИМ като се променя коефициента на запълване „ D ”
- ▶ Неговите стойности първоначално се определят за **номиналното** напрежение на двигателя
- ▶ Ако за конкретна скорост е необходимо напрежението на двигателя да бъде например 0.6 от номиналното, изчислените стойности на „ D ” се умножават по 0.6 и тогава се използват за управление на ключовете $K1-K6$
- ▶ При шест стъпковия алгоритъм и пространствената векторна модулация трябва да се използват допълнителни технически средства за управление на напрежението в магистралата за постоянен ток

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ От направените до тук разглеждания не е трудно да се установи, че скоростта и моментът на асинхронния двигател са свързани помежду си със зависимости, определени изцяло от особеностите на самия двигател, а не от изискванията на задвижвания обект.
- ▶ В задвижването реално не съществува равенство между двигателен и съпротивителен момент в смисъла на основното уравнение на задвижването.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ По тази причина зависимостите (4.5) - (4.7), приложени към:
 - „шест стъпковия алгоритъм”
 - „синусоидалната ШИМ”
 - „пространствената векторна модулация”реализират подход за честотно управление на асинхронните двигатели, известен като „**скаларно управление**”

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Като алтернатива на скаларното управление се появи подход, известен като „**векторно управление**“ (**VECTOR CONTROL**)
- ▶ Той използва същата аппаратна част и алгоритми за получаване на въртящо поле, но зависимостите за определяне на напрежението към двигателя и моментите на включване и изключване на ключовете са на база координатната система **odq**, свързана неподвижно с ротора на двигателя

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Въртящият момент на асинхронния двигател е:

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2) \quad (4.8)$$

- k - конструктивна константа на двигателя;
 Φ - магнитен поток в пространството между статора и ротора;
 I_2 - пълния ток в всяка фаза роторната намотка;
 φ_2 - фазова разлика между тока и напрежението в роторната намотка.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ За да се осигури въртящ момент с определена стойност реално могат да се управляват само Φ и I_2
- ▶ Те не могат да се управляват независимо
- ▶ Могат да се управляват само чрез напрежението на фазите на статора
- ▶ Тъй като роторът е „на късо”, измерването на стойностите на φ_2 (респ. $\cos(\varphi_2)$) и I_2 може да става само индиректно
- ▶ Възможностите са няколко, но се предпочитат тези, които се основават на измерване на тока на фазите от статора (активна и реактивна компонента), напрежението на тези фази и честотата на тока през тях

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ В основата на тези възможности са **две групи** математически модели, които използват текущо измервани стойности на посочените величини
- ▶ Чрез **първата група** от моделите от измерените стойности се определят текущите големини на въртящия момент M и скоростта ω
- ▶ За поддържането на необходимите стойности на въртящия момент и скоростта, чрез **втората група** математически модели се определя необходимото напрежение на фазите на статора (или на магистралата за постоянен ток) и се задава като изходно за инвертора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Използваните математически модели **изискват** стойности на редица **допълнителни параметри** на двигателя, **които не са обект на стандартизационни документи или каталожни данни за двигателите**
- ▶ Необходимо е стойностите на тези параметри да бъдат предварително измерени, изчислени или осигурени по друг начин
- ▶ От това следва, че разсейването на тези стойности в **партида от еднотипни двигатели** ще предизвика разсейване в параметрите на задвижването

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ По тази причина не отдавна (~ 2005 г.) се появии една разновидност на векторното управление, получила названието „**непосредствено управление на въртящия момент**“ (**DIRECT TORQUE CONTROL**)
- ▶ Тя осигурява стойностите на параметрите, необходими за векторното управление чрез използване на **допълнителни математически модели** (различни от горните)
- ▶ Допълнителните модели са обобщени и не зависят от конкретен модел или габарит на двигател

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При пускане на задвижване, което използва такъв допълнителен модел, то трябва да работи известно време (3-10 сек.) в съответния режим с цел получаване стойностите на необходимите параметри
- ▶ След като този модел завърши своята работа, започват да работят моделите за векторното управление
- ▶ Допълнителният модел **продължава да работи** едновременно с моделите за векторно управление осигурява адаптиране на задвижването към промените в режима на работа на обекта.

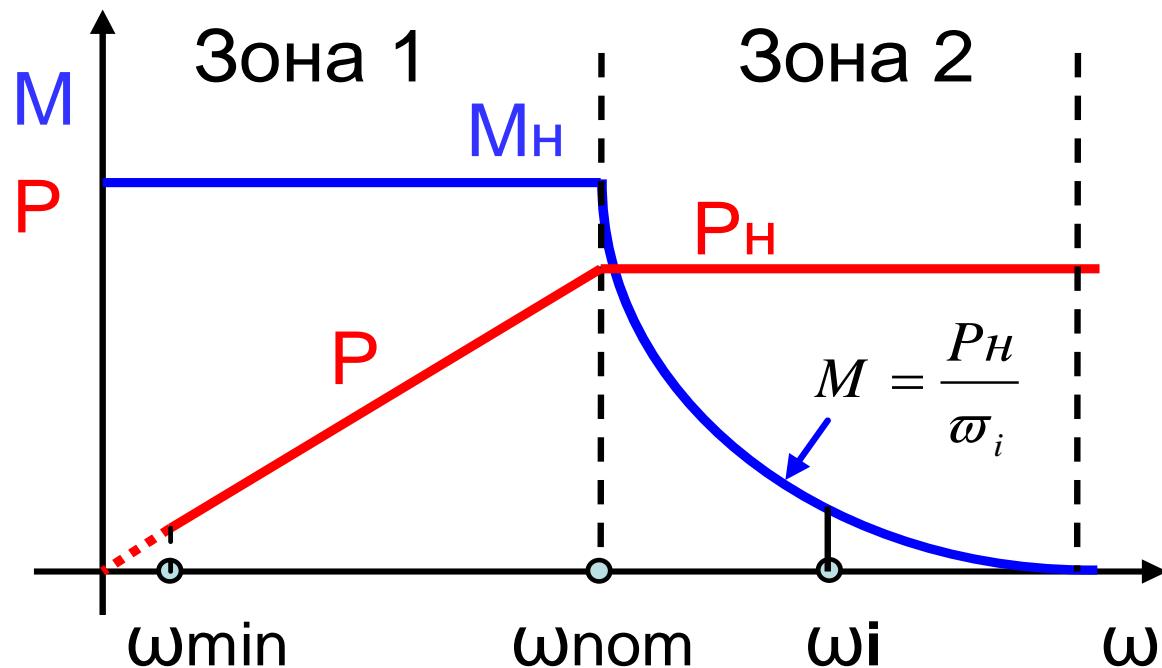
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Всеки **стандартен асинхронен двигател**, работещ съвместно с честотен инвертор, е проектиран за съответно работно напрежение, номинален въртящ момент, честота и номинална ъглова скорост
- ▶ Повишаването на скоростта над номиналната в съответствие с (4.5 - 4.7), изисква да се повиши над номиналното и напрежението, подавано към fazите на статора
- ▶ Това е недопустимо от гледна точка условията за експлоатация на двигателя

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При необходимост от скорост над номиналната, повишаването на напрежението се прекратява и се оказва невъзможно удовлетворяването на зависимостите (4.5 - 4.7)
- ▶ Следствие на това действителният момент на двигателя намалява
- ▶ За всеки асинхронен електродвигател, работещ със система за управление на неговата скорост, се дефинират **две зони** в механичната характеристика
- ▶ Те изразяват **допустимото натоварване** на двигателя по отношение на мощността P и въртящия момент M като функция на скоростта ω

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зона 1

- Нарича се „*зона на работа с постоянен момент*“
- По подразбиране моментът в тази зона не превишава номиналния момент M_h
 - В нея двигателят може да осигурява този въртящ момент за всяка скорост в интервала $\omega_{min} – \omega_{nom}$
 - мощността, която осигурява задвижването, може да нараства от нула до P_h .

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Зона 2

- ▶ Нарича се още „**зона на работа с постоянна мощност**“
 - В нея двигателят може да осигури скорост ω_i , по-висока от номиналната ω_n
 - При тази скорост въртящият момент M е **намален** спрямо неговата номинална стойност и се определя по зависимостта, показана в зона 2 на фигурата

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Важна информация

- ▶ **Трябва да се поясни**, че минималната скорост ω_{min} не е нула, а съответства на честота около 10% - 15 % от номиналната, за която двигателят е проектиран
- за Европа номиналната честота е 50 Hz, и минималната скорост на двигателя съответства на честота 5 - 7 Hz
 - под тази стойност:
 - появяват се механични вибрации, които в повечето случаи са недопустими за технологичните процеси
 - намалява се ефективността на създаване на роторно магнитно поле чрез статорното магнитно поле

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ В областта на втората зона (високите скорости) големината на скоростта се определя не само на база една и съща мощност при различни скорости
- ▶ В тази зона двигателят работи с повищена честота и загубите в него нарастват пропорционално (**на квадрат**) от честотата
- ▶ Мощността, която осигурява въртящ момент, трябва да се намали с мощността на тези загуби

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Производителите на честотни инвертори, предназначени за управление на асинхронни двигатели, посочват работни честоти от 0 до 150-200 Hz
- ▶ Въпреки това те препоръчват работа с минимална честота 5-7 Hz
- ▶ Тези стойности съответстват на максимален диапазон по скорост (30-50):1
- ▶ Същите производители посочват, че при необходимост от съгласувани движения и използване на отделен инвертор за всяко движение, не може да се осигури точност на съгласуване, по-добра от $\pm 20\%$.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

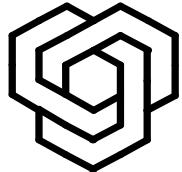
- ▶ Инверторите от повечето производители осигуряват **статичен спирачен момент**, т.е. ефект на механична спирачка, **без такава да е вградена в задвижването**
- ▶ За целта се създава неподвижен вектор най-близък до текущото положение (например OV1 - ключовете K_4 и K_6 са постоянно включени, а ключа K_1 осигурява ШИМ с коефициент на запълване, при които не се превишава допустимия ток през включените фази)
- ▶ Това изисква отделен алгоритъм, който се изпълнява при настъпване на определени условия, например подаване на външен сигнал към предназначен за целта вход на микроконтролера

РЕГЕНЕРАТИВНИ БЛОКОВЕ ЗА ЧЕСТОТНИ ИНВЕРТОРИ

- ▶ Те са значително по-скъпи от спирачните резистори, но при определени условия осигуряват възможност за превръщане на кинетичната енергия в електрическа енергия и връщане на получената електрическа енергия в захранващата мрежа по време на намаляване на скоростта на задвижването
- ▶ Основно изискване за успешното използване на регенеративните блокове е първичната захранваща мрежа да има много стабилни електрически параметри

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 4

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ В МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО – ЧАСТ 3

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

ПОСТОЯННОТОКОВИ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Постояннотоковите електродвигатели се използват при задвижвания в машиностроенето, за които асинхронните двигатели са принципно неподходящи
- ▶ Често от задвижванията се изискват:
 - кратки времена за ускоряване и забавяне
 - голям диапазон от скорости
 - съгласувани движения на работни органи, съответстващи на получени размери и взаимно разположение на повърхнини с 6-8 клас на точност
- ▶ Типични примери са задвижванията за ММ с ЦПУ

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

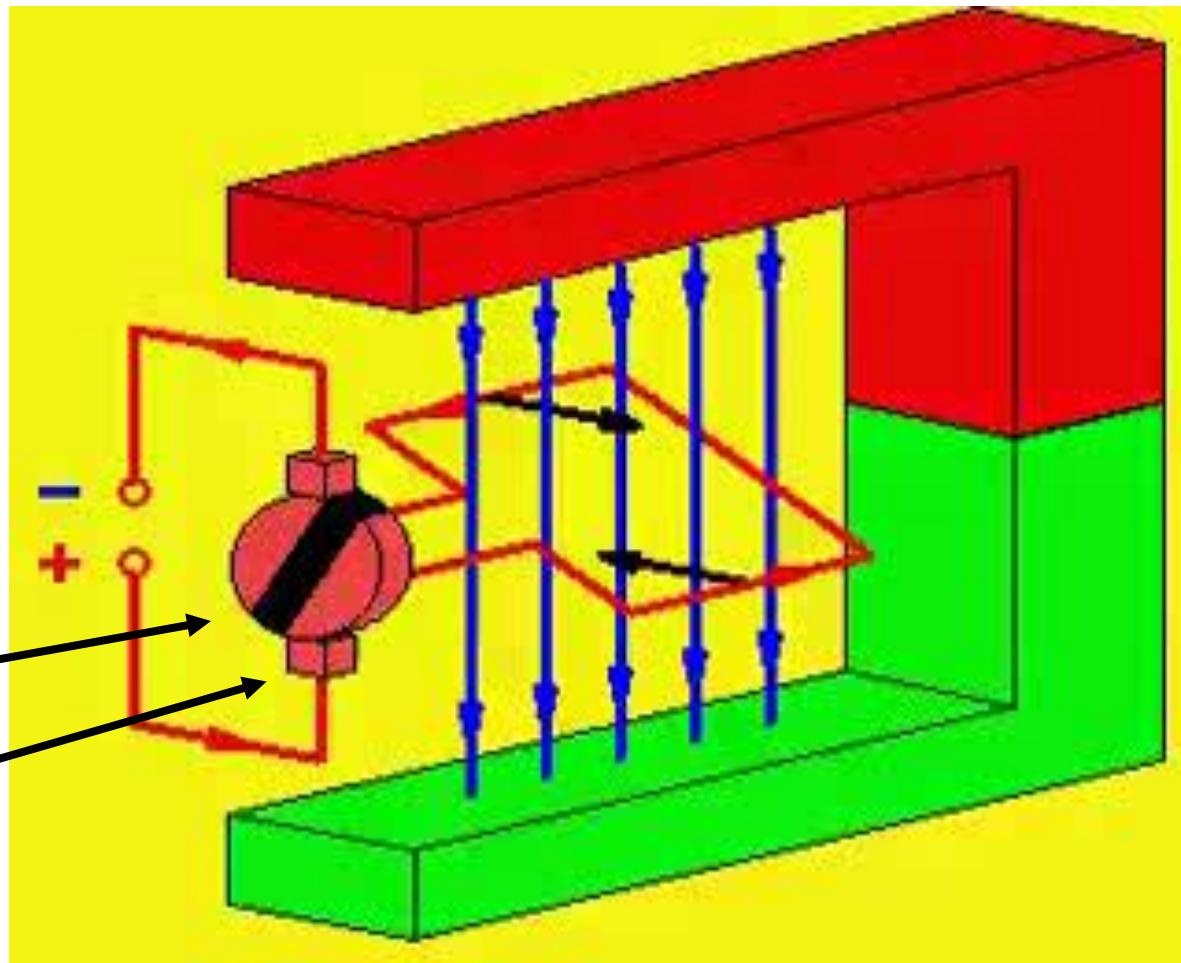
- ▶ Конструкцията на постояннотоковите двигатели също има неподвижна част - **статор** и въртяща се част – **ротор**
- ▶ Всяка от тях създава собствено магнитно поле, независимо от полето на другата част
- ▶ За да се осигури въртене на ротора, роторното поле се създава от намотка, разделена на множество секции
- ▶ Към захранващия източник се включва само тези секции, които в дадения момент от време създават максимален въртящ момент

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

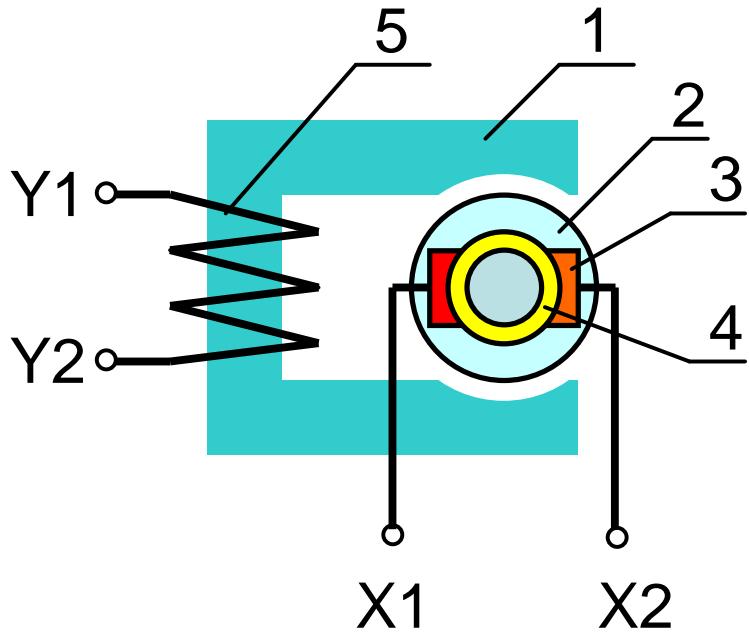
- ▶ Включването се реализира от два електромеханични възела, които са вградени в двигателя
 - първият възел е закрепен неподвижно към корпуса на двигателя и съдържа комплект електропроводими „четки”
 - вторият възел е закрепен неподвижно към ротора и се нарича „колектор”
- ▶ Четките и колектора са в непрекъснат контакт и осигуряват връзката на секциите от роторната намотка с източника на електрически ток

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

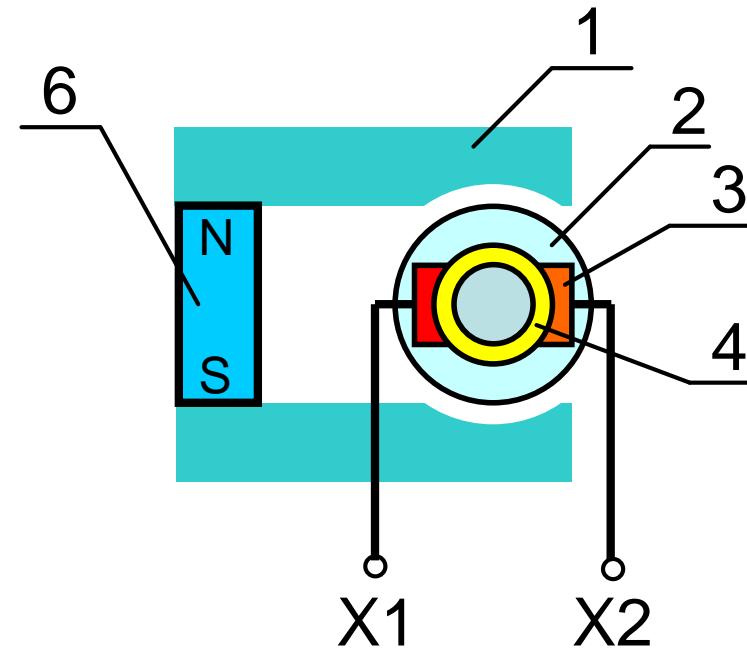
колектор
четки



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



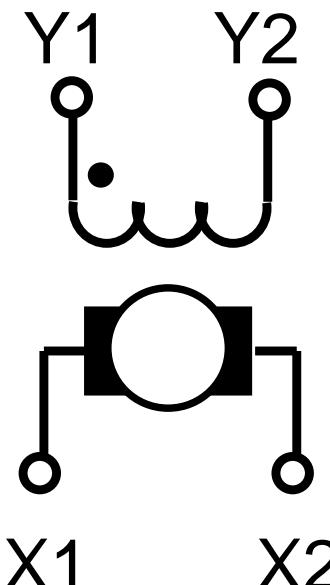
1. Статор
2. Ротор
3. Четки
4. Колектор



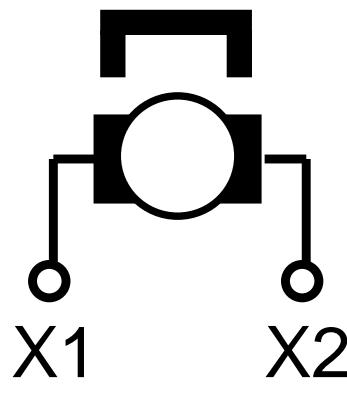
5. Статорна намотка
 6. Постоянен магнит
- X1-X2 – изводи на ротора
Y1-Y2 – изводи на статора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Условни графични означения на електродвигатели
за постоянен ток



а)



б)

- а) с навит статор
- б) с постоянен
магнит в статора

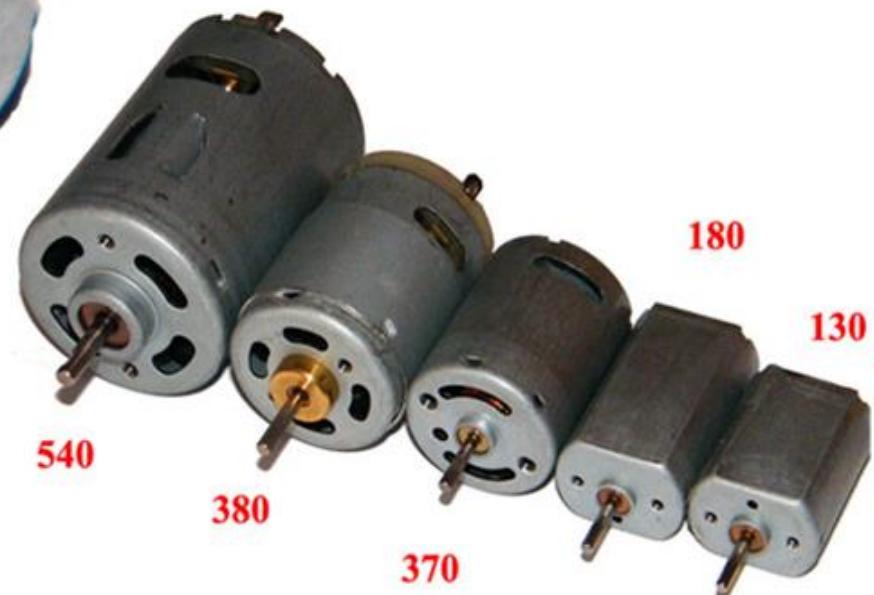
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



MOTOR 370



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

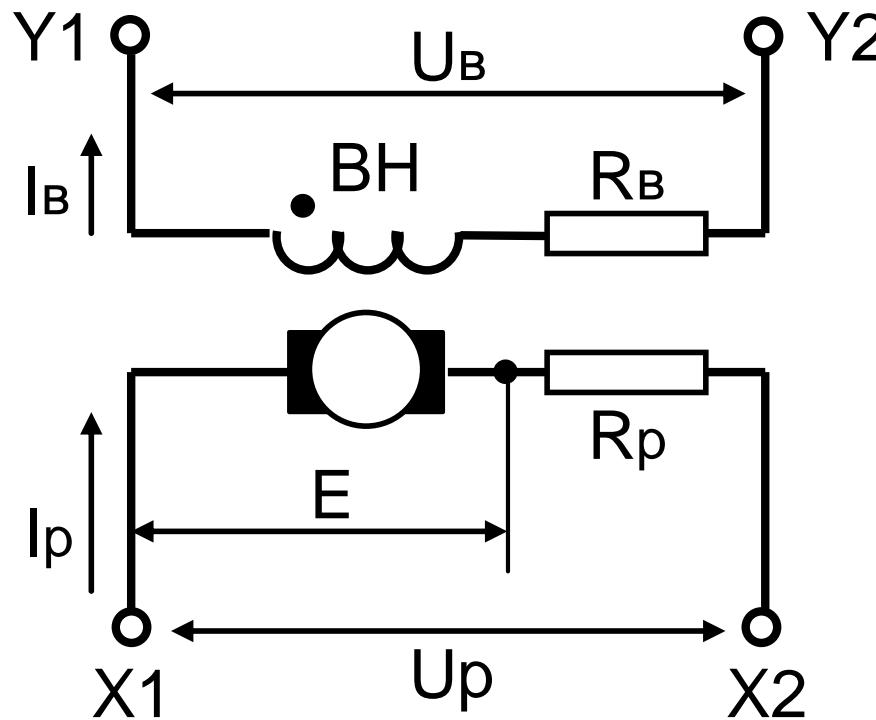


ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Механични характеристики

- ▶ Изразите за статичните механични характеристики на двигателите за постоянен ток са изведени на база еквивалентната им електрическа схема
- ▶ При нея роторната и статорната намотки се представят като идеални със собствено съпротивление равно на нула, а действителните им съпротивления да се представят чрез свързаните към тях резистори R_p и R_b .

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

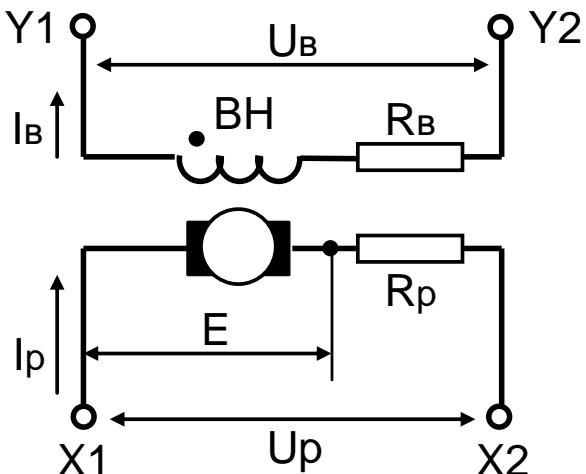


Механичните характеристики на тези двигатели **са в пряка зависимост** от свързването на роторната и статорната намотки към източника на електрическа енергия.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

ДВИГАТЕЛ С НЕЗАВИСИМО ВЪЗБУЖДАНЕ

- ▶ За двигател с независимо възбуждане роторната и статорната намотки са свързани към независимите източници U_p и U_b



U_p – източник за
веригата на ротора

U_b – източник за
веригата на статора

- ▶ Механичните характеристики се представят аналитично чрез изразите:

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

$$\varpi = \frac{E}{c.\Phi} = \frac{Up - Ip.Rp}{c.\Phi} = \frac{Up}{c.\Phi} - \frac{Ip.Rp}{c.\Phi} \quad (4.9)$$

$$M = c.\Phi.Ip \quad (4.10)$$

$$\Phi = k.I_{\mathcal{B}} = \kappa \cdot \frac{U_{\mathcal{B}}}{R_{\mathcal{B}}} \quad (4.11)$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- E – електродвижещо напрежение на ротора;
- U_r – напрежение на източника за роторната намотка;
- C – константа на роторната верига на двигателя;
- K – константа на статорната верига на двигателя;
- I_p – ток през роторната намотка;
- R_p – активно съпротивление на роторната намотка;
- R_s – активно съпротивление на статорната намотка;
- Φ – магнитен поток на статора.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ За да се представят механичните характеристики в координатната система $M-\omega$ може да се определи I_p от (4.10) и да се замести в (4.9), при което се получава:

$$\varpi = \frac{Up}{c\cdot\Phi} - M \cdot \frac{Rp}{c^2 \cdot \Phi^2} \quad (4.14)$$

Сравняването на този израз с израза:

$$\omega = \omega_0 - b \cdot M \quad (1.8)$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

позволява следните приравнявания:

Скорост на празен
ход ϖ_0

$$\varpi_0 = \frac{Up}{c.\Phi}$$

Коефициент на
наклона b

$$b = \frac{Rp}{c^2.\Phi^2}$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

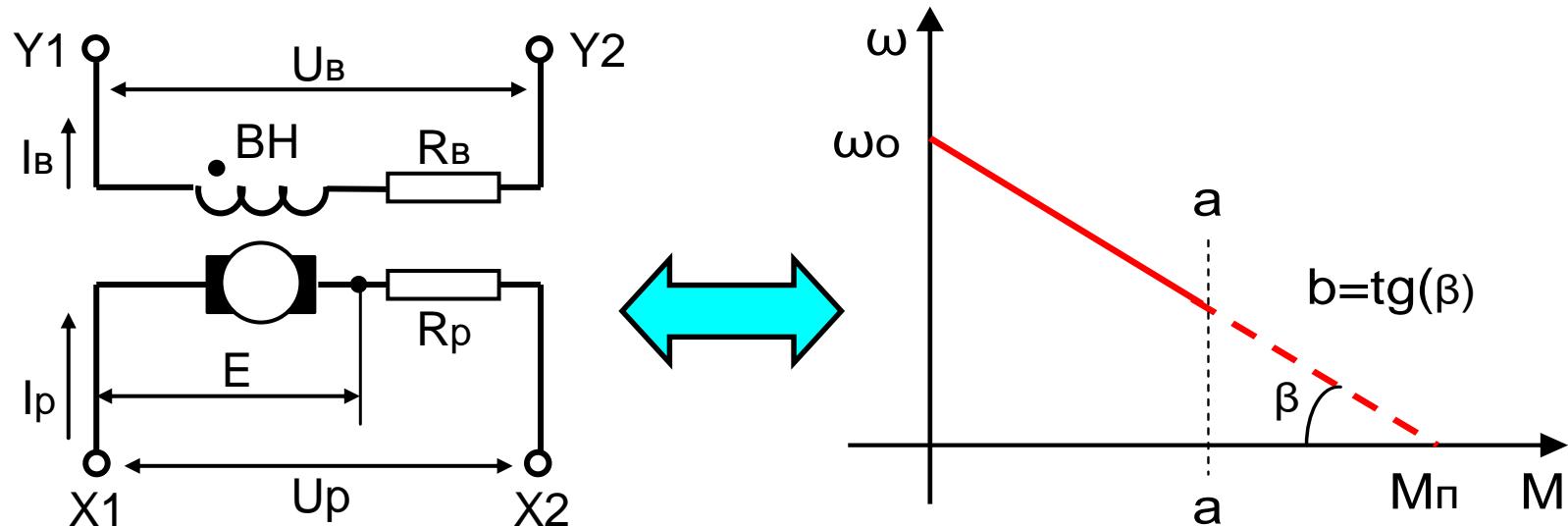


Схема на
свързване

Механична
характеристика

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

ДВИГАТЕЛ С ПОСЛЕДОВАТЕЛНО ВЪЗБУЖДАНЕ

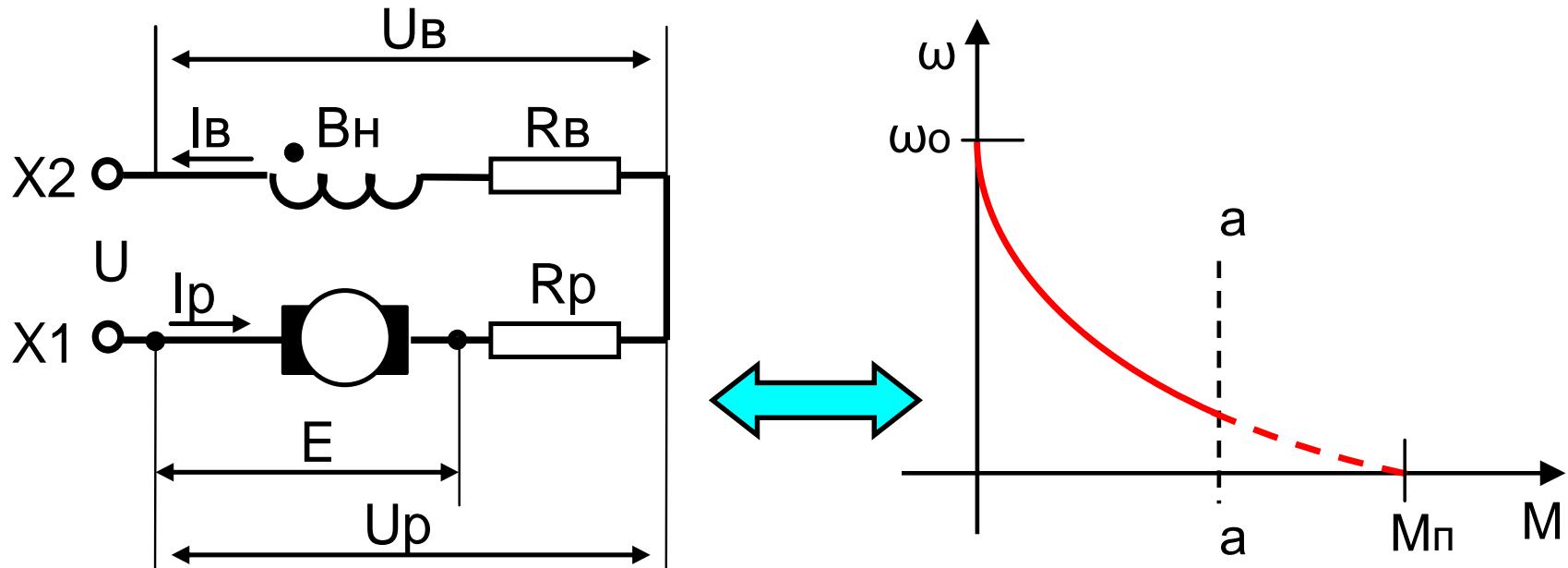


Схема на
свързване

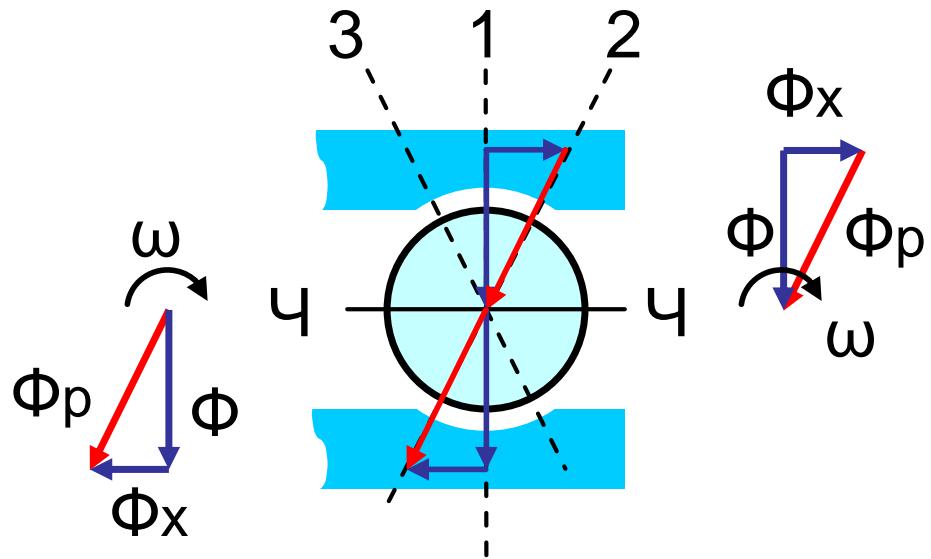


Механична
характеристика

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При задвижване на работни органи на металорежещи машини от двигателите се изисква ***широк диапазон от скорости*** в двете посоки и ***големи ускорения***
- ▶ Това налага използване на двигатели с голям въртящ момент, получаван за сметка на ***големи стойности на тока*** през роторната намотка
- ▶ При тези стойности се засилва действието на вредно явление, известно като „***реакция на ротора***”
- ▶ То се изразява в геометричното изместване на симетралата на възбудителния поток Φ и предизвиква разлика в механичните характеристики на двигателя за двете посоки на движение.

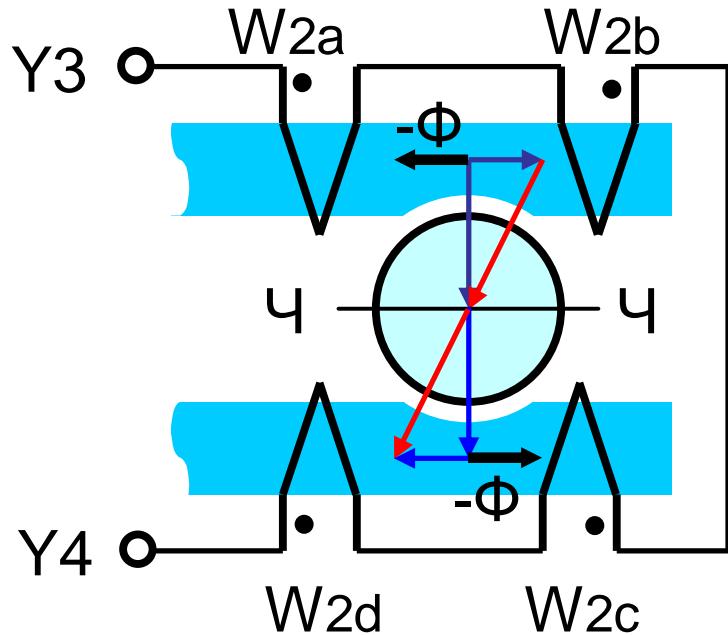
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



В идеалния случай трябва $\Phi_x = 0$ за всички стойности на въртящия момент.

- 1 Симетрала на полето при $\omega = 0$
- 2 Симетрала на полето при $\omega = \omega_1$
- 3 Симетрала на полето при $\omega = -\omega_1$
- Ч Ч Линия на четките

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



**Компенсиране на Φ_x
($\Phi_x=0$)**

- ▶ Намотките W_{2a} – W_{2d} създават поток $\Phi = -\Phi_x$
- ▶ Компенсират автоматично Φ_x , ако през тях тече ток, равен на тока през ротора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Компенсиране наклона на механичната характеристика

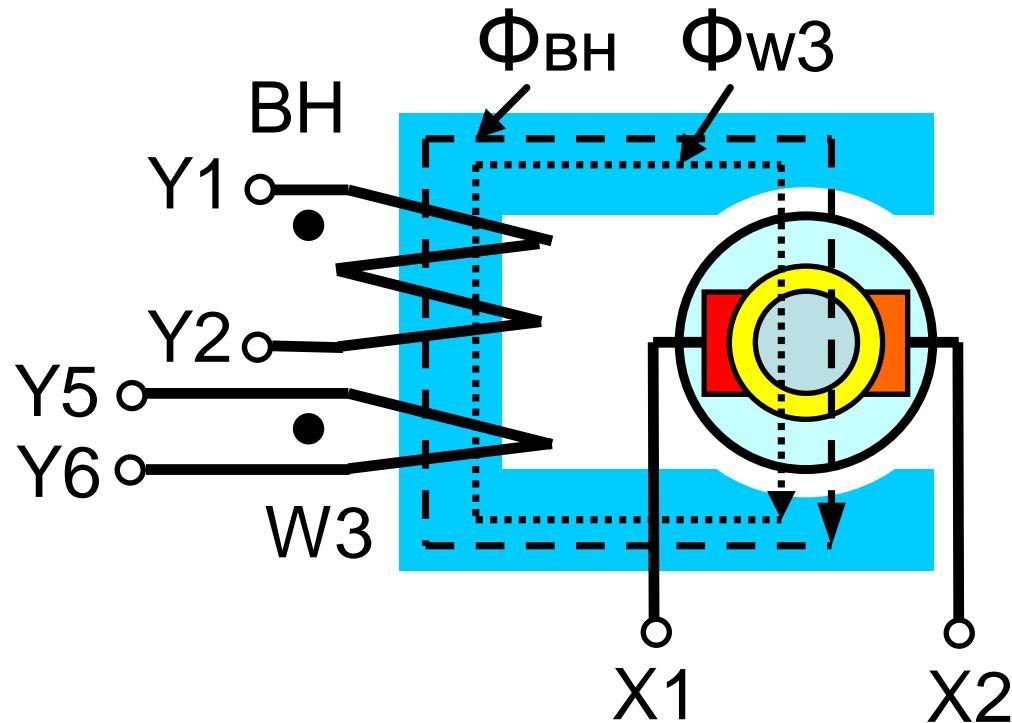
Наклона на механичната характеристика се определя от втория член на (4.14):

$$M \cdot \frac{Rp}{c^2 \cdot \Phi^2}$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

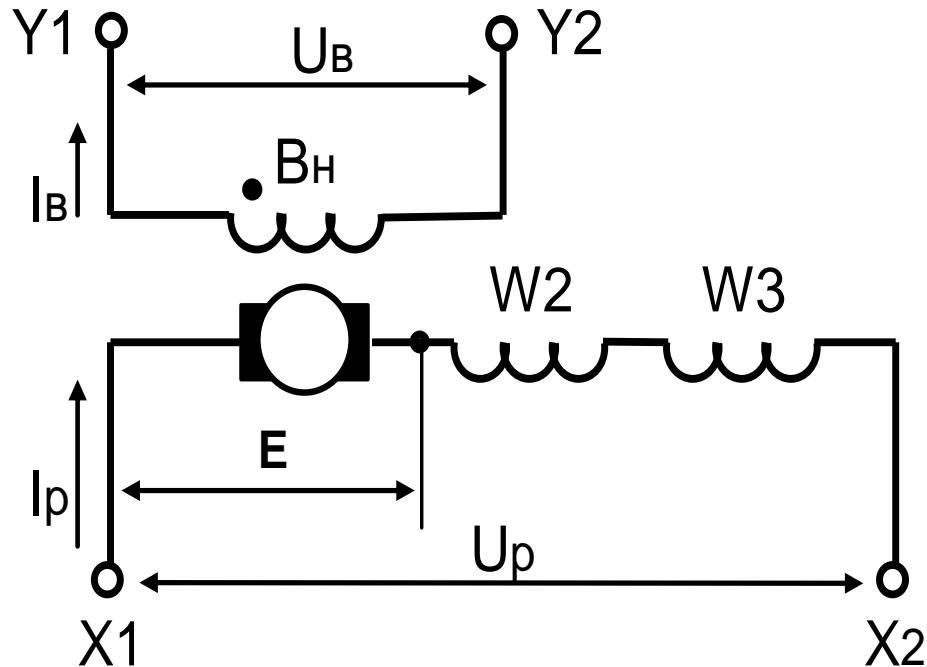
- ▶ Неговата стойност може да се намали чрез увеличаване на магнитния поток Φ
- ▶ Едно добро и не сложно решение е **увеличаването на потока Φ в зависимост от момента M** с който е натоварен двигателът
- ▶ Това се постига чрез използване на **отделна намотка W3**, (различна от всички разгледани досега) която е разположена на отделни полюси в статора и през която също преминава целия ток на ротора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



- ▶ Чрез точките Y_5 и Y_6 намотката W_3 се свързва към роторната верига и създава допълнителен магнитен поток, който се сумира с основния от BH

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Електрическо
свързване на
намотките B_H , W_2 и
 W_3 при
постояннотоков
двигател за ММ с ЦПУ

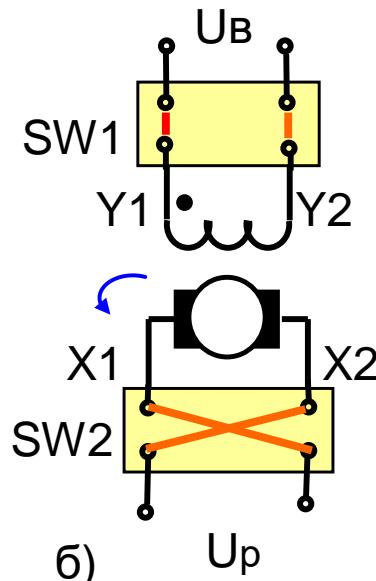
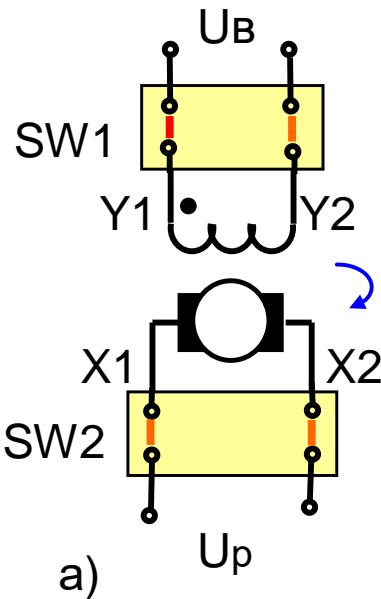
- ▶ Роторната верига се свързва към системата за управление чрез точките X_1 и X_2
- ▶ Статорната верига се свързва към системата за управление чрез точките Y_1 и Y_2

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на посоката на движение на електродвигател за постоянен ток

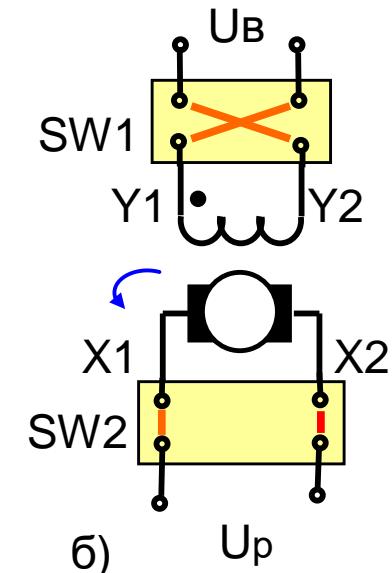
- ▶ Принципите на това управление са **същите, както за всички видове електродвигатели** и се изразяват в променяне на взаимното ориентиране на посоките на роторното и статорното магнитни полета
- ▶ Тъй като двете полета се създават от **независими източници, възможностите за промяната на посоката са няколко**
- ▶ Чрез средството **SW1** се променя посоката на статорното поле, а чрез **SW2** – на роторното

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Променяне посоката на
роторното магнитно поле

Време 0.15-1.2 s



Променяне посоката на
статорното магнитно
поле

Време 1-5 s

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Изключително важна особеност е, че когато се превключва посоката на тока, във възбудителната намотка ще има продължителен период, през който потокът Φ е намален или с нулева стойност
- ▶ В съответствие с изрази (4.11- 4.13) скоростта w нараства много (**теоретично до безкрайност**) при което се получават механични повреди на ротора и лагерите
- ▶ **Това налага да се използват допълнителни средства за управление на $SW2$ по време на сменяването на посоката чрез $SW1$.**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта на електродвигател за постоянен ток

- Реалните възможностите за управление на скоростта следват от израза:

$$\omega = \frac{Up}{c \cdot \Phi} - M \cdot \frac{Rp}{c^2 \cdot \Phi^2} \quad (4.14)$$

- Те са чрез изменение на:
- напрежението на ротора Up
 - сумарното активно съпротивление в роторната верига Rp
 - възбудителния поток Φ

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез изменение на напрежението на ротора Up

- ▶ Скоростта ω е линейна функция на Up
- ▶ Техническите средства за това изменение са различни, но основно се използва **широкично-импулсната модулация**
- ▶ Системата за това изменение е подобна на тази за асинхронния двигател, като разликите са, че липсват два ключа (K5 и K6), тъй като няма необходимост от тях
- ▶ Роторната верига на двигателя е свързана към точките А и В
- ▶ Алгоритъма на работа на микроконтролера е в съответствие с уравнение (4.14)

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Стойностите на R_p , C и Φ са въведени като константи
- ▶ Моментът M , с който е натоварен двигателят и неговата скорост ω , непрекъснато се измерват чрез подходящи сензори
- ▶ Този подход осигурява скорости от части от оборота за 1 минута до номиналната скорост на двигателя независимо от големината на въртящия момент

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез изменение на възбудителния поток Φ

- ▶ Възбудителният поток Φ може **само да се намалява** по отношение на неговата номинална стойност
- ▶ Увеличаването му е невъзможно, тъй като ще предизвика претоварване на възбудителната верига
- ▶ От (4.14) следва, че скоростта ω може само да се увеличава спрямо нейната номинална стойност в рамките на намаление на възбудителния поток до стойност, достатъчна за осигуряване на необходимия въртящ момент

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Този начин на управление се използва за увеличаване на диапазона от скорости
- ▶ За главни преводи на ММ се прилагат „**двузонови**“ задвижвания, които съчетават посочените начини
- ▶ В „**първата**“ зона
 - възбудителният поток Φ има постоянна стойност, равна на номиналната
 - скоростта се управлява чрез изменение на Up от нула до неговата номинална стойност
 - За всяка скорост двигателят може да се натоварва с момент в границите от нула до номиналния

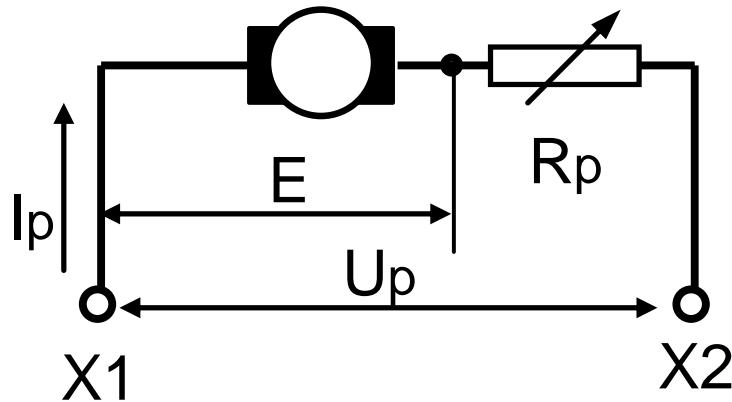
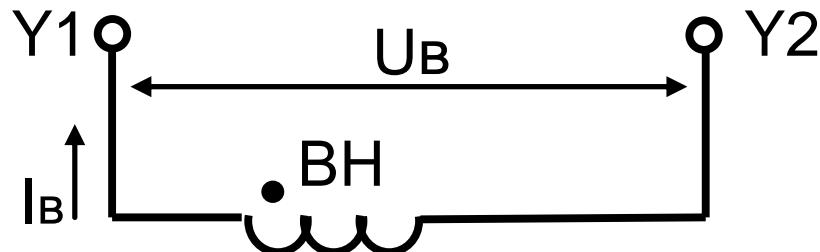
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► Във “*втората* зона”

- напрежението на ротора U_r е постоянно и равно на номиналното
- управлението на скоростта е само чрез намаляването на възбудителния поток Φ
- скоростта се изменя от номиналната до максималната
- на всяка скорост съответства един единствен максимално допустим момент

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта чрез изменение на сумарното активно съпротивление R_p в роторната верига

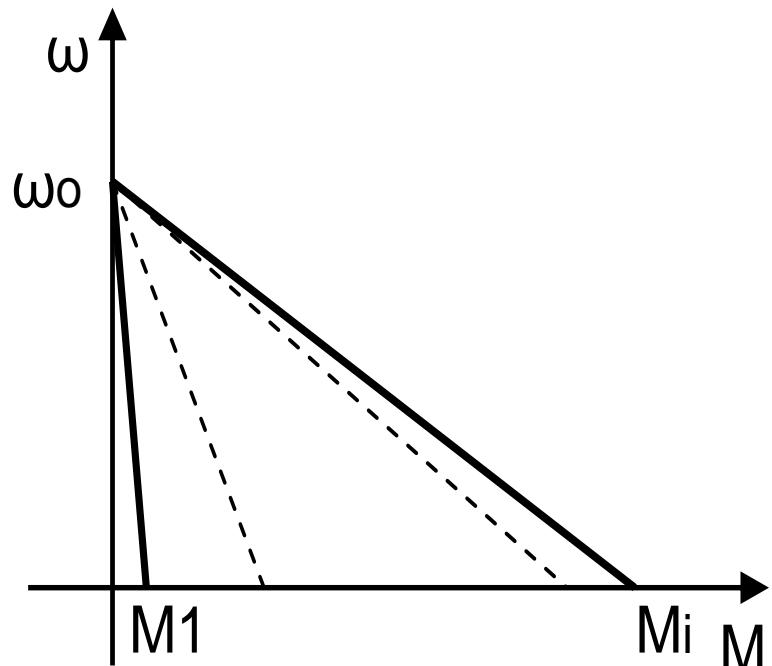


Еквивалентна
схема

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

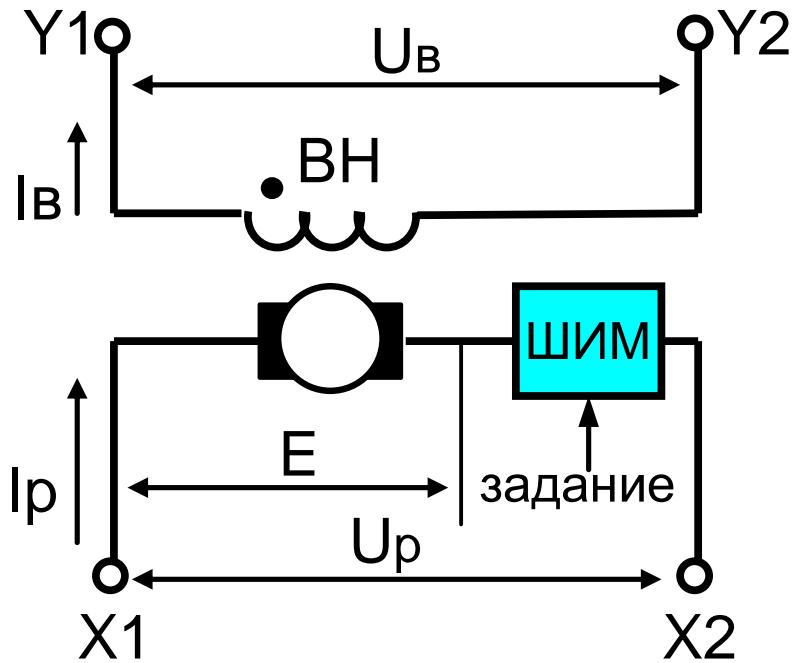
- ▶ От (4.14) следва, че се изменя и наклона (твърдостта) на механичната характеристика
- ▶ Това позволява характеристиката да се пригажда към изискванията на конкретни технологични процеси
- ▶ Типични случаи:
 - завиване / отвиване на резбови съединения,
 - захващане и манипулиране на тънкостенни или крехки детайли
 - сглобяване на детайли чрез пресоване и др.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



- ▶ Възможните механични характеристики за въртящ момент M са в интервала M_1-M_i
- ▶ Когато моментът (силата) са по-малки от зададените, скоростта на движение е висока и се постига висока производителност
- ▶ Когато моментът е равен на зададения, скоростта на задвижването е нула и технологичният процес е завършил.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



- ▶ В реалните задвижвания, използващи този начин за управление на скоростта, резисторът R_p се заменя с устройство за широчинно импулсна модулация ШИМ
- ▶ То работи в режим на поддържане постоянна стойност на тока I_p , в съответствие със заданието за въртящ момент M_1-M_i .

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

СТЪПКОВИ ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Стъпковите електродвигатели, за разлика от всички останали типове електродвигатели, притежават уникални способности:
 - да **преместват своя ротор** (при ротационни двигатели) или **плъзгач** (при линейни двигатели) **на точно определено ъглово или линейно разстояние**
 - това разстояние се нарича „**стъпка**“ и от него произлиза названието на двигателя
 - да **остават в новото положение за неограничено дълго време**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Основната причина за тяхното разпространение е, че те много сполучливо и ефикасно се съчетават със системи за управление от цифров тип с ниска степен на сложност
- ▶ Необходимото положение на работния орган се постига чрез преместване на определен брой стъпки в нужната посока
- ▶ Най-голямо разпространение са получили стъпковите двигатели за ротационно движение. Те се състоят от неподвижна част - статор и въртяща се част - ротор.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ **Статорът** на стъпковия двигател се изработка с явни полюси и съдържа 1-6 (в някои случаи и до 10) фази

- ▶ **Роторът** се изработка също с явни полюси, към него не се подвежда електрическа енергия и може да бъде един от следните три типа:

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► 1. Роторът е изработен от магнитно мек материал с определен брой полюси

- за двигател с такъв тип ротор в българската литература е прието названието **“Реактивен стъпков двигател”**
- за същия тип двигател в англо-езичната литература е прието названието **“Variable reluctance step motor”**
- Двете названия отразяват **едно и също явление**, същността на което е, че роторът застава в положение, осигуряващо **максимално индуктивно (реактивно) съпротивление** на включените фази

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► **2. Роторът е изработен от постоянен магнит с определен брой полюси**

- за двигател с такъв тип ротор в българската литература е прието названието “**Стъпков
двигател с ротор от постоянни магнити**”
- за същия тип двигател в англо-езичната литература е прието названието “**Permanent
magnet step motor**”

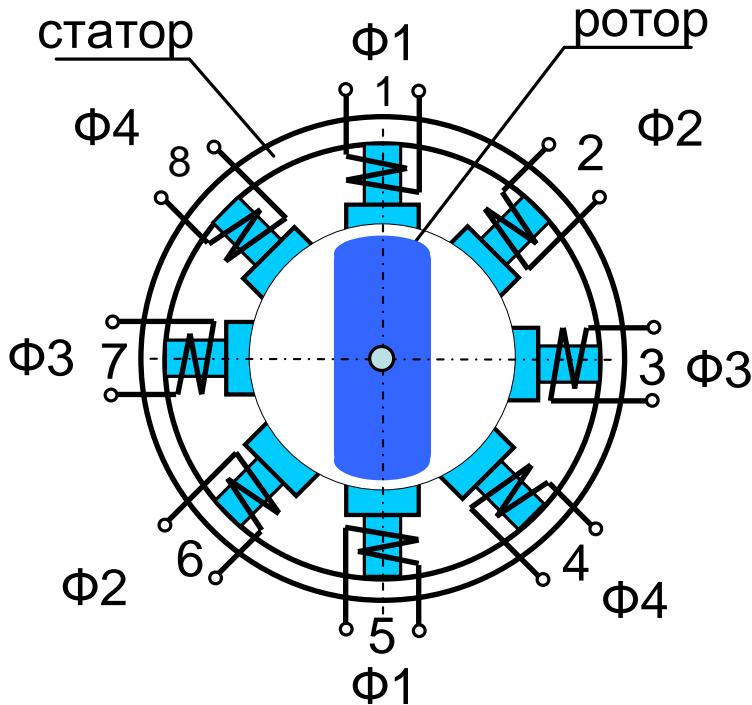
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ **3. Конструкцията на ротора представлява комбинация между конструкциите на роторите на реактивния двигател и на двигателя с ротор от постоянни магнити**
 - двигател с такъв ротор е прието да се нарича **“хибриден стъпков двигател” (“Hybrid step motor”)**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Реактивен стъпков двигател

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Конструкция на двигателя

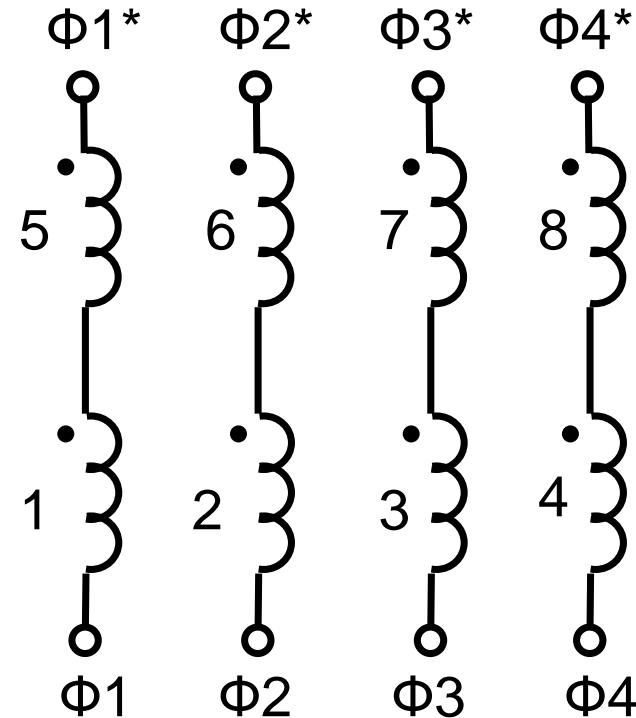
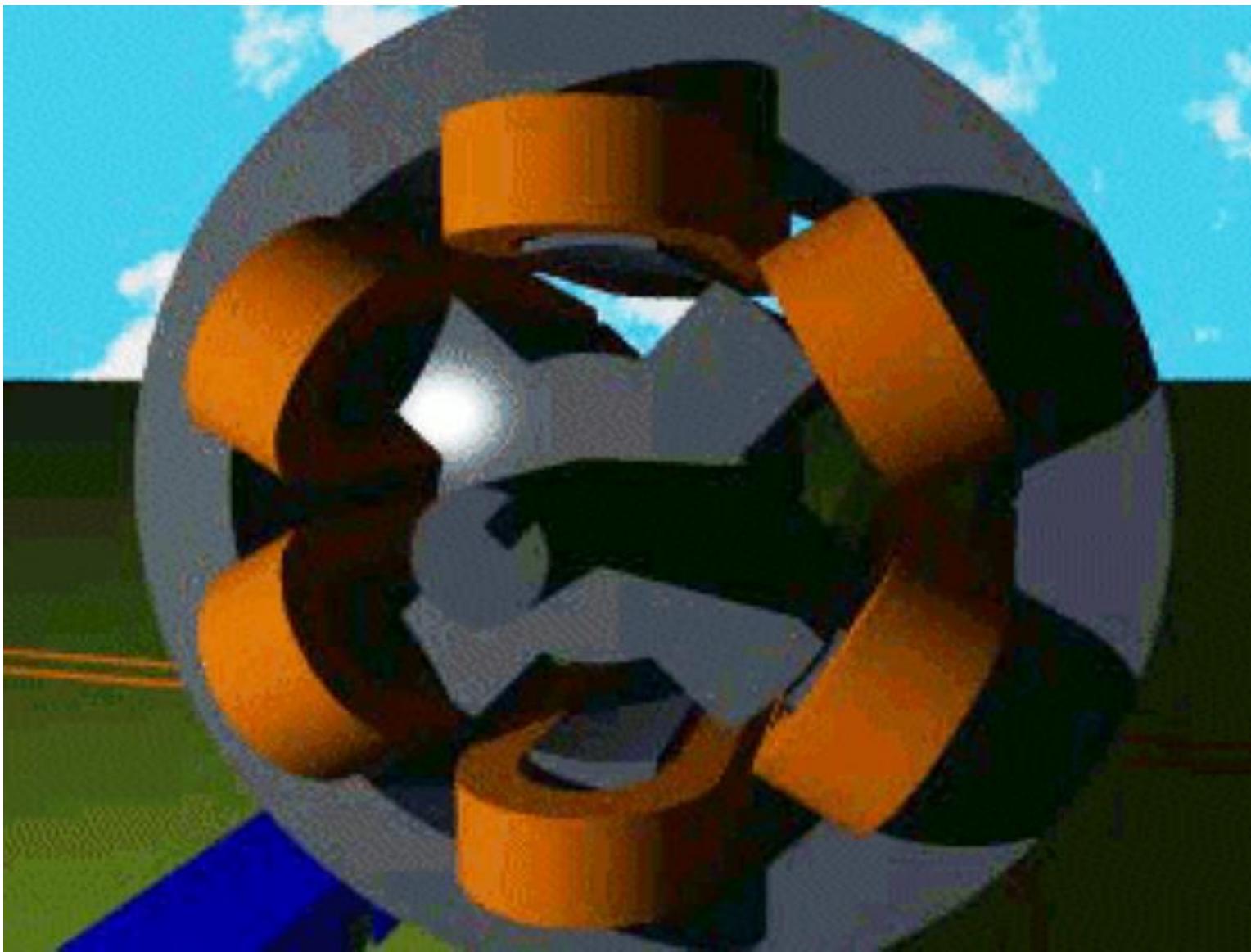
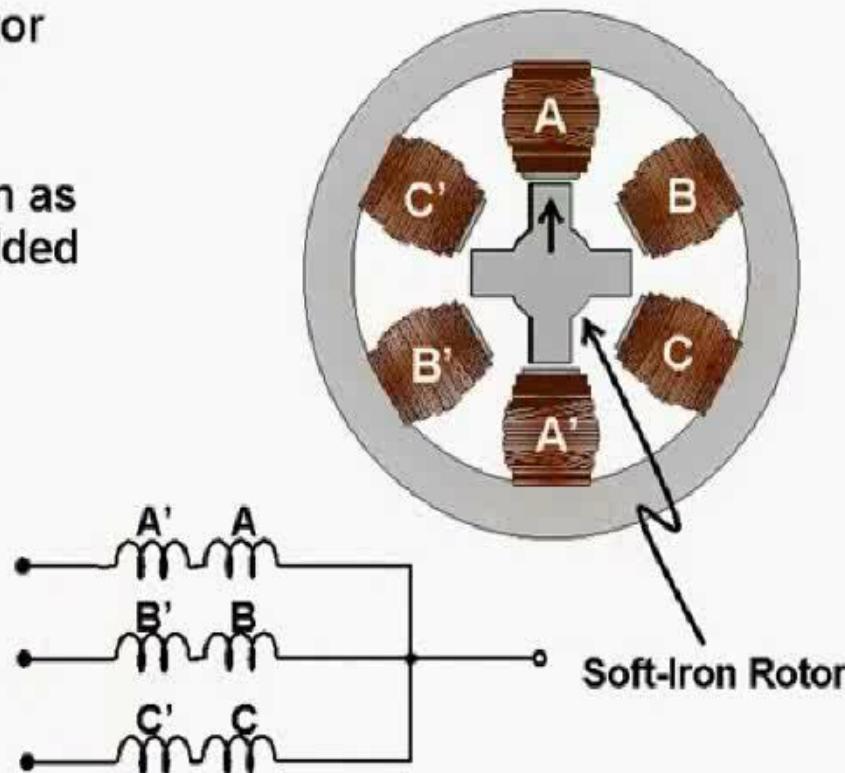


Схема на статора



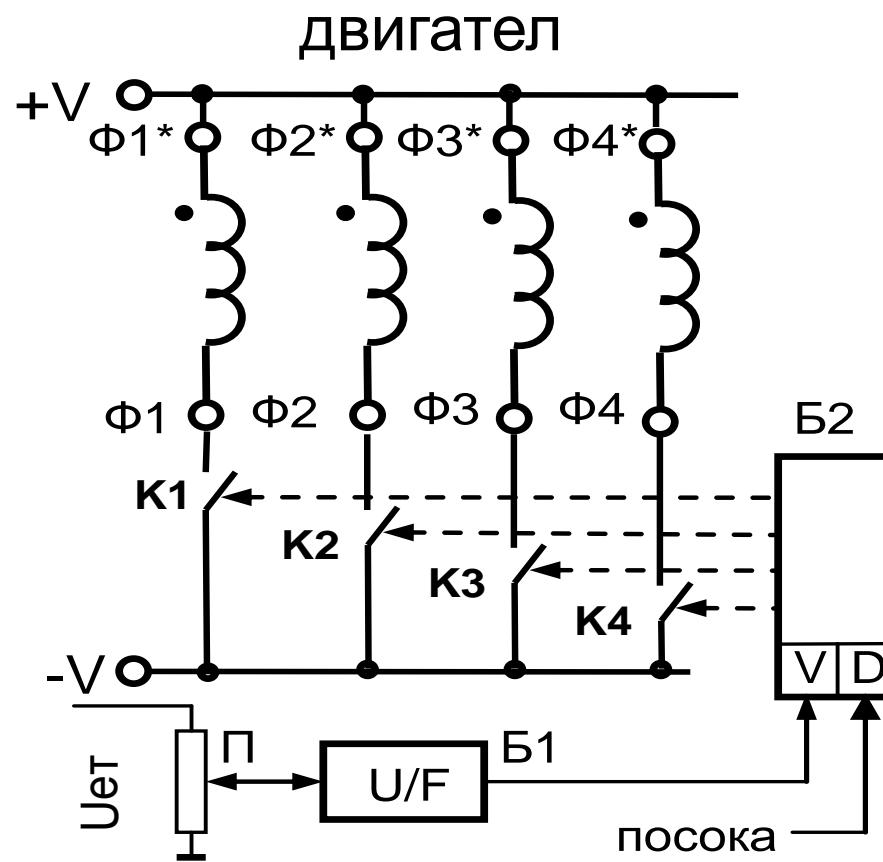
Variable Reluctance

- Non-magnetic rotor
 - Made of soft-iron
- Greater resolution as more teeth are added



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

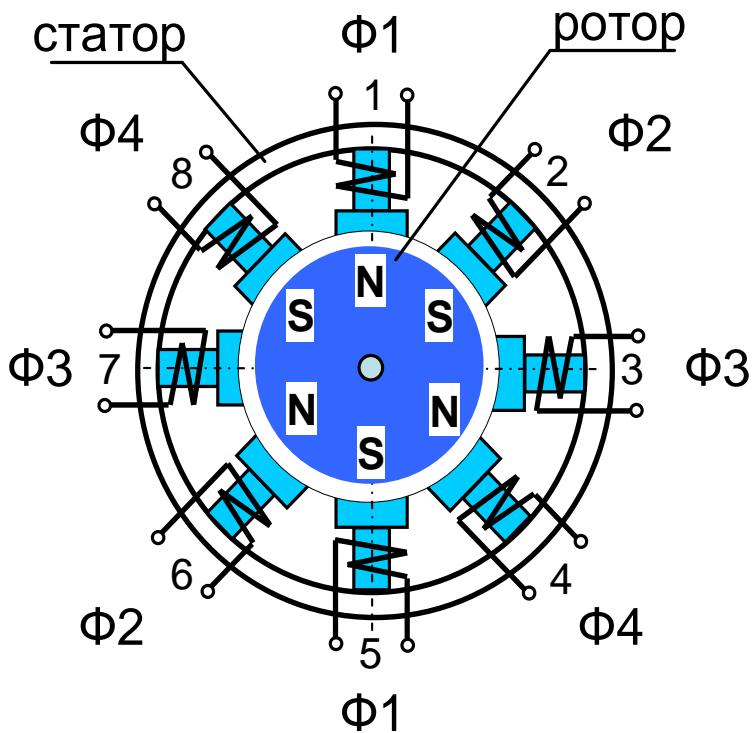
Структура на стандартна система за управление
на реактивен (Variable reluctance) стъпков
двигател



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Стъпков двигател с ротор от постоянни магнити

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Конструкция на двигателя

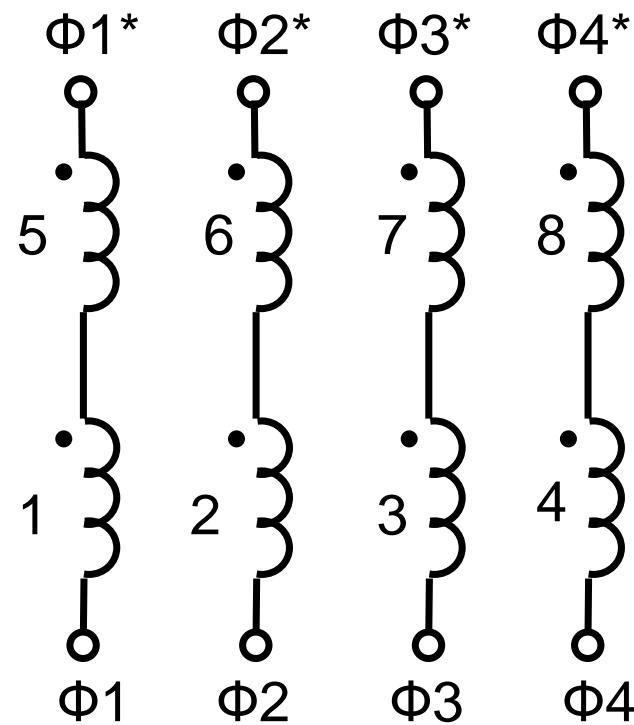
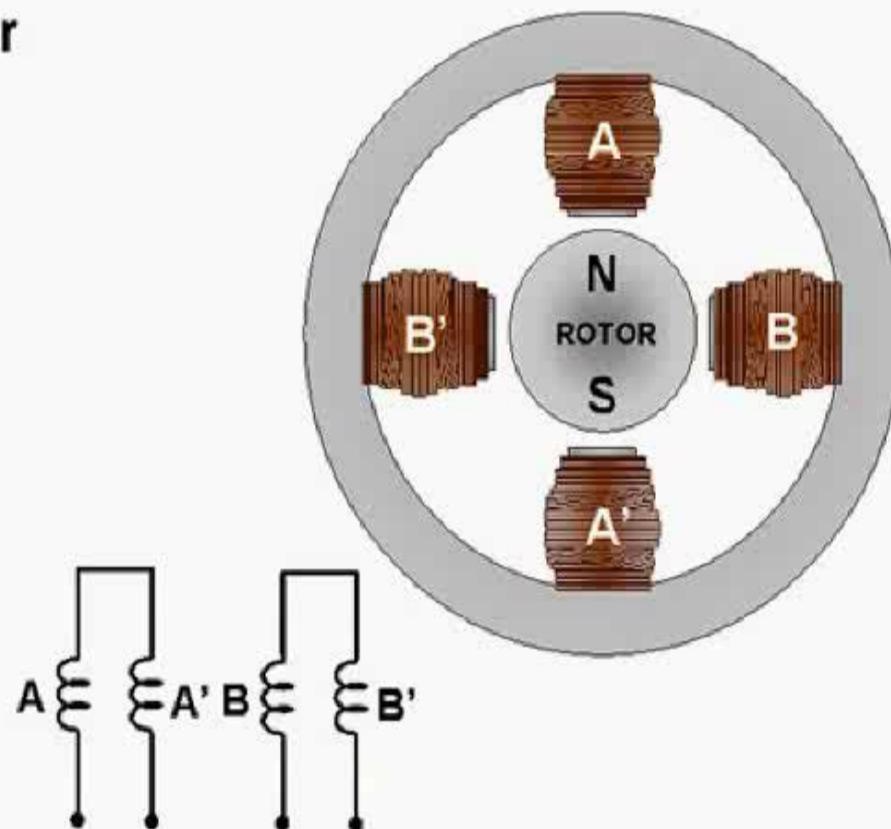


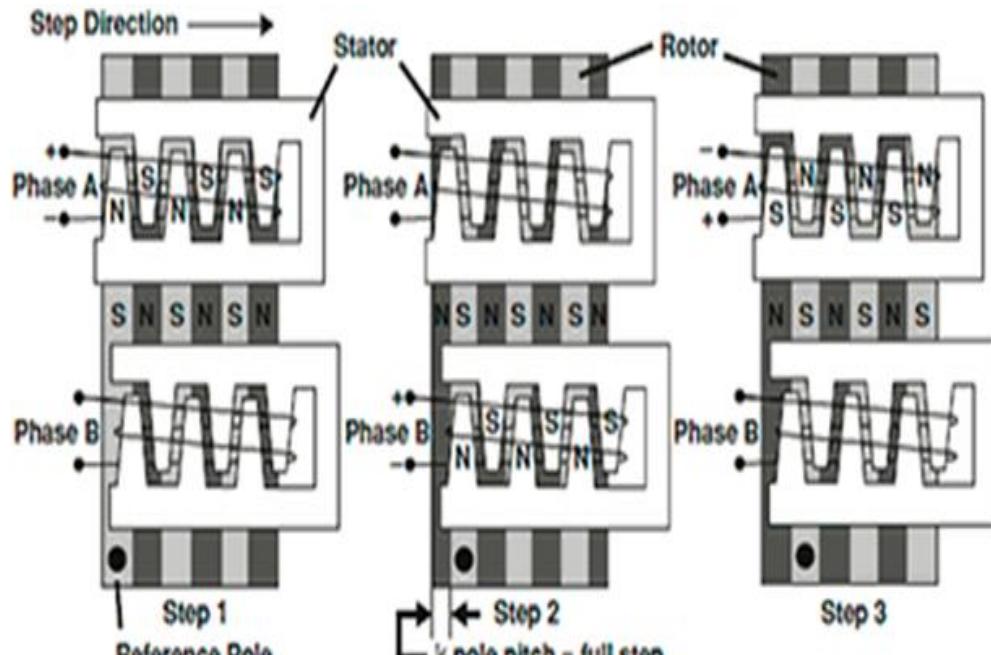
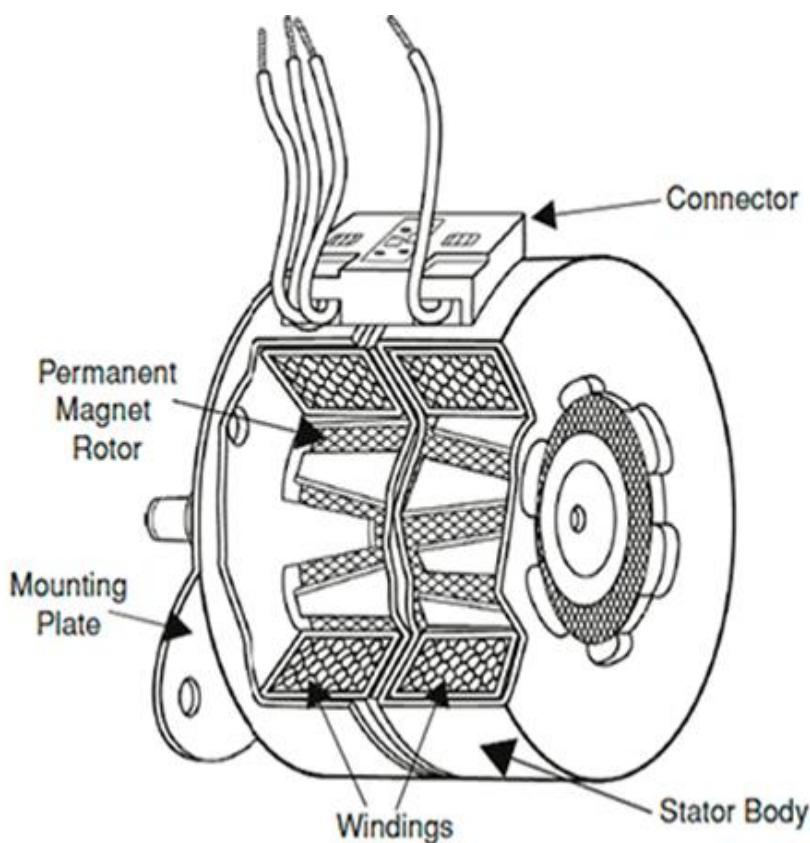
Схема на статора

Permanent Magnet Motor

- Magnetic Rotor



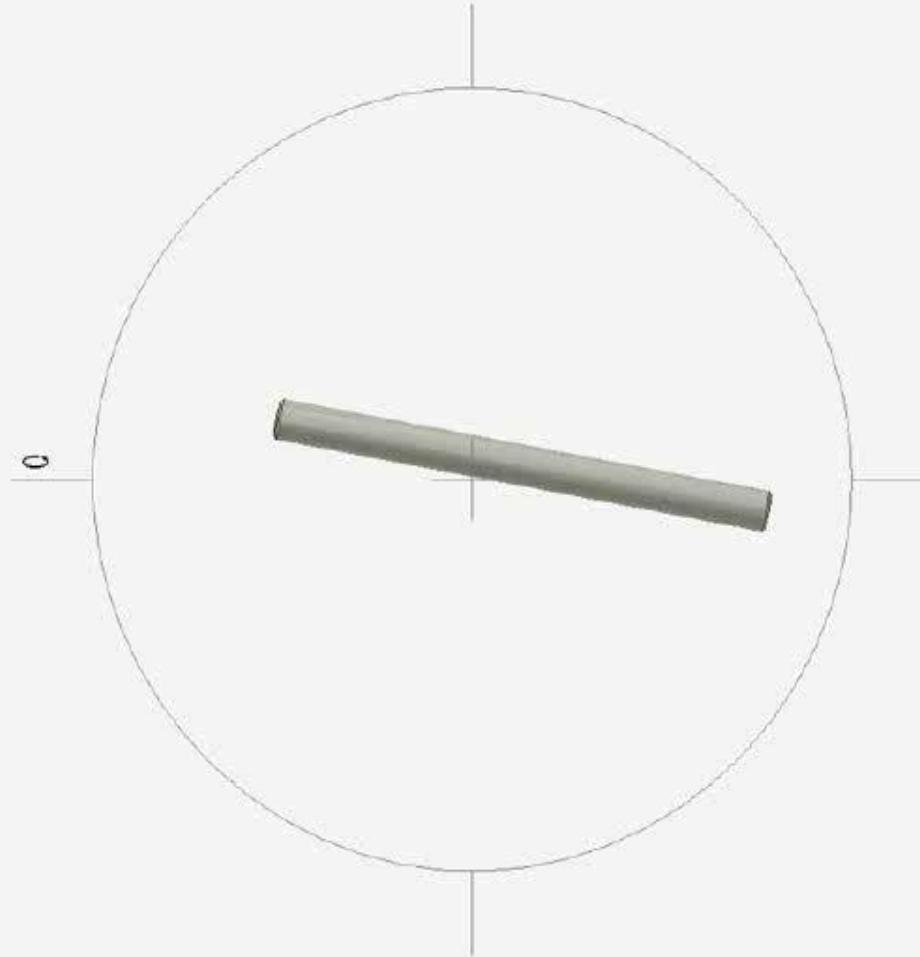
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



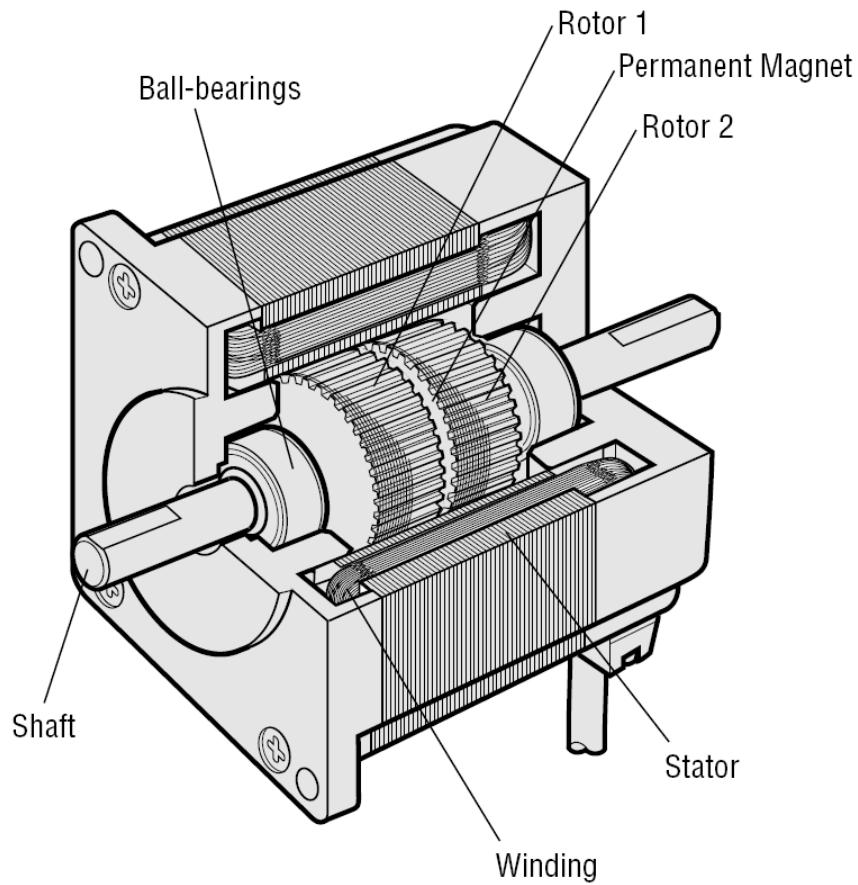
Конструкция и
изпълнение на стъпките

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Хибриден стъпков двигател

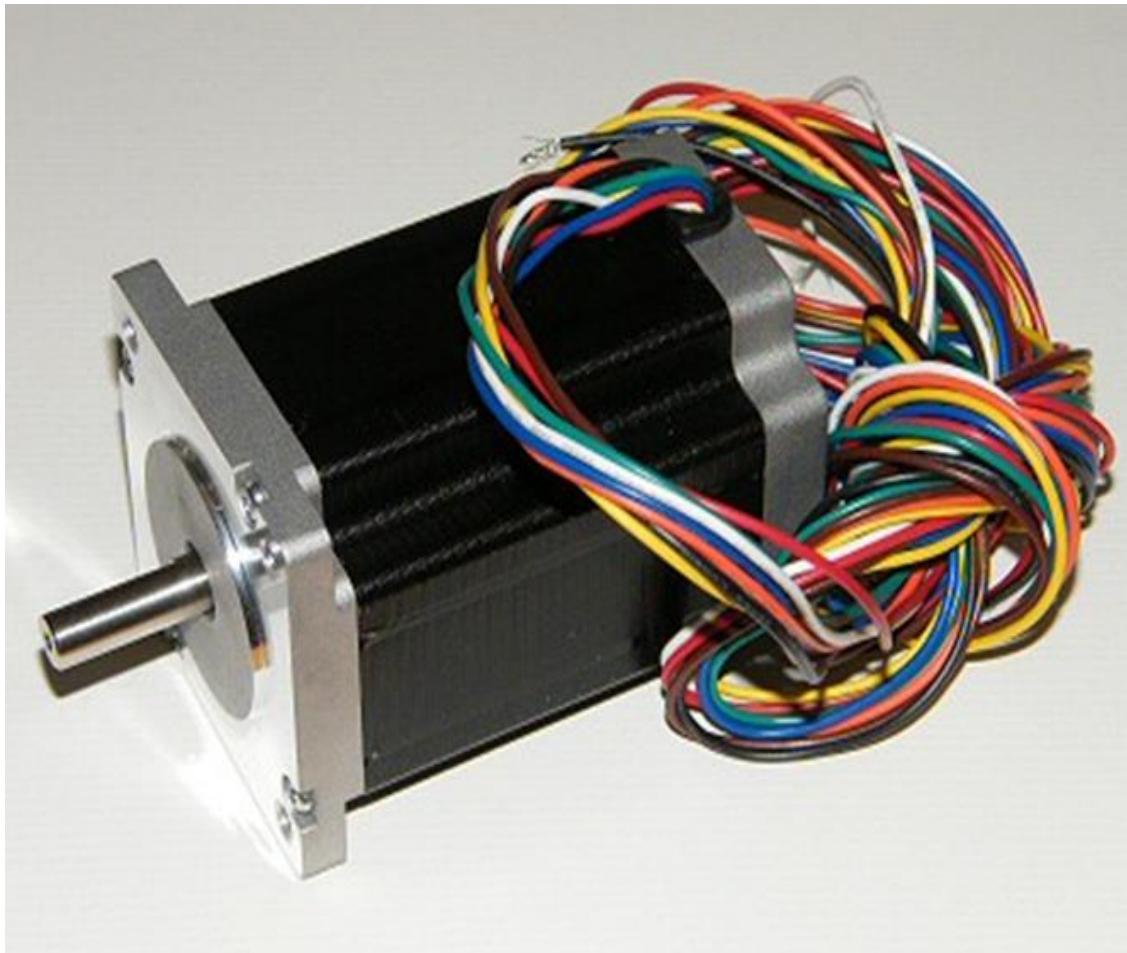


ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Конструкция на
хибриден стъпков
двигател

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

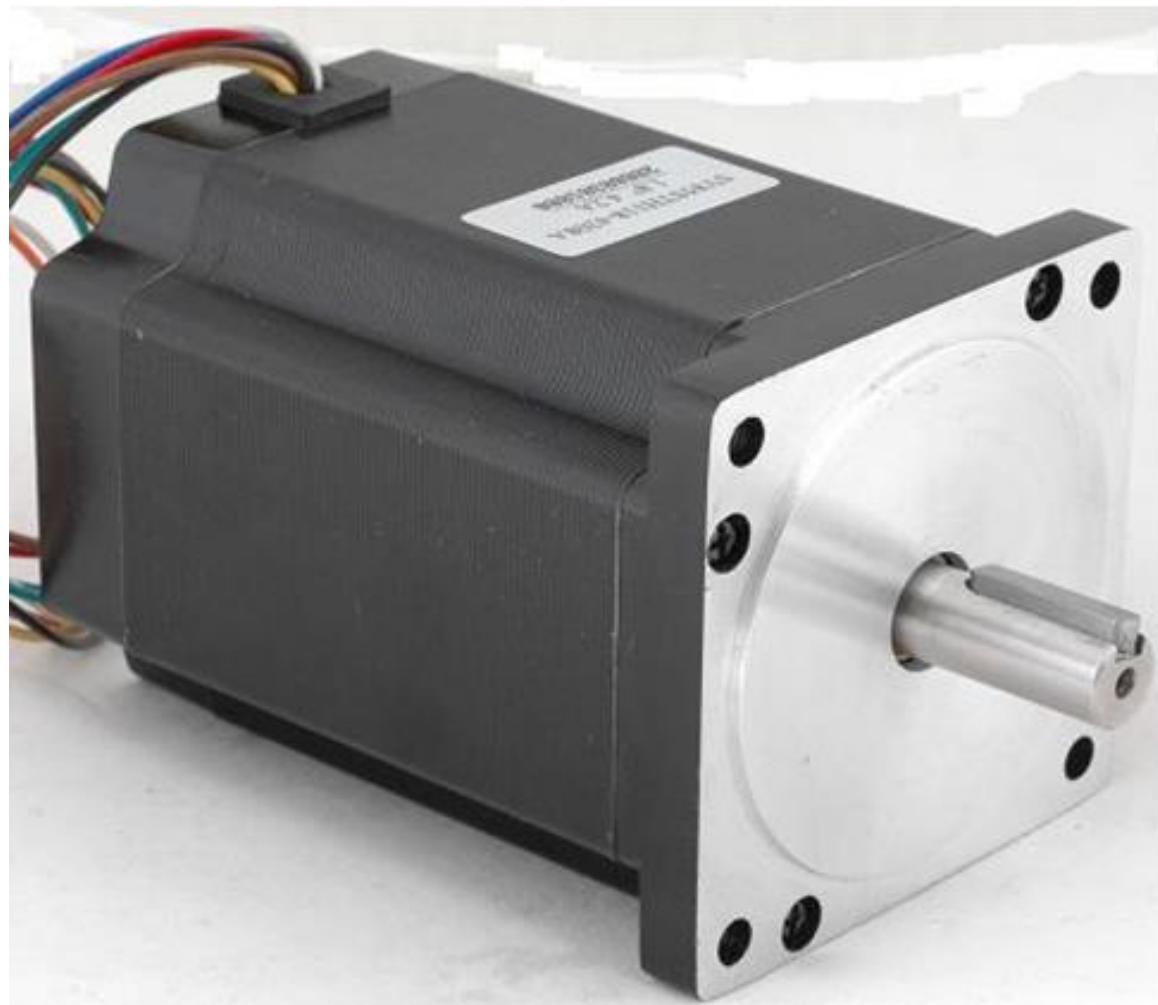


Външен вид на хибриден стъпков двигател

Основни параметри:

- Момент – 3.1 Nm
- Фази – 4
- 5V/5A на фаза (прим.)
- Стъпка 1.8°
- Размери 60x60x88 мм (без вала)
- Вал Ø8x22
- Тегло 1.4 кг (прибл.)

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



**Външен вид на
хибриден
стъпков
двигател**

Основни
параметри:

- Момент – 5 Nm
- Фази – 4
- Стъпка 1.8°
- Тегло 7.8 кг

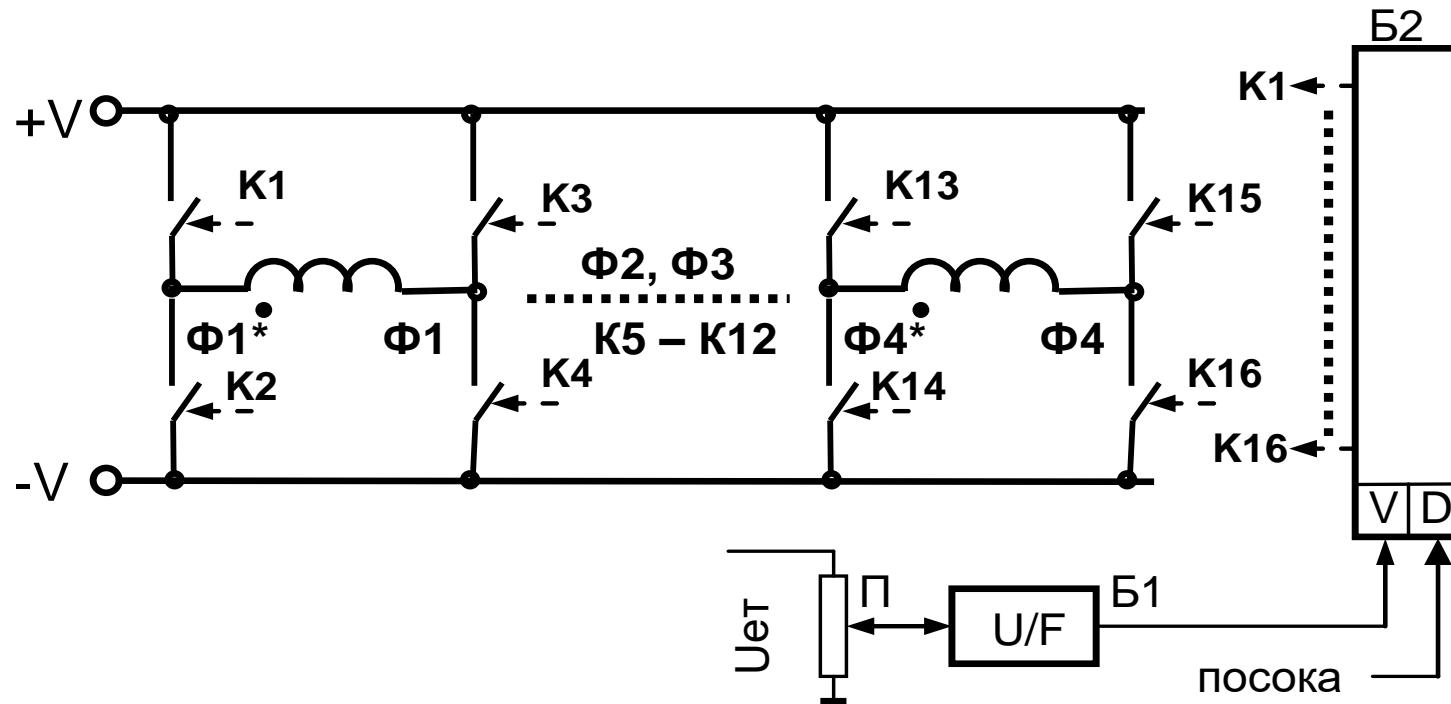
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



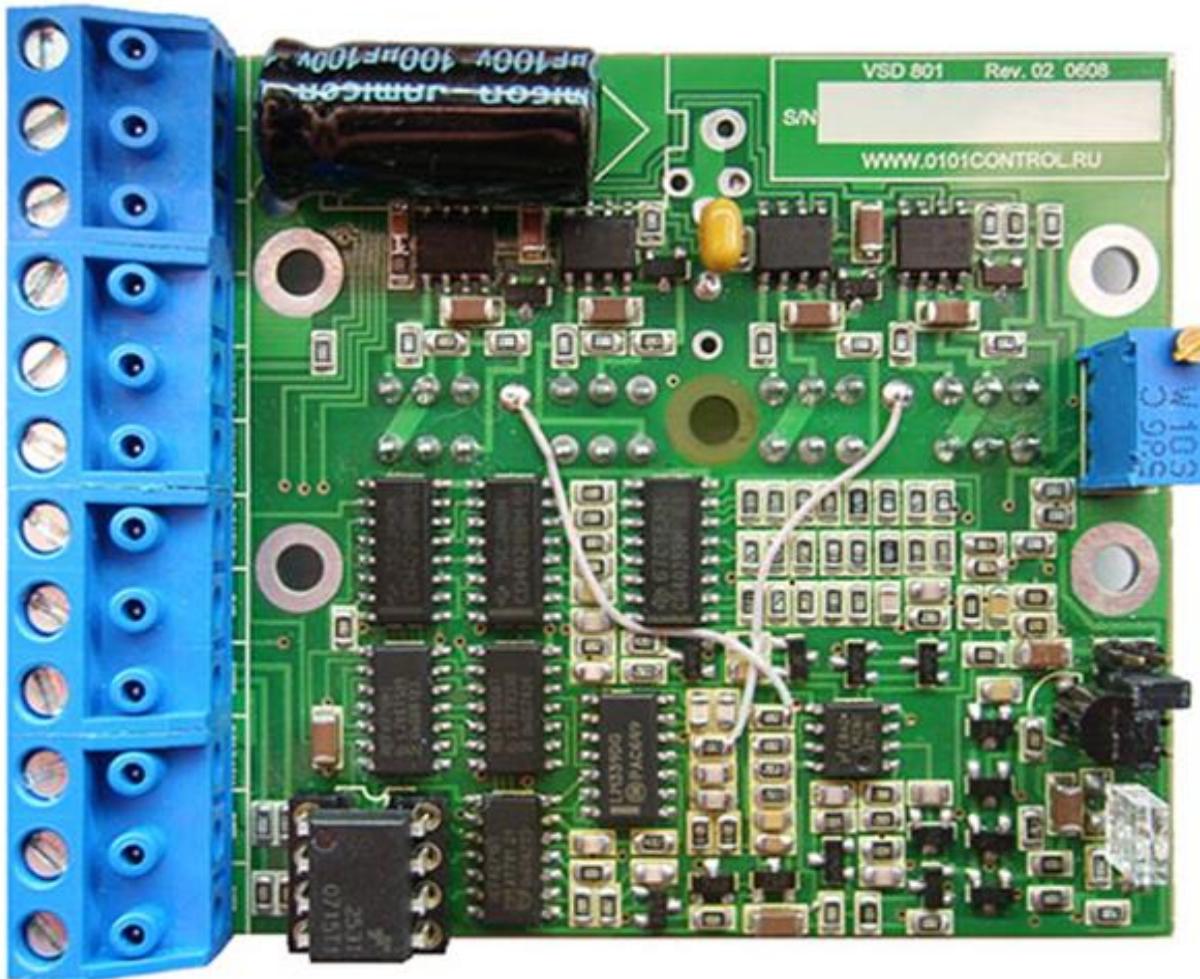
- ▶ Най-малкият известен до момента стъпков двигател
- ▶ Той е от хибриден тип
- ▶ Работи с 5V, 50mA

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Структура на стандартна система за управление
на стъпков двигател с магнитен ротор и на
хибриден стъпков двигател



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



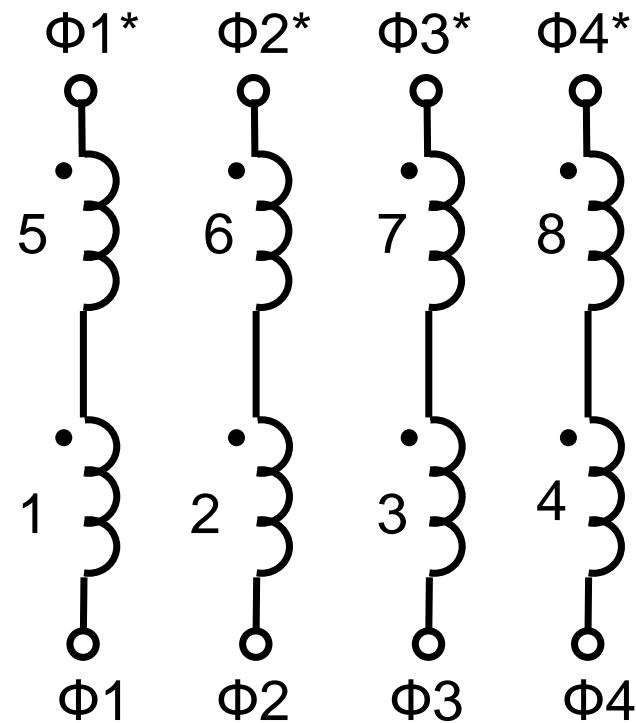
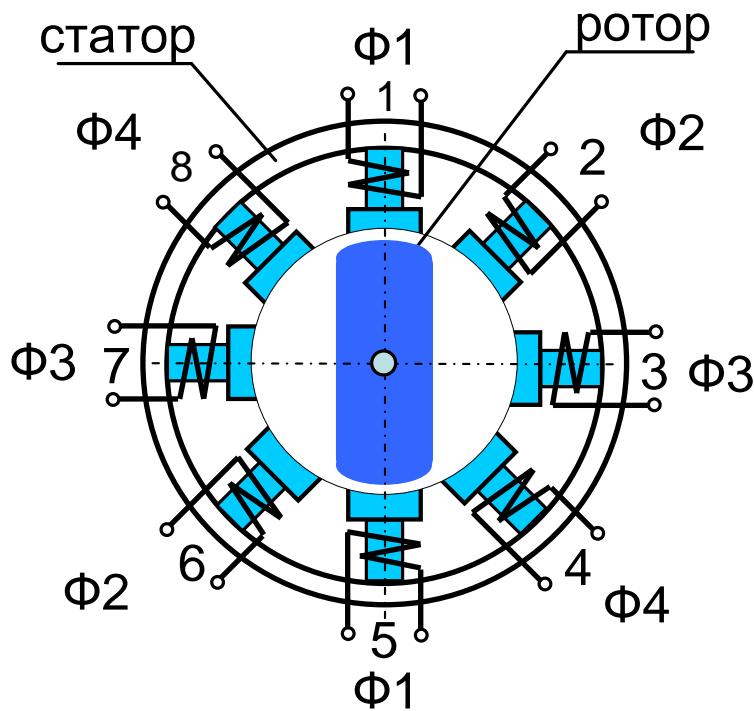
Общ вид на
система за
управление
на стъпков
двигател с
магнитен
ротор и на
хибриден
стъпков
двигател

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

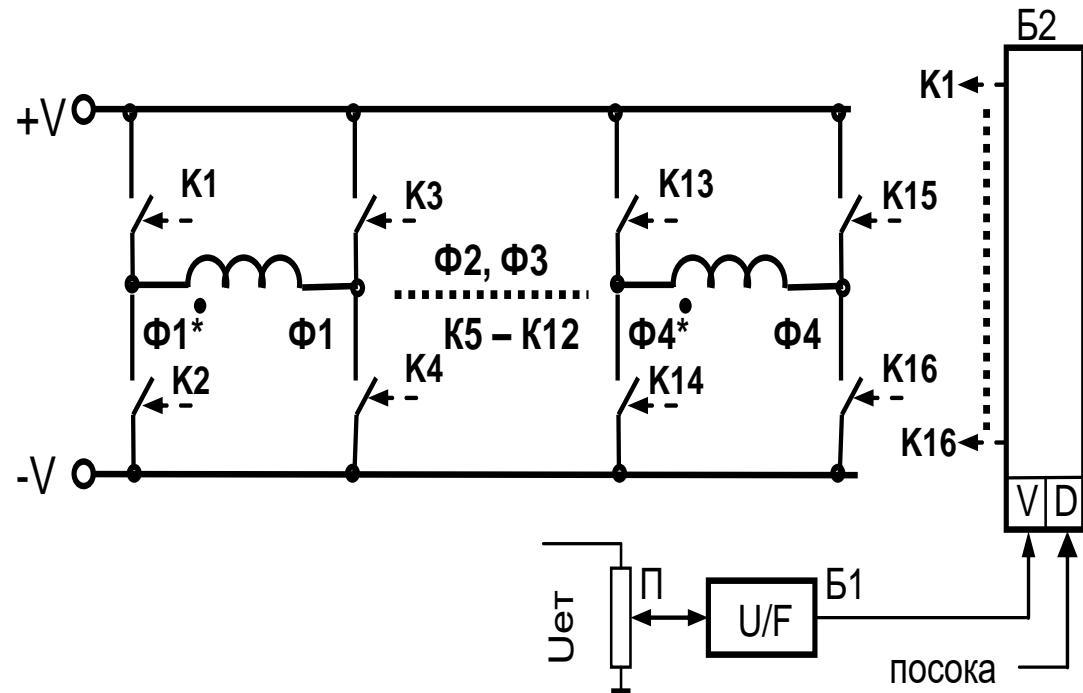
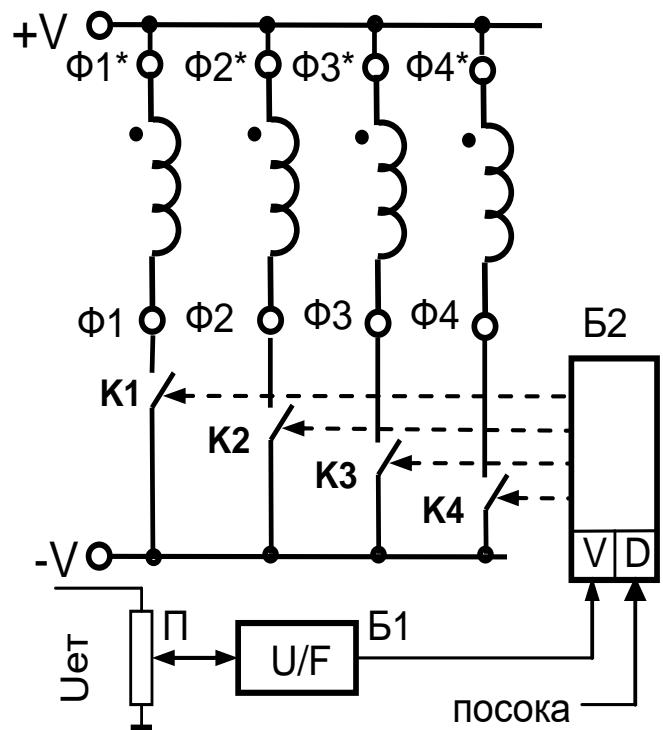
Алгоритми за управление на стъпков електродвигател

- а) Алгоритъм за еднофазно управление**
- б) Алгоритъм за двуфазно управление**
- в) Алгоритъм за полустилково управление**
- г) Алгоритъм за микро-стълково управление**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Броят на стъпките n за един оборот на стъпковия двигател се определят както следва:
 - за еднофазен и двуфазен алгоритъм на управление:
$$n = m.z \tag{4.17}$$
 - за полустъпков алгоритъм на управление:
$$n = 2.m.z \tag{4.18}$$
 - за микростъпков алгоритъм на управление:
$$n = k.m.z \tag{4.19}$$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

n – брой на стъпките за един оборот;

m – брой на fazите на двигателя;

z – брой на зъбците (явните полюси) на ротора;

k – брой на микростъпките създаван от една фаза

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на посоката на въртене на стъпков електродвигател

- ▶ Посоката на движение се определя от последователността, в която се включват отделните фази
- ▶ Подсистемата за управление на посоката е самостоятелна част от блока В2 и нейният вход е означен с *D* (*Direction*)
- ▶ Сигналът на този вход може да има само две стойности – логическа нула за едната посока на въртене и логическа единица за другата посока.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

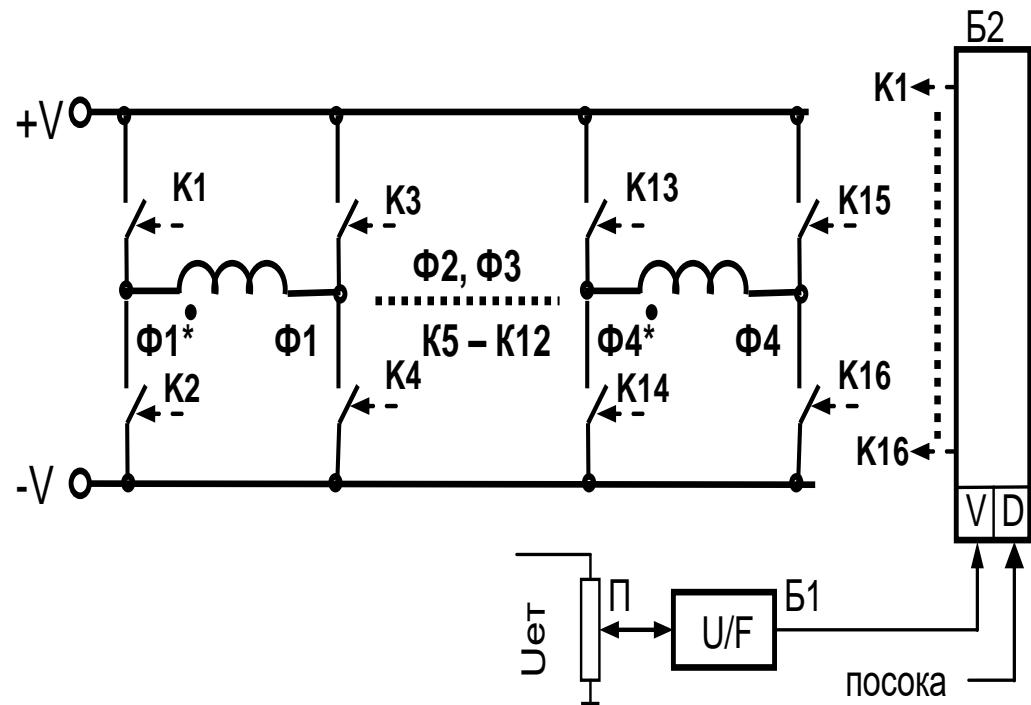
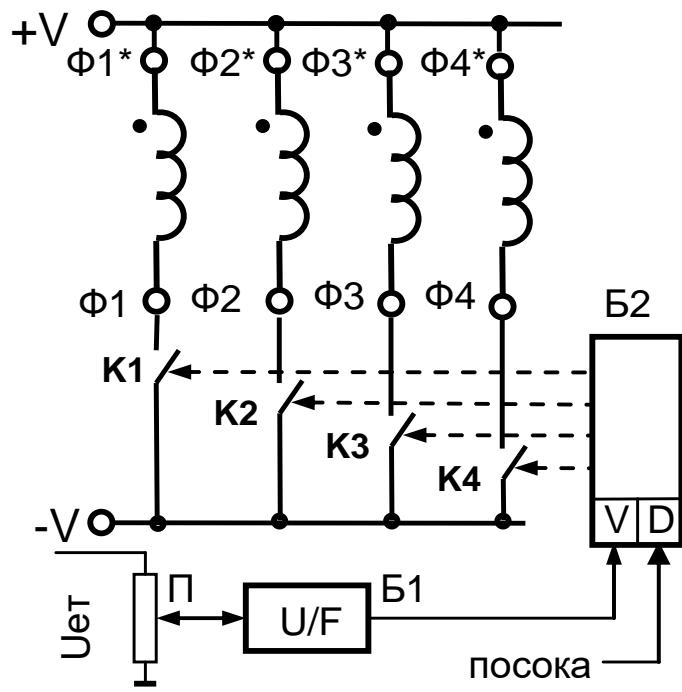
- ▶ При еднофазния алгоритъм на управление, когато фазите се включват в ред **Ф1, Ф2, Ф3, Ф4...** двигателят ще се върти по посока на часовниковите стрелки, а когато се включват в реда **Ф1, Ф4, Ф3, Ф2...** - в обратната посока
- ▶ По същата логика се управлява посоката на въртене и при останалите алгоритми, съобразена както с броя на едновременно включените фази, така и със съотношението на токовете в тях при микро-стъпковото управление

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Управление на скоростта на стъпков електродвигател

- ▶ Скоростта на стъпковия двигател се управлява чрез интервала от време, през който се променят последователните положения на симетралата на магнитното поле на статора
- ▶ Ако този интервал е с големина „ t ” секунди, за една секунда ще се изпълнят $1/t$ стъпки
- ▶ Подсистемата за управление на скоростта също е самостоятелна част от блока *B2* и нейният вход е означен с *V (Velocity)*.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

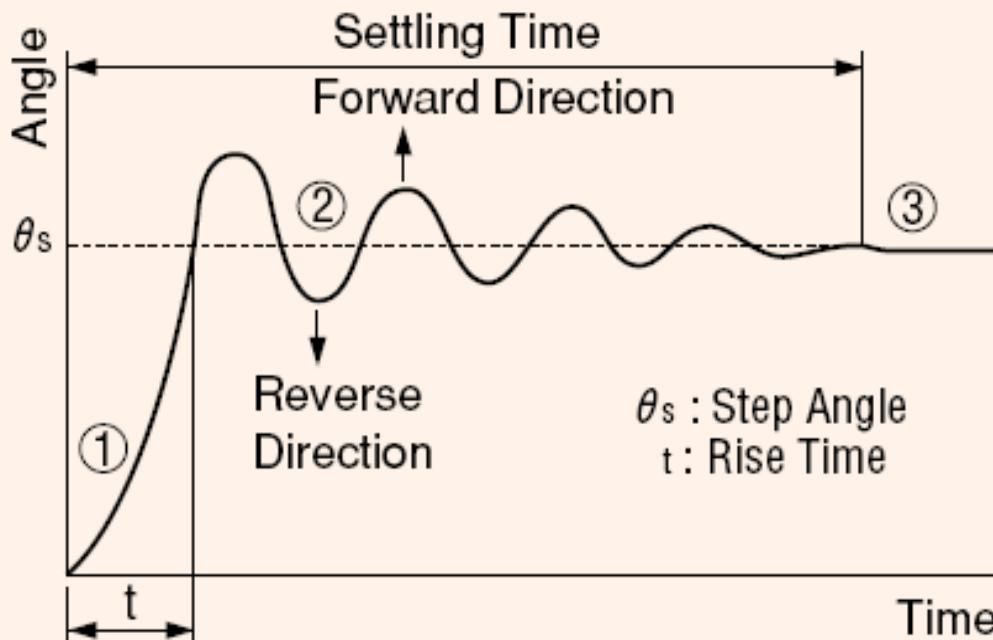


ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При стъпковите двигатели процесът на преминаване на ротора към новото положение (стъпка), съдържа два етапа:
- ▶ Първи етап - роторът се притегля от силата на статорното магнитно поле, движи се ускорително и **натрупва** в себе си кинетична енергия
- ▶ Втори етап - същото това поле действа като спирачка, която **трябва да разсее** натрупаната в първия етап кинетична енергия
- ▶ Следствие на това спирането е съпроводено с **колебателен процес**, изразяващ се във възникване на затихващи трептения с честота ω_0 в зоната на новото положение

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Реален преходен процес при извършване на стъпка



Single step response

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

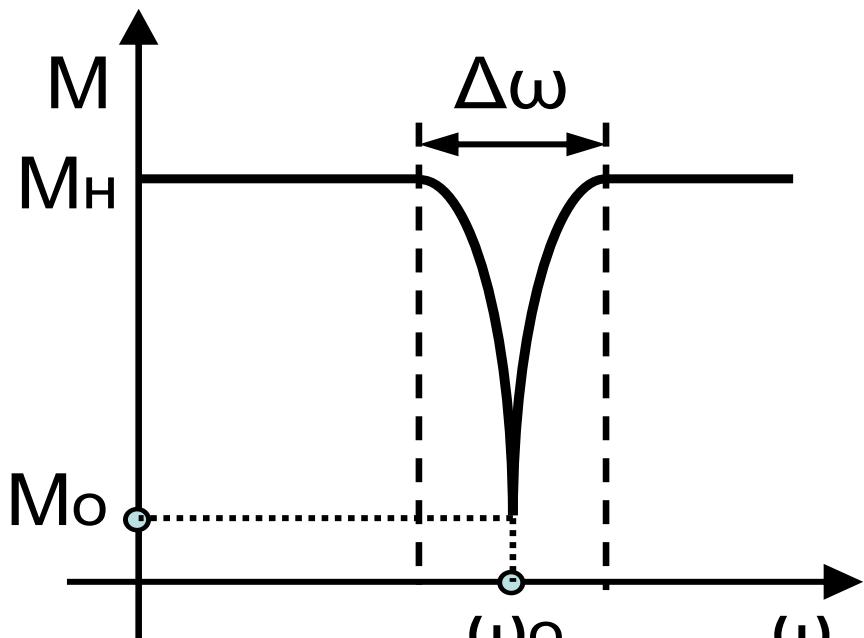
- ▶ При равенство на честотата на преминаване на нова стъпка ($1/t$) и честотата ω_o на затихващите трептения, вложената енергия за преминаване на нова стъпка ще се изразходва за затихване на периодичните трептения
- ▶ Това означава, че при тази честота реално не се разполага с енергия за преминаване на нова стъпка и въртящият момент M_o на двигателя ще бъде силно намален
- ▶ Следствие на това явление, максималната честота f , с която може да се тръгне от положение на покой се дава от:

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

$$f = \frac{f_s}{\sqrt{1 + \frac{J_L}{J_0}}}$$

- f – макс. честота на тръгване на задвижването, [Hz];
- f_s – макс. честота на тръгване на двигателя, когато неговият вал не е свързан към задвижваният обект, [Hz];
- J_L – приведен инерционен момент към вала на двигателя, [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$];
- J_0 – собствен инерционен момент на ротора, [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



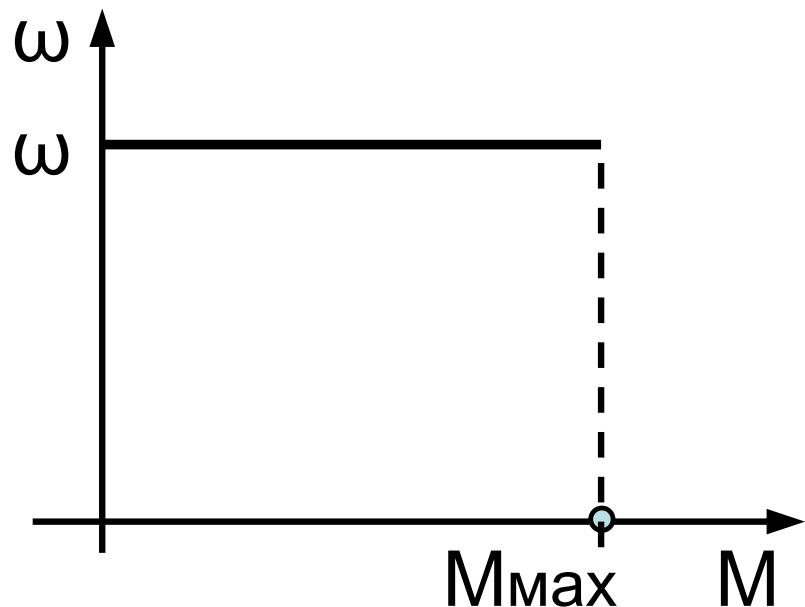
- ▶ Единственият начин за отстраняване на това явление е забраняване изпълнението на стъпки с честота около ω_0 в интервала $\Delta\omega$
- ▶ Този интервал силно се намалява (**клони към нула**) при микростъпково управление

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Механична характеристика

- ▶ **Механичната характеристика** на този тип двигатели теоретично не зависи от конкретна стойност на съпротивителния момент M , т.е. тя е абсолютно твърда ($\gamma = \infty$) но само в интервала на въртящия момент от нула до неговата максимална стойност M_{max}
- ▶ При достигане на M_{max} двигателят спира мигновено и престава да реагира на стъпките, задавани от системата за управление

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

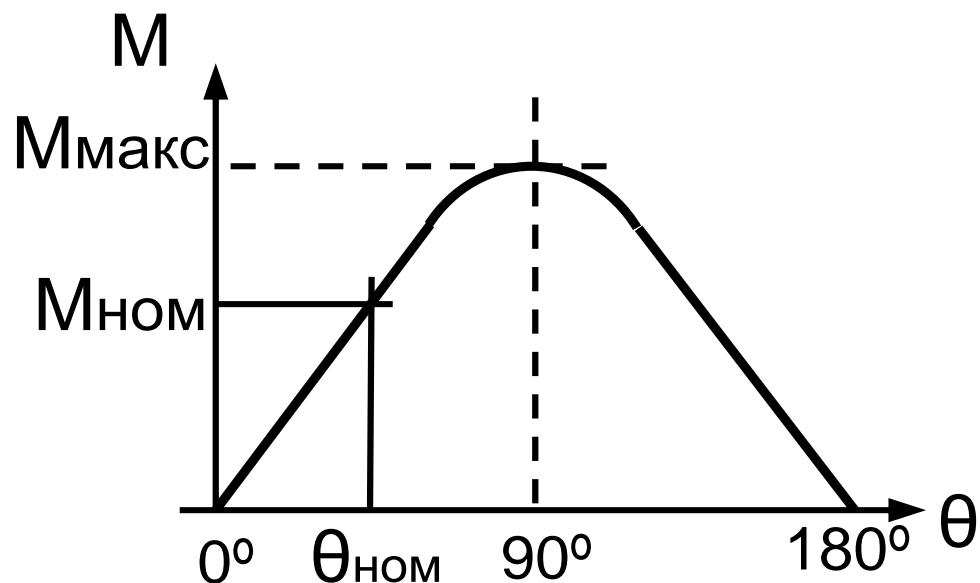


► В тази механична характеристика няма особено полезна информация за машинния инженер

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Вместо тази механична характеристика се използва друга, която се изразява чрез зависимостта $M=f(\Theta)$
- ▶ Θ е ъгълът между **векторите на магнитните полета** на статора и ротора
- ▶ В теорията на стъпковите двигатели електрическият ъгъл между две съседни фази на статорната намотка се приема 360°
- ▶ Прието е тази характеристика се нарича „**ъглова механична характеристика**“.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Ъглова механична характеристика на
стъпков електродвигател за $\theta = (0-180^\circ)$

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ За да се получи механична характеристика с твърдост, близка до безкрайност, се използва захранване на fazите на двигателя с постоянен по стойност ток, вместо постоянно по стойност напрежение
- ▶ Като правило това става чрез широчинно-импулсна модулация (ШИМ), коефициентът на запълване D на която се управлява чрез измерване на реалния ток през активните за момента фази на двигателя

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимства на стъпковите двигатели:

- ▶ Диапазонът от осигурявани скорости ω_{\max} / ω_{\min} теоретично е **безкрайност**
- ▶ Лесно и удобно се свързват към всяка към тип компютърни системи за управление
- ▶ Възможно най-евтиното решение за осигуряване на програмируеми премествания с определени големини
- ▶ Могат да се използват във всяка среда, включително вакуум, като границата между двете среди (обикновената и специалната) е разстоянието между статора и ротора

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Всякаква повреда в задвижването ще предизвика запазване на последната достигната позиция, т.е. няма да създаде опасност за персонала и машината;
- ▶ В много-координатни задвижвания, когато не е необходимо едновременно движение по няколко координати, може да се използва **само една** система за управление на всички двигатели
- ▶ По програма в системата за управление, към нея се включва необходимия в момента двигател
- ▶ Останалите стъпкови двигатели запазват достигнатите положения чрез удържащия момент

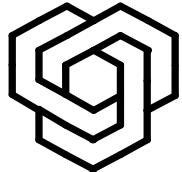
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Недостатъци на стъпковите двигатели

- ▶ Стъпката не може да бъде намалявана под определена граница без специална конструкция на системата за управление (т.е. без микростъпково управление)
- ▶ Принципно осигуряват по-ниска максимална скорост спрямо други видове електродвигатели
- ▶ Наличие на една или повече резонансни честоти в движението на ротора
- ▶ Невъзможност да се открие пропусната (неизпълнена) стъпка в задвижването без използване на допълнителни средства за измерване на положение

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 4

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ В МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО – ЧАСТ 4

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Постояннотокови електродвигатели с електронна комутация

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

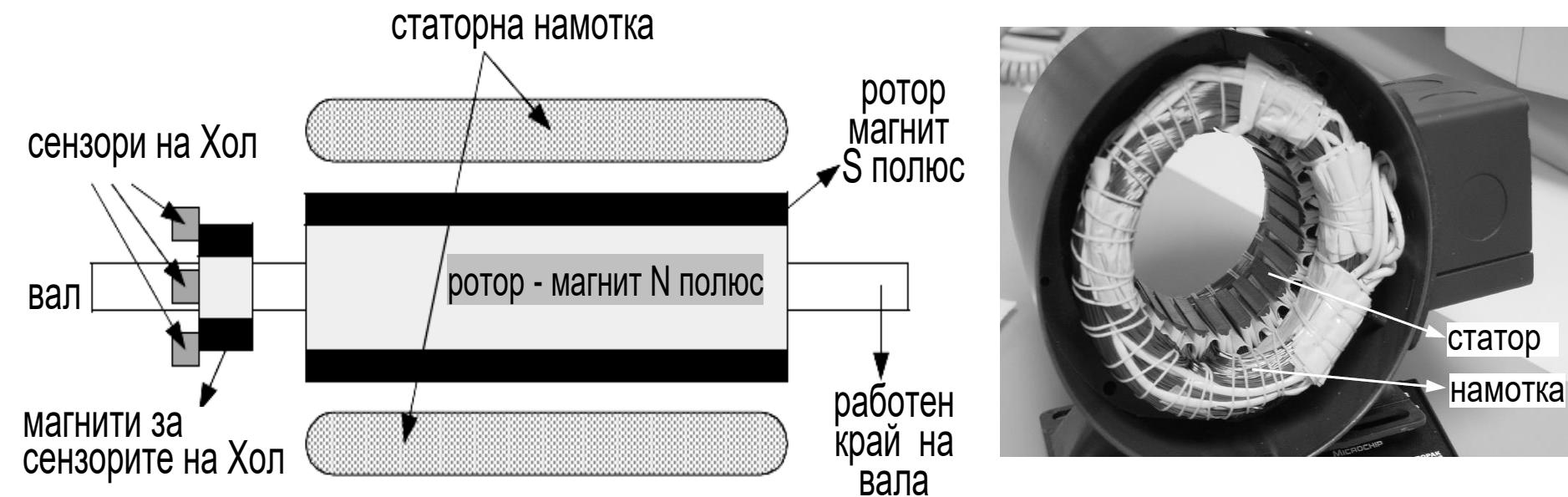
- ▶ Постояннотоковите електродвигатели с електронна комутация са нов тип двигатели, намиращи все по-широко приложение в задвижванията както за металорежещи машини, така и в задвижвания на обекти от други области
- ▶ Основното им предимство е, че **притежават механичните характеристики на постоянно токовите електродвигатели с независимо възбуддане, но не се нуждаят от електромеханичния възел „колектор-четки“ за осигуряване на роторното магнитно поле**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ В западно европейската и американската техническа литература за този тип двигатели се използва названието „*Brushless Direct Current Motors*“ или съкратено **BLDCM**, което на български език се превежда като „**Двигател за постоянен ток без четки**“
- ▶ Възелът “колектор-четки” е заменен от безконтактни ключове и електронни средства за тяхното управление

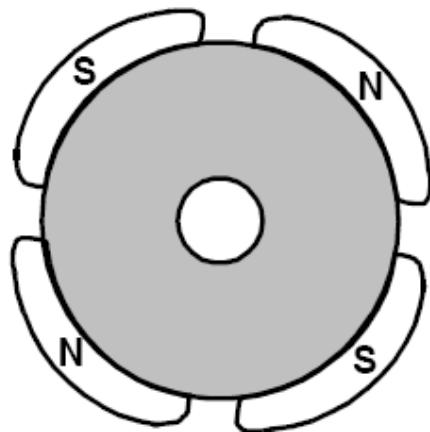
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Основни компоненти на BLDC двигател

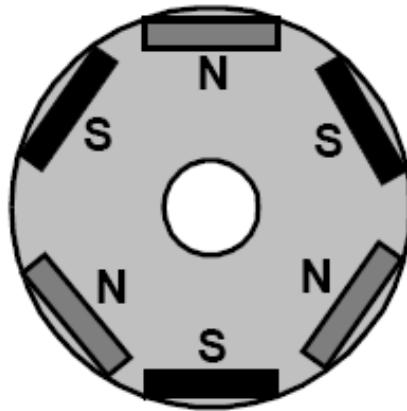


ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

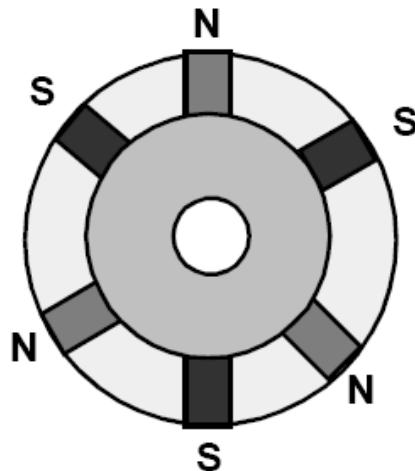
Възможни конструкции на ротора и разполагане на
постоянните магнити в него



По периферията на
ротора



Вградени в ротора



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Особености на конструкцията на BLDC двигатели

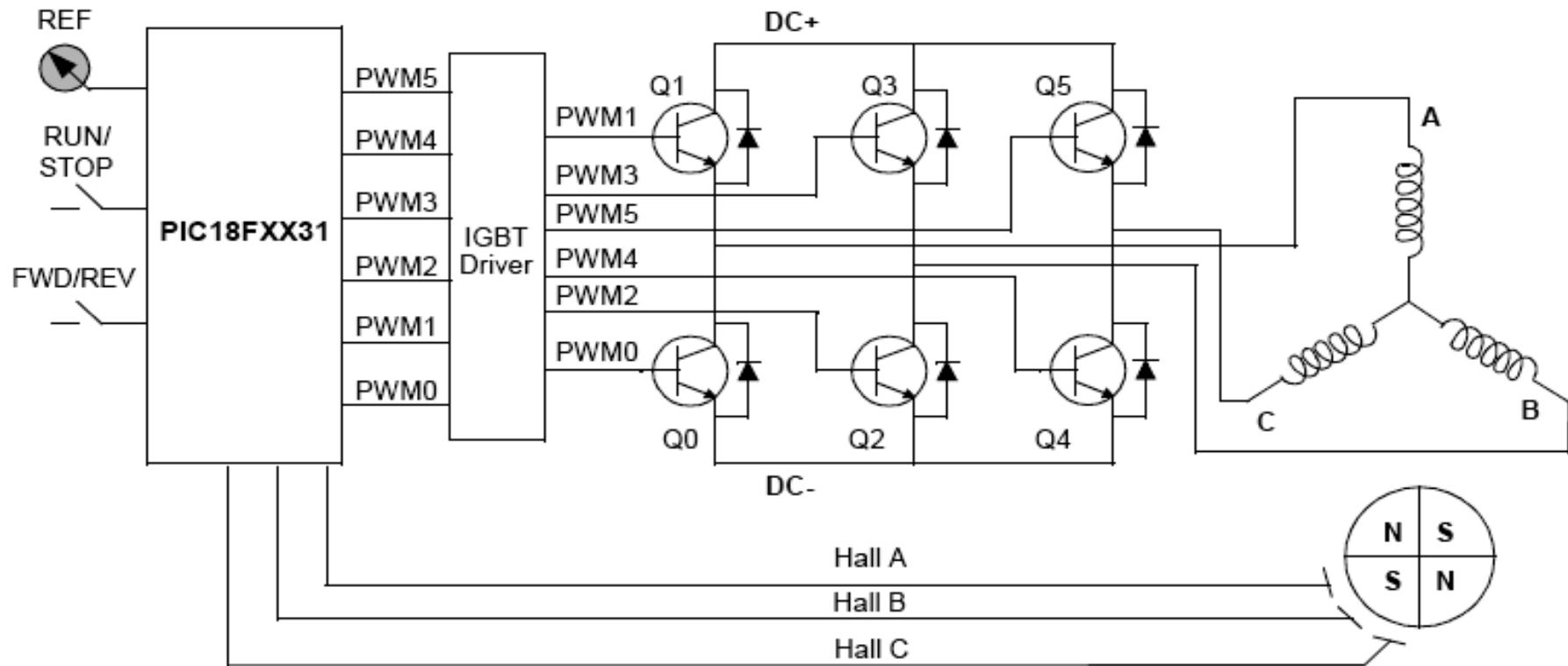
- ▶ Роторът е изграден на базата на постоянни магнити и в него няма никакви намотки
- ▶ Роторните намотки от стандартния двигател за постоянен ток са пренесени в статора на BLDC двигателя, като тяхната форма и пространствено разположение може да са запазени или да съответстват на статорните навивки на стандартен трифазен асинхронен двигател
- ▶ Напрежение към дадена секция се подава само когато тя може да създаде най-голям въртящ момент
- ▶ Възелът “колектор-четки” е заменен от безконтактни ключове и електронни средства за тяхното управление

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Определянето на момента от време, в който трябва да се включи дадена секция, става чрез група от постоянни магнити, закрепени неподвижно към ротора и група от сензори, закрепени неподвижно към корпуса на двигателния, задействани от тези магнити
- ▶ Сензорите подават сигнали, които се основават на ефекта на Хол (Hall effect) – промяна на ориентацията на домените на феромагнитната сплав, а оттам – на тяхното електрическо съпротивление
- ▶ По информация от тях, в съответствие със зададената скорост и посока на въртене, системата за управление взима решение коя секция за колко време да се включи
- ▶ Включването на необходимата секция става чрез безконтактни електронни ключове с транзистори

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Система за управление на BLDC електродвигател



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Без особени затруднения може да се установи, че тя практически е същата, както за честотно управление на скоростта на трифазен асинхронен електродвигател
- ▶ Сигналите от трите сензора на Хол са означени като „**Hall A**”, „**Hall B**” и „**Hall C**”. Магистралата за постоянен ток се осигурява от управляем токоизправител (не е показан на фигурата) и е представена чрез линиите „**DC+**” и „**DC-**”.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Когато роторът се върти, в намотките на статора се индуцира напрежение, известно като „обратно електродвижещо напрежение (ЕДН)“ – в западната техническа литература то се нарича „*BEMF*“- *Back Electro Motive Force*)
- ▶ Чрез използване на сравнително сложна електронна структура от него се изработват сигнали, които приблизително могат да заместят сигналите от сензорите на Хол и тези сензори да отпаднат от конструкцията на BLDC двигателя

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

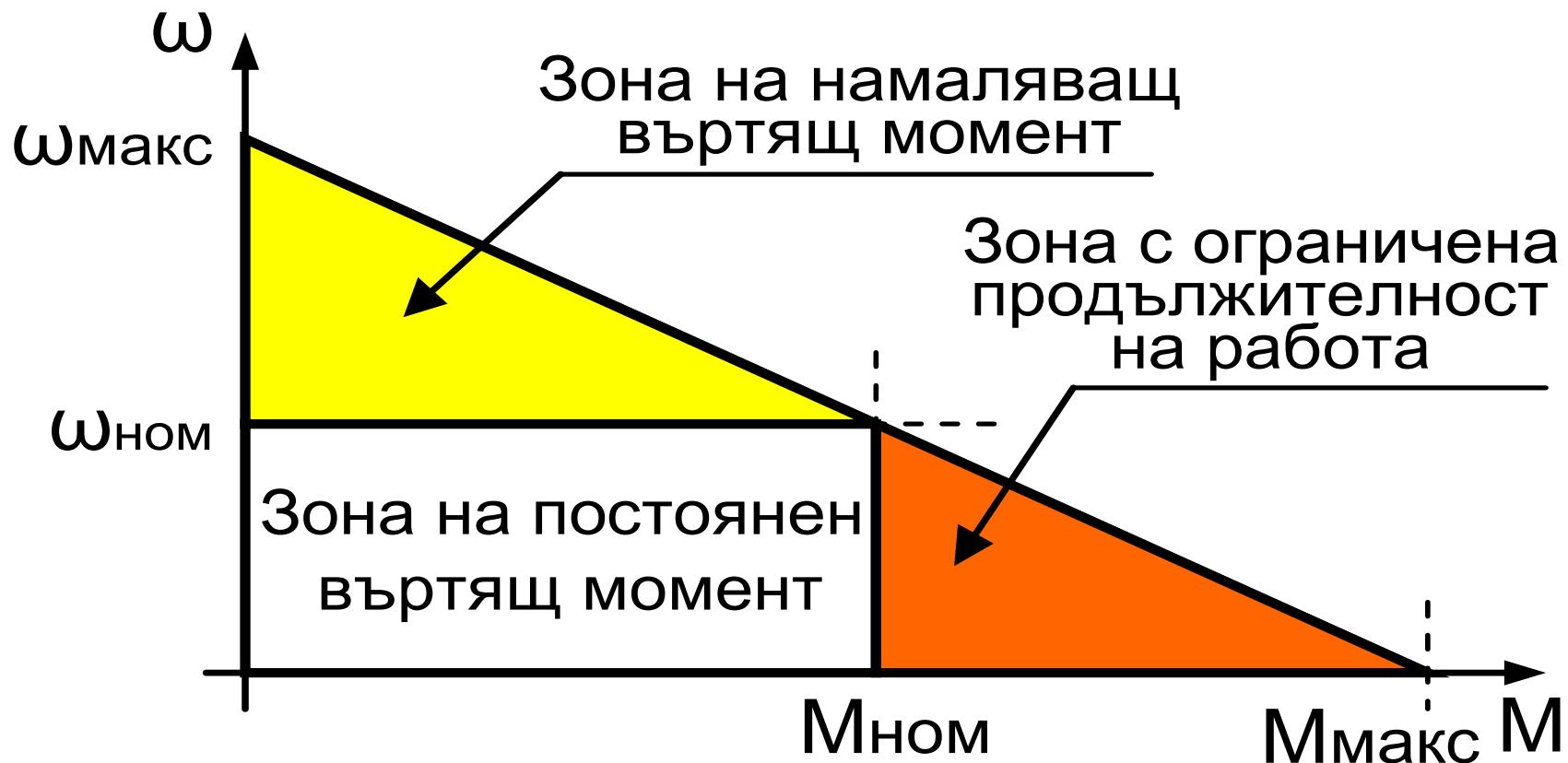
- ▶ В показаната структура на системата за управление на BLDC мотор в неявен вид съществува обратна връзка по скорост
- ▶ Тя се използва за поддържане на зададената скорост и се реализира по изчислителен път от микроконтролера
- ▶ Това става чрез измерване на времето между две последователни действия на който и да е от сензорите (например на сензор *Hall A*)
- ▶ Измерването обикновено се извършват с точност $10^{-3} - 10^{-7}$ s

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Механичната характеристика

- ▶ **Механичната характеристика на BLDC електродвигател** съвместно с неговата система за управление е същата както на постояннотоков електродвигател с независимо възбуждане
- ▶ Системата за управление **следи непрекъснато** текущото съчетание между момент и скорост и управлява количеството на подаваната енергия към двигателя в съответствие със зоната в която той работи

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимства и недостатъци BLDC електродвигателите

- ▶ Признаците, по които могат да се оценят предимствата и недостатъците на BLDC двигатели са много
- ▶ От тях могат да се отделят няколко **основни**, по които BLDC двигателите **да се сравнят** с двета най-разпространени типа електродвигатели в машиностроенето - **асинхронен електродвигател с роторnakъсо и постояннотоков електродвигател с независимо възбудждане**, което е представено в табл. 4.1 и табл. 4.2.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Табл. 4.1.

Признак	BLDC електродвигател	Асинхронен двигател с ротор накъсо
Поддържане	Облекчено	Облекчено
Коефициент на полезно действие	Висок, типично 0,87	Нисък, типично 0,60-0,70
Механична характеристика	Безкрайно твърда, позволява работа с всички скорости при номинален момент	Нелинейна – малък момент при ниски скорости
Отношение Мощност/габарити	Високо, добри условия за отвеждане на топлината от статора	Средно, лоши условия за отвеждане на топлината от ротора
Инерционен момент на ротора	По-нисък поради наличието на постоянни магнити в ротора	Голям, лоши динамични характеристики
Система за управление	Сложна и скъпа	Проста и евтина
Необходимост от с-ма за управление	Винаги е необходима	Не е необходима ако двигателя работи с фиксирана скорост
Хълзгане	Няма	Нараства с натоварването на двигателя
Цена на задвижването	Висока	Ниска

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Табл. 4.2.

Признак	BLDC електродвигател	Постоянно токов двигател с независимо възбуждане
Комутиация	Електронна, чрез сензори на Хол	Собствена чрез колектор и четки
Поддържане	По-малко	Периодично
Коефициент на полезно действие	Висок, няма загуби в четки, типично 0.87	По-нисък поради загубите в четките, типично 0.84
Живот	По-дълъг	По-къс поради механичното износване на колектора
Механична характеристика	Безкрайно твърда, позволява работа с всички скорости при номинален момент	Твърда, ако няма система за управление. Безкрайно твърда ако има система за управление
Отношение Мощност/габарити	Високо, има добри условия за отвеждане на топлината от намотките	Умерено, защото по-трудно се отвежда топлината от ротора
Инерционен момент на ротора	По-нисък поради наличието на постоянни магнити в ротора	По-висок поради наличието на намотка на ротора
Система за управление	Сложна и скъпа	Проста и евтина
Необходимост от система за управление	Винаги е необходима за да се осигури работоспособност на двигателя	Не е необходима ако двигателя работи с фиксирана скорост
Цена на задвижването	Висока	Ниска / средна

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ В заключение, трябва да се обърне внимание и на това, че по **субективни причини** често **не се прави разлика** между задвижване с **BLDC двигател** и задвижване с **честотно управляем асинхронен двигател**
- ▶ Обикновено това става когато в системата за управление на BLDCM са вградени средства за индиректно измерване на неговата честота на въртене
- ▶ В резултат на това на задвижване с асинхронен двигател неправилно се приписват механичните характеристики и диапазона на изменение на скоростта на задвижване с BLDC двигател

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Синхронни електродвигатели

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Синхронните електродвигатели се използват за задвижване на обекти, за които е характерно, че работят с постоянна скорост по време на експлоатацията им и изискват значителна механична мощност (50-500 kW)
- ▶ Този тип двигатели се използват основно в металургичното производство за задвижване на черновите клетки на станове за горещо валцоване, ножици за горещо и студено рязане на метал, дробилки, мелници, помпи и компресори със специално предназначение, електрически генератори и др.

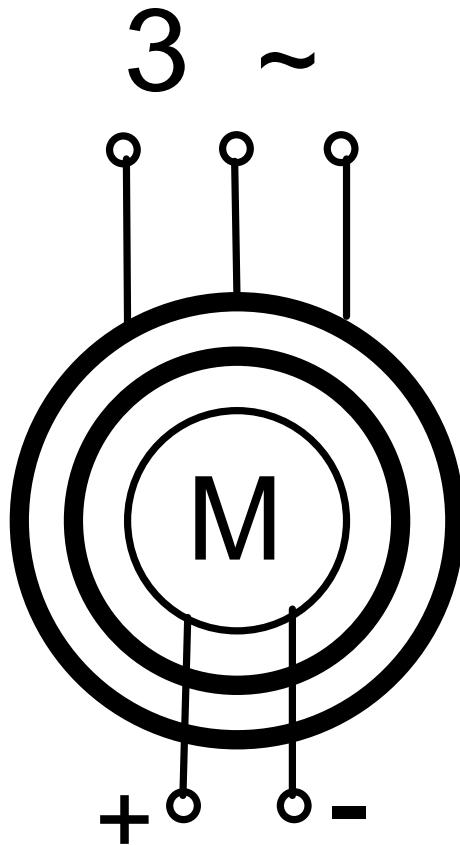
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Синхронните електродвигатели също съдържат две основни части: неподвижна - статор и подвижна-ротор
- ▶ **Статорът и неговата намотка са същите както при асинхронните двигатели**
- ▶ Основната разлика спрямо асинхронните двигатели е в конструкцията на ротора
- ▶ Към настоящия момент се използва конструкция, която съчетава конструкцията на ротор накъсо с управляем източник на постоянно магнитно поле с явни полюси
- ▶ Това поле се получава от вграден в ротора електромагнит

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Захранването на електромагнита става чрез **два контактни пръстена и две четки, триещи по тях**
- ▶ Наличието на постоянно магнитно поле в ротора позволява той да следва въртящото магнитно поле на статора без изоставане (хлъзгане), т.е. роторът да се върти синхронно с магнитното поле на статора, откъдето следва и названието на този тип двигатели

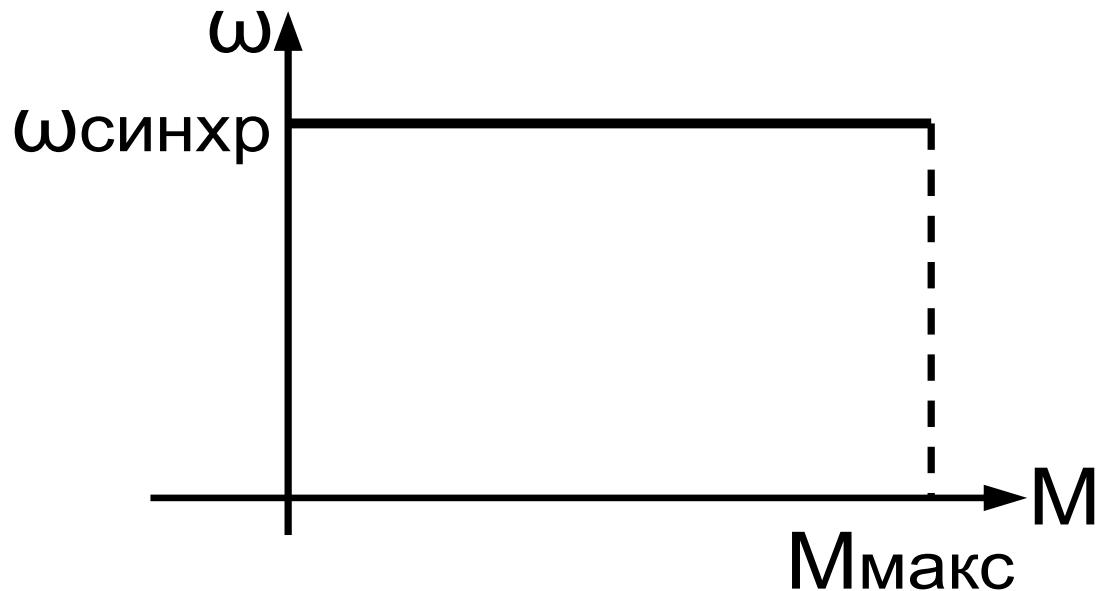
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Условно графично
означение на синхронен
електродвигател

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

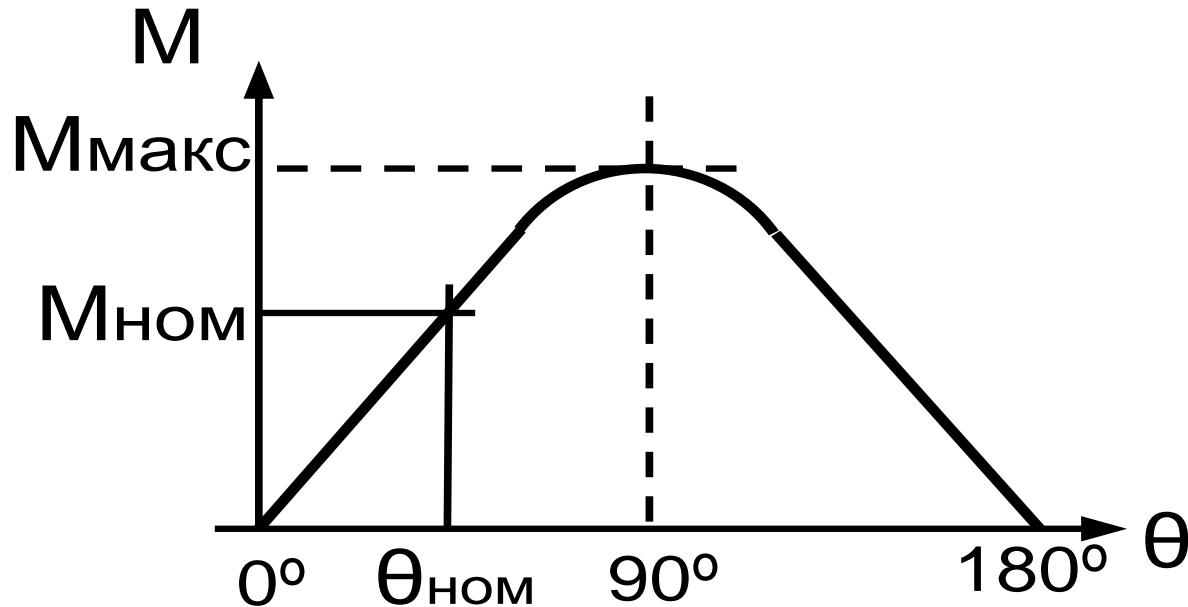
- Механичната характеристика $M = f(\omega)$ в координатната система $M-\omega$ е:



ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ В тази механична характеристика няма съществена информация
- ▶ Вместо нея се използва така наречената „ъглова механична характеристика” $M=f(\Theta)$, където Θ е **ъгълът между векторите на напрегнатостта на роторното и статорното магнитни полета**
- ▶ Ъгълът между две съседни фази от статорната намотка се приема за 360 **електрически** градуса, което съответства на 120 **геометрични** градуса

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



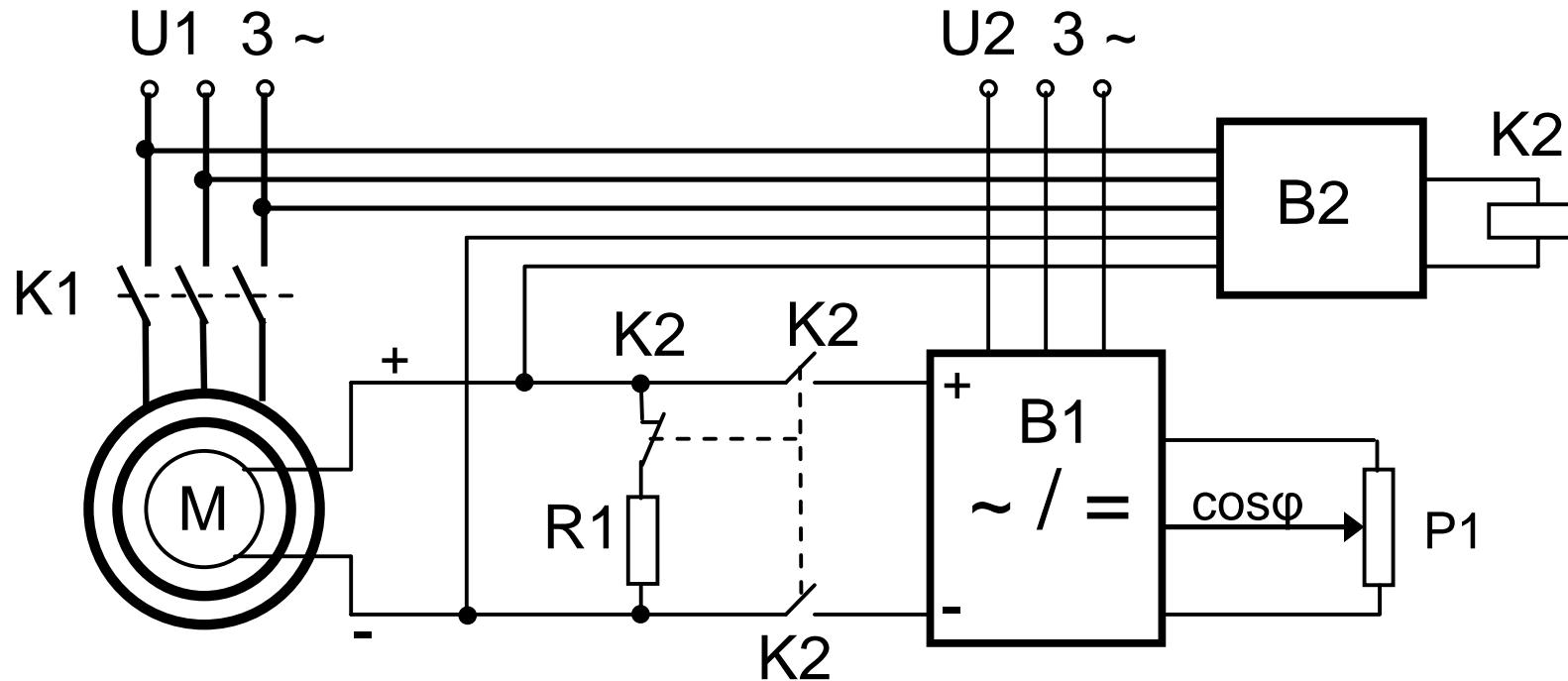
Θ – ъгъл между векторите на напрегнатостта на роторното и статорното магнитни полета

М_{ном} е 50% от М_{макс}

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Пускането на синхронните електродвигатели е по-сложно, отколкото на другите видове двигатели
- ▶ Не е достатъчно само включването на статорната намотка към трифазната мрежа
- ▶ Типичната структура на системата за пускане на синхронен двигател е следната

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Система за пускане на синхронен електродвигател

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ При двигателите с мощност над 100 kW обикновено напрежението U_1 е трифазно 6-10 kV, а напрежението U_2 се получава непосредствено от стандартната промишлена енергийна мрежа и е трифазно 380 V.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Блок **B1** – токоизправител за възбудителната намотка. Напрежението на изхода на този блок е с фиксирана стойност, която може да се променя ръчно чрез Р1 (или автоматично) в малки граници с цел поддържане големината на $\cos\varphi$ (един от параметрите на фактора на мощността) близка до 1.
- ▶ Блок **B2** - основен блок на системата за управление и има две функции:
 - да измерва текущата скорост на синхронния двигател
 - да измерва големината на ъгъла Θ

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Процес на пускане

1. Групата ключове K_2 е в показаното положение, което съответства на нейното изходно състояние. **Ако тя не е в това състояние, процесът на пускане се забранява автоматично**
2. Подава се напрежението U_2 към блока B_1 и се изчаква докато напрежението между изводите “+” и “-” на блока B_1 достигне номиналната си стойност
3. Включва се групата ключове K_1 , с което към статорните намотки се подава напрежението U_1 . От този момент нататък двигателят започва да работи като асинхронен с ротор накъсо и процесът на неговото ускоряване се наблюдава непрекъснато от блока B_2

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

4. При достигане на скорост, близка до синхронната (хлъзгане до 5%), блокът В2 сменя състоянието на групата ключове К2 така, че то да стане противоположно на първоначалното състояние
5. От този момент нататък двигателят започва да работи като синхронен и бързо достига до синхронната скорост

Важно: Идеалният момент на сменяване на състоянието на ключовете К2 трябва да съответства на $\theta = 0^\circ$, като е допустимо θ да бъде и до 30° . При $\theta = (30 - 90)^\circ$ възникват затихващи колебания на скоростта и силно се удължава времето за достигане на синхронната скорост

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линейни електродвигатели

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Идеята за линейните двигатели не е сложна – разгънат е стандартен двигател за ротационно движение
- ▶ Роторът става плъзгач, а статорът става шина по която са разположени намотки или постоянни магнити
- ▶ Задвижваният обект се свързва директно към плъзгача, а дължината на шината (статора) пряко зависи от необходимия работен ход

LINEAR DIRECT DRIVES

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

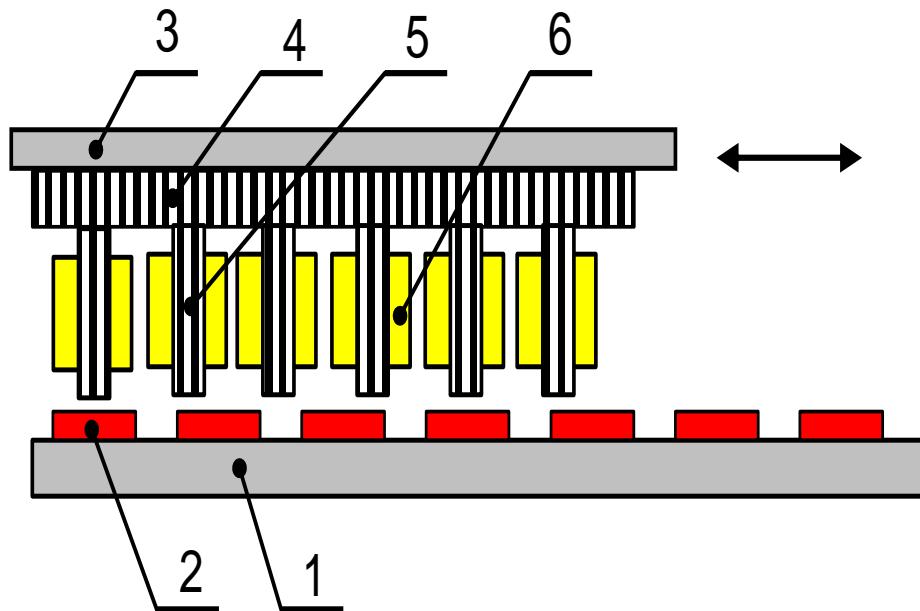
- ▶ Тук ще бъдат разгледани само конструкциите на линейни двигатели, предназначени за използване в машиностроенето
 - **Линеен електродвигател с желязна сърцевина**
 - **Линеен електродвигател с въздушна сърцевина**
 - **Линеен електродвигател с П-образен плъзгач**
- ▶ Различните модификации линейни двигатели имат общи елементи в техните конструкции

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линеен електродвигател с желязна сърцевина

- ▶ Този двигател съответства изцяло на конструкцията на BLDC двигател за ротационно движение
- ▶ Статорът съдържа шина (1) и постоянни магнити (2)
- ▶ Плъзгачът (3) е конструиран от ламелен магнитопровод (4 и 5) и бобини (6), навити върху „зъбите“ на ламелите
- ▶ В бобините са поставени магнитни и топлинни сензори (не са показани).

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



1. Шина на статора
2. Постоянни магнити
3. Плъзгач
4. Обща част на магнитопровода на плъзгача
5. Магнитопровод на намотките
6. Намотки (с вградени магнитни и термични сензори)

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимства :

- ▶ Голяма сила спрямо размера на двигателя. Железните ламели концентрират магнитните полета на бобините, поради което този тип двигател създава **най-голямо съотношение** между силата и размерите на двигателя
- ▶ Само една шина с магнити
- ▶ Добро отвеждане на топлината, поради това, че намотките са навити около железните ламели. Допълнително през ламелите могат да се прокарат охлаждащи тръби за вода или въздух

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Недостатъци:

1. Сила на привличане

- ▶ Между плъзгача и шината с магнити съществува сила на привличане, насочена по общата им нормала
- ▶ Тя може да бъде повече от 10 пъти по-голяма от двигателната сила и задължително трябва да се има в предвид при оразмеряване на лагеруването.

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

2. Неравномерност

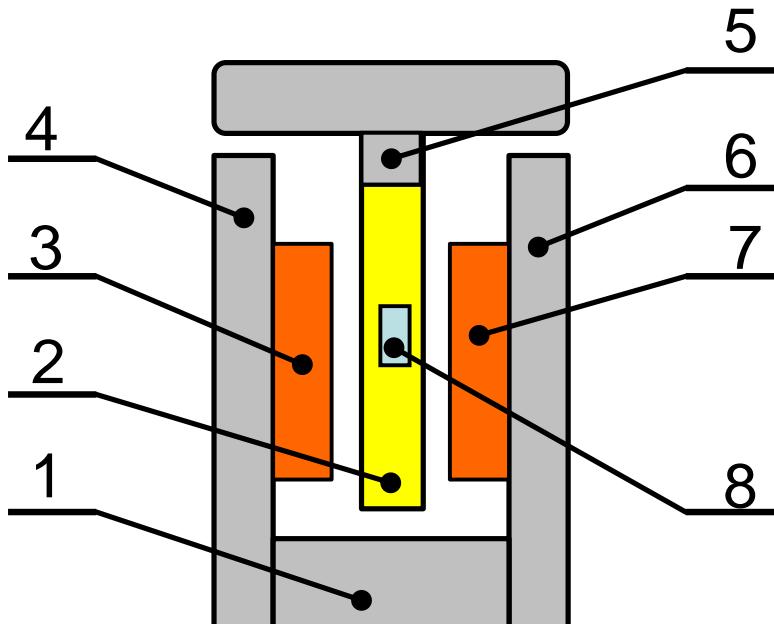
- ▶ Когато плъзгачът се движи над отделните магнити в движещата сила се появява неравномерност, често наричана „зацепване”
- ▶ Зацепването е вредно явление и се проявява особено силно при ниски скорости на движение
- ▶ Зацепването може да се намали чрез наклоняване на магнитите спрямо ламелите с намотките, модифициране на формата на магнитите или чрез усложняване на системата за управление

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линеен електродвигател с въздушна сърцевина

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Конструкция на линеен електродвигател със въздушна сърцевина



1. Дистанционна шина
2. Комплект намотки
- 3, 7. Постоянни магнити
4. Лява шина на статора
5. Плъзгач
6. Дясна шина на статора
8. Термични и магнитни сензори

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линеен електродвигател с въздушна сърцевина

Статор

- ▶ Статорът на този двигател е с конструкция, при която се използват расположени една срещу друга две шини от магнитно мек материал
- ▶ Върху шините по дължината им са закрепени множество двойки от постоянни магнити с редуваща се полярност
- ▶ Между двете шини има трета дистанционна шина, която е изработена също от магнитно мек материал

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линеен електродвигател с въздушна сърцевина

Плъзгач

- ▶ Електромагнитите нямат железни сърцевини и затова в западната техническа литература линейните двигатели от този тип се наричат “**IRONLESS**”, което означава “без желязо”
- ▶ В електромагнитите задължително се вграждат магнитни и топлинни сензори

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Плъзгачът, към който се свързва задвижвания обект, представлява алюминиева плоча по дебелината на която са изработени проходни отвори с формата и размерите на намотките
- ▶ Самите намотки са поместени в отворите на плочата и са закрепени в тях чрез заливане с епоксидна смола
- ▶ Плочата облекчава отделянето на топлина, като правило в нея има и канали за охлаждащ флуид

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимства:

- ▶ **Няма сили на привличане** между плъзгача и магнитите от шините защото в плъзгача няма железни части
- ▶ **Няма неравномерност на движението** („засцепване“), дължащо се на железни части в плъзгача. Двигателят е много подходящ за приложения, изискващи **висока равномерност на движение, екстремално точно осигуряване на положение и скорост**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимства:

- ▶ **Малко тегло на плъзгача** - може да се работи с големи ускорения при тръгване и спиране, които да повишат производителността на задвижвания механизъм

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Недостатъци:

- **1. Лошо отвеждане на топлината**
- плъзгачът съдържа намотки, закрепени в него чрез заливане с епоксидна смола
 - основната част от създадената от намотките топлина преминава в плъзгача през тази смола
 - допълнителен път за отвеждане на топлината от намотките е през въздушната междина към шините с магнити
 - във всеки от тези два пътя има големи топлинни съпротивления, което затруднява охлаждането на двигателя

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► 2. Ниска стабилност

- Плъзгачът съдържа намотки, закрепени в него чрез заливане с епоксидна смола. Механичната сила се създава от намотките и чрез смолата се предава към плъзгача
- смолата има ниска стабилност при работната температура на намотките, която ограничава максималната сила и размери, за които могат да се изработва този тип двигатели

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ **3. Малка сила спрямо размерите на двигателя**
 - поради наличието на термични и структурни ограничения съотношението между силата и размерите на двигателя е ниско

- ▶ **4. Втората шина с магнити заема допълнително място и повишава цената почти двойно**

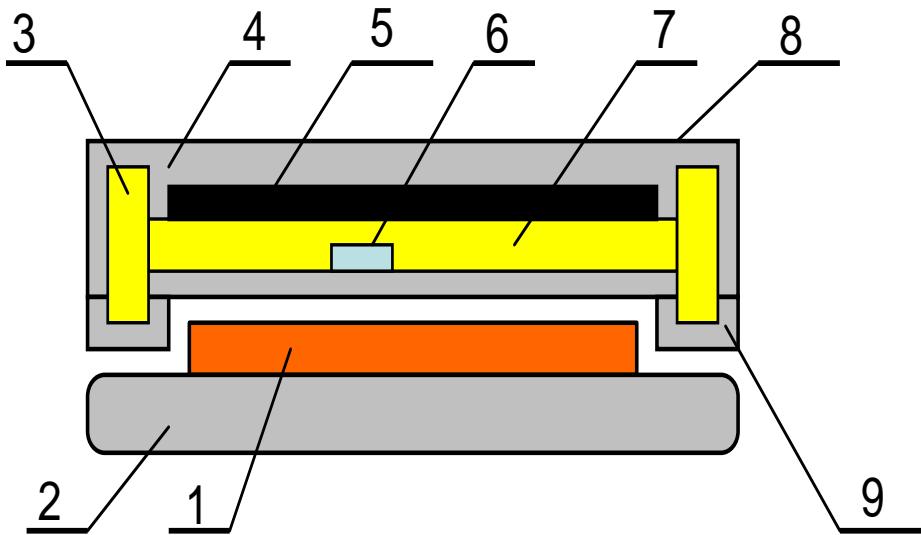
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



**Linear Brushless Ironless Three Phase Motor
LBIM-021-03 Series**

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линеен електродвигател с П-образен плъзгач



1. Постоянни магнити (в една редица)
2. Шина на статора
3. Електрически връзки на намотките
4. Алуминиев корпус
5. Допълнителна плоча на плъзгача
6. Термични и магнитни сензори
7. Намотки (комплект)
8. Работна повърхност на плъзгача
9. Технологични капаци

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимства:

- ▶ Тази конструкция е хибрид между конструкциите на линейните двигатели с желязна и въздушна сърцевина и обединява техните предимства по отношение на:
 - по-ниска цена и тегло на статора – има нужда само от една шина с магнити
 - плъзгач е с по-стабилна конструкция от този при двигателя с въздушна сърцевина и е по-лек от този двигателя с желязна сърцевина
 - силата на взаимно привличане между плъзгача и статора е 5-10 пъти по-малка от тази при двигателя със желязна сърцевина

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- намален ефект „зацепване“ в движещата сила
- металната плоча зад намотките и алуминиевият корпус подобряват значително отвеждането на топлината от плъзгача
- силата за размера на корпуса е с междуинна стойност спрямо тази при двигателя с желязна и при двигателя с въздушна сърцевина

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Механични характеристики

- ▶ Механичните характеристики на разгледаните линейни двигатели са същите, като тези на BLDC двигатели
- ▶ Причините са общите принципи на действие и конструктивни решения на двета вида двигатели
- ▶ Основната област на приложение на линейните двигатели са металорежещи машини с ЦПУ с повищена производителност и металорежещи машини с паралелна кинематика (също с ЦПУ).

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимства и недостатъци на задвижванията с линейни двигатели

- ▶ Сравненията са по отношение на задвижванията с ротационни двигатели

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимства:

- ▶ **Висока скорост и точност на движение.** Типичните скорости за линейните двигатели са 3 м/сек при разделителна способност 1 μ m и над 5 м/сек при по-груба разделителна способност
- ▶ **Бърза реакция.** Реакцията на задвижваните от линейни двигатели обекти може да бъде над 100 пъти по-бърза спрямо задвижването от ротационен двигател и кинематична верига за трансформиране на движението

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ **Стабилност.** Тъй като няма кинематична верига, увеличаването на стабилността се осигурява чрез увеличаване на тока през намотките
 - стабилността се ограничава от пиковата сила на двигателя и разделителната способност на обратната връзка
- ▶ **Облекчено поддържане.** Линейните двигатели нямат контактуващи части, движещи се една спрямо друга, поради което нямат износване от триене

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Недостатъци на линейните двигатели:

- ▶ **Висока цена.** Причините са:
 - в конструкцията им се използват **магнити на база редки земни елементи**
 - цената на тези магнити е висока, а броят им зависи от големината на работния ход
 - двигателите с голям ход стават много скъпи
 - **висока цена на устройствата за обратна връзка с линейно движение**
 - **линеен енкодер** с работна дължина 100 mm има цена около \$500 и тя нараства с дължината

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► *Сила за размера на корпуса*

- линейните двигатели не са компактни източници на сила в сравнение с ротационните двигатели, които съвместно с кинематична верига предлагат значителни механични предимства
- линеен двигател с размери на активната част на плъзгача 40x50 мм може да създава неограничено дълго време сила 65 N
- ротационен двигател и винтова двойка с диаметър 10 mm при същата консумация на енергия осигурява сила 433 N

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► **Нагряване**

- В повечето задвижвания с линейни двигатели силата се прилага непосредствено към задвижвания обект и всички топлинни загуби (I^2R) в двигателя са свързани с натоварването
- по тази причина в конструкцията на линейните двигатели се използват различни варианти на охлаждане с вода или въздух

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► ***Няма триене*** (или е минимално)

- Това може да не изглежда като проблем, но ако линеен двигател се движи с висока скорост, например 3 м/сек и се получи кратковременно нарушаване на захранването, без наличието на триене в механичната част на задвижването двигателят ще спре, едва след като се удари в края

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► *Не са ефективни за задвижвания с ниска скорост*

- фирмите, които произвеждат такива двигатели посочват, че е целесъобразно те да се използват при минимална скорост, не по-ниска от 1-2 м/сек
- при сравнение, от което е изключен показателя „скорост”, между задвижване с линеен и задвижване с ротационен двигател е установено, че при равни други условия задвижването с линеен двигател е около 10-30 пъти по-скъпо от задвижването с ротационен двигател

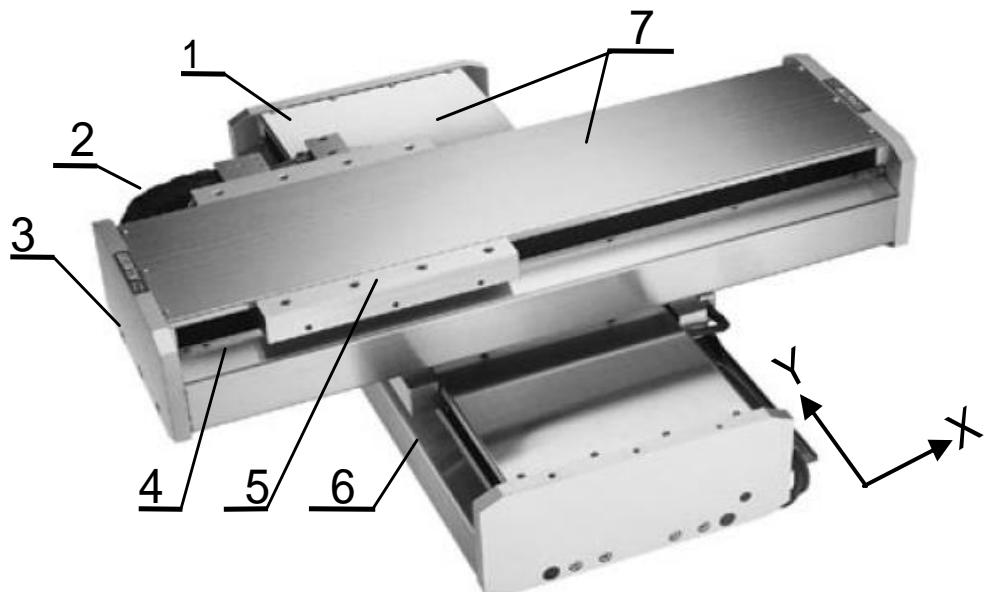
ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

► *Необходимост от специална защита на работната повърхнина на статора*

- основната част от използваните материали в машиностроенето са сплави и химически съединения на желязото, които са феромагнитни
- при обработването им чрез рязане се отделят големи количества стружки и железен прах, които се привличат от постоянните магнити на статора и полепват по тях
- необходимо е използването на допълнителни защитни средства, които увеличават крайната цена на задвижването

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Външен вид на дву-координатна маса, задвижвана от линейни двигатели



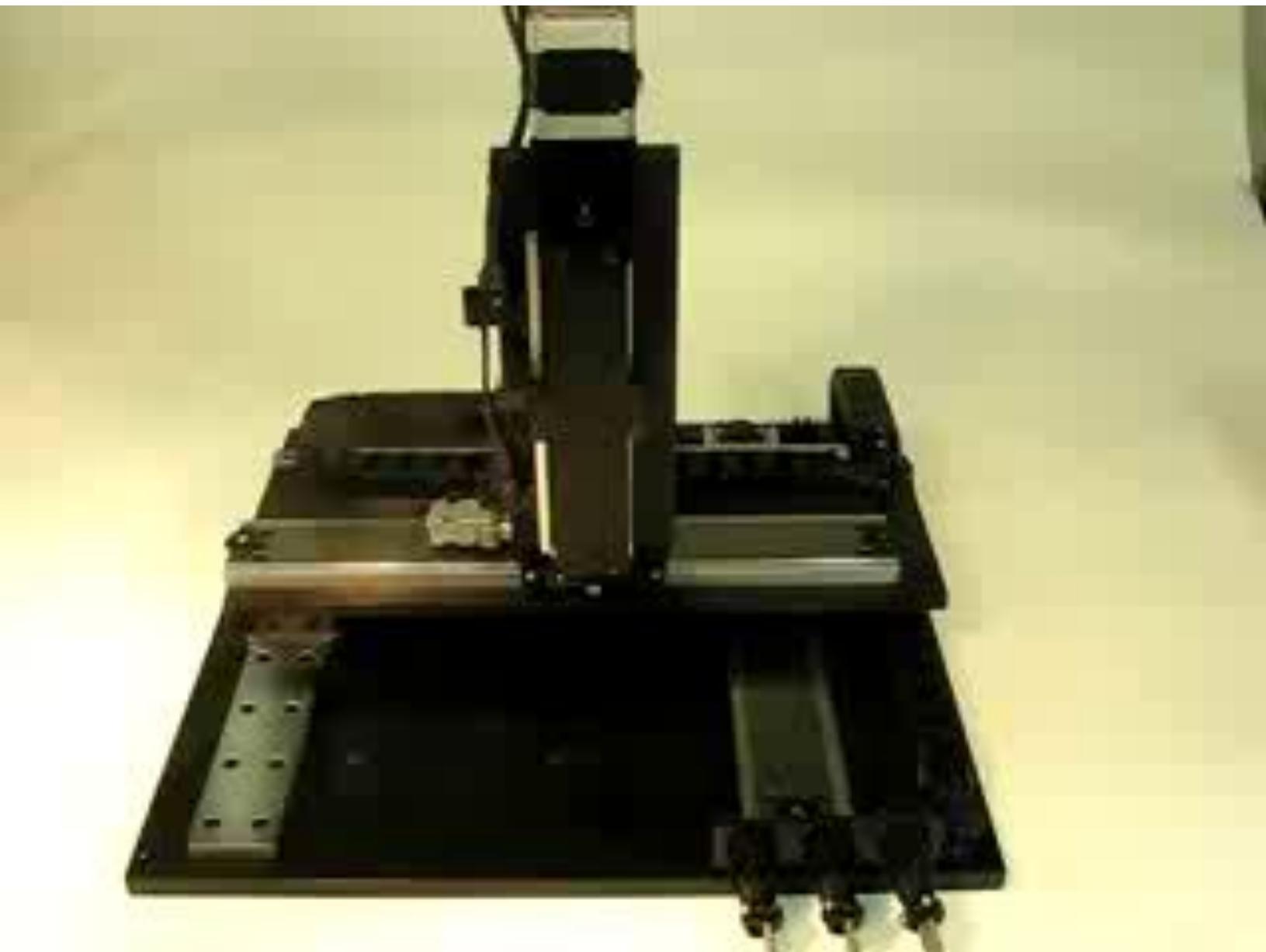
1. Lineарен двигател по ос Y.
2. Захранващи проводници и охлаждане за двигателя по ос X.
3. Lineарен двигател по ос X.
4. Направляващи по ос X.
5. Място за закрепване на приспособление.
6. Направляващи по ос Y.
7. Защитни капаци

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Двухкоординатната машина е предназначена за монтажни автомати с висока производителност и за автоматично инспектиране на характерни места в детайли и сглобени единици.









5 Axis
Linear Motor CNC Machine
40,000rpm Spindle
90 Metres a Minute



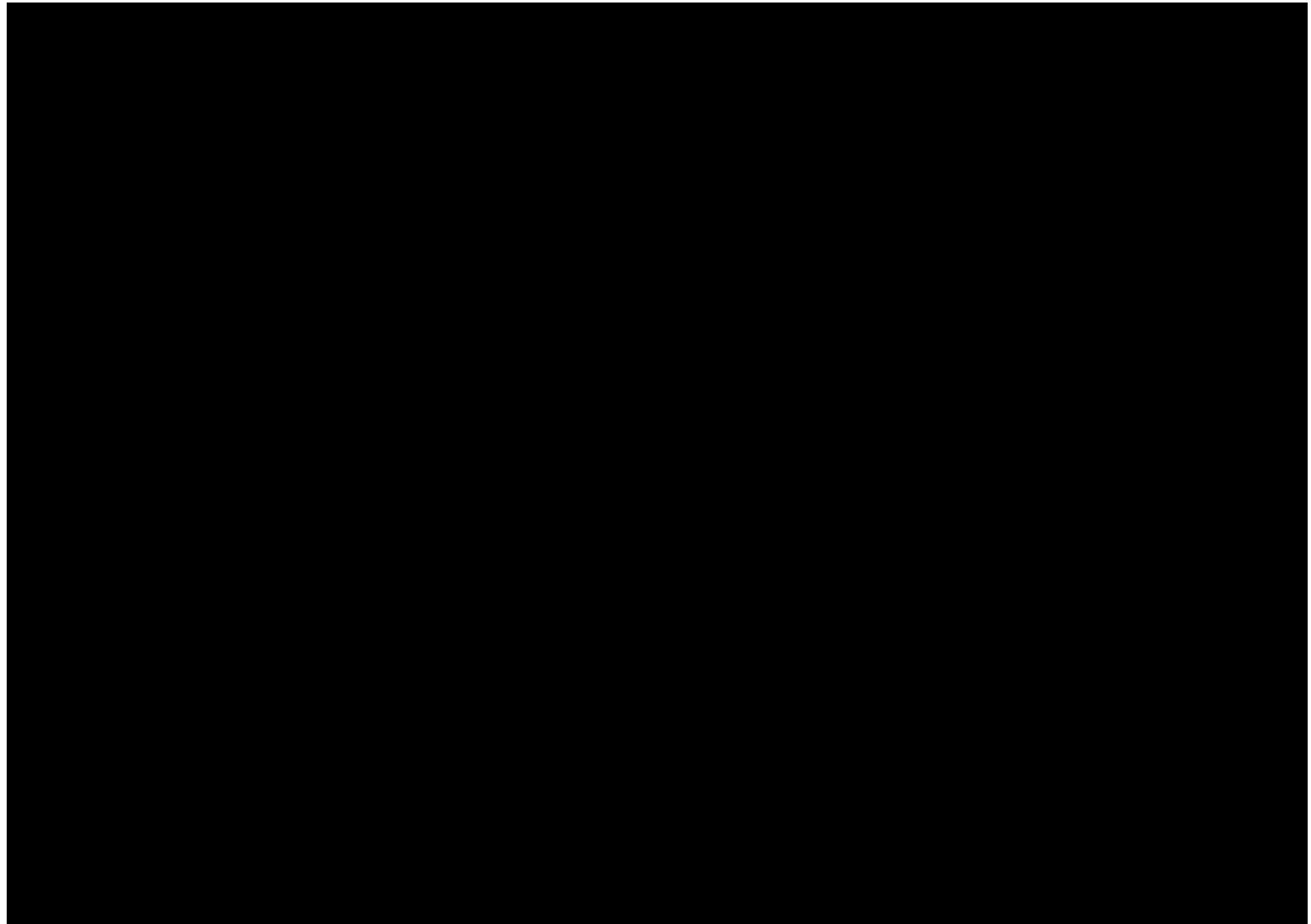
www.Matsuura.co.uk

ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линейни задвижвания с ниска цена

- ▶ Когато трябва да се използва линеен двигател, но не се изисква скорост 2-10 м/сек съществуват множество линейни задвижвания, които имат цена, несъизмеримо по-ниска от тази на линейните двигатели и системите за тяхното управление

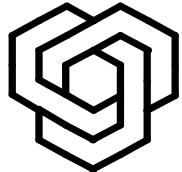
Примери за линейни задвижвания с ниска цена





**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 5

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- Условията, при които ще работи задвижването, оказват голямо влияние върху конструкцията му по отношение на:
- необходим температурен диапазон на работа
 - степен на защита срещу поражения от електрически ток и механични травми
 - степен на защита срещу попадане на механични тела и влага в двигателите
 - възможност за работа в пожаро-опасна и взрыво-опасна среда
 - За всяко конкретно съчетание от условия за работа и изисквания за безопасност съществуват нормативни документи от международно и държавно ниво

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Основен обект на внимание са експлоатационните изискванията към електродвигателите, причините за което са:
 - електродвигателите се намират близо до работната зона на машината и са в относително неблагоприятни условия
 - избирането на конструктивното изпълнение на електродвигателите по критерии, съответстващи на условията на работа, трябва да бъде направено от **машинния инженер**, тъй като той **най-добре познава тези условия**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ По отношение на системата за управление на електродвигателите и задвижванията, подобни разглеждания няма да се правят, защото:
 - системата за управление се конструира от инженери от други области (електротехника, електроника, компютърни технологии)
 - за системата за управление винаги могат да се осигурят по-комфортни условия чрез разполагането ѝ на места, отдалечени от работната зона на машината, в това число и в отделени от машината помещения

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

5.1 Температурно поведение на електродвигателите

- ▶ Електродвигателите са устройства, които преобразуват електрическата енергия в механична
- ▶ Това преобразуване е съпроводено със загуби на енергия, които се превръщат в топлина и повишават температурата на двигателя
- ▶ От закона за съхранение на енергията, мощността на загубите може да се изрази чрез:

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

$$P_{заг} = P_{ел} - P_{мех} = \Delta P \quad (5.1)$$

$P_{заг}$, ΔP - мощност на загубите в двигателя [W]

$P_{ел}$ - подавана към двигателя електрическа мощност [W]

$P_{мех}$ - получена от двигателя механична мощност [W]

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Отделеното в двигателя **количество топлина**, дължащо се на тези загуби, **числено е равно на произведението на мощността на загубите и времето на работата**
- ▶ От топлотехниката е известно, че при такава ситуация **температурата на двигателя ще нараства с продължителността на неговата работа**
- ▶ След известно време температурата ще надвиши определена стойност, в резултат на което в двигателя се получават повреди от различен характер

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Типична повреда е така наречения “**електрически пробив**”
- ▶ Същността на **електрическия пробив** се изразява в появяване на електрическа проводимост между места в конструкцията на двигателя, които по начало трябва да са изолирани едно от друго
- ▶ Той е следствие на **рязкото влошаване** на свойствата на използваните изолационни материали при **повишаването на тяхната температура** над определена стойност
- ▶ Електрическият пробив е явление с **необратим** характер и след неговото настъпване двигателят е негоден за използване

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ В тази връзка **процесите на нагряване и охлаждане на електродвигателите** са от основно значение по време на тяхната работа и тези процеси са пряко свързани с правилното избиране на двигател за конкретно задвижване
- ▶ При електродвигателите е прието **процесите на тяхното нагряване и охлаждане да се разглеждат при следните условия:**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ 1. Загряването на електродвигателя става само за сметка на загубите ΔP , в съответствие с (5.1)
- ▶ 2. Двигателят се приема за плътно еднородно тяло с безкрайно голяма топлопроводност
- ▶ 3. Количеството топлина, изльчено от двигателя в околната среда е пропорционално на разликата между температурата на околната среда и температурата на двигателя
- ▶ 4. Температурата на околната среда е постоянна
- ▶ 5. Топлинните загуби, топлинният капацитет и коефициентът на топлоотдаване не зависят от температурата на двигателя

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ При така зададените условия процесите на нагряване и охлажддане на електродвигателя се описват с диференциалното **уравнение на топлинния баланс**:

$$\Delta P \cdot dt = C \cdot d\Theta + A \cdot \Theta \cdot dt \quad (5.2)$$

ΔP - мощност на загубите [W] според (5.1);

dt - интервал от време [s];

$d\Theta$ - изменение на температурата на двигателя [$^{\circ}C$] за време dt ;

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- C** - топлинен капацитет на двигателя [$J/^\circ C$], числено равен на количеството топлина, необходимо за повишаване температурата на двигателя с $1^\circ C$;
- A** - коефициент на топлоотдаване [$J/(^\circ C \cdot s)$], числено равен на количеството топлина, излъчено от двигателя в околната среда при температурна разлика между тях $1^\circ C$;
- Θ** - разлика между температурата на околната среда и температурата на двигателя [$^\circ C$].

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

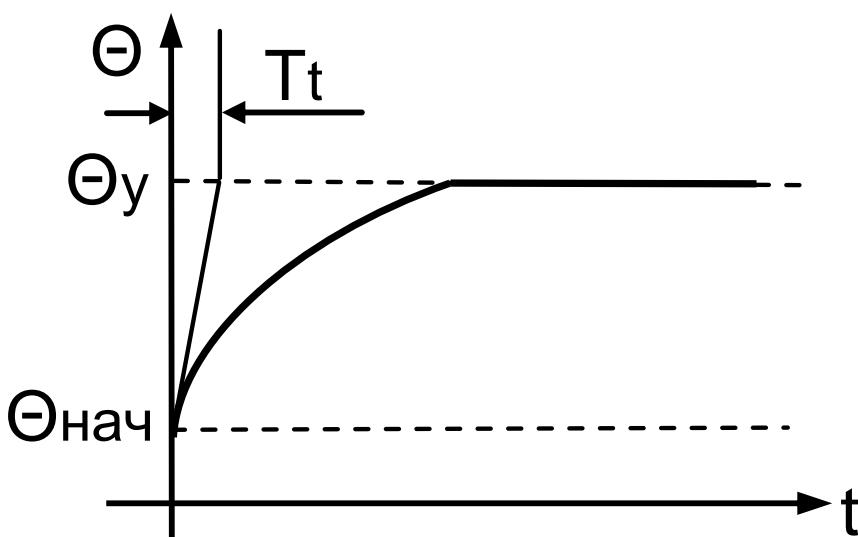
- Решението на уравнението на топлинния баланс при загряване на двигателя е:

$$\Theta = \Theta_y(1 - e^{-\frac{t}{T_t}}) + \Theta_{нач} \cdot e^{-\frac{t}{T_t}} \quad (5.3)$$

- Θ - разлика между температурата на околната среда и температурата на двигателя [°C];
- Θ_y - установена стойност на температурата [°C], числено равна на $\Delta P/A$;
- $\Theta_{нач}$ - начална стойност на температурата [°C], от която започва процесът на нагряване;

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- e - основа на натуралния логаритъм, $e=2,71$;
- Tt - топлинна времеконстанта на двигателя [s], [**min**],
числено равна на C/A ;
- t - текуща стойност на времето от началото на процеса.



Графично представяне на решението на уравнението на топлинния баланс при загряване

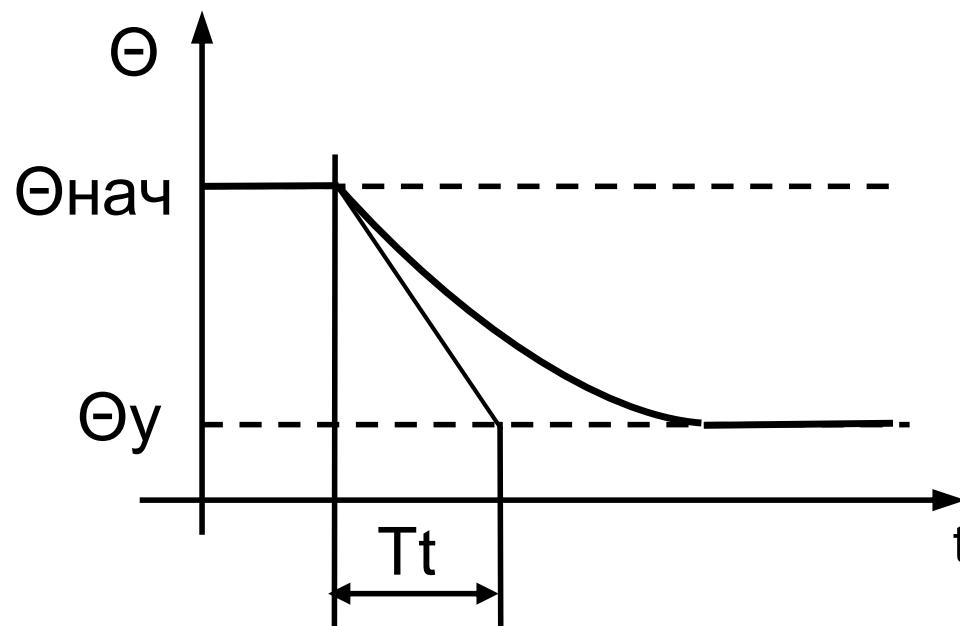
ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Решението на уравнението на топлинния баланс при охлаждане на двигателя е:

$$\Theta = \Theta_{нач.} e^{-\frac{t}{Tt}} \quad (5.4)$$

- Θ - разлика между температурата на околната среда и температурата на двигателя [$^{\circ}\text{C}$];
- $\Theta_{нач.}$ - начална стойност на температурата [$^{\circ}\text{C}$], от която започва процеса на охлаждане;
- t - текуща стойност на времето от началото на процеса.

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ



Графично представяне на решението на уравнението на топлинния баланс при охлаждане

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

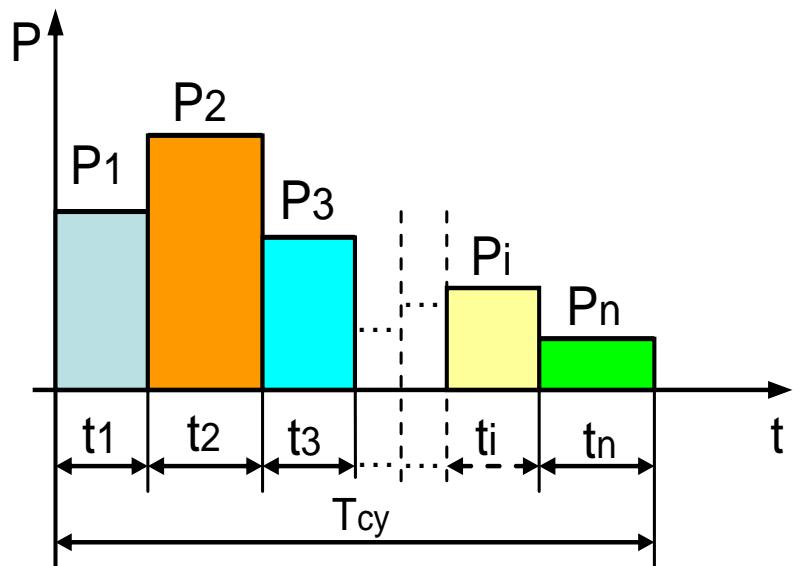
- ▶ За един и същ електродвигател **топлинните времеконстанти Tt** при **загряване** и **охлажддане** са с **различни стойности**
- ▶ За използваните в машиностроенето електродвигатели тези стойности са в границите от 10 минути (за двигателите с малка мощност) до няколко часа (за двигателите с голяма мощност)
- ▶ Като правило, стойностите на топлинните времеконстанти се определят **експериментално** при **номинално натоварване** на двигателя

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

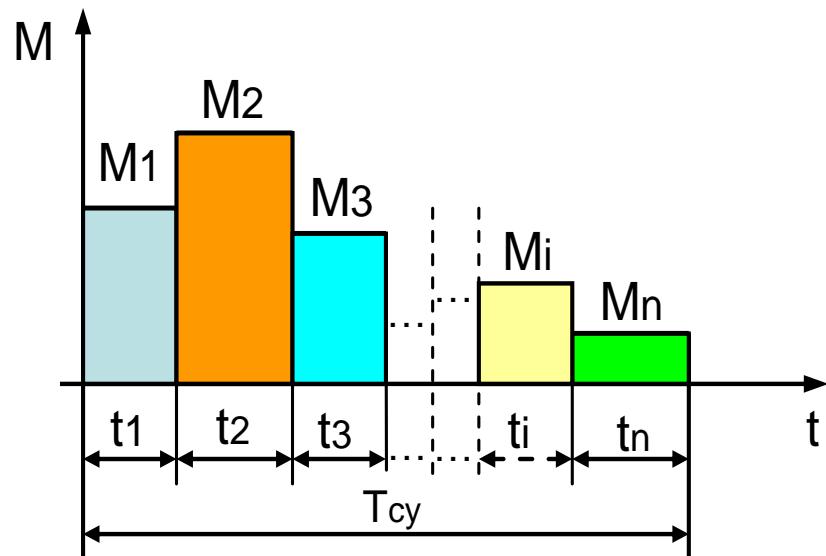
5.2 Натоварване на електродвигателите

- ▶ Натоварването на двигателите винаги е функция на времето, през което работи задвижването
- ▶ Прието е да се представя по два начина:
 - технологична последователност от зависимости между време на работа и мощност
 - технологична последователност от зависимости между време на работа и момент
- ▶ Всяко от тези зависимости **съответства на конкретен технологичния процес, изпълняван от задвижването**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ



Необходима мощност
като функция от
времето на работа



Необходим момент като
функция от времето на
работа

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ От инженерна гледна точка, **правилното решение** е за всеки от периодите $t_1 - t_n$ да се определи изменението на температурата на двигателя по зависимостите (5.3) и (5.4)
- ▶ Да се използва двигател с такава **минимална мощност**, при която натоварването му няма да предизвика превишаване на допустимата температура, за която е изработен.

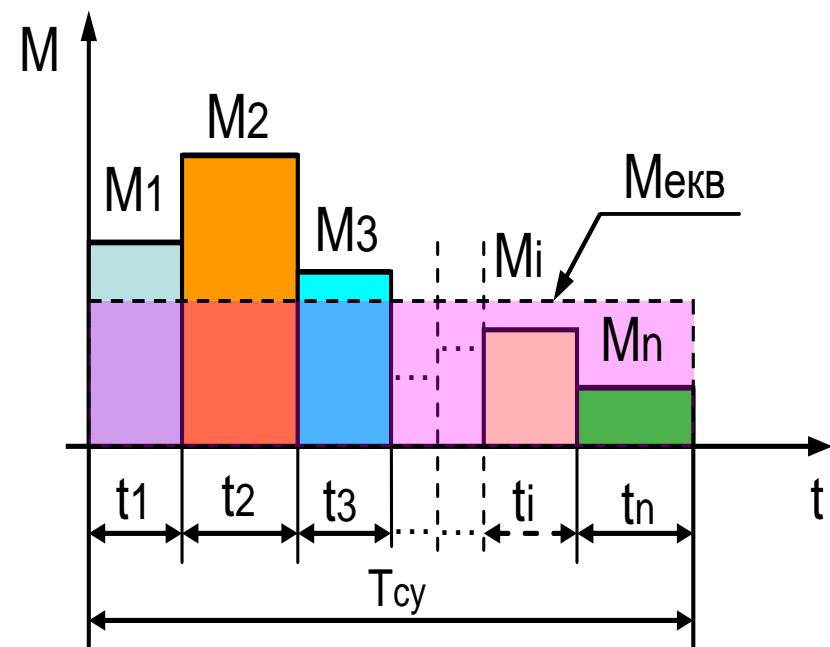
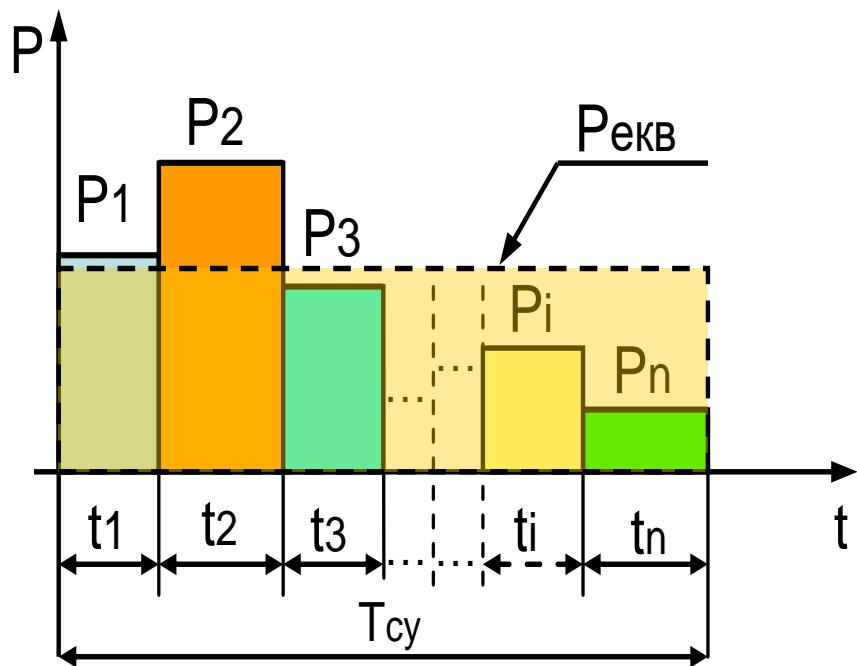
ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ За задвижвания, **изпълняващи една и съща производствена програма** се използва двигател, с номинална мощност или номинален момент, определени чрез така нареченото „еквивалентно натоварване“ - $P_{екв}$ или $M_{екв}$:

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i^2 \cdot t_i)}{T_{cy}}}$$

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i^2 \cdot t_i)}{T_{cy}}}$$

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

5.3 Режими на работата на електродвигателите

- ▶ Практиката показва, че голяма част от задвижванията на различни механизми, имат режими на натоварване, които могат да се представят чрез значително опростени диаграми.
- ▶ ISO (международн организация за стандартизиране) е определила част от тези режими като „**стандартни режими на работа**“ и на пазара се предлагат електродвигатели, проектирани специално за тези режими.

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Всеки стандартен режим се описва най-малко с три диаграми, представящи изменението във времето на:
 - **въртящия момент M** който натоварва двигателя от страна на технологичния процес
 - **мощността на загубите** в двигателя P ($P_{заг}$)
 - **текуща температура Θ** на двигателя
- ▶ Характерни стойности на Θ в диаграмите:
 - Θ_n – начална температура
 - Θ_y – установена температура
 - Θ_{max} – максимална температура

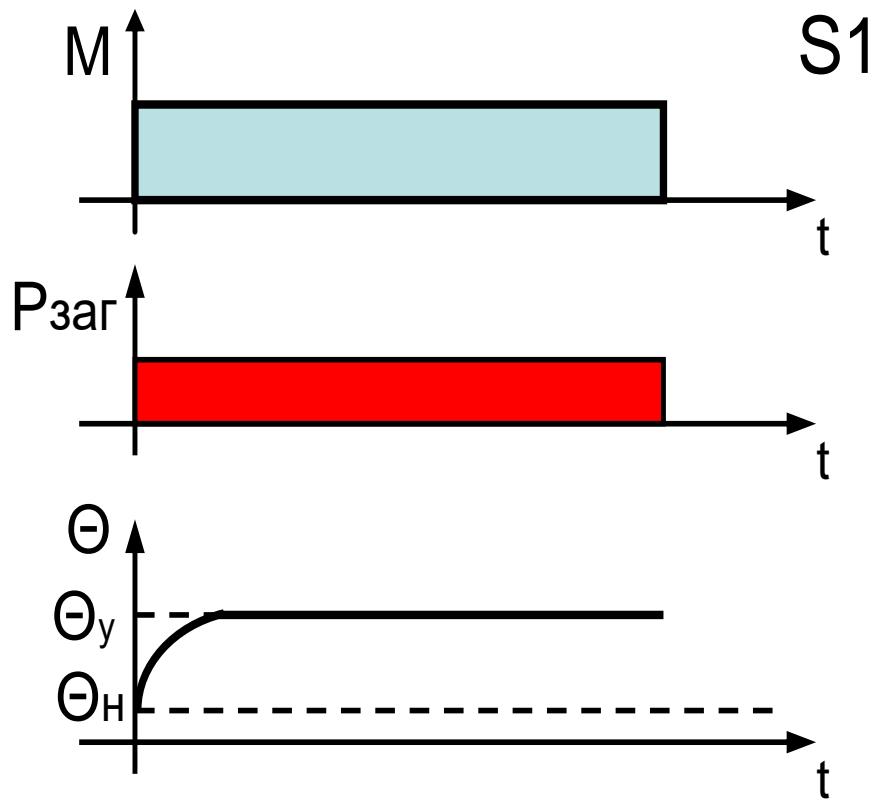
ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Режимите на работа се означават чрез буквата “**S**” и пореден номер
- ▶ Към момента актуалните режими са **S1÷S14** и има тенденция към нарастване на техния брой
- ▶ За механизми на машини, работещи в производствени условия, стандартизираните режими на работа са **S1÷ S8**
- ▶ За ръчни механизирани инструменти с електрическо задвижване стандартизираните режими са **S2, S3** и **S9÷S14**
- ▶ Тук ще се разгледат само режимите **S1÷S8**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Режим S1

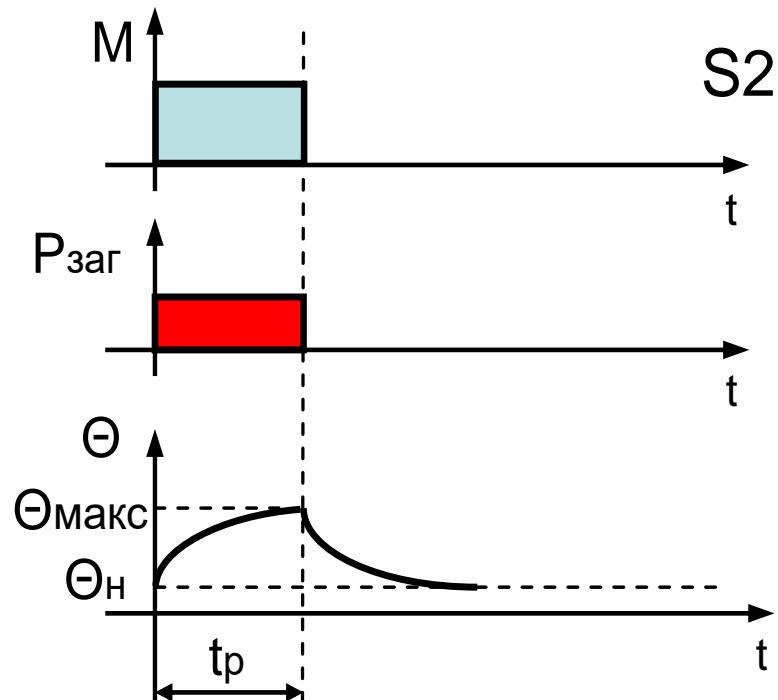
- Двигателят работи продължително време с постоянно натоварване и достига до установена температура,
- Режимът се нарича **продължителен.**



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Режим S2

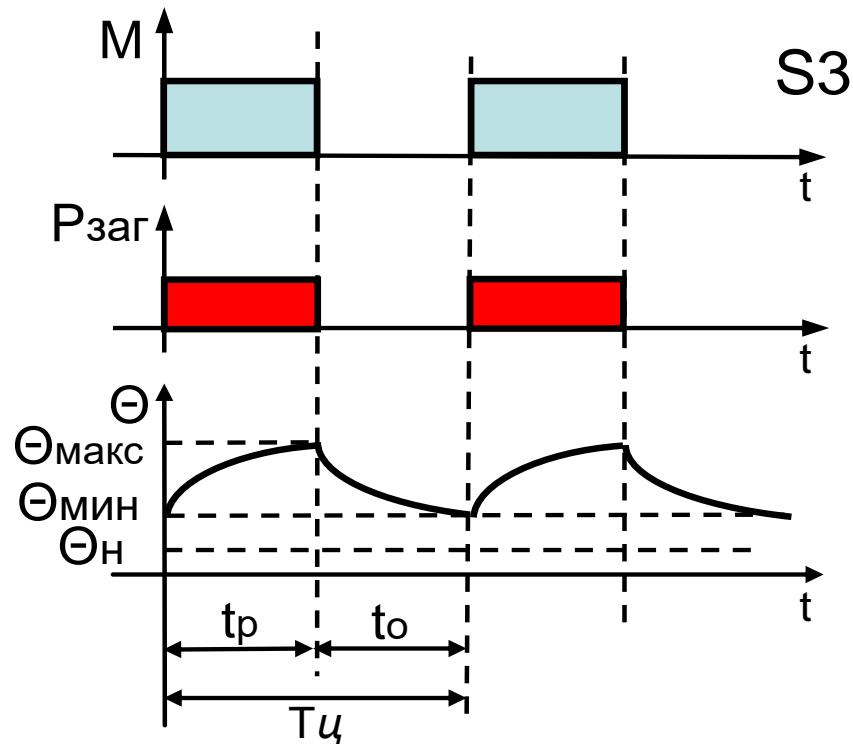
- Двигателят работи кратко време с постоянно натоварване и след като се изключи има достатъчно време да се охлади до температурата на околната среда преди следващото му включване.
- Този режим се нарича **кратковременен**.



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Режим S3

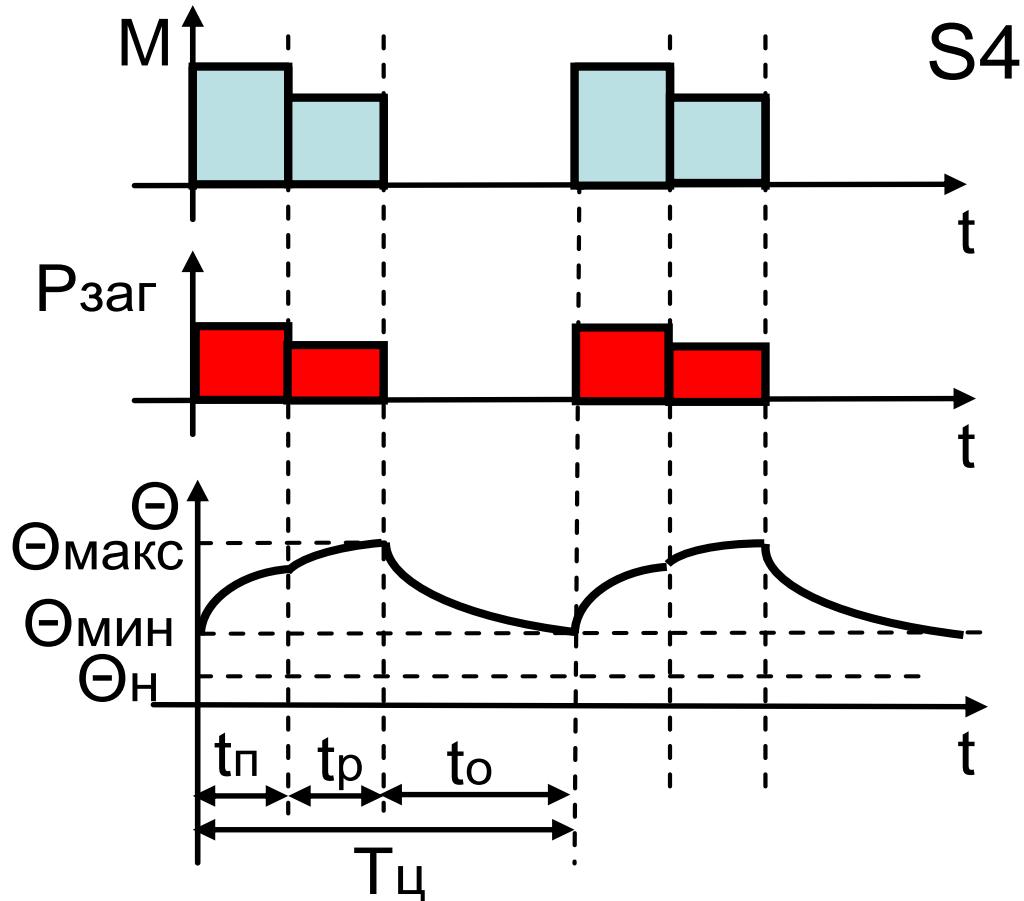
- Двигателят работи кратко време с постоянно натоварване и след като се изключи, няма достатъчно време да се охлади до температурата на околната среда
- Температурата му никога не достига установена стойност.
- Този режим се нарича **повторно кратковременен.**



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Режим S4

- Този режим на натоварване е подобен S3, но приведеният към вала на двигателя инерционен момент на работния механизъм е **поголям от собствения инерционен момент на двигателя**.



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Времето за ускоряване на задвижването при този режим е значително по-голямо от това време при режима S3.
- ▶ През това време отдавания от двигателя въртящ момент M има две компоненти M_1 и M_2 :

$$M_1 = J \frac{d\omega}{dt} \quad \text{- за ускоряване}$$

M_2 - за изпълнение на технологичния процес

- ▶ Ако по време на пускането не се извършва технологичен процес, се предпочита моментът M_1 да бъде с максимално допустимата за двигателя стойност
- ▶ Този режим се нарича **повторно кратковременен с удължено пускане.**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ **Характеризиращите параметри на този режим са:**
 - големината на **въртящия момент M** ;
 - **време на работа tp** ;
 - **относителна продължителност на включване ПВ (5.8);**
 - **кофициент на инерция K_J , (5.9).**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Относителна продължителност на включване ПВ

$$ПВ = \frac{t_n + t_p}{t_n + t_p + t_o} * 100\% = \frac{t_n + t_p}{T_u} * 100\% \quad (5.8)$$

t_n - време за пускане;

t_p - време на работа;

t_o - време на престой (изключен двигател);

T_u - период на повторение (цикъл).

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

► Коефициент на инерция K_J

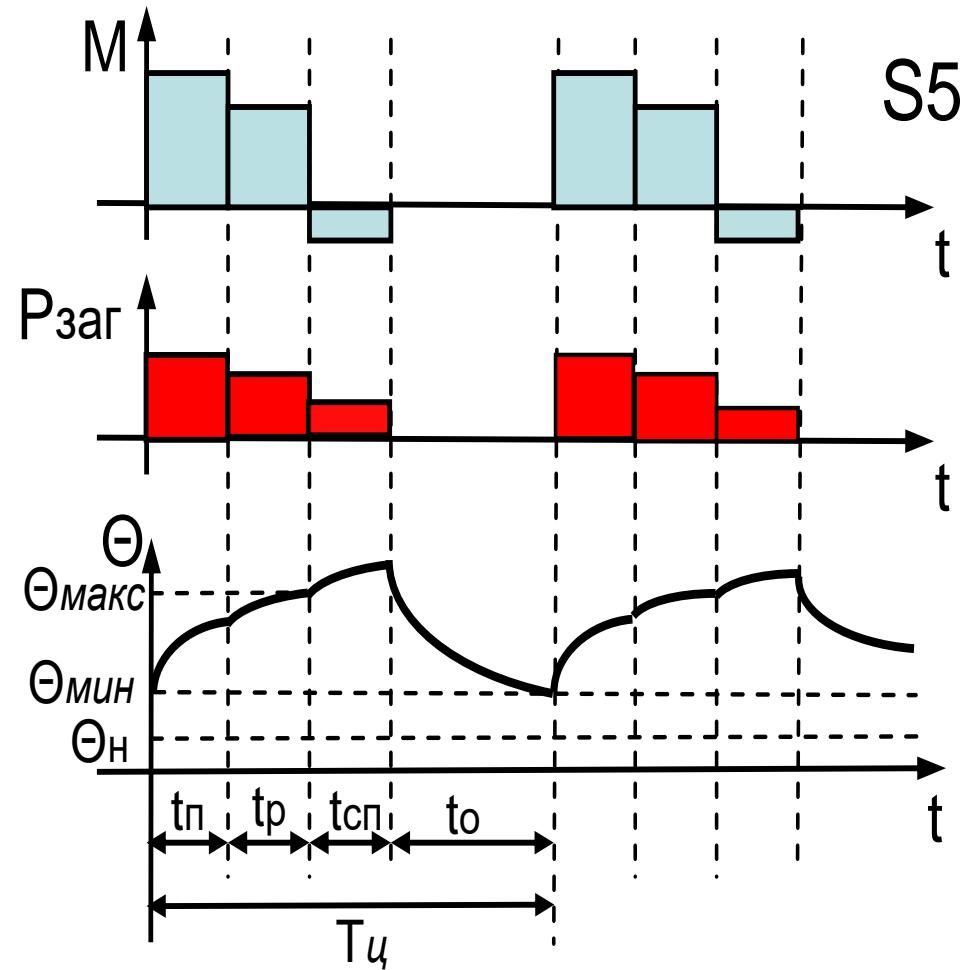
$$K_J = \frac{J_{\text{ПР}}}{J_{\text{ДВ}}} \quad (5.9)$$

- K_J е отношението на приведения към вала на двигателя инерционен момент спрямо собствения инерционен момент на двигателя
- Стандартните стойности за коефициента на инерция K_J са 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 и 4
- За тях съществуват специално проектирани двигатели за работа в режим S4

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Режим S5

Режимът на натоварване S5 е подобен на режима S4, с тази разлика, че след изтичане на времето за работа с постоянно натоварване t_p , с цел **интензивно спиране на задвижването**, двигателят започва да работи като спирачка. По време на процеса на спиране в двигателя се отделя допълнително количество топлина.



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Характеризиращите параметри на този режим са същите както на режима S4
- ▶ При определяне на ПВ към времената **се добавя времето за спиране $t_{сп}$** :

$$ПВ = \frac{t_n + t_p + t_{cn}}{t_n + t_p + t_o} * 100\% = \frac{t_n + t_p + t_{cn}}{T_u} * 100\% \quad (5.11)$$

t_n - време за пускане;

t_p - време за работа;

$t_{сп}$ - време за спиране;

t_o - време за престой (изключен двигател);

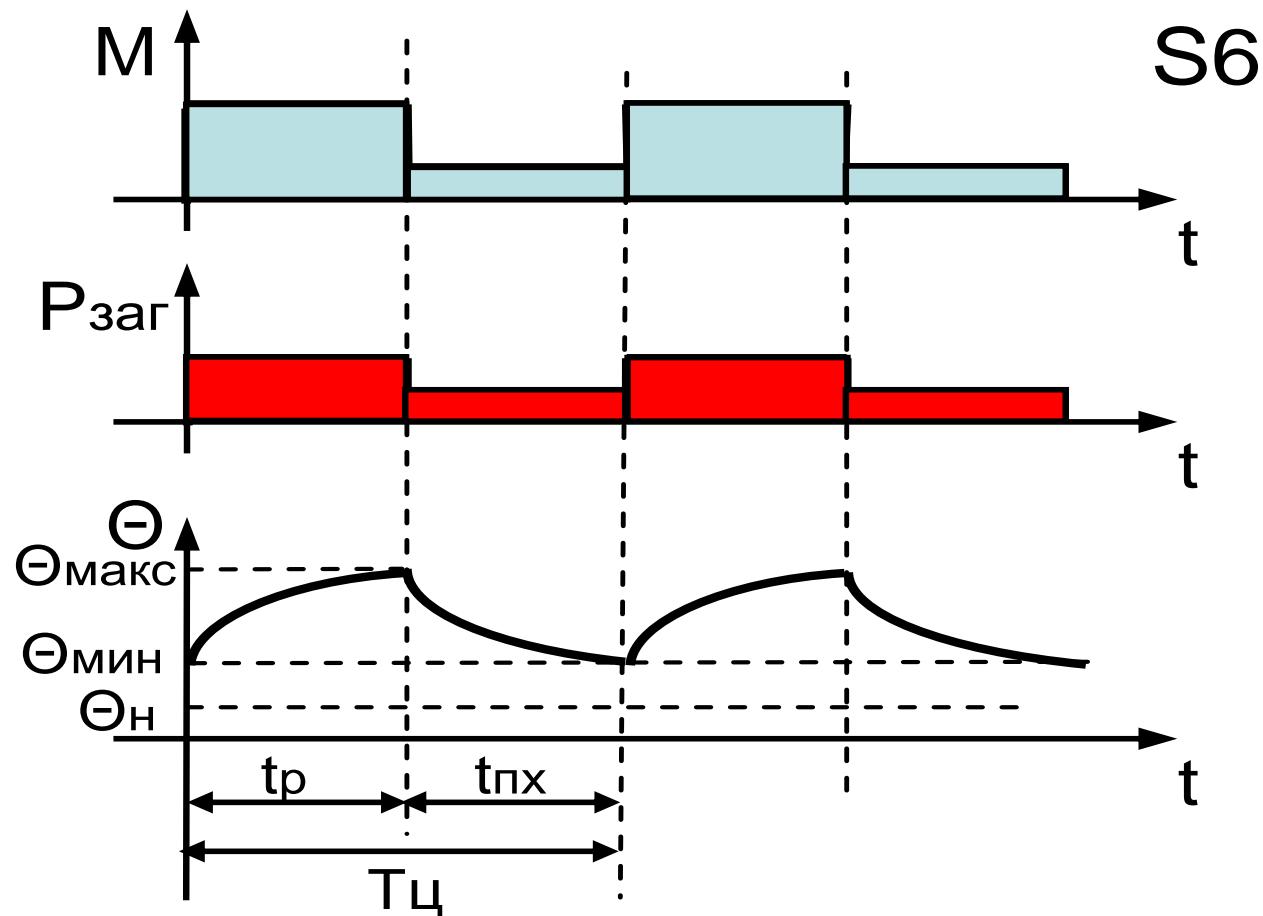
T_u - период на повторение (цикъл).

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Режим S6

- ▶ За този режим на натоварване е характерно, че за разлика от всички предишни режими, **двигателят никога не се изключва от захранващата мрежа**
- ▶ Работният механизъм се задвижва периодично в съответствие с технологията процес, например чрез съединител
- ▶ Самият работен механизъм е с постоянно натоварване
- ▶ Прието е, състоянието, при което двигателят работи, но не задвижва механизма, да се нарича „**празен ход**“

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Параметрите, които характеризират този режим, са аналогични на тези за режим S3, с тази разлика, че вместо „продължителност на включване“ – ПВ се използва „продължителност на работа“ – ПР:

$$PR = \frac{t_p}{t_p + t_{nx}} * 100\% = \frac{t_p}{T_u} * 100\% \quad (5.12)$$

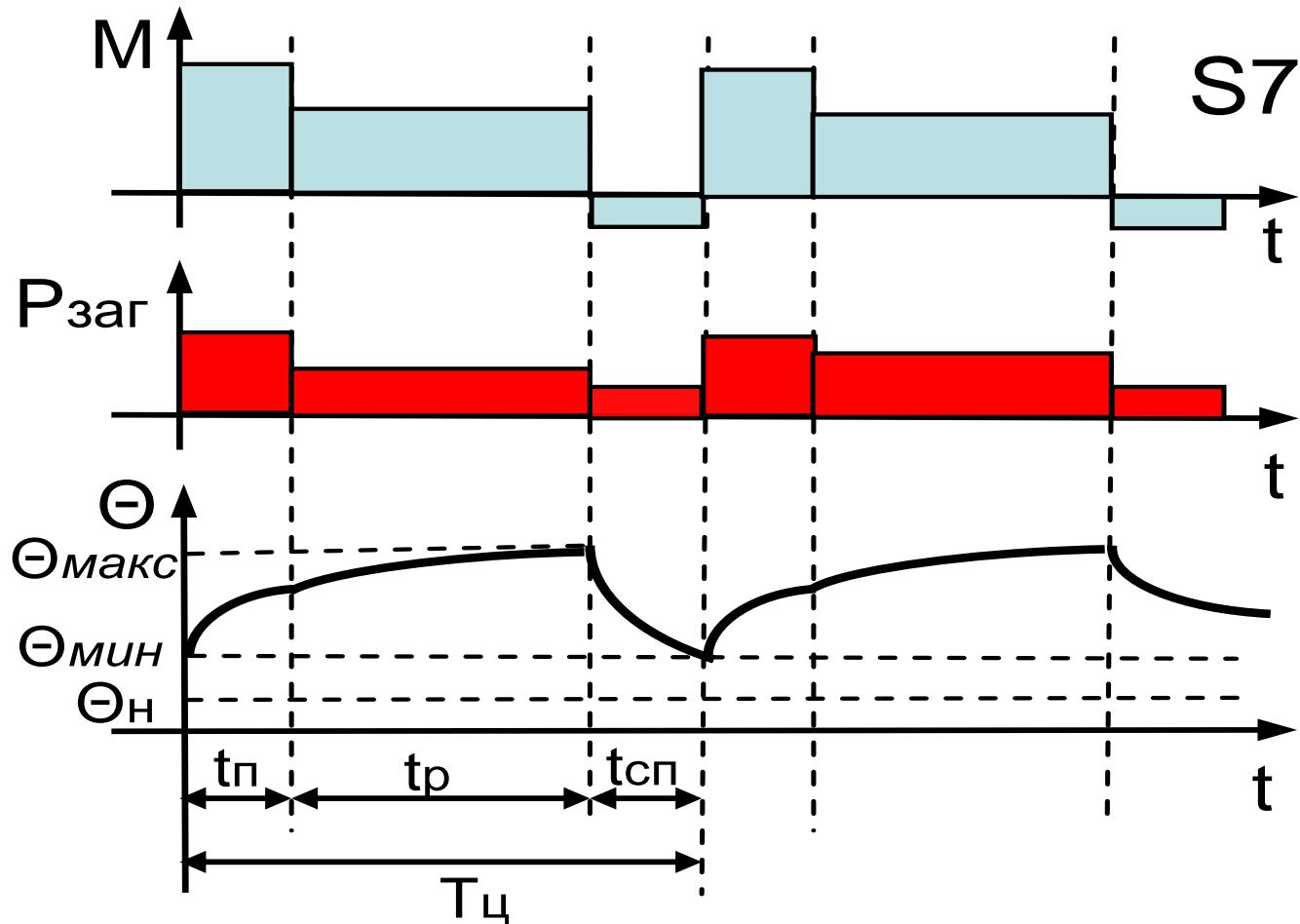
t_{nx} - време на празния ход (спрян механизъм при работещ двигател)

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Режим S7

- ▶ Режимът на натоварване S7 е комбинация между режимите S5 и S6, изразяваща се в:
 - двигателят задвижва механизъм с голям приведен инерционен момент
 - за бързо спиране на механизма в края на цикъла двигателят работи като спирачка (режим S5)
 - двигателят никога не се изключва от захранващата мрежа и задвижването на работния механизъм става чрез други средства (режим S6)

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

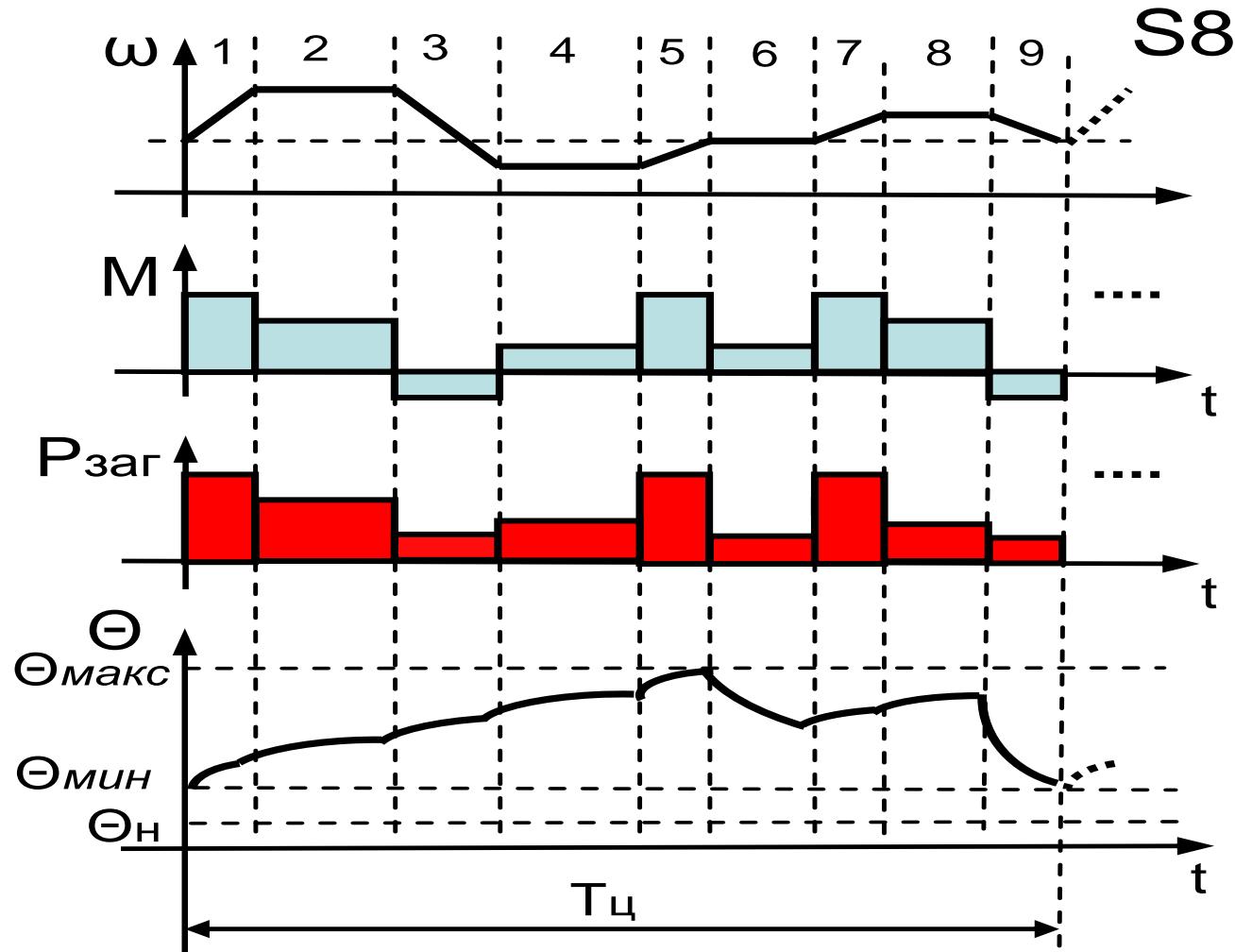
- ▶ Параметрите, които характеризират режим S7:
 - коефициент на инерция K_J , определен по (5.9)
 - продължителност на работа PR , определена по (5.12)
- ▶ Стандартните стойности на тези параметри са същите, както при предишните режими
- ▶ При конструиране на задвижвания с такъв режим на работа често се използва двигател за режим S1, чиято мощност $P_{екв}$ се определя чрез (5.5)

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Режим S8

- ▶ Този режим на натоварване съдържа периоди с различни по големини моменти M_i ;
- ▶ Основната разлика спрямо режимите S3-S7 е, че скоростта на двигателя ω е различна за различните периоди и тя се осигурява от системата за управление на двигателя
- ▶ За всеки от периодите мощността $P_i = M_i * \omega_i$, осигурявана от двигателя, е различна, което обуславя и различна мощност на загубите $P_{загi}$
- ▶ Вероятността за пълно изключване на двигателя между отделните цикли е малка

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ



ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Примерният цикъл на работа съдържа 9 участъка, означени с 1-9
- ▶ Скоростта се изменя между старата и новата стойност и за това е необходимо време
- ▶ Диаграмата на натоварване съдържа допълнително участъци за ускоряване и забавяне, в случая 1, 3, 5, 7 и 9
- ▶ По правило в тях не се извършва технологичен процес и за да бъдат с малка продължителност се използва максималният възможен момент на двигателя
- ▶ В участъците 2, 4, 6 и 8 се извършва технологичен процес

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ При конструиране на задвижвания с такъв режим на работа се използва двигател за режим S1, чиято мощност $P_{екв}$ се определя чрез (5.5), като предварително се определи мощността P_i за отделните участъци
- ▶ Всеки участък се причислява по коректен начин към един от режимите S3 - S7 и за него се прилагат вече известните зависимости

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Допълнителни пояснения за режимите S1 – S8

- ▶ „Честота на включване” - „ Z ”
- ▶ Има дименсия „брой включвания за един час”
- ▶ На пръв поглед този параметър се определя еднозначно от големината на цикъла T_u и големината му е:

$$z = \frac{60}{T_u} \quad [\text{min}] \quad \text{или} \quad z = \frac{3600}{T_u} \quad [\text{s}] \quad (5.13)$$

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Смисълът, който се влага в него е:
 - електродвигател с посочената стойност на z работи на празен ход при несвързан към вала му работен механизъм
 - двигателят се включва и изключва z пъти за един час
 - времената на включеното и изключеното състояния са равни
 - през това време той ще се нагрее до максимално допустимата температура, за която е изработен

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Този параметър трябва да се разбира като **ограничение**, че двигателят по принцип не може да осигури по-голям от посочения брой цикли за час
- ▶ Обикновено има стойност в границите 50-1500 цикъла за един час в зависимост от двигателя.

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Много производители посочват в своята документация стойност на топлинната времеконстанта T_t
- ▶ Тя също е ориентировъчна, защото е определена експериментално при конкретни условия:
 - неизменна околна температура 20°C
 - работа на двигателя на естествена механична характеристика
 - работа на двигателя при номинална мощност
 - работа на двигателя в режим S1 (или друг, приведен към него)

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Конструктивно изпълнение на електродвигателя в зависимост от условията на работа

- ▶ До тук бяха разгледани основните параметри на електро-двигателите: въртящ момент, ъглова скорост, мощност и режим на работа
- ▶ Те са важни, но не са достатъчни за правилно избиране на двигател за конкретно приложение
- ▶ Електротехническата промишленост произвежда двигатели и средства за тяхното управление с едни и същи електрически параметри, но различаващи се в **конструктивно изпълнение**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Конструктивното изпълнение е свързано с **условията в работи задвижването по отношение на:**
 - **максимална работна температура**
 - **защита от проникване на прах и влага**
 - **пригодност за работа при наличие на корозивно активни вещества в експлоатационни условия**
 - **пригодност за работа в пожароопасни и взрывоопасни среди**
 - **други специфични изисквания**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Посочените условия са **стандартизираны в международен мащаб от ISO**
- ▶ Те се спазват производителите на елементната база и от конструкторите на машини и съоръжения за индустриално приложение
- ▶ Тук ще се отдели внимание на първите две изисквания, защото:
 - те са общовалидни за всяка производствена техника
 - те са основни за машиностроенето
- ▶ Останалите изисквания са специфични за други области на индустрията и няма да се разглеждат

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Максимална работна температура

- ▶ Нарастването на температурата на двигателя предизвиква промени в използваните изолационни материали, които влошават техните показатели
- ▶ В най-голяма степен се влошава основният им показател „**електрическа якост**“
- ▶ Във връзка със запазването на електрическата якост по отношение на температурата изолационните материали са групирани в класове

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Клас на изолация	Макс. темп. °C	Състав и обработване на изолационните материали
Y	90	Влакнести материали от целулоза, памук и естествена коприна, без импрегниране
A	105	Същите материали, но импрегнирани или потопени в течна електроизолационна среда
E	120	Синтетични органични материали, използвани като ленти, смоли и импрегниращи среди
B	130	Материали на основата на стъклотъкан и азбест, импрегнирани с органични вещества
F	155	Синтетични материали. Материали на база слюда, стъклотъкан и азбест
H	180	Материали на база слюда, стъклотъкан и азбест, импрегнирани със силико-органични полимери
C	над 180	Слюда, керамика, стъкло, кварц или комбинация от тях, но без органични свързвани материали

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ За правилното избиране на необходимия температурен клас на изолацията на двигателя трябва да се знае, че **максималната температура се формира като сума от два компонента:**
 - **температурата на околната среда**
 - **температура, която се получава следствие загряването на двигателя от загубите в него**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Защита от прах, влага и механични удари

- ▶ В съответствие с ISO тази защита се означава с буквите **IP** (*Internal Protection*) и съдържа две или три цифри в зависимост от изделието за което се отнася
- ▶ Тя гарантира неговата пълна работоспособност по отношение на посочените в табл. 5.2 -5.4 условия
- ▶ Степента на защита се означава чрез

IPxx* или *IPxxx

x – цифра 0 - 9

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ За стационарно монтирани изделия броят на цифрите е две:
 - Първата цифра показва две неща
 - **защитата срещу проникване на механични тела в изделието**, които могат да нарушат неговата работа
 - **степента на защита на човешкото тяло срещу директен допир и поражение от електрически ток**
- ▶ Втората цифра показва **защитата на изделието срещу проникване на вода и влага в него**

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Табл. 5.2

първа цифра	описание на защитата
0	Липсва всяка защита
1	Зашита от проникване на тела с размери над 50 мм, включително допиране на длан
2	Зашита от проникване на тела с размери над 12 мм, включително пръст на ръка
3	Зашита от проникване на тела с размери над 2,5 мм, включително инструменти и ел. проводници
4	Зашита от проникване на тела с размери над 1 мм, включително инструменти и ел. проводници
5	В изделието може да проникне прах в количество, което не нарушава нормалната му работа
6	В изделието е невъзможно проникването на прах

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

Табл. 5.3

втора цифра	описание на защитата
0	Липсва всякааква защита
1	Зашита срещу вертикално падащи капки вода, основно от кондензация
2	Зашита срещу капки вода, падащи под ъгъл до 15° спрямо вертикалата
3	Зашита срещу капки вода и дъжд, падащи под ъгъл до 60° спрямо вертикалата
4	Зашита от пръскана върху изделието под какъвто и да е ъгъл вода, като се допуска ограничено проникване на вода в изделието, която не нарушава неговата работа
5	Зашита срещу водни струи с ниско налягане, попаднали случайно върху изделието под какъвто и да е ъгъл, като се допуска ограничено проникване на вода в него, която не нарушава работата му
6	Зашита срещу водни струи с ниско налягане, пръскани системно върху изделието под какъвто и да е ъгъл, като се допуска ограничено проникване на вода в него, която не нарушава работата му
7	Зашита срещу проникване на вода в изделието при краткотрайно потопяване във вода на дълбочина от 15 см. до 1 м.
8	Пълна защита срещу проникване на вода в изделието при потопяването му за неограничено време във вода на предварително договорена дълбочина

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

- ▶ Във връзка с използването в производствени условия на ръчни инструменти с електрическо задвижване и на безжични средства за дистанционно управление, които се носят и държат от човек-оператор и по невнимание могат да бъдат изпуснати на пода, към досегашната IP степен на защита, ISO добави **трета цифра**, показваща степента на защита от удар при падане
- ▶ Ако означението **IP съдържа само две цифри**, изделието за което се отнася IP не притежава защита срещу удар
- ▶ Степените на тази защитата срещу удар са дадени в табл. 5.4

ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ОСОБЕНОСТИ НА ЕЛЕКТРОДВИГАТЕЛИТЕ

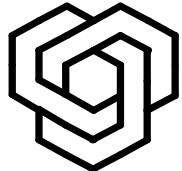
Табл. 5.4

трета цифра	описание на защитата
0	Липсва всяка външна защита
1	Защита срещу удар от 0,225 J, (напр. обект с тегло 150 г. пада от височина 15 см.)
2	Защита срещу удар от 0,375 J, (напр. обект с тегло 250 г. пада от височина 15 см.)
3	Защита срещу удар от 0,5 J, (напр. обект с тегло 250 г. пада от височина 20 см.)
4	Защита срещу удар от 2,0 J, (напр. обект с тегло 500 г. пада от височина 40 см.)
5	Защита срещу удар от 6,0 J, (напр. обект с тегло 1,5 кг. пада от височина 40 см.)
6	Защита срещу удар от 20,0 J (напр. обект с тегло 5 кг. пада от височина 40 см.)

- Степента на защита *IP* на изделието се маркира по траен начин върху неговият корпус или етикет и е неразделна част от техническата му характеристика.

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 6

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

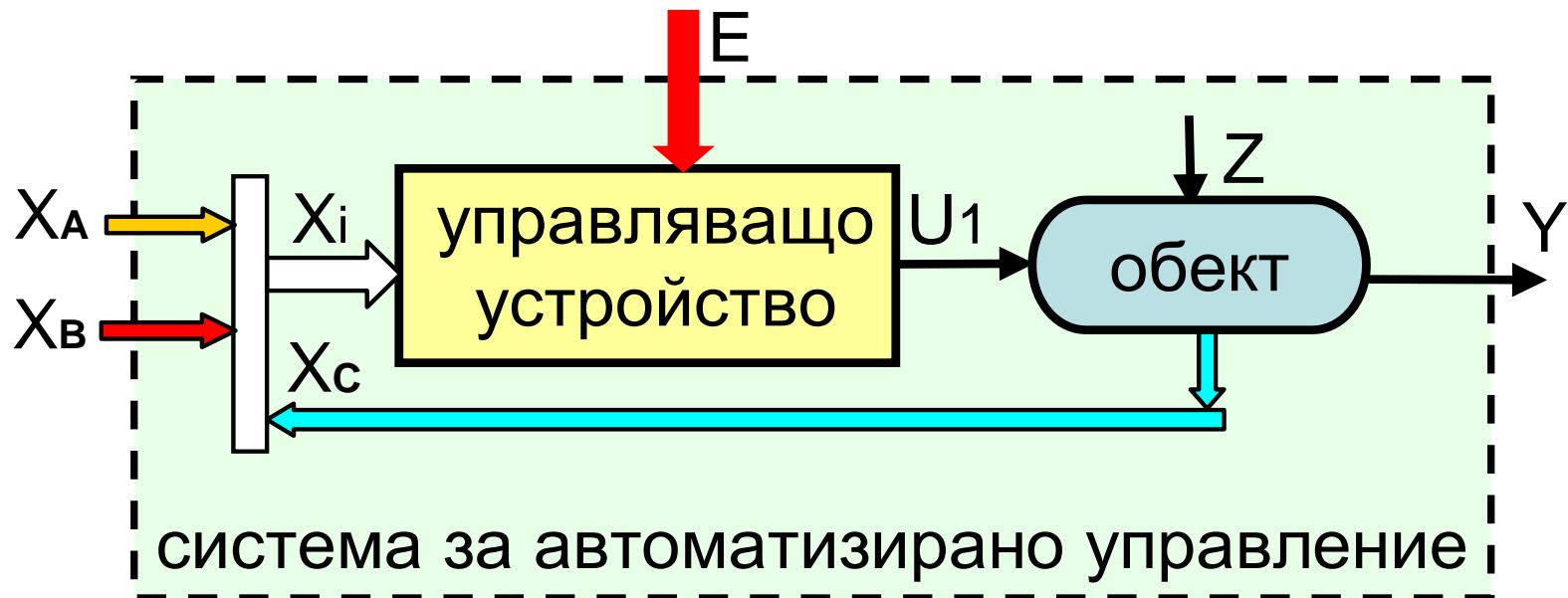
АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Основни сведения за автоматизираното управление

- ▶ Автоматизираното управление е предназначено, да замести човека-оператор при работа с технологични обекти.
- ▶ В зависимост от сложността на обекта е целесъобразно неговото частично или пълно автоматизиране.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

СТРУКТУРА НА СИСТЕМИТЕ ЗА АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ **Обект на управление** - технологичен процес, механизъм или машина, чието състояние или работа трябва да се променя по определен начин
- ▶ **Управляващо устройство** – комплексно понятие, обхващащо всичко необходимо за принудителна промяна състоянието на обекта на управление. Това устройство съдържа съвкупност от блокове, чрез които от енергията E се изработва въздействието U_1 с цел промяна състоянието на обекта
- ▶ **Система за автоматизирано управление** – неделима съвкупност от обект на управлението и управляващо устройство

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Състоянието на системата за управление и на нейните отделни звена се характеризира с редица параметри.
- ▶ Тук се разглеждат **само тези** от тях, които характеризират процеса на взаимодействие между човека-оператор, управляващото устройство и обекта на управление.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Входни въздействия

- ▶ Прието е, те да се означават с X и ако са повече от едно, да се номерират с пореден номер. Входните въздействия са обособени в трите групи X_A , X_B и X_C
- ▶ Въздействията от групата X_A се формират от човек-оператор чрез технически средства, разположени в непосредствена близост до управляващото устройство
- ▶ Въздействията от групата X_B се получават от система за управление, намираща се на по-високо юерархично ниво от разглежданата

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Въздействията от групите X_A и X_B се наричат **задания**, защото чрез тях се задава състоянието, в което трябва да премине управляемият обект
- ▶ Въздействията от групата X_C се получават от сензори, разположени в управляемия обект и са със **същата степен на важност, както заданията**
- ▶ Сигналите X_A , X_B и X_C обикновено са разнотипни по характер и големините им се изменят в широки граници
- ▶ От тях се изработват сигналите X_i , които са с еднотипно представяне и имат един и същ диапазон от стойности

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Вътрешни сигнали

- ▶ Това е множество от сигнали, чрез които става взаимодействието между отделните блокове на системата
- ▶ Прието е те да се означават с ***U*** и пореден номер, ако са повече от един
- ▶ Всеки от тях е изходен за блока, който го създава и входен за блока, който след това го използва

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Изходни величини

- ▶ Тези величини са от основно значение за технологичния процес
- ▶ Техните стойности трябва да се поддържат автоматично от системата за управление
- ▶ Прието е изходните величини да се означават с Y_i и пореден номер, ако са повече от една
- ▶ **Отклонението на изходните величини от предвидените стойности по време на работа е пряк и основен показател за качеството на нейната работа**

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Смущаващи въздействия

- ▶ Това са **неуправляеми външни фактори**, които действат върху обекта и предизвикват нежелани отклонения на изходната величина
- ▶ Прието е смущаващите въздействия да се означават със **Z** и да се номерират, ако са повече от едно
- ▶ Те могат да имат различен произход, например моментна промяна на прибавка, на твърдост, на напрежението на захранващата мрежа, на дебита, налягането и др.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Процес на регулиране

- ▶ Така се нарича съвкупността от действия, които системата за управление **самостоятелно предприема**, за да осигури съответствие между зададеното и действителното състояние на обекта

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Класификация на системите за автоматизирано управление

- Признаки, по които е направена класификацията
- ▶ Връзки между системата за управление и обекта
- ▶ Функционално предназначение на системата за управление
- ▶ Точност на поддържане на изходната величина в установлен режим
- ▶ Поведение на изходната величина в преходен режим
- ▶ Характер на сигналите в системата за управление

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ За тази класификация е прието, че:
 - заданието винаги се означава с X_1 и остава неизменно при разглеждането на процесите в системите за управление
 - входът E , чрез който система за управление се свързва към използвания източник на енергия, винаги се намира в блока, който непосредствено изработва управляващото въздействие към обекта
 - Този вход няма да бъде изобразяван в разглеждните структури, но неговото наличие винаги ще се подразбира

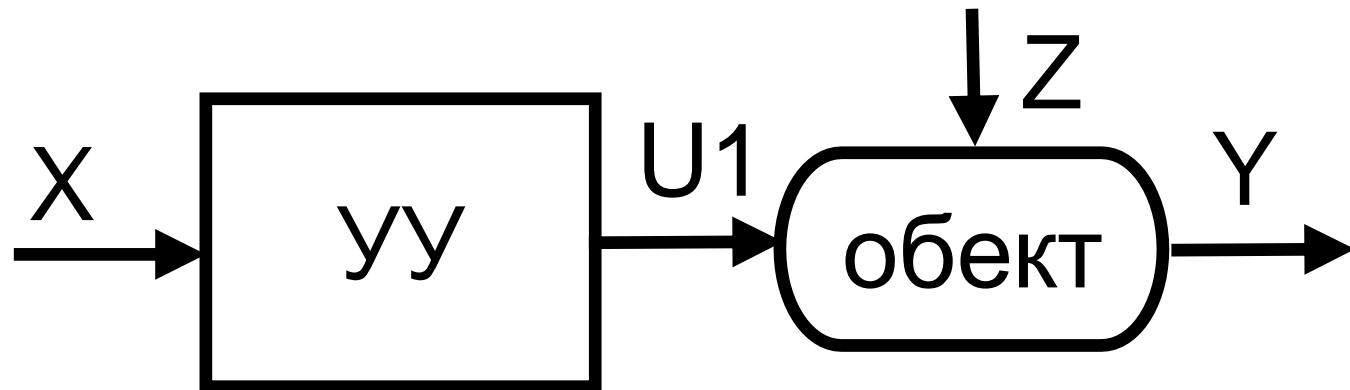
АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Връзки между системата за управление и управлявания обект

- ▶ Отворена система за управление;
- ▶ Система за управление, затворена по смущаващо въздействие;
- ▶ Система за управление, затворена по изходна величина;
- ▶ Система за управление, затворена едновременно по изходна величина и смущаващо въздействие.

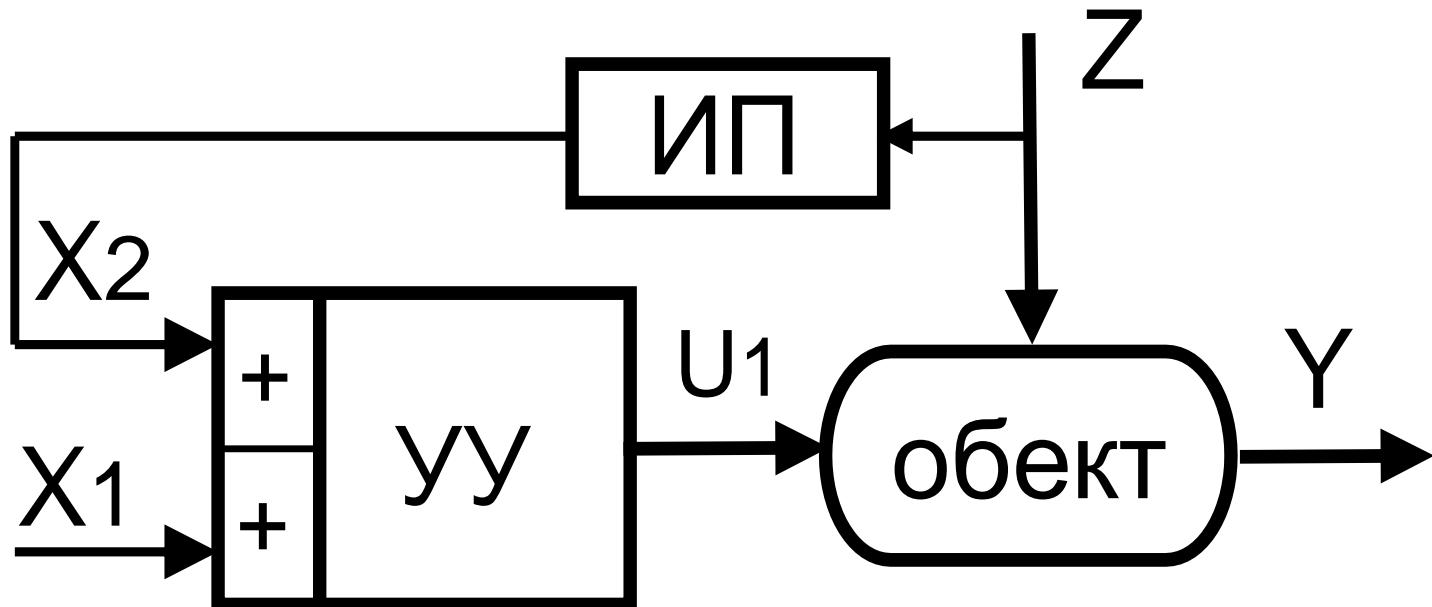
АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Отворена система за управление



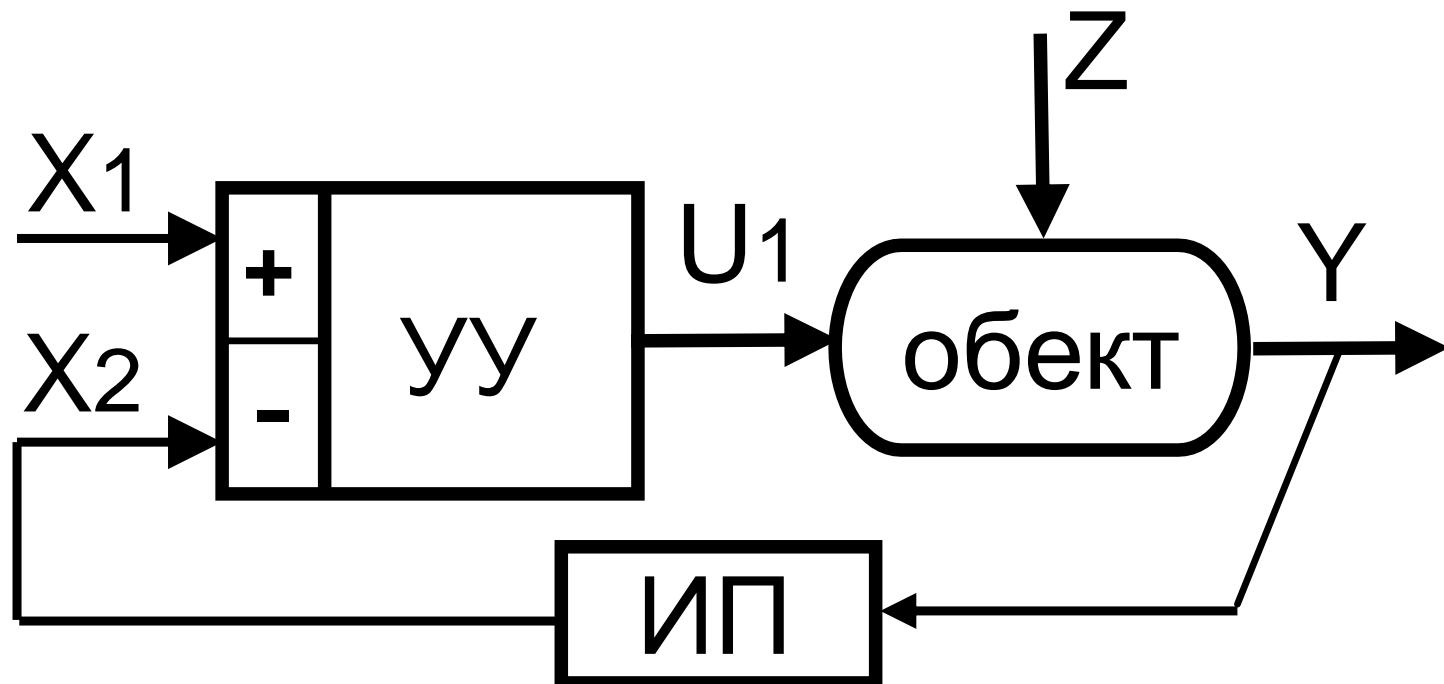
АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Система за управление, затворена по смущащо въздействие



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

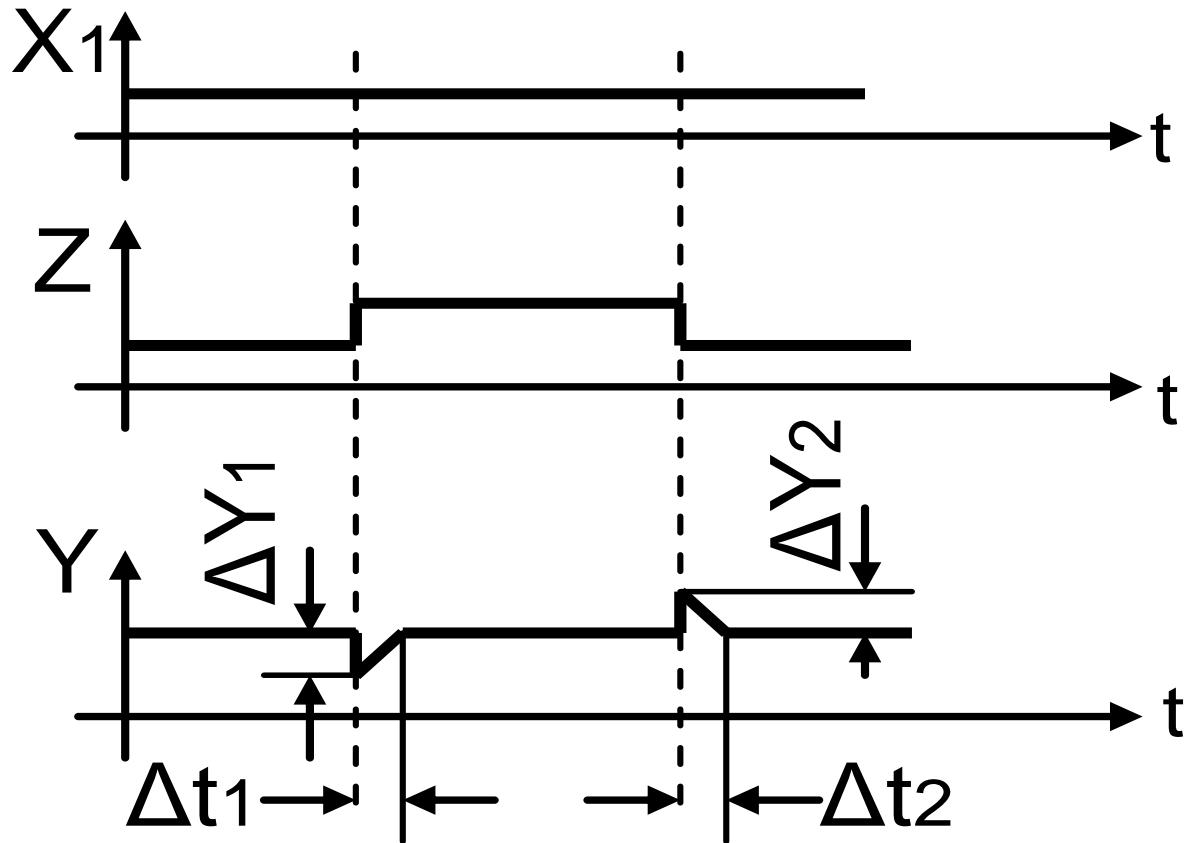
- ▶ Система за управление, затворена по изходна величина



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- При изменение на смущението Z , работата на този тип система за управление протича на три етапа:
- **Етап 1** - Изходната величина Y започва да се променя и измервателният преобразувател *ИП* регистрира промяната
 - **Етап 2** - Системата за управление изработва ново управляващо въздействие U_1 към обекта
 - **Етап 3** - След известно време изходната величина Y достига зададената (първоначалната) стойност

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ ΔY_1 и ΔY_2 са отклоненията на изходната величина Y от нейната установена стойност в моментите на изменение на стойността на смущението Z , които са с продължителност съответно Δt_1 и Δt_2 .
- ▶ Големините на отклоненията ΔY_1 и ΔY_2 и тяхната продължителност Δt_1 и Δt_2 зависят основно от приведения инерционен момент на задвижването и резерва от мощност (момент) на двигателя.

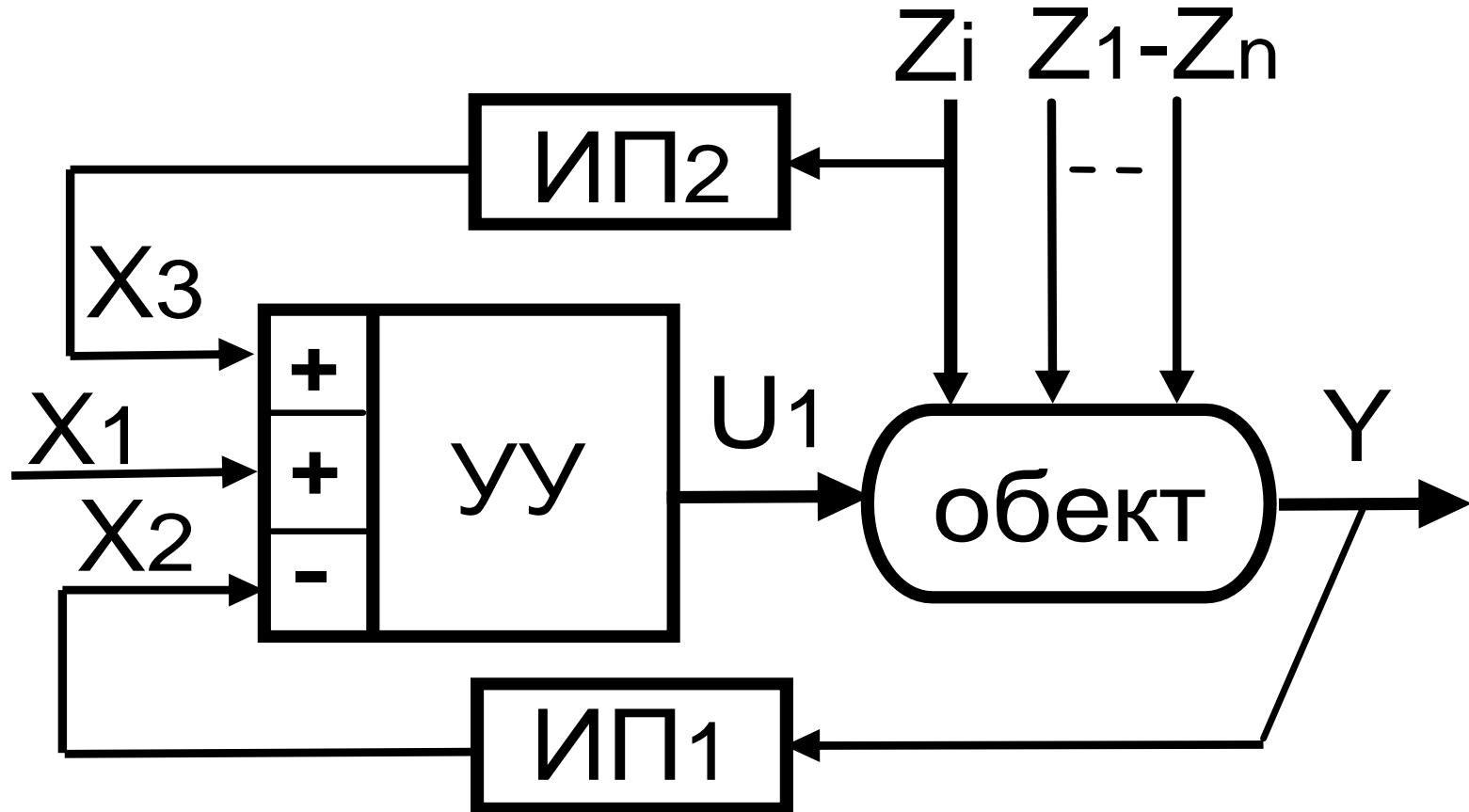
АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Система за управление, затворена по изходна величина и смущаща въздействие

- ▶ Този тип система за управление обединява системата, затворена по изходна величина и системата, затворена по смущаща въздействие.

- ▶ В реалните системи за управление смущенията са няколко и от различен тип, обаче често едно от тях има преобладаваща влияние.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ **Предимство** на тази структура е, че чрез измервателния преобразувател за смущението $ИП_2$, могат да се предприемат изпреварващи действия за актуализиране на вътрешното въздействие U_1 .
 - В резултат на това се постига силно намаляване на ΔY_1 , ΔY_2 , Δt_1 и Δt_2 .
- ▶ **Недостатъкът** на тази структура е формален и е в това, че тя е по-сложна от първите две структури и системите за управление, реализирани по нея, са по-скъпи.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Функционално предназначение на системата за управление

- ▶ Функционалното предназначение на системите за автоматизирано управление е свързано с начина, по който те управляват обектите

Важно:

- ▶ Връзките между системата и управлявания обект не зависят от функционалното предназначение
- ▶ Могат да се използват равностойно всички от вече разгледаните структури, които удовлетворяват изискванията за точност по време на работа

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ По функционално предназначение системите се разделят на следните три групи:
 - системи за стабилизация
 - системи за програмно управление
 - следящи системи
- ▶ Сложността и качеството на работата на тези системи нарастват в съответствие с посочения ред.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Системи за стабилизация

- ▶ Системите за стабилизация са предназначени да **поддържат предварително определена и постоянна по стойност изходна величина**
- ▶ В периода на тяхната експлоатация заданието X като правило е **постоянно**
- ▶ В определени случаи се осигурява възможност заданието X да се изменя в малки граници, което е необходимо при производство, обслужване и ремонт на системи за стабилизация с конкретно предназначение

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ **За тяхната реализация може да се използва всяка от разгледани структури, която удовлетворява изискванията за точност по време на работа**
- ▶ Типичните приложения на системите за стабилизация са свързани с:
 - поддържане скоростта на транспортни конвейери
 - осигуряване на напрежение или ток с параметри, необходими за електрическата част на системите за управление;
 - осигуряване на работен флуид с постоянно налягане или дебит за хидравлични и пневматични задвижвания;
 - други приложения с подобни изисквания

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Системи за програмно управление

- ▶ Системите за програмно управление са предназначени **да изменят принудително състоянието на обекта в съответствие с предварително съставена програма**
- ▶ За тяхната реализация могат да се използват всички структури, които удовлетворяват изискванията за точност по време на работа
- ▶ Заданието **X** се изменя в широк диапазон и се осигурява от програмен носител, който може да използва различни принципи на работа

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Промените на заданието стават през фиксиран интервал от време, кратен на определена стойност.
- ▶ Във всички случаи скоростта на привеждане на изходната величина Y на обекта в съответствие с промяната на заданието X не е от съществено значение
- ▶ Типичен и изцяло механичен представител на тези системи, са широко разпространените металорежещи автомати с гърбично управление

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

**Системите за програмно управление са намерили
приложение за:**

- ▶ Задвижване на работни органи на металорежещи машини и автомати с ниска сложност, към които има изискване за повищена гъвкавост при пренастройване
- ▶ управление на технологични процеси, **развитието на които трябва да става по точно определен начин**, като: термично обработване на метали и сплави, управление на машини за преработване на пластмаси и др.
- ▶ Управление на спомагателни устройства със сложен цикъл на работа

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Към системите за програмно управление **не бива да се причисляват** системите за управление на металорежещи машини, известни у нас като **системи за цифрово програмно управление** (ЦПУ) по следните причини:
- **системите за ЦПУ** се състоят от множество подсистеми от различен тип, функциониращи като едно цяло и **основната подсистема, която осигурява формата и размерите на обработените повърхнини не е от този тип**
 - **оригиналните названия** на тези системи са **NC** (*Numerical Control*) и **CNC** (*Computer Numerical Control*) и др., в които думата „**програмно**“ не се съдържа.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Следящи системи

За следящите системи е характерно:

- ▶ **Предварително не е известно какво ще бъде входното задание X в следващия момент от работата на системата**, тъй като то се формира текущо от конкретно съчетание на външни за системата за управление фактори
- ▶ **Изходната величина Y трябва да бъде приведена в съответствие със заданието X за максимално кратко време и с максималната възможна точност**

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Различията спрямо системите за програмно управление основно са по отношение на алгоритъма на работа и използваната елементна база
- ▶ В теорията на автоматизираното управление се доказва, че постигането на това изискване **е възможно само когато** въздействието U_1 към обекта се формира от:
 - необходимата стойност на изходната величина Y
 - скоростта на изменение на Y
 - ускорението на изменение на Yкато следствие на:
 - текущата стойност на заданието X ,
 - скоростта на изменение на X
 - ускорението на изменение на X

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- Математически това изискване се записва във вида:

$$a_0 \frac{d^2Y}{dt^2} + a_1 \frac{dY}{dt} + a_2 Y = b_0 \frac{d^2X}{dt^2} + b_1 \frac{dX}{dt} + b_2 X \quad (6.1)$$

a_0, a_1 и a_2 - тегловни коефициенти за участието на ускорението, скоростта и установената стойност на изходната величина Y при формиране на текущата стойност на управляващото въздействие към обекта

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

b_0 , b_1 и b_2

- тегловни коефициенти за участието на ускорението, скоростта и установената стойност на заданието X, които се използват за формиране текущата стойност на управляващото въздействие Y към обекта

$\frac{d^2Y}{dt^2}$

- текущо ускорение на изходната величина

$\frac{dY}{dt}$

- текуща скорост на изменение на изходната величина Y

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

$$\frac{d^2 X}{dt^2}$$

- текущо ускорение на изменението на заданието X;

$$\frac{dX}{dt}$$

- текуща скорост на изменението на заданието X

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ В редица случаи може да се обоснове определени тегловни коефициенти да бъдат нули, следствие на което да се реализира система за управление с приемливи показатели при по-ниска сложност

Например, ако се приеме, коефициентите a_0 , a_1 , b_0 и b_1 да имат стойност нула, в съответствие с (6.1) се получава:

$$a_2 y = b_2 x \rightarrow y = \frac{b_2}{a_2} \cdot x \quad \text{или} \quad y = k \cdot x$$

k е прието да се нарича коефициент на пропорционалност или усилване

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Точност на поддържане на изходната величина в установен режим

- ▶ По отношение на точността на поддържане на изходната величина в установен режим, системите за автоматизирано управление могат да се обособят в следните класове:
 - Статични системи
 - Астатични системи
 - Астатични системи с преходен статизъм

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

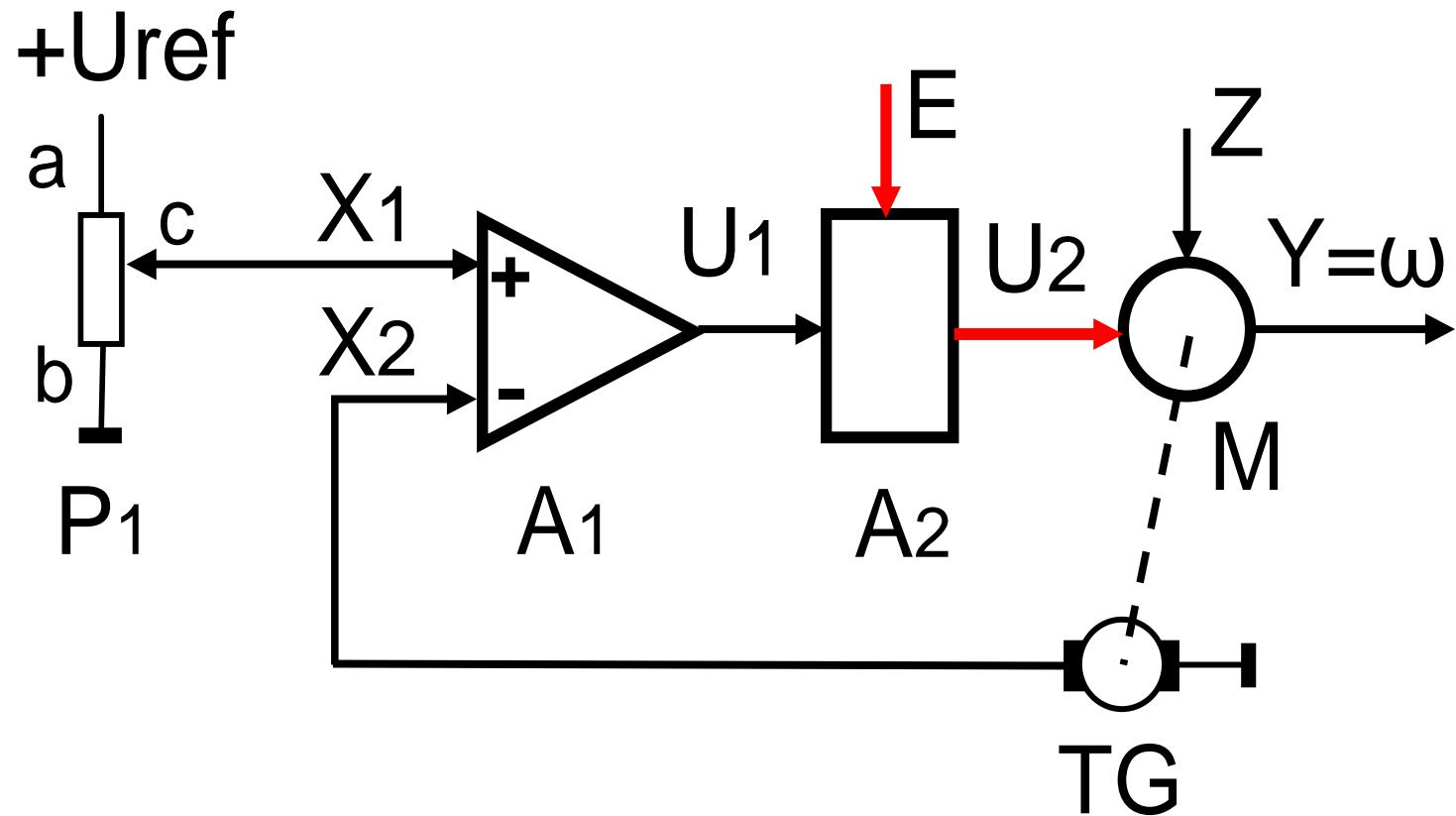
- ▶ База за разглеждането на тези системи ще бъде структурата на система, **затворена по изходна величина**
- ▶ Преминаването към структурата на система, затворена по изходна величина и смущение е формално
- ▶ **Важно:**
Отворената система за управление и системата, затворена по смущение принципно имат ниска точност на поддържане на изходната величина поради невъзможност за цялостно компенсиране влиянието на смущаващите въздействия

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Като пример ще се разгледа система за автоматично поддържане скоростта на движение на работен орган, задвижван от електродвигател
- ▶ Изходната величина Y за тази система е ъгловата скорост ω на електродвигателя
- ▶ Системата за автоматично поддържане на скоростта ще бъде представена като структури, съответстващи на посочените по-горе класове – статични, астатични и астатични с преходен статизъм

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Статични системи за управление - структура



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Основни възли в структурата на статичната система

- ▶ **Потенциометър $P1$** - Чрез него се получава заданието за скорост $X1$.
- ▶ **Тахогенератор TG** - Електромеханично устройство, свързано кинематично към вала на двигателя M , което е показано условно чрез прекъсвана линия между тях
- ▶ Той изработва напрежение, което зависи линейно и с много висока точност от скоростта на въртене на двигателя M

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Общ вид на електродвигатели с вграден тахогенератор

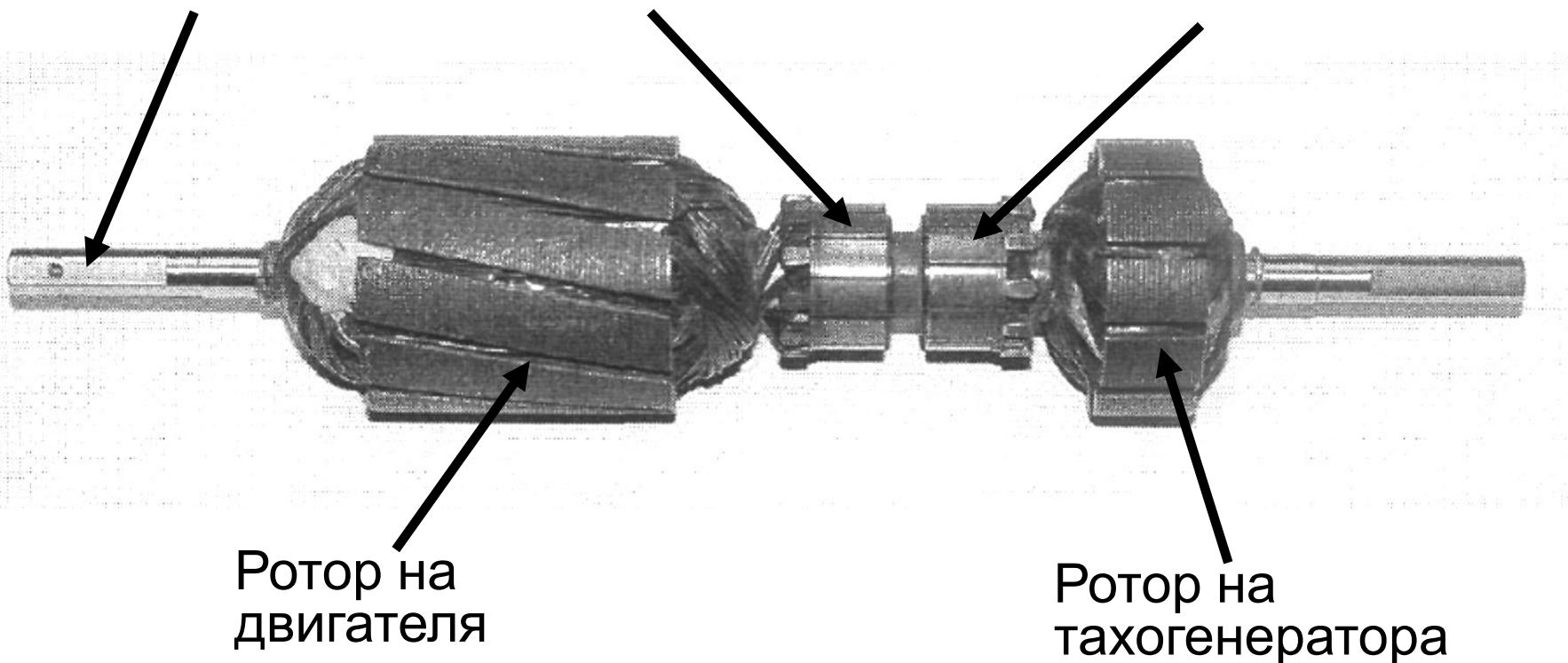


АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Вал на
двигателя

Колектор на
двигателя

Колектор на
тахогенератора



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Усилвател A1

- ▶ Той е електронно устройство със сложна конструкция
- ▶ Има два входа и един изход
 - входовете му са означени с „+“ и „-“ и към тях са свързани съответно заданието X_1 и сигналът от тахогенератора X_2
 - зависимостта на U_1 от сигналите X_1 и X_2 е:

$$U_1 = k_1(X_1 - X_2) \quad (6.3)$$

k_1 - коефициент на усилване

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Разликата между зададената скорост, представена чрез сигнала X_1 и действителната скорост, представена чрез сигнала X_2 се нарича “грешка”
- ▶ Следствие на зависимостта (6.3) усилвателят A_1 се нарича „**усилвател на грешката**”
- ▶ Чрез технически средства с малка сложност коефициентът на усилване k_1 може да се променя в границите от единица (няма усилване) до няколко десетки хиляди пъти
- ▶ В реалните конструкции на усилвателя A_1 , мощността на сигнала U_1 е малка и е в границите 1-10 mW.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Усилвател A2

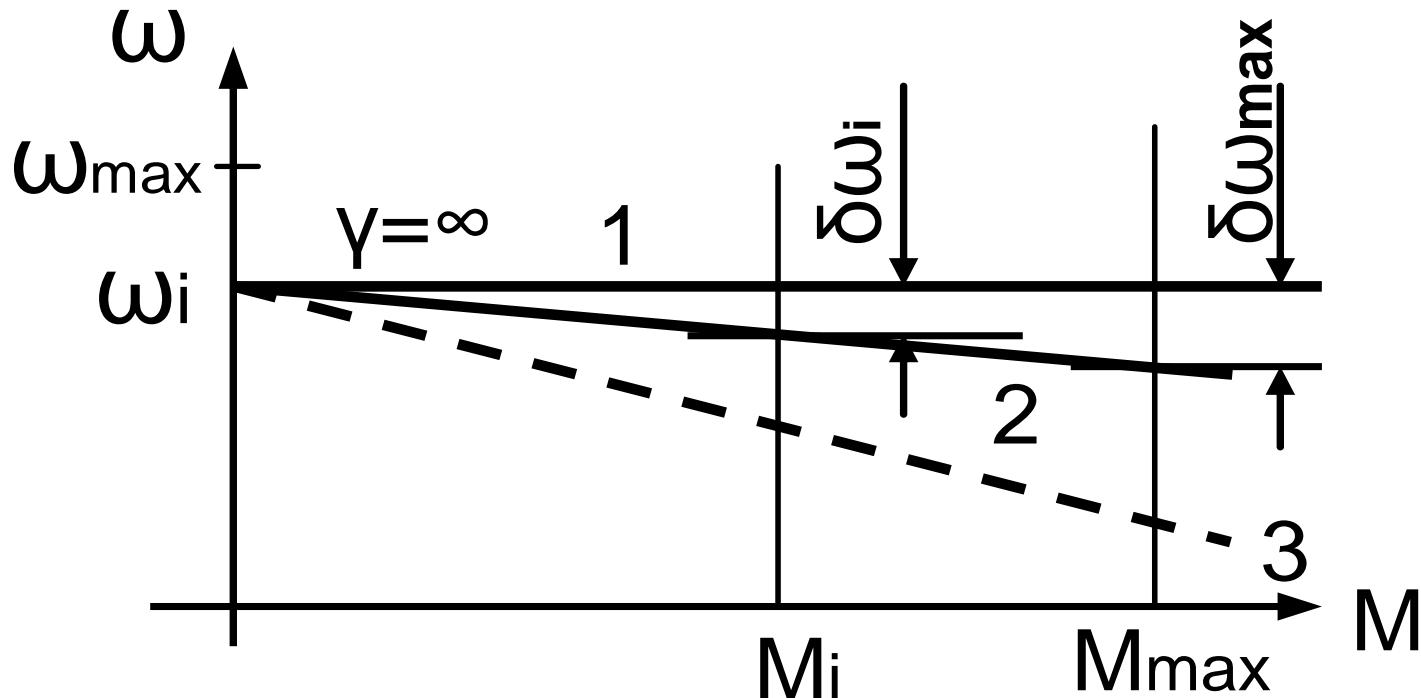
- ▶ Той се нарича „**усилвател на мощност**“ и също е електронно устройство с висока сложност
- ▶ Необходимостта от него е в резултат на разликата между мощността на сигнала A_1 и мощността на двигателя M . Последната може да достига десетки и стотици киловати
- ▶ Усилвателят A_2 има един вход и един изход и обикновено не извършва никакви промени в характера на сигнала U_1

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Усилвателят A_2 има коефициент на усилване по мощност, числено равен на отношението между мощността на двигателя и мощността на сигнала U_1
- ▶ Усилвателят A_2 се свързва се непосредствено към съответната енергийна мрежа чрез входа E и през него преминава целия енергиен поток на двигателя, представляван от сигнала U_2
- ▶ Конструкцията му зависи еднозначно от типа на двигателя M и съответства изцяло на идеологията на разгледаните средства за безстепенно управление на скоростта на електрическите двигатели
- ▶ За да има висок коефициент на полезно действие се използва широчинно-импулсна модулация

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Съвместна механична характеристика на двигател със статична система за управление



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

$\Delta\omega_{max}$ - статичната грешка при максимално натоварване, реално е 1-2% от скоростта ω_i .

Линия 1 - безкрайно твърда механична характеристика

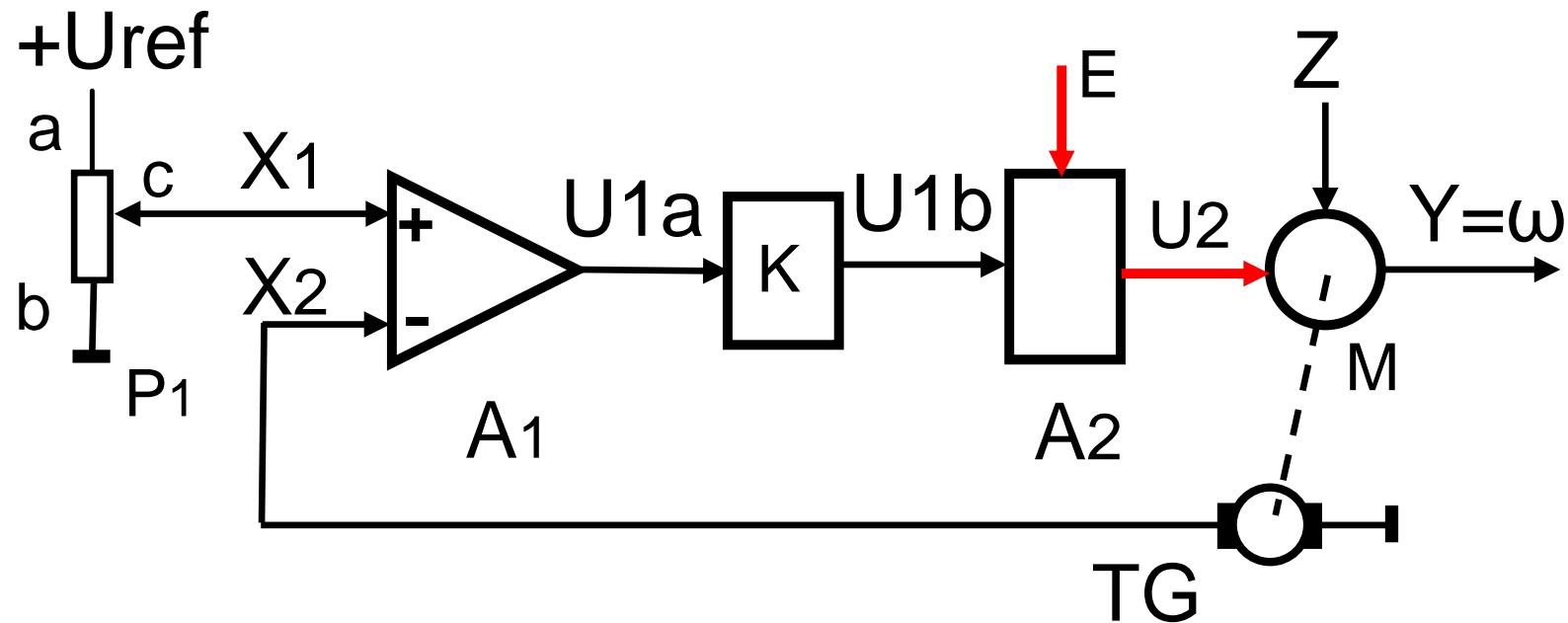
Линия 2 - механична характеристика на задвижване със статична система за управление

Линия 3 - механична характеристика, успоредна на естествената

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Възможността за намаляване на статичната грешка чрез увеличаване на коефициента на усилване k е ограничена
- ▶ Система със структура „затворена по изходна величина“ изисква въздействието U_2 към двигателя да се променя към нова стойност само когато при старата стойност на това въздействие двигателят е достигнал съответстваща на него установена скорост ω и сигналът X_2 от тахогенератора също има установена стойност
- ▶ За да се осигури това, по пътя на сигнала U_1 се поставя специално устройство, наречено „коригиращо звено“ K

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

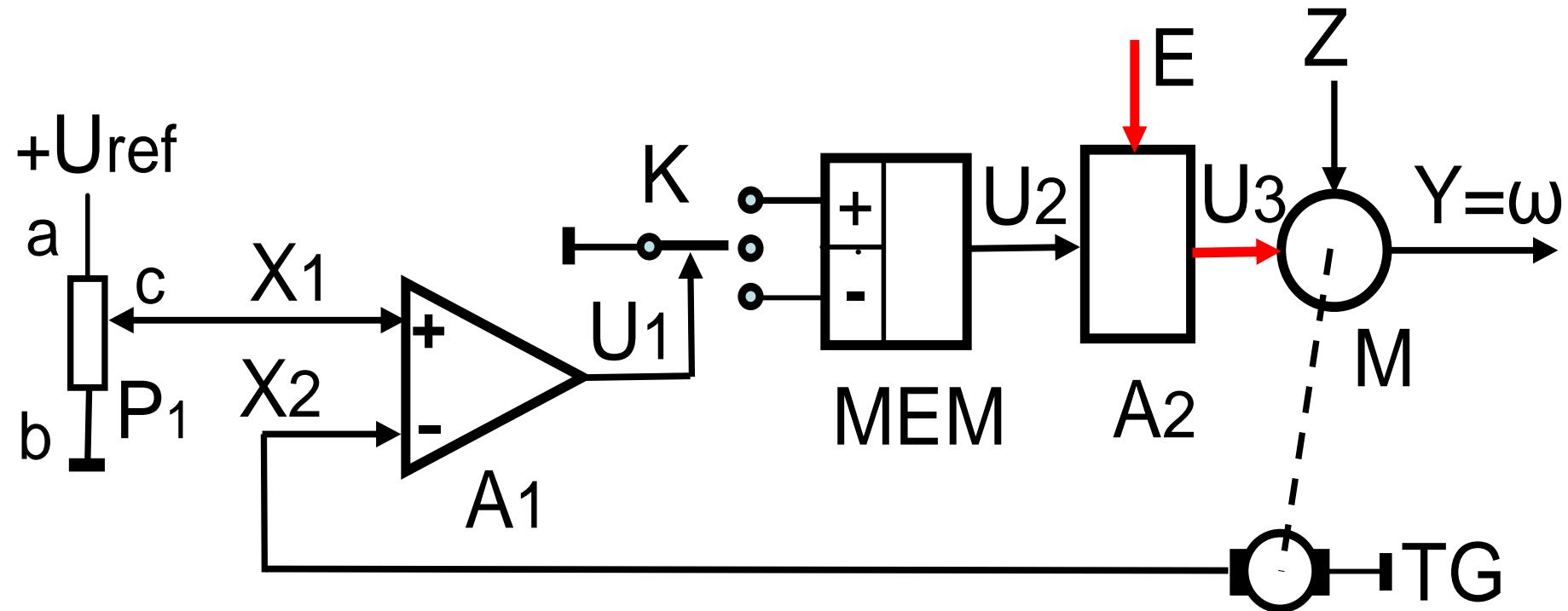
Астатични системи за управление

- ▶ Изходната величина **не зависи** от големината на смущаващите въздействия, което означава, че при тях изходната величина **винаги съответства** на заданието или статичната грешка е нула
- ▶ За да се постигне това, е необходимо да се промени начинът, по който се формира въздействието към обекта или по-точно да се наруши (6.3), т.е.:

$$U_1 \neq k_1(X_1 - X_2)$$

(6.4)

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Основни елементи за постигане на условието $U_1 \neq k_1(X_1 - X_2)$:

Ключ K

- ▶ Този ключ е с електрическо / електронно управление
- ▶ В съответствие със схемата той има три положения - горно, средно и долно и може да бъде в едно от тях в зависимост от знака на грешката, представяна от сигнала U_1
- ▶ Когато грешката е положителна ($X_1 > X_2$) ключът K е в горно положение, когато грешката е отрицателна ($X_1 < X_2$) ключът K е в долно положение и когато грешката е нулева ($X_1 = X_2$) ключът K е в средно положение

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Памет МЕМ (MEMory)

- ▶ Тя представлява устройство от електромеханичен, електрически или електронен тип, което може да запазва последното си съдържание неограничено дълго време
- ▶ Когато се подаде сигнал на входа, означен с „+“ , съдържанието на паметта **нараства с постоянна скорост**
- ▶ Когато се подаде сигнал на входа, означен с „-“ , съдържанието на паметта **намалява с постоянна скорост**
- ▶ Когато няма подаден сигнал на нито един вход, съдържанието на паметта **не се променя**

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Принципите, които са заложени в конструкцията и работата на паметта, **могат да бъдат най-различни**
- ▶ Към тях тяхната техническа реализация винаги има едно **основно изискване**
 - когато паметта е достигнала до която и да е от крайните си стойности, нейното съдържание **да престане да се изменя**, независимо от това, че сигналът, който я е довел до тази стойност, продължава да бъде активен

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Предимство на астатичната система:

- ▶ Астатичната система за управление винаги **поддържа пълно съответствие** между заданието и изходната величина, като последната не зависи от големината на смущенията

Недостатъци на астатичната система са:

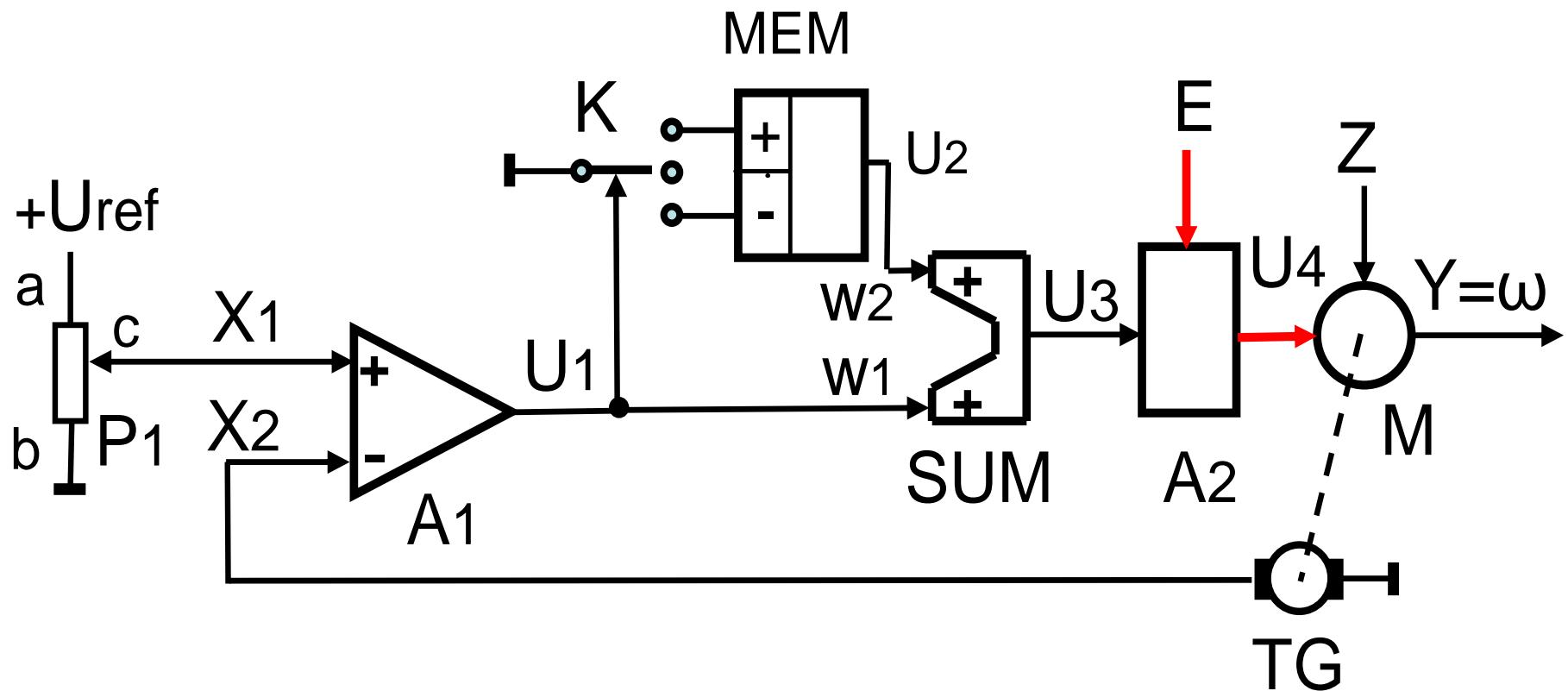
- ▶ **Увеличено време** за реакция на смущението и възстановяване големината на изходната величина;
- ▶ **По-голяма сложност**, а от там и цена спрямо статичната система

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Астатични системи с преходен статизъм

- ▶ Този тип системи за управление представляват подходящи съчетания между статичната и астатичната система и се използват когато **едновременно** се изискват **висока скорост и висока точност** при управлението на обекта
- ▶ В конструкциите на тези системи има голямо разнообразие
- ▶ Показаната тук конструкция е с ниска сложност и в нея преобразуването на структурата от статична в астатична става по неявен начин

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Идеята за тази структура не е сложна и е в това, че в сигнала U_1 , който се получава от усилвателя на грешката при астатичната система има **пълна информация за големината и посоката на грешката в изходната величина**
- ▶ За управлението на обекта се използва сигнал U_3 , който е сумата на сигналите U_1 и U_2
- ▶ За тяхното сумиране се използва суматора SUM
- ▶ Сумирането е алгебрично и всеки от сигналите U_1 и U_2 е с подходящ тегловен коефициент. За сигнал U_1 тегловният коефициент е W_1 , а за сигнал U_2 е W_2 .

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Работа на астатичната система

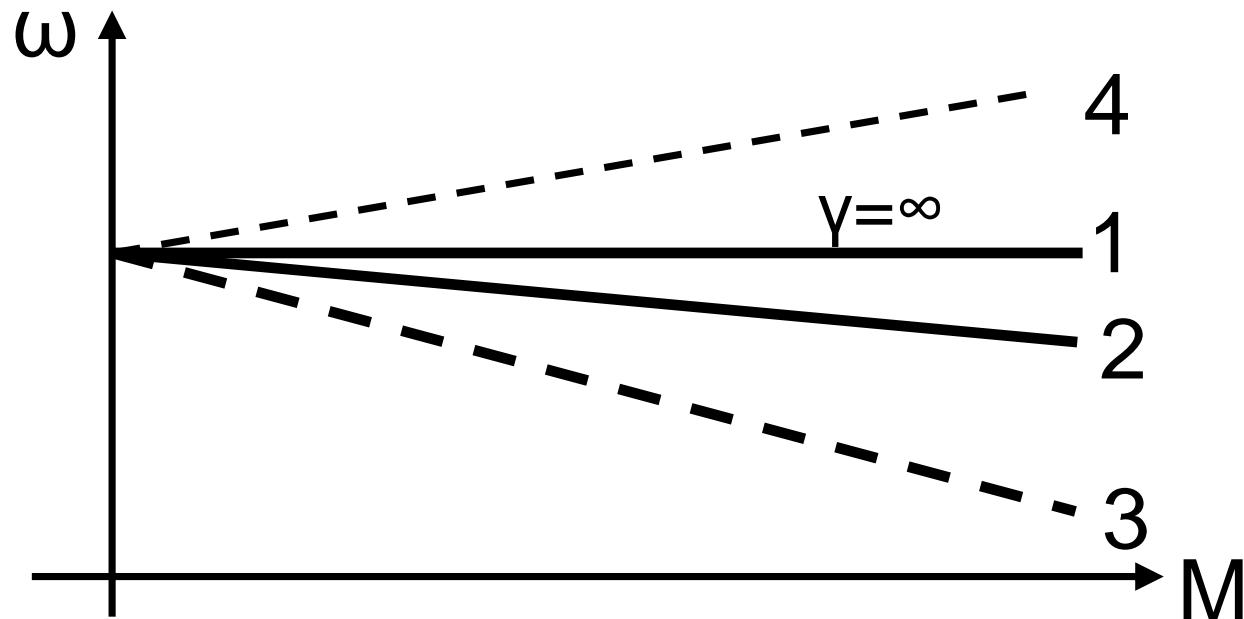
- ▶ При установлен режим и смущение с постоянна големина сигналът U_1 е нула и работата на тази структура по нищо не се различава от работата на **астатичната** система
- ▶ При промяна на смущението сигналът U_1 получава стойност различна от нула и предизвиква действията:
 - Преместване на ключа K в необходимото положение
 - сумиране на сигналите U_1 и U_2 от суматора SUM в резултат на което се променя U_3

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ В резултат на това едновременно протичат два процеса:
 - бързо компенсиране влиянието на смущението
 - по-бавно актуализиране съдържанието на паметта
- ▶ По време на тези процеси непрекъснато се изменя съотношението между U_1 и U_2
- ▶ **Тези два процеса ще завършат когато:**
 - U_1 стане нула
 - U_2 получи стойността необходима за работа на системата като *астатична* в установлен режим при новата стойност на смущението

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

**Механична характеристика на задвижване със
система за управление тип астатична с преходен
статизъм**



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линия 1 - безкрайно твърда механична характеристика

Линия 2 - механична характеристика на задвижване със статична система за управление

Линия 3 - механична характеристика, успоредна на естествената

Линия 4 - недопустима механична характеристика, която се получава при неправилно зададени стойности на тегловните кофициенти W_1 и W_2

- ▶ **Нормалното положение на механичната характеристика е в зоната, ограничена от линия 1 и линия 2 и тя не трябва да напуска тази зона**

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

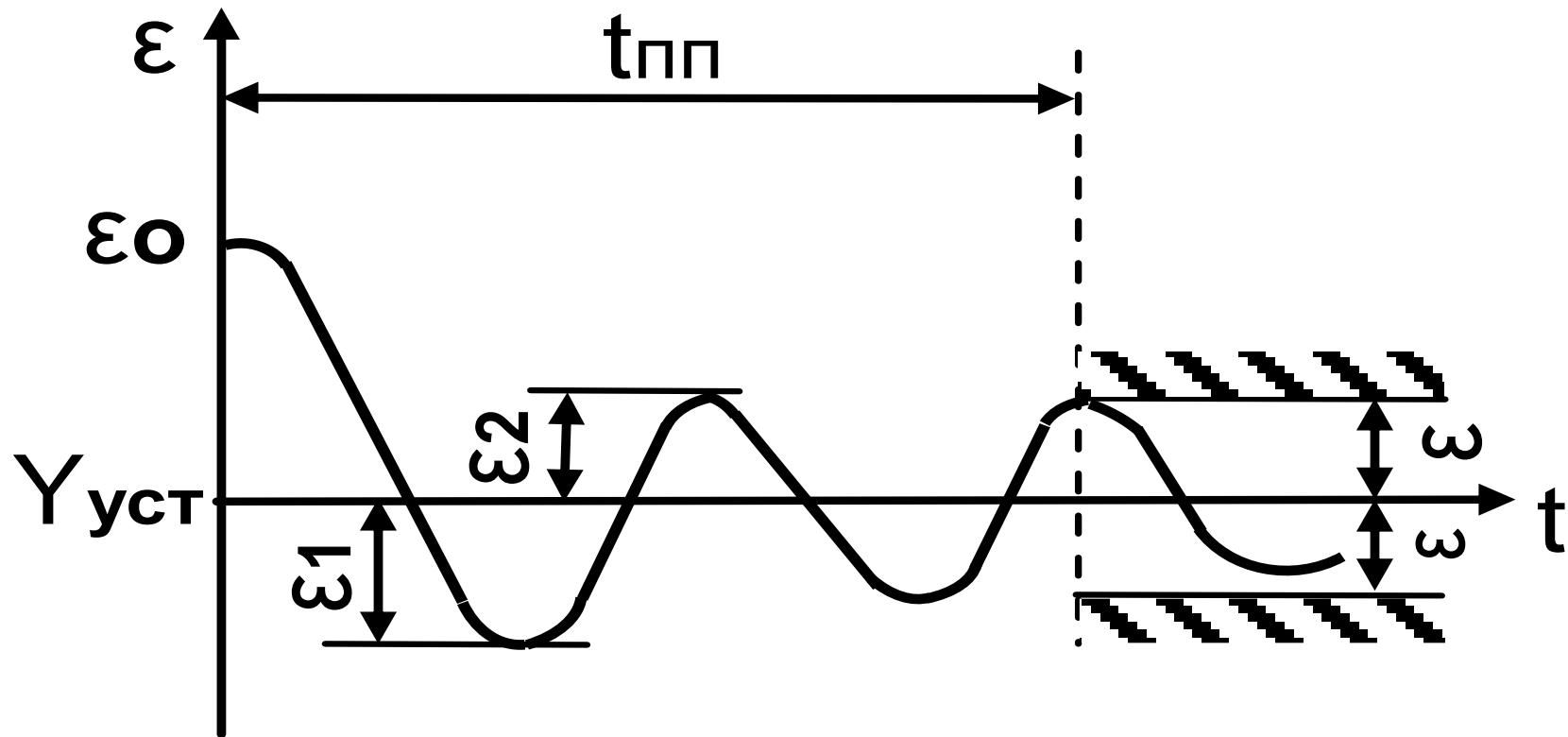
- ▶ Разгледаните системи за управление в настоящия момент могат изцяло да се заменят от **програма** за компютър (контролер), която реализира начина на работата на конкретна система
- ▶ Всички сигнали са дефинирани като променливи и стойностите им се получават чрез изчисления
- ▶ Заданието и друга необходима входна информация се въвеждат от подходящи средства в цифров или аналогов вид, а извеждането на управляващото въздействие към обекта е чрез широчинно импулсна модулация

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Поведение на изходната величина в преходен режим

- ▶ **Преходният режим** има за задача да осигури нова стойност на изходната величина на управляемия обект в съответствие с изпълнявания технологичен процес
- ▶ Процесът на променяне на стойността на изходната величина по време на преходен режим обикновено има вида:

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Преходният процес се характеризира чрез показателите:

- продължителност $t_{пп}$
- максимално отклонение ϵ_0
- характер на преходния процес

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Продължителност на преходния процес

- ▶ В системите за автоматично управление продължителността на преходния процес теоретично е **безкрайно голяма**
- ▶ Това е **много важен показател** и е прието той да се оценява чрез времето t_{pp} за което отклонението на изходната величина от нейната установена стойност става по-малко от предварително зададена стойност ϵ
- ▶ Всички по-нататъшни изменения на изходната величина не трябва да излизат извън зоната с ширина 2ϵ спрямо новата установена стойност

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Максимално отклонение

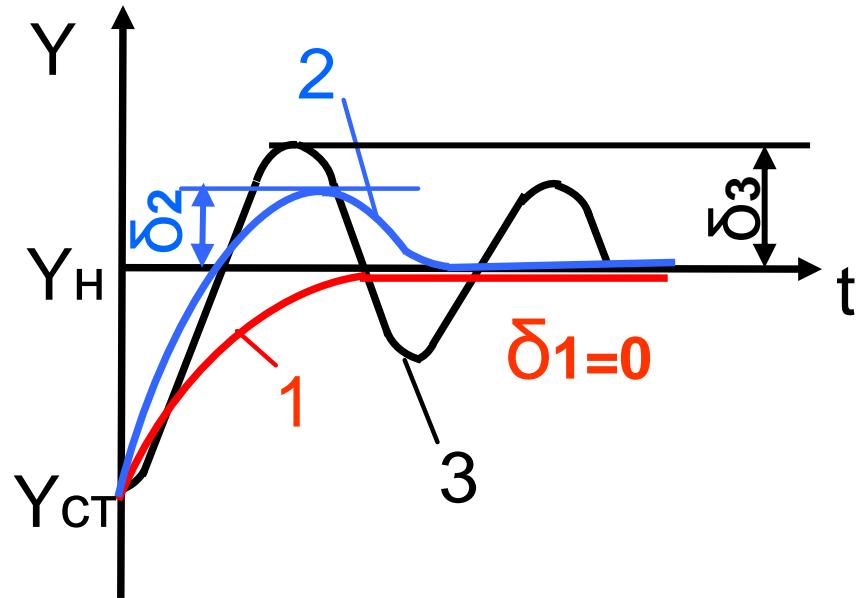
- ▶ В переходния процес поддържането на изходната величина винаги е съпроводено с известни грешки
- ▶ В **началото** на переходния процес **отклонението** от установената стойност **е максимално** и има стойност ε_0
- ▶ Първите две отклонения след него имат стойности, означени с ε_1 за първото и ε_2 за второто. В някои случаи се изиска те да бъдат с ограничена големина
- ▶ Големините на отклоненията след второто намаляват монотонно

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

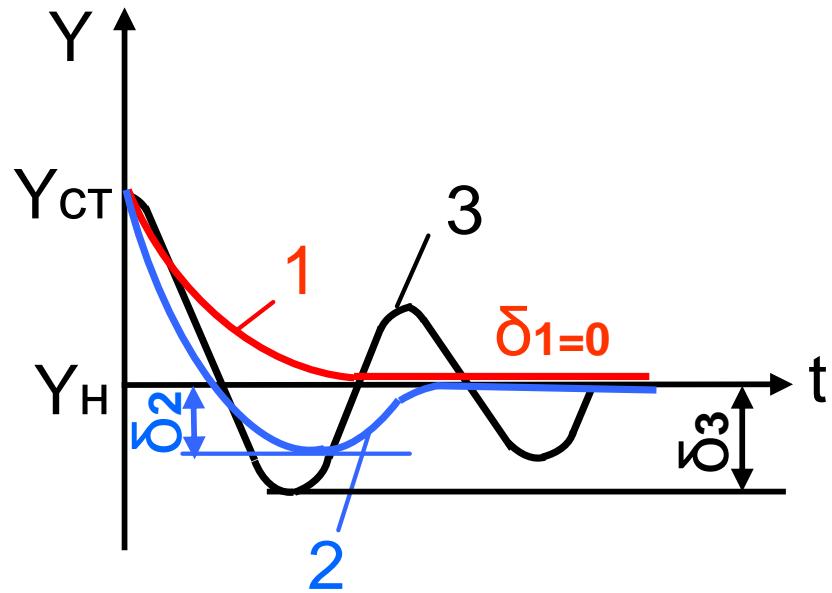
Характер на преходния процес

- ▶ Преминаването на изходната величина Y от старата установена стойност Y_{cst} към новата установена стойност Y_n винаги е съпроводено с нейното нарастване или намаляване
- ▶ Преминаването от старата към новата стойност може да стане по един от следните три начина, представени с линии 1, 2 и 3:

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО



Преходни процеси при
нарастване на изходната
величина



Преходни процеси при
намаляване на изходната
величина

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

1. **Апериодичен процес без пресичане** на новата установена стойност на изходната величина – линия 1
2. **Апериодичен процес с пресичане** на новата установена стойност на изходната величина – линия 2
3. **Колебателен процес**, който винаги е съпроводен с няколко пъти пресичане на новата установена стойност на изходната величина – линия 3

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Характер на сигналите в системите за управление

- ▶ Сигналите в системите за управление могат да се обединят в следните **три групи**:
 - **входни сигнали**, които обхващат различни по характер задания и сигнали от сензори
 - **изходни сигнали**, чрез които се реализира връзката между системата и управлявания обект
 - **вътрешни сигнали**, обменяни между блоковете и възлите на системата по време на нейната работа

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- **Независимо от функционалното предназначение** на системите за автоматизирано управление, според типа на сигналите в посочените три групи, системите за управление са:
- **линейни** (аналогови) системи за управление
 - **нелинейни** системи за управление
 - **дискретни** системи за управление
 - **цифрови** системи за управление
 - **комбинирани** системи за управление

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Линейни (аналогови) системи за управление

- ▶ Всички сигнали в тях са непрекъснати функции на времето
- ▶ Чрез дефиниране на функцията, по която се изменя входния сигнал (например заданието), всички вътрешни и изходни сигнали са определени еднозначно
- ▶ Линейните системи са получили голямо разпространение, защото те изпълняват изискванията към управлението на голяма част индустриски обекти
- ▶ Имат не особено висока сложност, лесно се проектират, произвеждат и поддържат в изправност

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Недостатъци на линейните системи

- ▶ Трудно или невъзможно реализиране на по-сложни алгоритми за управление
- ▶ Основната част от използваните компоненти си променят параметрите при промяна на температурата
- ▶ Системи, които трябва да работят при голям диапазон на изменение на входните сигнали са чувствителни към смущения, създавани от други машини, обекти и процеси и предизвикват некоректно управление на обекта

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Нелинейни системи за управление

- ▶ При тези системи основната част от сигналите са линейни, а останалите са прекъснати функции на времето
- ▶ Чрез нелинейните системи се реализират по-сложни алгоритми за управление, при които нелинейните сигнали **принципно са необходими** за тяхната работа
- ▶ Нелинейните сигнали се създават от блокове за промяна поведението на системата при настъпване на определени условия

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Примери за нелинейни системи

- ▶ Астатичната система
- ▶ Системата с преходен статизъм
- ▶ Причина:
в тях е използван ключ, който се намира в средно (неактивно) състояние за множество стойности на изходната величина

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Дискретни системи за управление

- ▶ Тези системи се характеризират с това, че всички техни сигнали са прекъснати функции на времето
- ▶ Сигналите се появяват и изчезват в определени моменти от работата на системата
- ▶ Сигналите имат стойности, предварително фиксираны по големина, като обикновено едната стойност на сигналите е **нула**, а другата е **максимално възможната**
- ▶ Не се изключва възможността между тях да има и малък брой междинни стойности
- ▶ Дискретните системи могат да бъдат с дискретно време или с дискретни състояния

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Около всяка стойност може да има зона на нечувствителност
- ▶ Новото състояние на обекта не може да се определи само по състоянието на отделен сигнал, ако преди това няма информация за старото състояние и за предишни, вече изчезнали сигнали
- ▶ Информацията в тези системи се представя по различни начини, например чрез появяване и изчезване на сигнал, чрез продължителността на самия сигнал, чрез момента на появяване на един сигнал спрямо друг сигнал, приет за база и др.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ На всеки от тези начини за представяне и пренасяне на информацията и на комбинациите между тях съответстват отделни класове на дискретните системи за управление
- ▶ Всеки от класовете е усъвършенстван във висока степен и самите класове са практически равностойни
- ▶ Предпочтанието към даден клас обикновено е по други признания – цена, особености на използваната елементна база, възможност за съвместна работа с вече съществуващи системи, сензори, изпълнителни механизми и т.н.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Основни предимства на дискретните системи:

- ▶ **Намалена чувствителност** към изменението на температурата. Изменението на параметрите на компонентите, предизвикано от температурата е същото, както при елементната база за линейните системи, но то не може да се предаде между отделните компоненти поради зоната на нечувствителност
- ▶ **Повишена устойчивост** спрямо шумове от други източници при пренасяне на външни и вътрешни сигнали, също поради зоната на нечувствителност
- ▶ Възможност за **реализиране на по-сложни алгоритми** за управление.

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Недостатъците на дискретните системи са :

- ▶ По-голяма сложност
- ▶ Невъзможност при тяхното производство и поддържане в изправност да се използват подходите, прилагани при линейните и нелинейните системи

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Цифрови системи за управление

- ▶ Тези системи се появиха като естествено развитие на дискретните системи
- ▶ Наследиха от тях представянето на сигналите само с две стойности (нулева и максимална) и зони на нечувствителност около всяка от тях достигащи до 40% от максималната стойност
- ▶ Различията спрямо дискретните системи са в две направления - увеличаване точността на представяне на сигналите и намаляване на ограниченията при създаване на сложни алгоритми за управление

АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

- ▶ Елементната база за цифровите системи:
 - е заимствана изцяло от компютърните технологии
 - **пригодена е за работа в производствени условия**
 - към този момент осигурява няколко десетки милиона изчисления за секунда

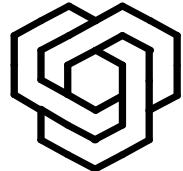
АВТОМАТИЗИРАНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯ ЗА МАШИНОСТРОИТЕЛНОТО ПРОИЗВОДСТВО

Комбинирани системи за управление

- ▶ Под това название формално попада всяка комбинация от разгледаните системи по отношение на блоковете, които я изграждат
- ▶ Обикновено една част от блоковете са с конструкция, заимствана от линейните системи, а останалите са с конструкция, заимствана от дискретните или цифровите системи
- ▶ Не съществуват правила по които да се определи характерът на отделните блокове
- ▶ За всеки от тях конструкторът на системата взема решение на базата на допълнителни условия

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 7

ПОЗИЦИОННО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯТА (1 ЧАСТ)

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ **Позиционното управление е процес, който има задача да доведе работните органи на машините в необходимите положения**
- ▶ Често този процес за по-кратко се нарича “позициониране”
- ▶ Когато достигането на зададеното положение е свързано и с изпълнението на технологичен процес, задачата на позиционирането се усложнява допълнително, тъй като по време на процеса допълнително трябва да се поддържат параметри като скорост, налягане, дебит и др.

Позиционно управление на задвижванията

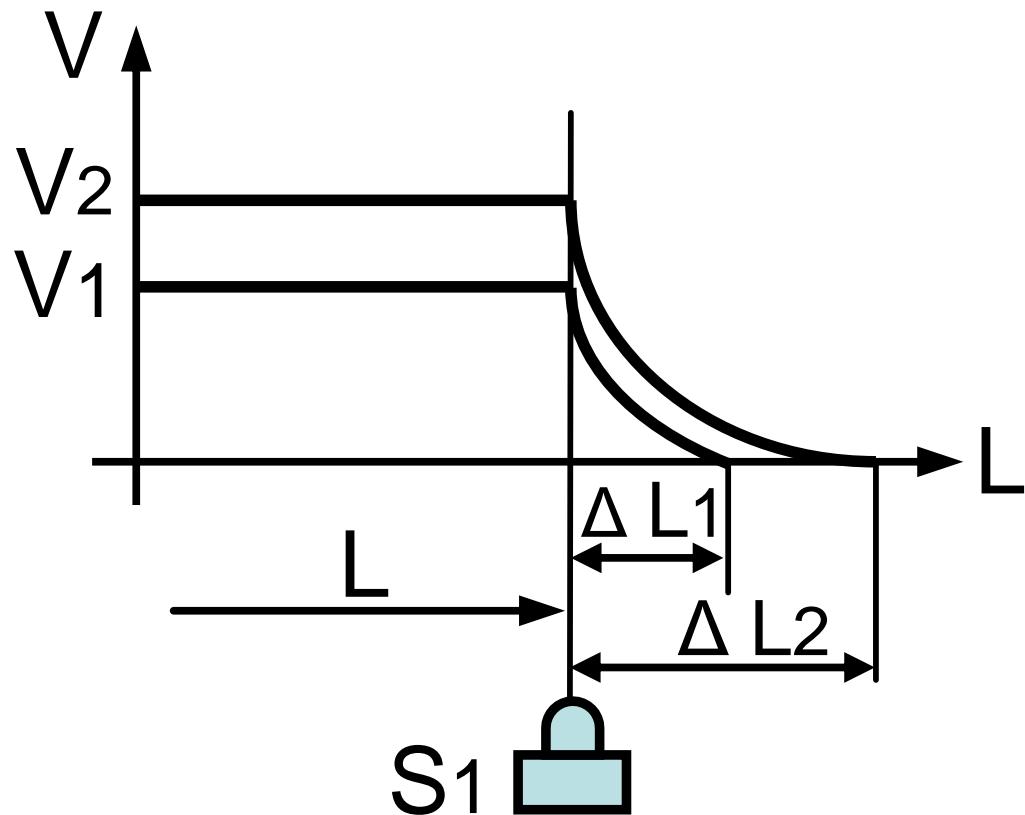
- ▶ Процесът на позициониране, отнесен към металорежещите машини, е още по-сложен, тъй като трябва да се осигурят геометрична и размерна точност на обработените повърхнини при голям диапазон на изменение на силите на рязане и скоростите на движенията
- ▶ В производствената техника за **машиностроенето** се прилагат два принципа на позиционно управление
 - **Дискретно**
 - **Непрекъснато**

Позиционно управление на задвижванията

Дискретно позиционното управление

- ▶ При дискретното позиционно управление процесът на спиране започва, когато управляваният обект вече е достигнал зададеното положение
- ▶ В този момент скоростта на движение е висока и количеството на запасената в обекта кинетична енергия е голямо
- ▶ За да спре движението на обекта е необходимо време, за което неговата скорост и кинетична енергия да се намалят до нулеви стойности
- ▶ През това време той изминава по инерция допълнително разстояние ΔL , което представлява **грешка** в неговото положение

Позиционно управление на задвижванията



L – зададен
размер чрез
сензора S_1

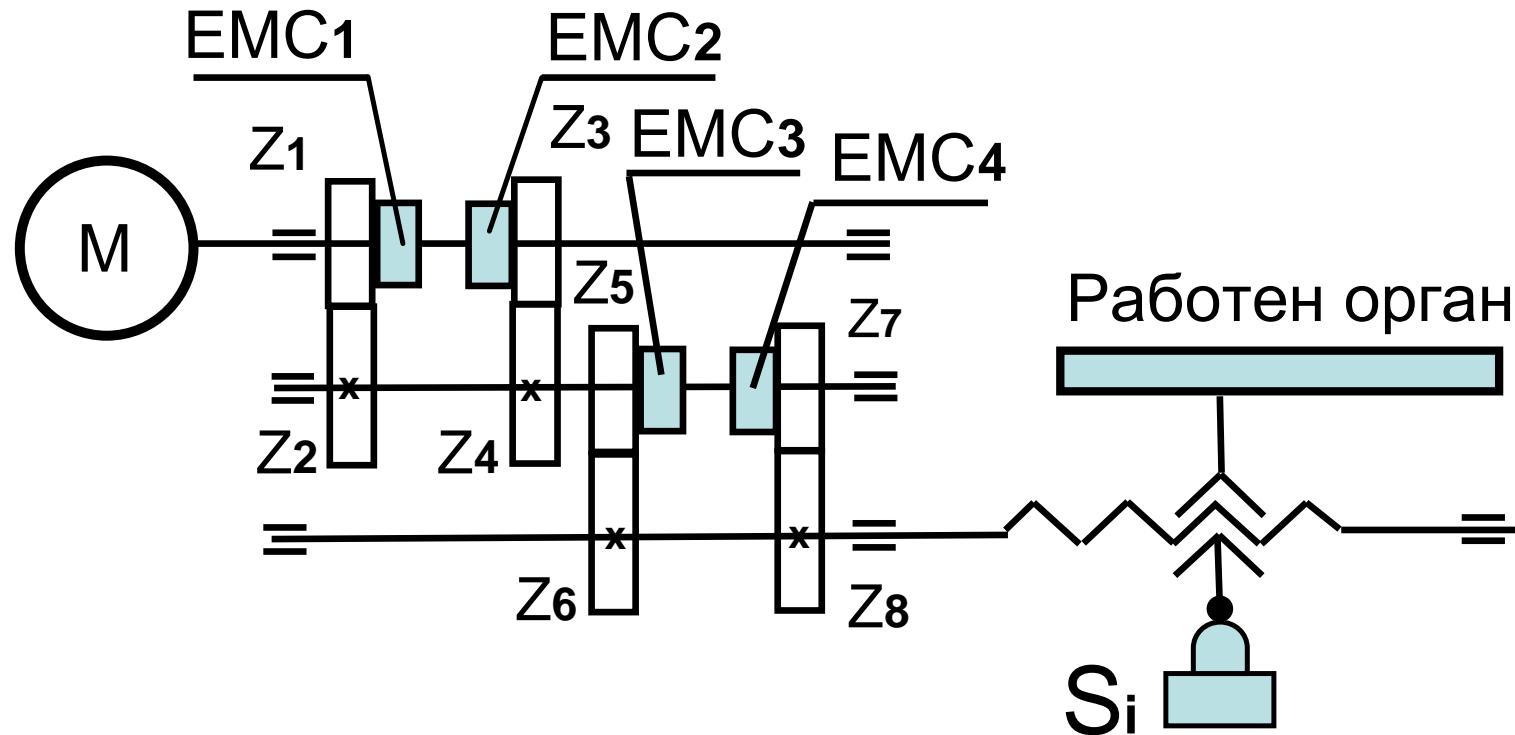
$$V_1 < V_2$$

$$\Delta L_1 < \Delta L_2$$

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ В практиката се използват два начина за намаляване на тази грешка:
 - Чрез разполагане на сензора така, че той да се задейства по-рано и изминатото по инерция разстояние да се намира в необходимите граници
 - В момента на спиране да се осигуряват условия за бързо разсейване на кинетичната енергия

Позиционно управление на задвижванията



Пример за подсистема, която осигурява бързо разсейване на кинетичната енергия

Позиционно управление на задвижванията

Преводът между двигателя M и задвижващия винт на работния орган е стандартен степенен превод с две двойни зъбни групи ((Z1-Z2, Z3-Z4) и (Z5-Z6, Z7-Z8)), които чрез електромагнитни съединители осигуряват четири различни скорости на вретеното. За да се получи която и да е от тях винаги трябва да се включен един от съединителите на първата двойна зъбна група (EMC1 или EMC2) и на втората двойна зъбна група (EMC3 или EMC4). Ако това условие не е изпълнено то и работния орган не може да се задвижи.

Всички съединители се включват и изключват от основната система за управление на движенията.

Позиционно управление на задвижванията

Когато задвижването е необходимо да спре в точка, определена от сензора Si, се задейства самостоятелна подсистема, която първо „присвоява“ всички съединители от основната система на управление, изключва EMC1 и EMC2 и включва едновременно EMC3 и EMC4. Тези действия от една страна предизвикват прекъсване на движението на двигателя към работния орган, а от друга – блокиране на последните два вала на превода, при което те не могат да продължат да се въртят около собствените си оси.

Позиционно управление на задвижванията

Натрупаната кинетична енергия се изразходва за преодоляване на триенето в EMC3 и EMC4 и работния орган бързо спира.

В този момент двата електромагнитни съединителя EMC3 и EMC4 изпълняват функциите на спирачка. След 0,5 – 1 секунди тази подсистема „връща“ на основната система управлението на всички електромагнитни съединители.

Повторяемостта на положението при тази система за дискретно позициониране позволява получаване на размери с 8-10 клас на точност.

Позиционно управление на задвижванията

Сензори за системите за дискретно позиционно управление

- ▶ Сензорите са основни средства за връзка между работния механизъм и системата за управление.
- ▶ По начина на **взаимодействие с работния механизъм** те могат бъдат:
 - **контактни**, когато за тяхното задействане е необходимо да има механичен контакт с движещите се части на механизма
 - **безконтактни**, когато за задействането им не е необходим механичен контакт с частите на работния механизъм

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ По начина на **изработване на сигнала** от сензора към системата за управление сензорите също могат да бъдат **контактни** и **безконтактни**
- ▶ **Контактните сензори** изработват сигнал чрез механично допирание или разделяне на две токопроводящи повърхнини, свързани в електрическа верига
- ▶ С тези действия се предизвиква проводимост или прекъсване в съответна верига

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ **Безконтактните сензори** изработват изходен сигнал чрез управление проводимостта на електронен ключ, най-често транзистор с подходящи за целта параметри.
- ▶ **Основните предимства** на безконтактните сензори са:
 - няма ограничение в бързодействие при включване и изключване
 - няма ограничение типа на сигнала от сензора - NO / NC / NPN / PNP
 - няма механично износване
- ▶ **Основен недостатък** на безконтактните сензори е малката мощност на сигнала и необходимост от средства за неговото усиливане

Позиционно управление на задвижванията

При сензорите се използват всички комбинации (общо 4) между начина на взаимодействие с работния механизъм (контактен или безконтактен) и начина на получаване на сигнала от сензора (също контактен или безконтактен).

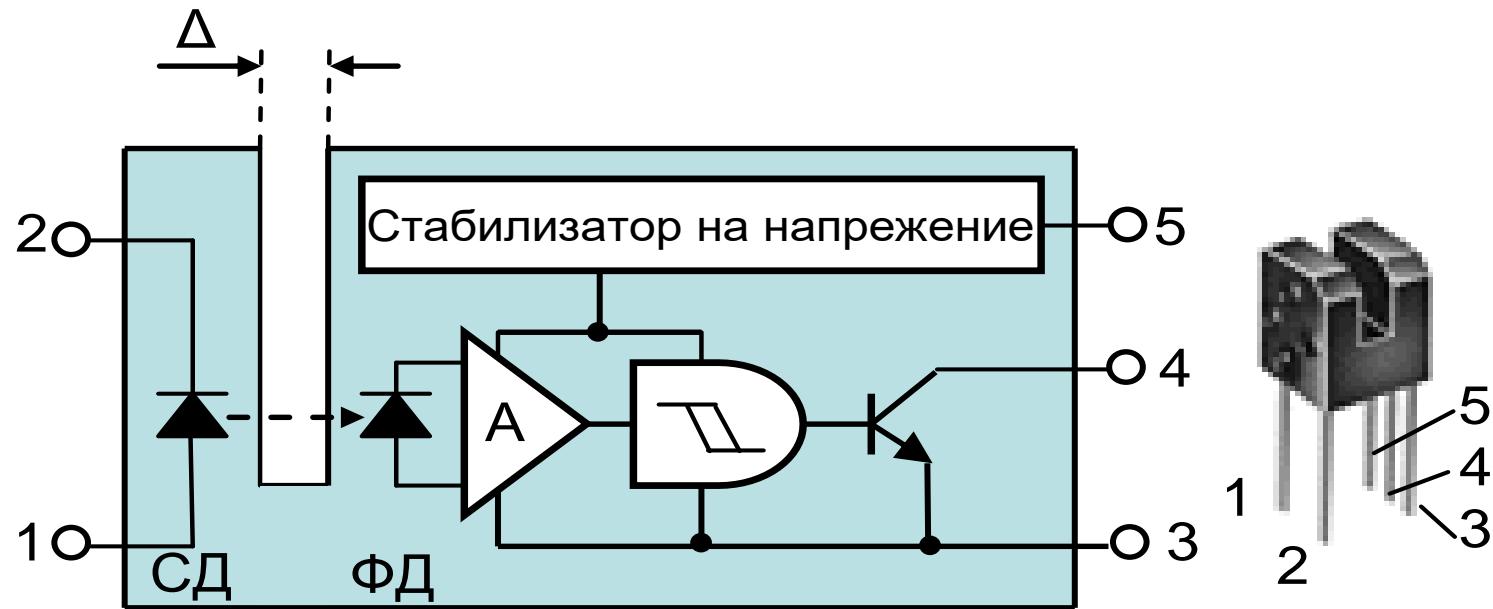
Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от светлина

Всички сензори от тази група светлина от т.н. близка инфрачервена област с дължина на вълната 700 – 900 μм. Причините за това са, че от една страна в машиностроителното производство няма източници на излъчване в тази област, които могат да наруша работата на сензорите, а от друга – че производството на източници и приемници на светлина за тази област се осигурява по стандартни технологични процеси, които са усъвършенствани и се използват масово в индустрията.

Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от светлина



Оптрон с въздушна междина

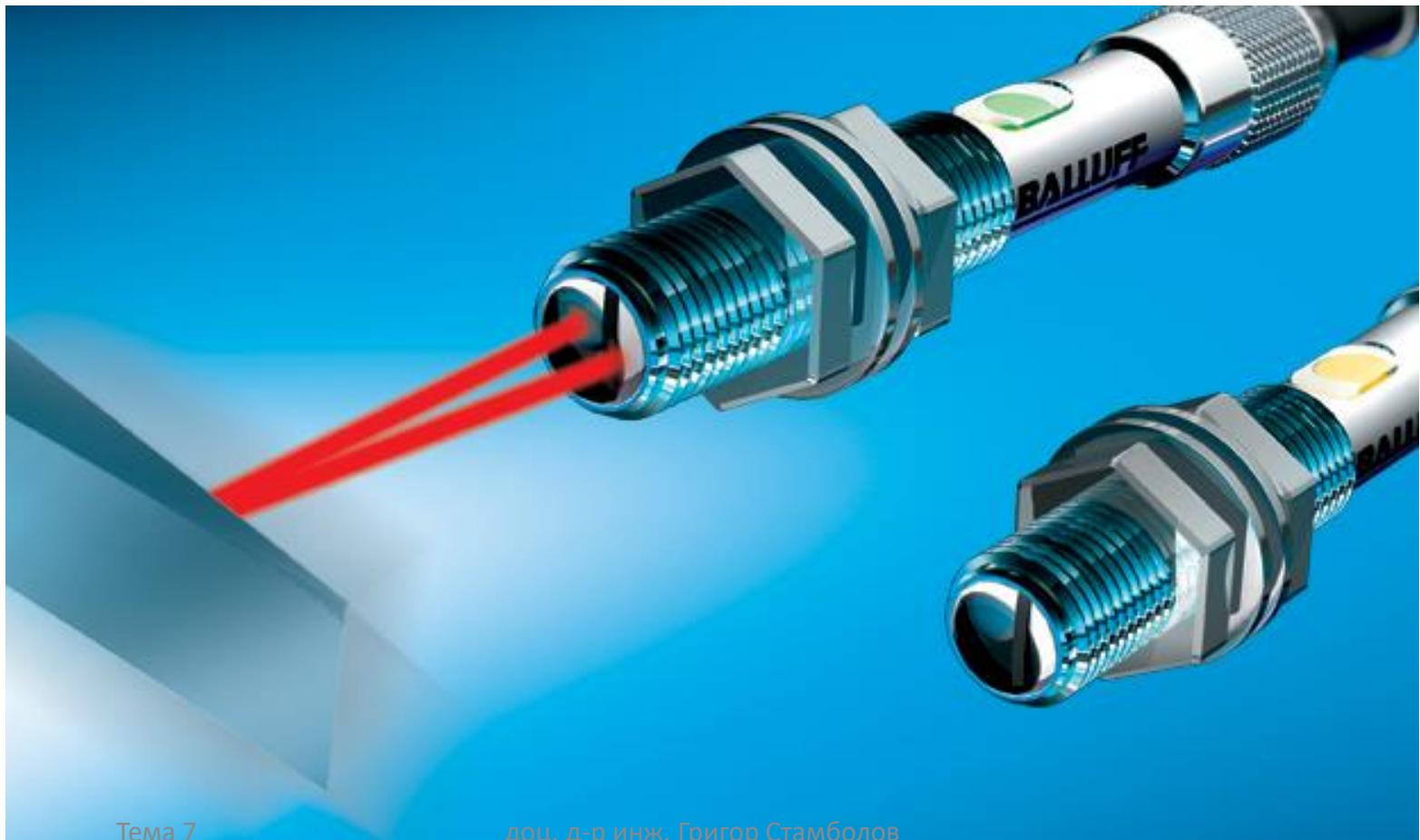
Позиционно управление на задвижванията

Оптрон с въздушна междина

Сензорът се закрепва неподвижно по траекторията на движение на работния орган, а към самия работен орган се закрепва преграда от непрозрачен материал, която може да минава свободно през прореза. Когато тази преграда е извън зоната на прореза, светлината от светодиода СД, свързан между изводи 1 и 2 (прекъсната линия) преминава през прореза, достига до фотодиода ФД и осигурява проводимост между изводи 3 и 4. Когато преградата е в зоната на прореза, проводимостта между тези изводи изчезва. Този сензор се задейства без механичен контакт с работния орган и неговият изходен сигнал се създава от безконтактен ключ (NPN транзистор).

Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от светлина



Позиционно управление на задвижванията

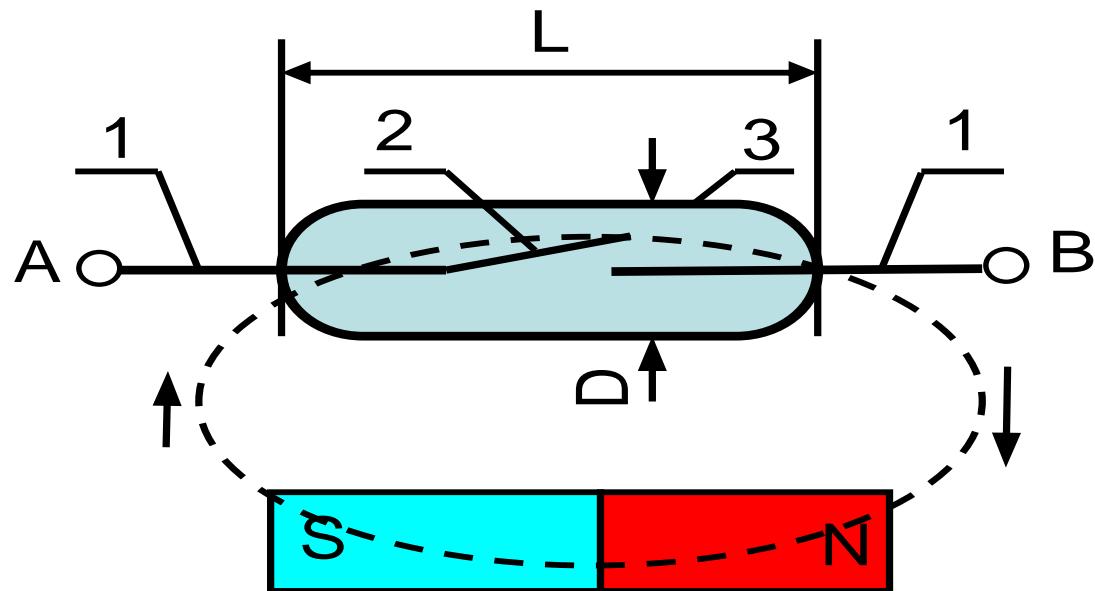
Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Тези сензори се задействват без механичен контакт с движещите се части на управлявания механизъм. Обикновено сензора се закрепва неподвижно по траекторията на движение на работния орган и се свързва електрически със системата за управление, а постоянният магнит се закрепва към самия работен орган.

По начина на изработване на изходен сигнал те биват **контактни и безконтактни**.

Позиционно управление на задвижванията

Контактни сензори, задействани от постоянно магнитно поле



$$D = 2 - 10 \text{ mm}$$
$$L = 5 - 100 \text{ mm}$$

Рид-контакт

Позиционно управление на задвижванията

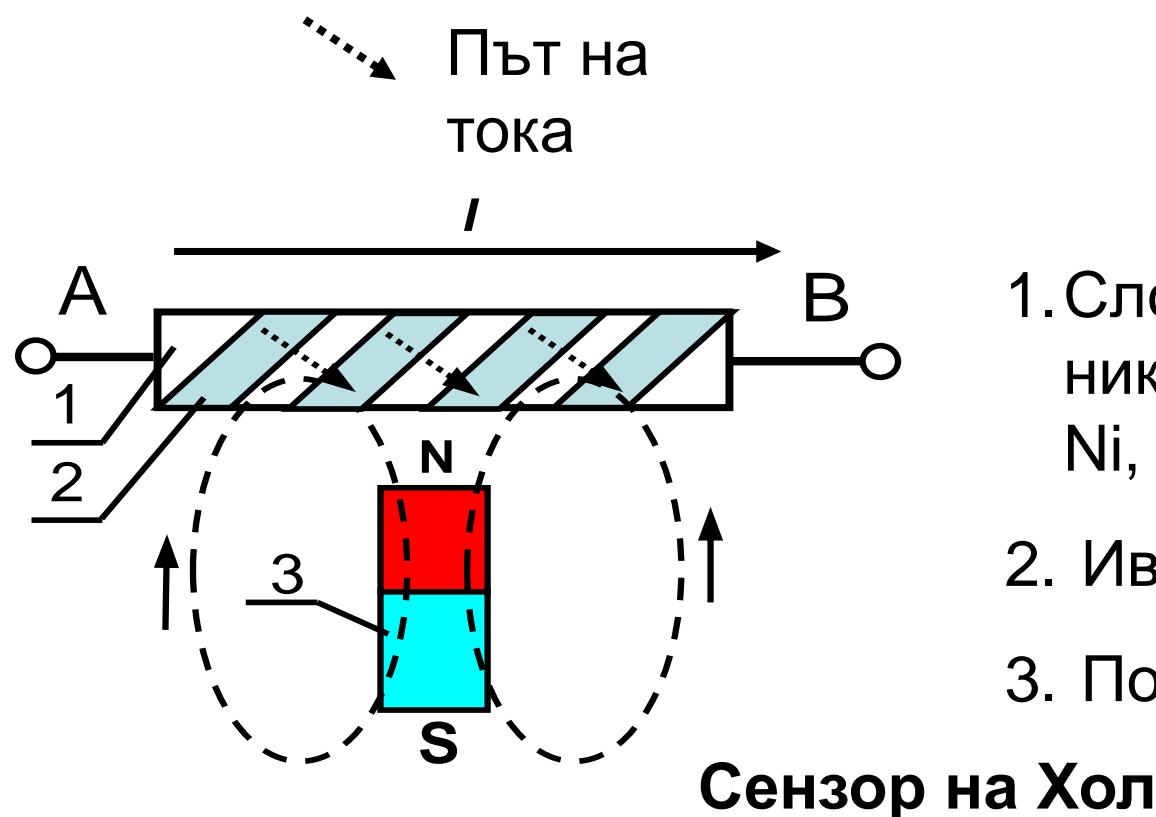
Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Рид-контакт

Рид-контактът се състои от стъклена ампула 3, в която са поместени изводите 1 и подвижният контакт 2, изработен от магнитно мек материал. В ампулата е създаден вакуум. Когато в близост до рид-контактът се появи магнитно поле и неговите силови линии са разположени по показания на фигурата (на предния слайд) начин, изводите 1 се намагнитват по индукция с противоположни магнитни полюси, подвижният контакт 2 се затваря и между точките А и В се появява проводимост. Закъснението на включване след прилагането на магнитното поле е около 10 ms.

Позиционно управление на задвижванията

Безконтактни сензори, задействани от постоянно магнитно поле



1. Слой от желязно-никелова сплав (60% Ni, 40% Fe)
2. Ивици от алуминий
3. Постоянен магнит

Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Сензор на Хол

Типичен представител на **безконтактните** сензори е **сензорът на Хол**. При него се използва т.н. „магниторезистивен“ ефект, който се изразява в това, че някои аморфни феромагнитни сплави под въздействието на магнитно поле могат да променят ориентацията на домените си, в резултат на което се променя и тяхното електрическо съпротивление.

Сензорът на Хол се състои от основа от изолационен материал, обикновено керамика, върху която чрез изпарение във вакуум е нанесен много тънък слой (1) от желязно-никелова сплав (60% никел и 40% желязо), който е свързан към изводите A и B.

Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Сензор на Хол

От една страна тази сплав има най-голяма чувствителност по отношение изменение на нейното съпротивление под действието на магнитното поле, което достига до 2-3% при минимално възможната дебелина на този слой, а от друга – голямо собствено съпротивление. Върху този слой, също чрез изпарение във вакуум е нанесен слой от алуминий (2), който е оформлен като поредица от множество еднакви сектори, наклоненени под ъгъл 45° спрямо линията АВ. Секторите от втория слой имат електрическо съпротивление.

Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Сензор на Хол

При пропускане на ток между изводите А и В той протича по пътя с най-малко съпротивление, както е показано със стрелки и създава магнитно поле, което завърта домените на определен ъгъл. Вследствие на това съпротивлението на участъците без алюминиево покритие нараства, като самото нарастване зависи от тока, а съпротивлението на участъците с алюминиево покритие не се променя. Токът се задава с такава стойност, че причиненото от него нарастване на съпротивлението да е половината от цялото нарастване, което може да се осигури чрез неговото изменение.

Позиционно управление на задвижванията

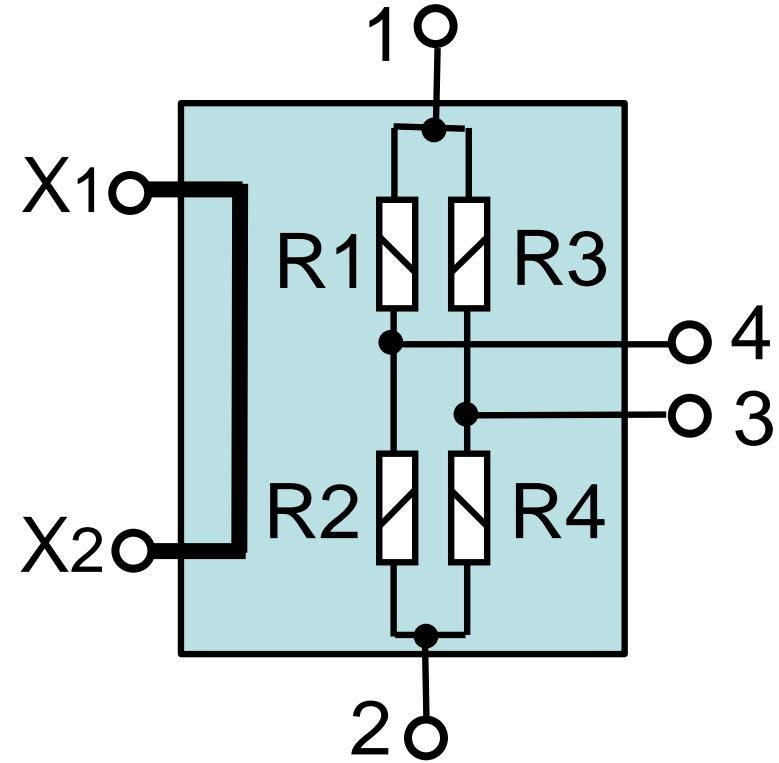
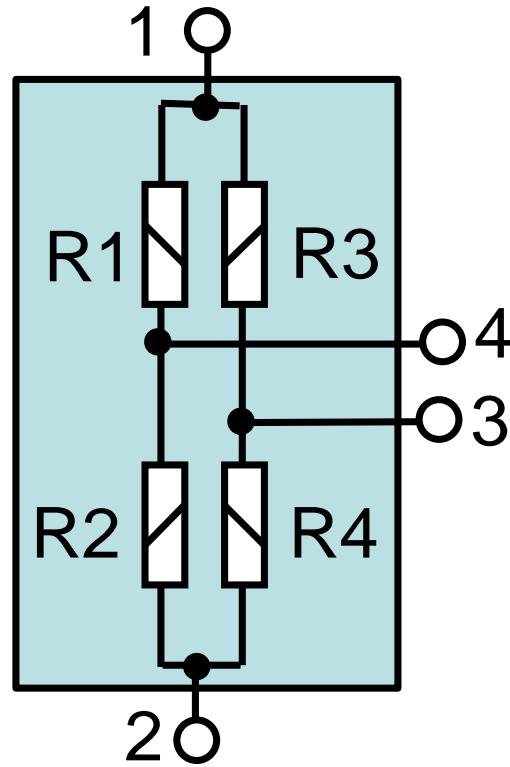
Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Сензор на Хол

Когато върху тази конструкция се приложи външно магнитно поле, например от постоянен магнит (3), то се сумира векторно с магнитното поле, създадено от тока и ориентира домените в ново положение, в резултат на което се променя големината на съпротивлението между точките А и В.

Ако се направи анализ от електротехническа гледна точка на възможностите на използване на този ефект се установява, че реално има само една – използване на четири такива магнито-резистора $R_1 – R_4$, свързани в мост, както е показано на фиг. 7а.

Позиционно управление на задвижванията



Фиг. 7а
Сензори на Хол с промишлено предназначение

Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Сензор на Хол

В графично означение на тези резистори е поставена наклонена линия, която показва в каква посока трябва да бъде наклонът на секторите от алуминий за всеки резистор. Точките 1 и 2 се свързват към външен източник на постоянно напрежение или ток с цел осигуряване първоначалната ориентация на домените. Между точките 3 и 4 се получава напрежение, пропорционално на интензитета и посоката на магнитното поле, приложено външно към тази структура. Ако такова поле не е приложено, напрежението между тези точки е нула.

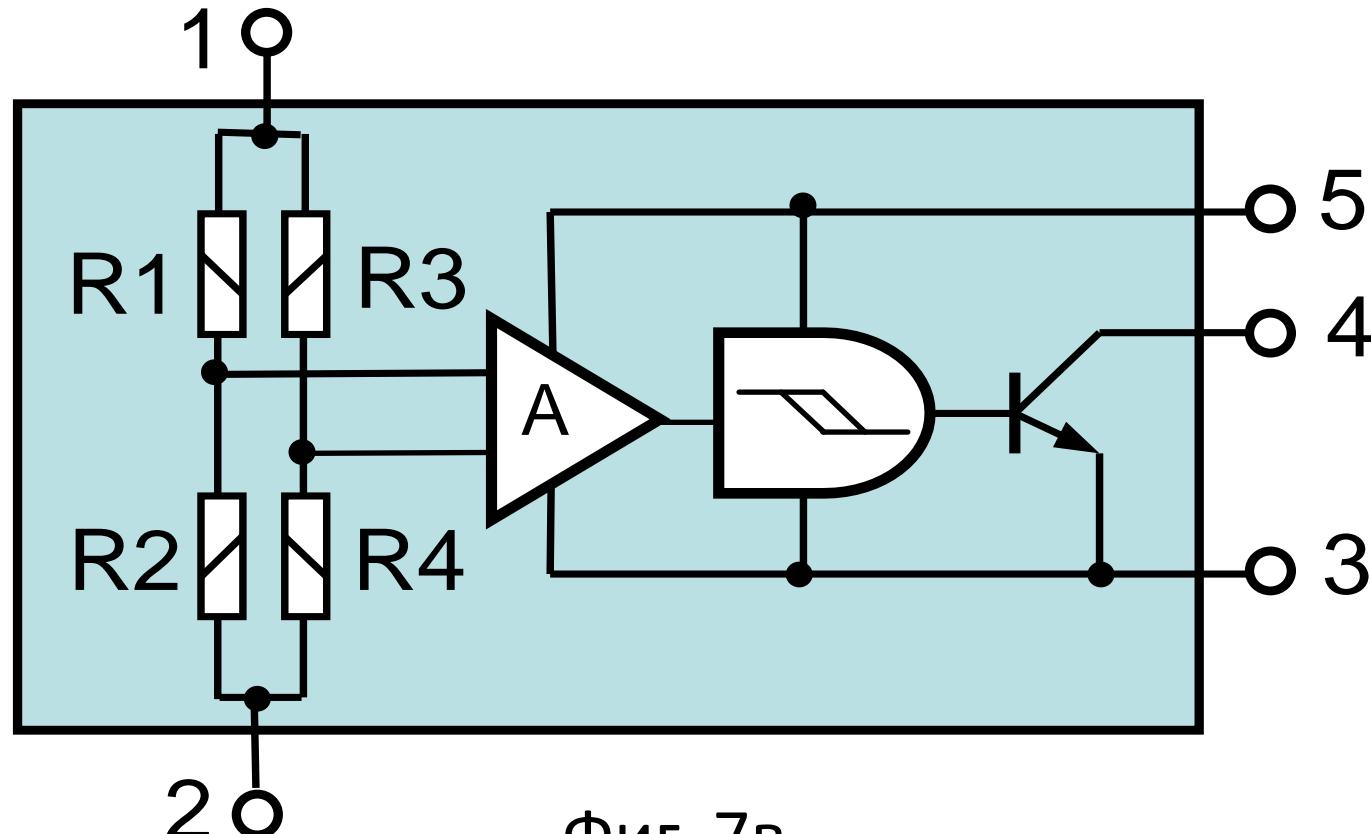
Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Сензор на Хол

Тази конструкция се използва като сензор за положението на ротора на BLDC двигателите и като сензор на положението на плъзгача при линейните двигатели. На фиг. 7б е показана конструкция, при която външното магнитно поле се получава от ток, който тече по допълнителен проводник (свързан с точките X_1 и X_2). Тази конструкция се използва като измервателен преобразувател за силата на електрическия ток, който тече през фазите (намотките) на двигателите.

Позиционно управление на задвижванията



Фиг. 7в

Сензори на Хол с промишлено предназначение

Позиционно управление на задвижванията

Сензори, задействани от постоянно магнитно поле

Сензор на Хол

На фиг. 7в е показан друг вариант на използване на конструкцията, при който към нея е свързано формиращо устройство. При доближаване към конструкцията на постоянен магнит между изводите 3 и 4 се появява електрическа проводимост. Функционално конструкцията е същата, както при Рид-контакта, но е изцяло безконтактна.

Позиционно управление на задвижванията

Сензори с високочестотно електромагнитно поле

- ▶ Принципите на които се основава този тип сензори са заимствани изцяло от радиотехниката
- ▶ Сензорът се задейства само когато към него се приближи обект с висока електропроводимост. На това условие отговарят всички метали, без значение дали са феромагнитни или не
- ▶ Сензорите от този тип са известни под названието ***“proximity switches”***, имат широко приложение в машиностроителната индустрия и се произвеждат от редица фирми в голямо разнообразие на параметри

Позиционно управление на задвижванията



Сензор с високочестотно магнитно поле

Позиционно управление на задвижванията



Сензори с високочестотно магнитно поле

Позиционно управление на задвижванията



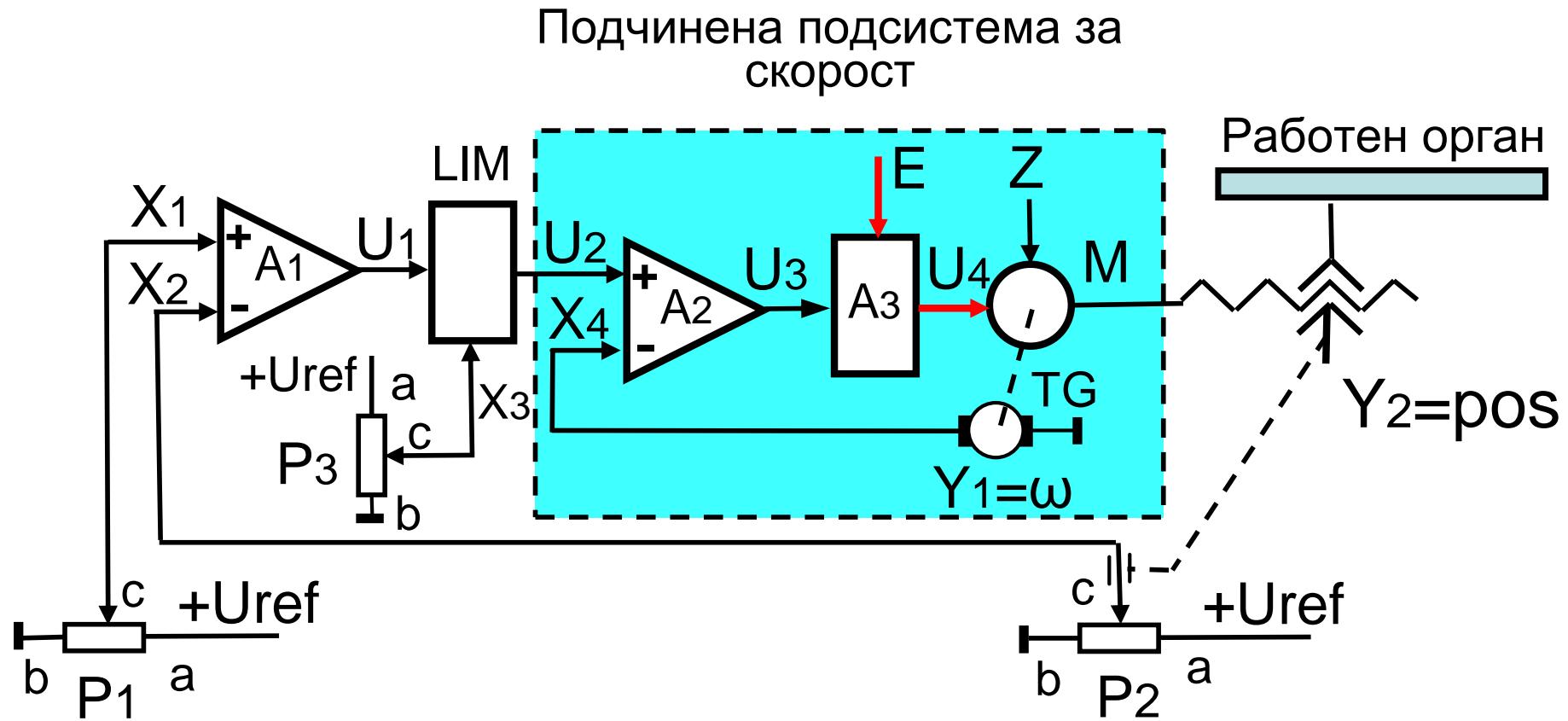
Сензори с високочестотно магнитно поле

Позиционно управление на задвижванията

Непрекъснато позиционно управление на задвижванията за производствена техника в машиностроенето

- ▶ **Предназначението** на непрекъснатото позиционно управление е **същото, както на дискретното** – да осигури движение на работен орган с определена скорост до определено положение с необходимата точност
- ▶ **Разликата** спрямо дискретното позициониране е, че положението за спиране не се определя от предварително поставен сензор и може да бъде навсякъде в границите на работния ход

Позиционно управление на задвижванията



Структура на система за непрекъснато позициониране

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ Системата за непрекъснато позициониране трябва да разполага с три вида информация:
 - **задание за положението на спиране**
 - **задание за скоростта на движение до това положение**
 - **информация за текущото положение на работния орган**
- ▶ **На базата на тази информация система сама определя големината на разстоянието от което започва спиране така, че скоростта в точката на спиране да бъде нула**

Позиционно управление на задвижванията

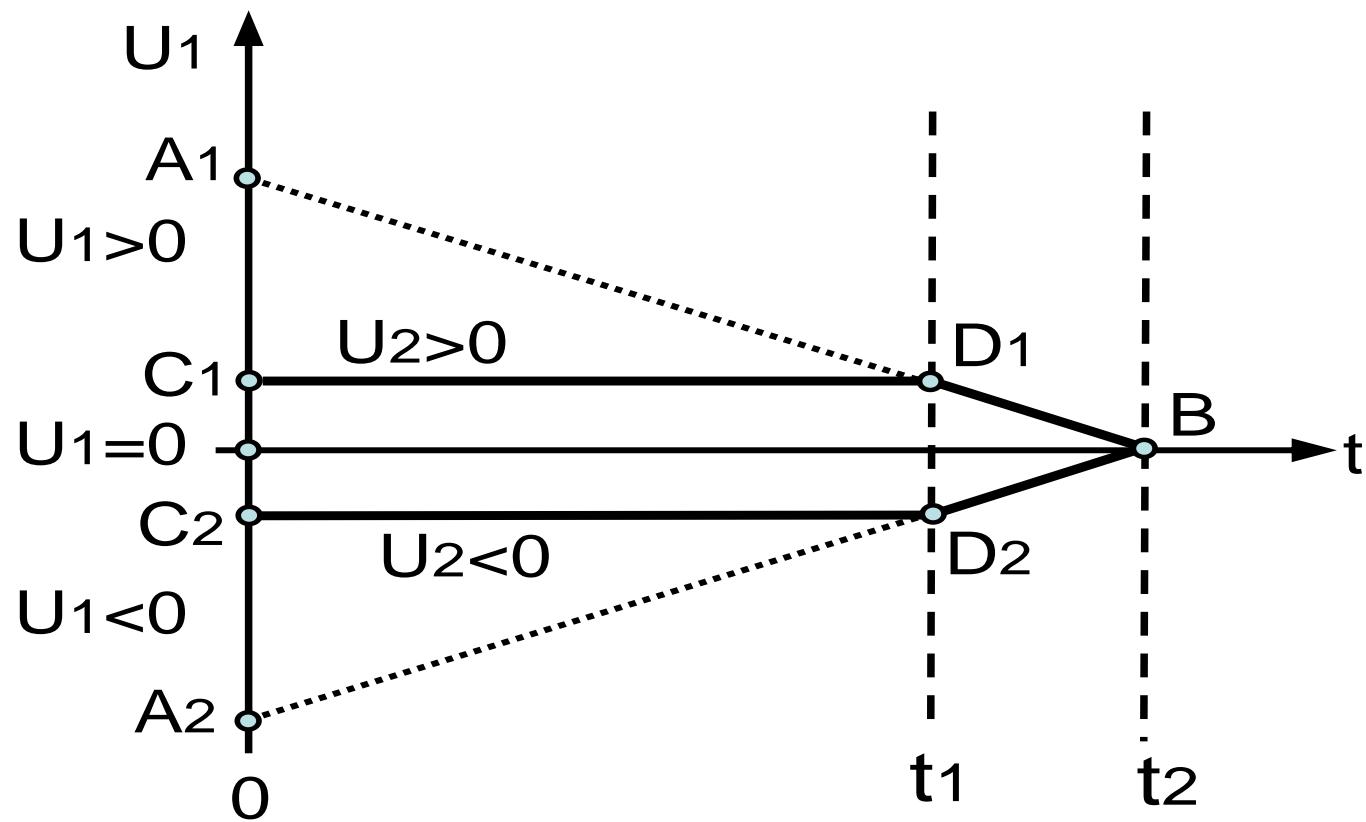
- ▶ По отделно конструкцията и работата на главната и подчинената системи вече са разгледани в раздела за системите за автоматизирано управление на задвижванията
- ▶ **Главната система** (външният контур) осигурява зададеното **положението за спиране** на работния орган, а **подчинената** (вътрешния контур) – **скоростта на движение**
- ▶ За всяка от системите може да се използва който и да е от разгледаните вече типове системи за автоматизирано управление според направената класификация

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ **Свързващо звено** между главната и подчинената система е блокът LIM (*LIMiter* – ограничител)
- ▶ Той има вход, на който се подава сигналът U_1 , изход от който се получава сигналът U_2 , и вход за управление, свързан към сигнала U_3 , получаван от потенциометър P_3
- ▶ Под действие на U_3 вътре в този блок автоматично се изработват две граници - едната е **C1** и е равна на $+U_3$, а другата е **C2** и е равна на $-U_3$
- ▶ Сигналът U_2 на изхода на ограничителя съвпада по големина и знак със сигнала U_1 ако U_1 е в границите $(\pm U_3)$. Ако U_1 излезе извън тези граници, U_2 приема стойността на най-близката граница

Позиционно управление на задвижванията

Работа на системата за непрекъснато позиционно управление



Позиционно управление на задвижванията

- ▶ При тази структура на системата участъците $D1B$ и $D2B$ не са прави линии, а бързо затихващи експоненти, което в много случаи е без значение за технологията процес
- ▶ Те могат да бъдат прави линии **само** ако в тази система се въведе като допълнителен параметър **големината на ускорението при спиране**

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ Както са показани, двете подсистеми - главната и подчинената, са статични, което **неизбежно означава наличие на статични грешки по скорост и положение по време на работа**
- ▶ Ако големината на някоя от тези грешки е неприемлива, съответната подсистема трябва да бъде астатична или астатична с преходен статизъм. От значение е и необходимия характер на преходния процес.

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ За управление на производствени процеси към настоящия момент широко се прилагат цифровите системи
- ▶ **Допълнително предимство е, че ако цифровата система се реализира с подходящ микроконтролер, значително се намалява нейната цена**
 - Начинът на функциониране на разгледаните структури на системи за автоматизирано управление, включително структурата за непрекъснато позиционно управление се осигуряват от цифрова система и програма за нея

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ Цифровите системи за управление позволяват без затруднение да се осигури:
 - точност в установлен и переходен режим
 - зададени ускорения при тръгване и спиране
 - специфични интерфейси за задание и изходна величина
 - изработване на ШИМ за двигателя
 - вградена диагностика
 - комуникация със система за управление от по-високо ниво
 - множество от други полезни действия

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по

ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 7

ПОЗИЦИОННО УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАДВИЖВАНИЯТА (2 ЧАСТ)

Позиционно управление на задвижванията

Измервателни преобразуватели при системите за непрекъснато позиционно управление

- ▶ Измервателните преобразуватели осигуряват информация за текущото положение на управлявания обект
- ▶ Най-важните изисквания към измервателните преобразуватели са:
 - обхват на измерване на разстояние равен на големината на хода на работния орган
 - необходима разделителна способност;
 - работоспособност в целия диапазон от скорости на движение

Позиционно управление на задвижванията

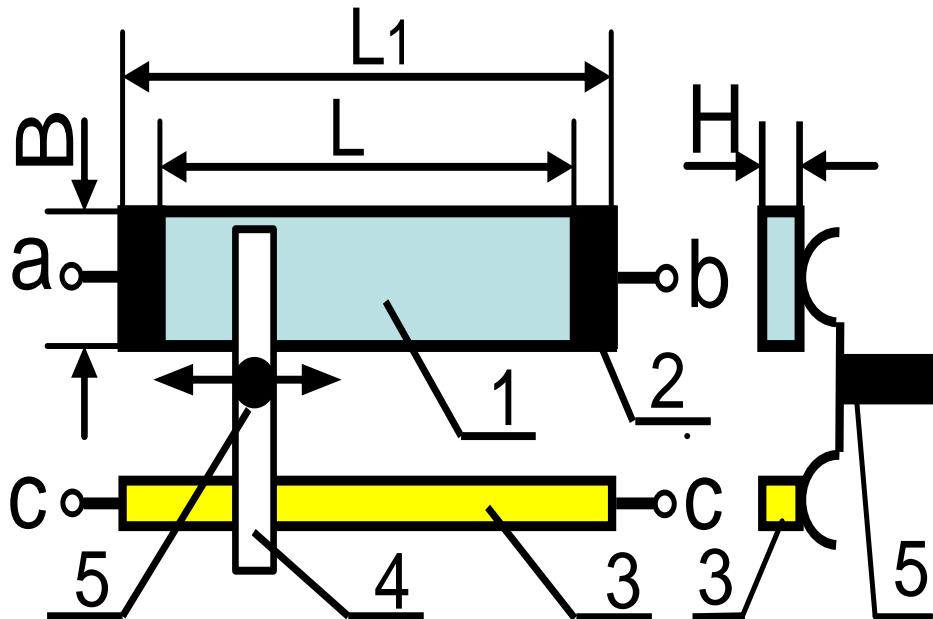
- ▶ Към настоящия момент в тези системи основно се използват **два типа** измервателни преобразуватели:
 - Потенциометри
 - Енкодери
- ▶ Във всеки от тези типове има преобразуватели за:
 - **линейни** движения
 - **ротационни** движения

Позиционно управление на задвижванията

Потенциометри

- ▶ Потенциометрите са възможно най-евтините технически средства, които могат да се използват за:
 - ръчно въвеждане на задание от човека-оператор
 - измервателни преобразуватели
- ▶ Независимо от използването им те са с почти една и съща конструкция и разликата е в това, как е оформена частта, която премества механично плъзгача
 - за удобна работа на човека
 - за удобно свързване към подвижното звено на управлявания механизъм

Позиционно управление на задвижванията



1. Съпротивителен елемент
2. Метализация
3. Извод на плъзгача
4. Плъзгач
5. Задвижване на плъзгача

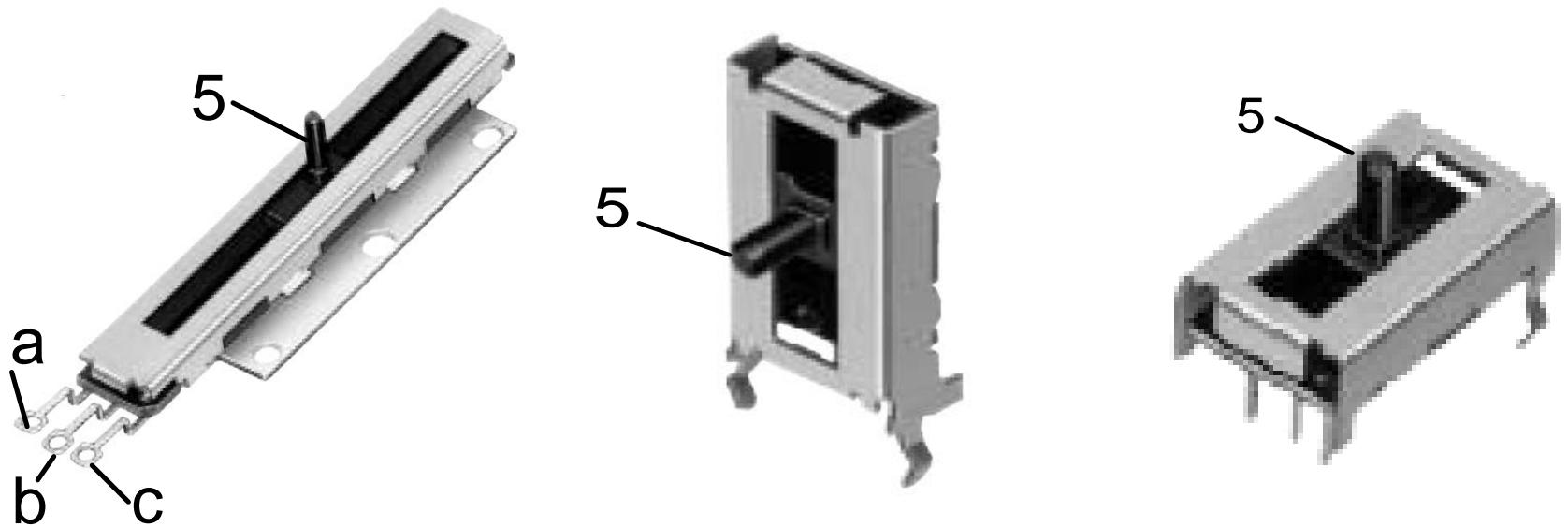
Потенциометър с линейно движение

Позиционно управление на задвижванията

Потенциометри с линейно движение

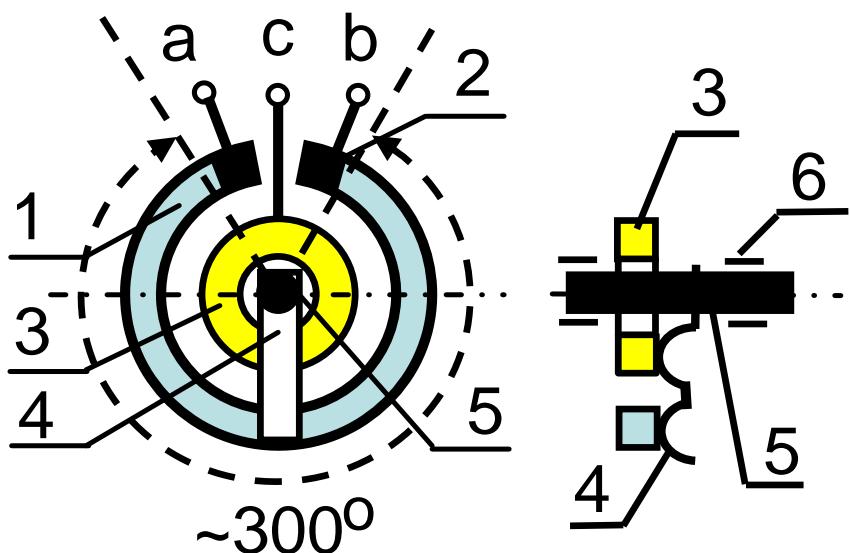
На фигурата от предния слайд е показана конструкцията на потенциометрите с линейно движение. Върху съпротивителният елемент 1 са оформени зоните 2, като единият край на този слой е свързан електрически с точка **a**, а другия – с точка **b**. Зоните 2 имат електрическа характеристика, различна от тази на слоя с високо съпротивление и намаляват използваемата дължина на потенциометъра от L_1 до L . По дълчината L на този слой се движи плъзгачът 4, едната страна на който се допира до съпротивителния елемент 1, а другата – до шината 3. Плъзгачът се премества механично (от човек или работен орган) чрез звеното 5.

Позиционно управление на задвижванията



Външен вид на потенциометри с линейно движение

Позиционно управление на задвижванията



1. Съпротивителен елемент
2. Метализация
3. Извод на плъзгача
4. Плъзгач
5. Задвижване на плъзгача
6. Лагеруване

Потенциометър с ротационно движение

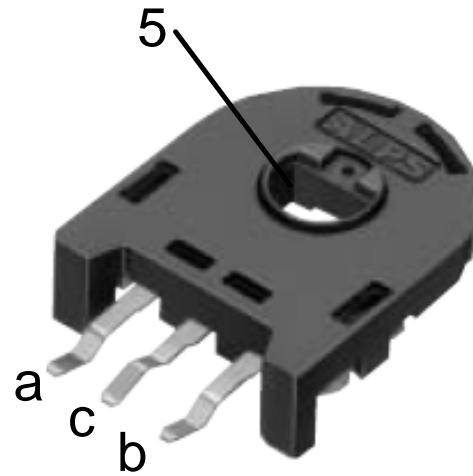
Позиционно управление на задвижванията

Потенциометри с ротационно движение

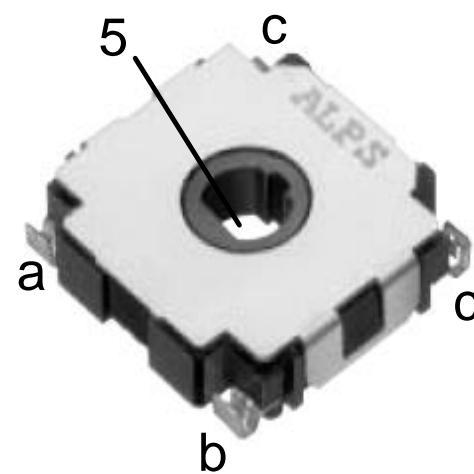
Основната разлика спрямо тази с линейно движение е, че съпротивителния елемент 1 е оформлен по дъга от окръжност и работния ход на плъзгача е 270-300 ъглови градуса. Всичко по отношение особеностите на съпротивителния елемент е както при потенциометрите с линейно движение.

Позиционно управление на задвижванията

Потенциометри с
един оборот



Потенциометър с
много обороти (10-25)



Външен вид на потенциометри с ротационно движение

Позиционно управление на задвижванията

Предимства

- ▶ Ниска цена (към настоящия момент \$ 0,20 - \$ 0,80 за един брой)
- ▶ Точност (нелинейност) на измерване 1-2% от големината на работния ход (само за потенциометри от висок клас)

Недостатък

- ▶ Ограничено живот: 10 000 – 1 000 000 движения на плъзгача в зависимост от конструкцията и цената

Позиционно управление на задвижванията

Енкодери

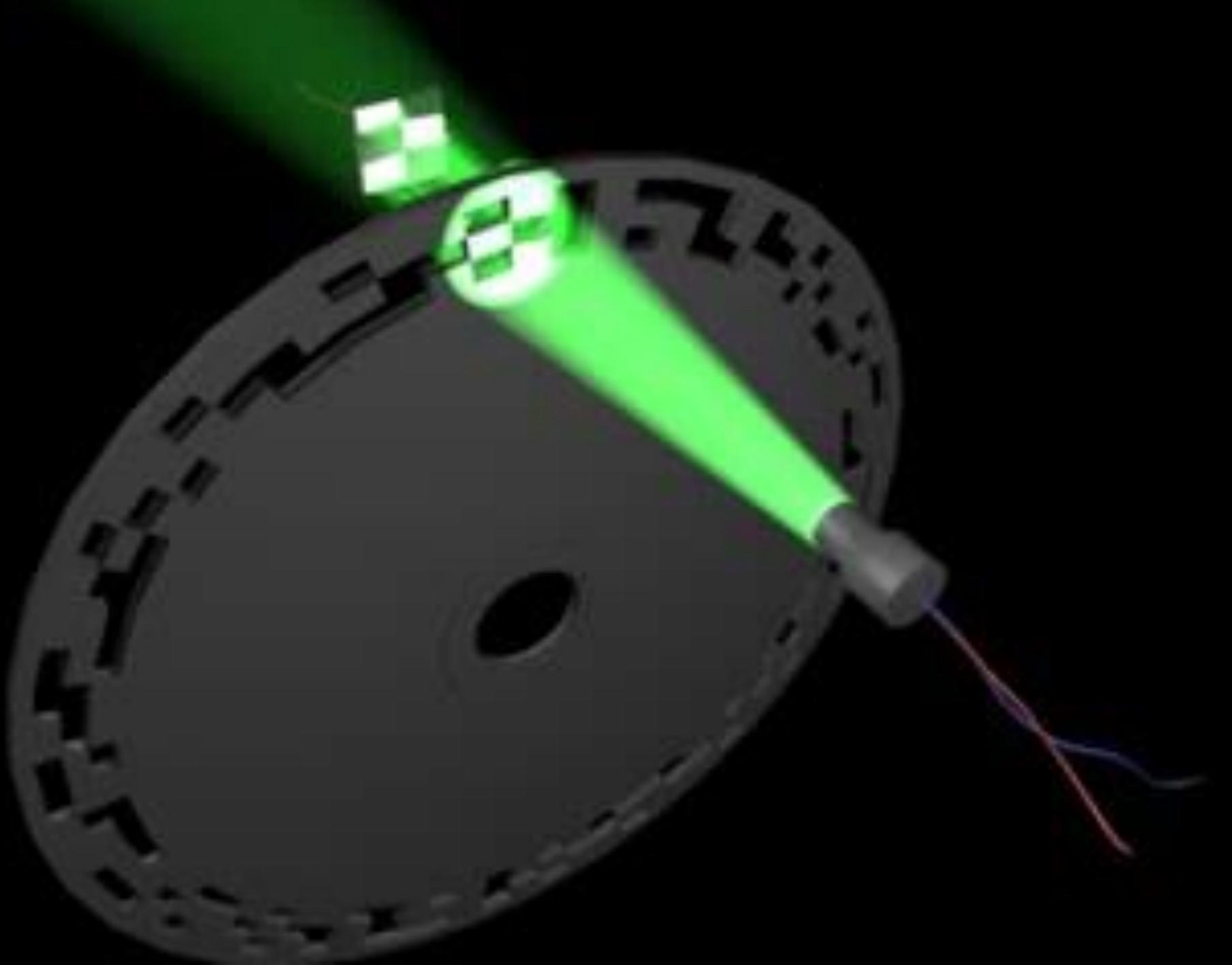
- ▶ Енкодерите са измервателни преобразуватели, които са създадени специално за използване в системите за непрекъснато позициониране и **осигуряват независимост между разделителна способност и големина на работен ход**
- ▶ Към настоящия момент съществуват два типа енкодери – **инкрементални и абсолютни**
- ▶ всеки от тях може да бъде за **линейно** или **ротационно** движение

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ Когато чувствителният елемент на инкрементален енкодер се премести на най-малкото различимо от него разстояние, наречено „**инкремент**”, се изработва един импулс
- ▶ При преместване на същия чувствителен елемент на каквото и да е разстояние се получава поредица от импулси
- ▶ От тази поредица чрез подходящи технически средства се изработва информация за текущо положение, скорост, големина и посока на преместване и др.

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ При абсолютните енкодери за всяко положение на техния чувствителен елемент се изработва уникална числена стойност, от която може да се получи горната информация



Позиционно управление на задвижванията

- ▶ В конструкциите на всички енкодери има два основни конструктивни възела – единият е носител на белези, а другият възприема тези белези
- ▶ Към настоящия момент се използват само **оптични** и **магнитни** белези
- ▶ **Оптичните белези** се изработват като непрозрачни ивици върху прозрачна подложка
- ▶ **Магнитните белези** се изработват като полюси с редуваща се полярност

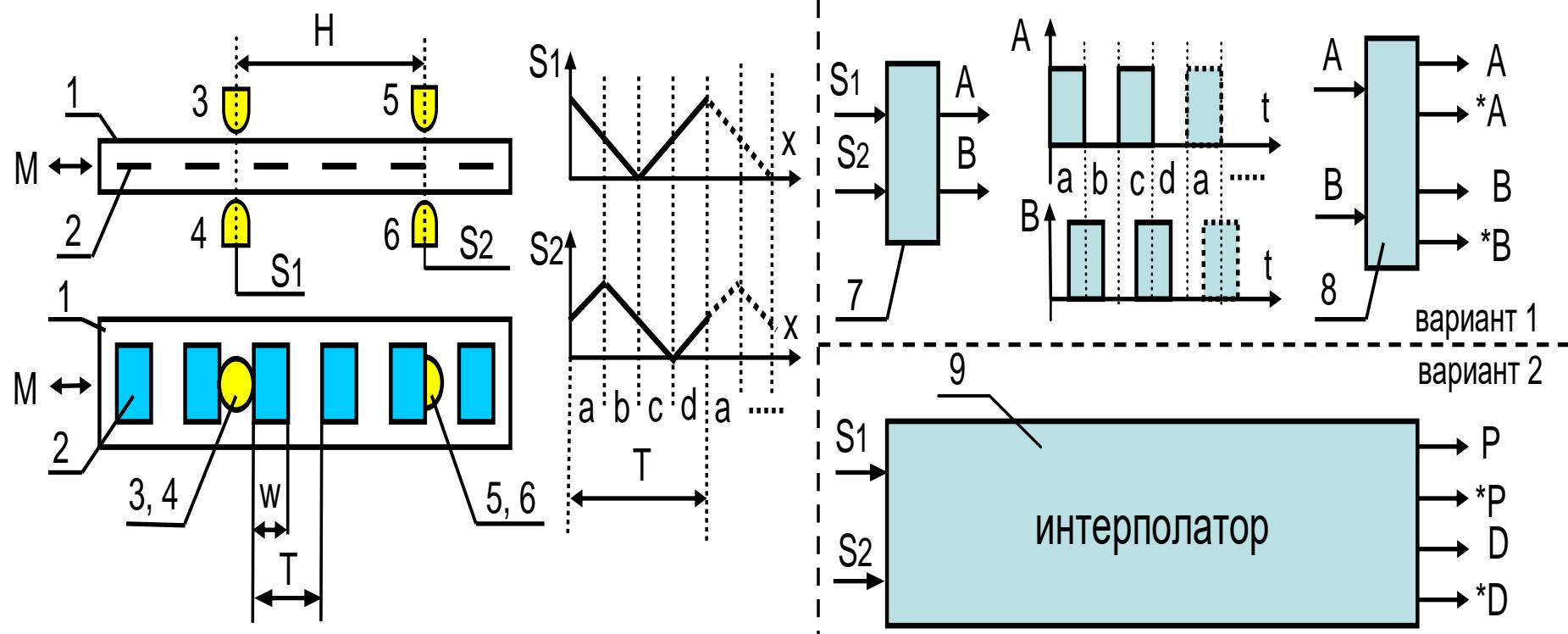
Позиционно управление на задвижванията

Оптични инкрементални енкодери

- ▶ Към настоящия момент оптичните инкрементални енкодери имат най-широко разпространение, както в машиностроенето, така и в други области

Позиционно управление на задвижванията

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП НА РАБОТА НА ИНКРЕМЕНТАЛЕН ОПТИЧЕН ЕНКОДЕР



Позиционно управление на задвижванията

Оптични инкрементални енкодери – принцип на работа

Носителите на белезите 1 и самите белези 2 са свързани неделимо един към друг и се наричат растерна скала. Важно изискване е ширината w на белезите да бъде равна на половината от стъпката T . От горната страна на скалата са разположени източниците на светлина 3 и 5, а срещу тях от долната страна са разположени фотоприемниците 4 и 6. Всеки източник на светлина и съответния му фотоприемник образуват така наречената „оптична двойка“. Разстоянието между двете оптични двойки е $H=n \cdot T + 1/4T$, където n е подходящо число.

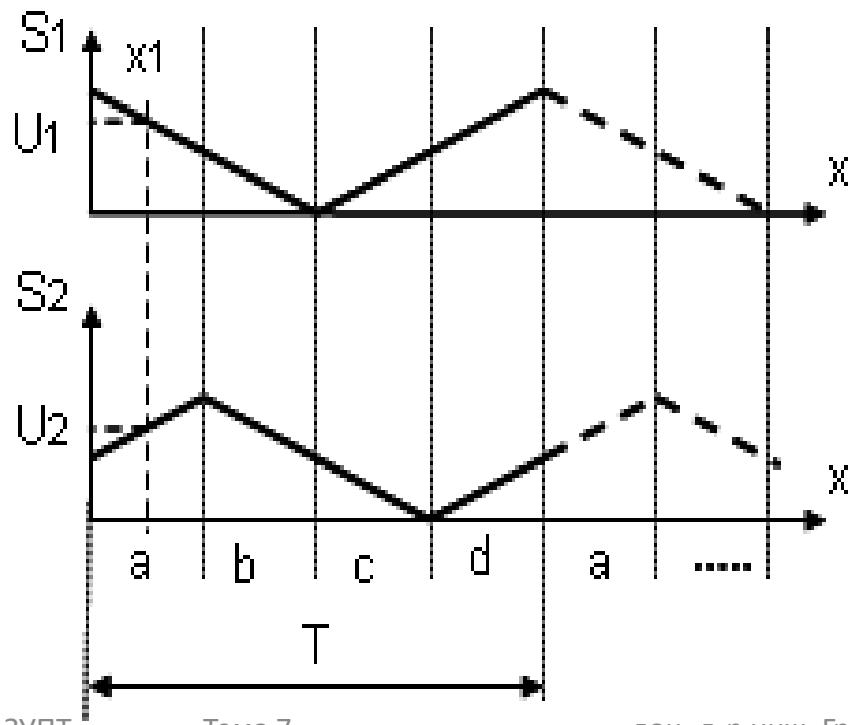
Позиционно управление на задвижванията

Оптични инкрементални енкодери – принцип на работа

Когато растерната скала започне да се премества в показаното направление под действието на движението M, фотоприемниците 4 и 6 периодично ще бъдат осветявани и засенчвани и техните сигнали S1 и S2 ще се изменят пропорционално на степента на осветяване/засенчване. Тези енкодери са подходящи за скорост на движение при която се преминават 200 000 до 1000 000 инкремента за една секунда. За преместване на скалата на разстояние T във взаимното расположение на тези сигнали съществуват, четири уникатни комбинации, означени с a, b, c и d.

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ Увеличаване на разделителната способност чрез използване на съчетания от наклони и стойности на сигналите S_1 и S_2



a, b, c и **d** са участъците за една стъпка T , в границите на които могат да се дефинират множество съчетания от наклони и стойности на сигналите **S_1** и **S_2** с цел по-висока разделителна способност

Позиционно управление на задвижванията

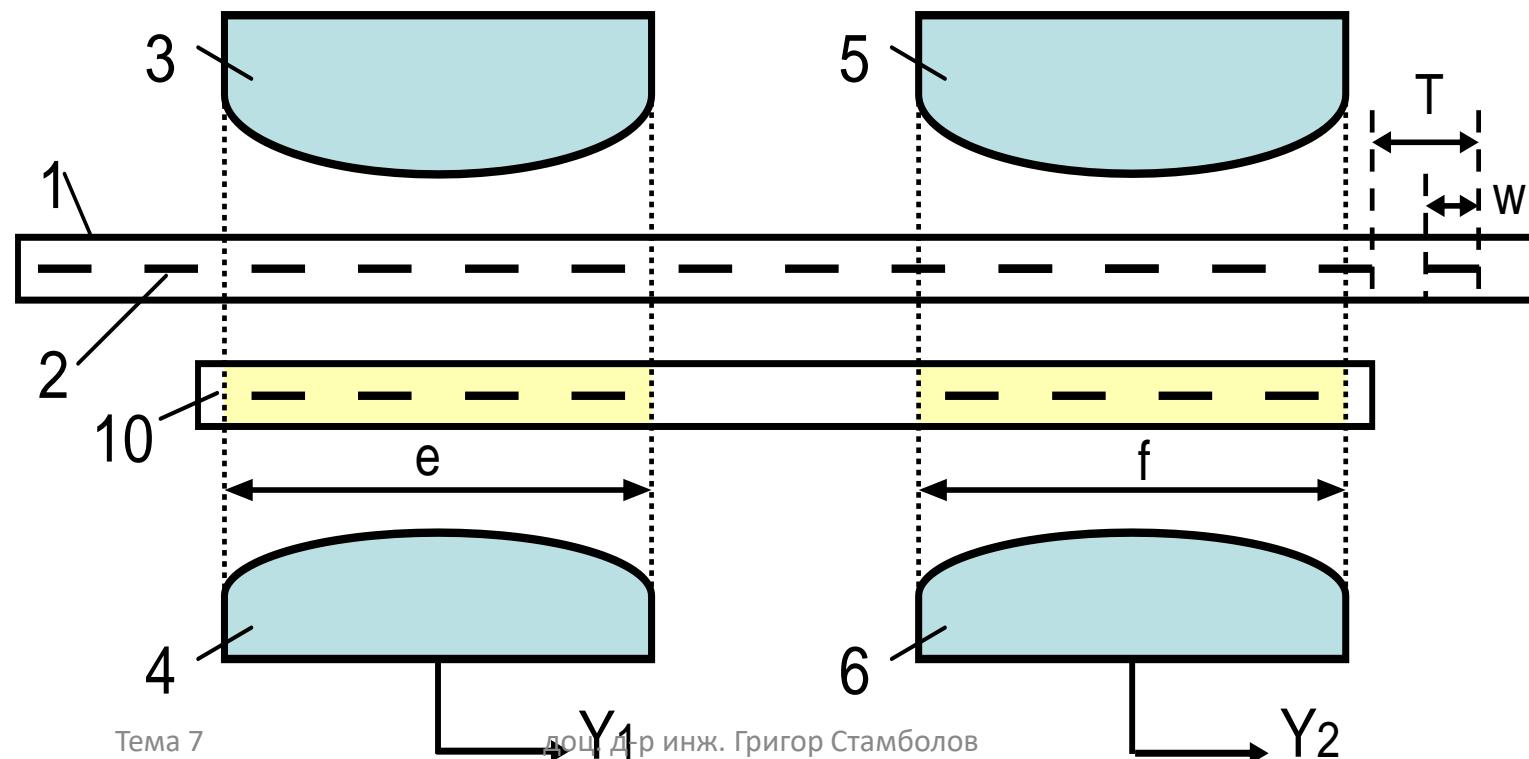
Оптични инкрементални енкодери – принцип на работа

При Вариант 1 се използват средства, чрез които тези комбинации да се различават и като резултат се постига четирикратно увеличаване на разделителната способност. За да се подпомогне този процес се използва блок 7.

Вариант 2 се основава на факта, че за всеки от участъците a, b, c и d има специфични съчетания между характера на наклона на сигналите S1 и S2 и техните конкретни стойности.

Позиционно управление на задвижванията

- ▶ Принцип за получаване на енкодери с малка стъпка (стотици и хиляди пъти по-малка от размерите на фотоприемниците)



Позиционно управление на задвижванията

- ▶ Оптичните инкрементални енкодери се произвеждат в две разновидности – за ротационно движение и за линейно движение
- ▶ При **оптичните инкрементални енкодери за ротационно движение** основната растерна скала е изработена върху стъклен диск, закрепен към вал, лагеруван в корпуса на енкодера
- ▶ Непрозрачните белези са нанесени радиално върху диска близо до външния му контур
- ▶ Върху същия диск освен основната скала с голям брой белези е изработена и втора скала само с един белег, от който се получава по един импулс за един оборот на енкодера Този белег се нарича „**индексен**“

Позиционно управление на задвижванията

Оптични инкрементални енкодери за ротационно движение с плътен вал



Позиционно управление на задвижванията

Оптични инкрементални енкодери за ротационно
движение с кух вал



Позиционно управление на задвижванията

- Брой на импулсите за един оборот на вала:

10, 24, 32, 100, 250, 360, 500, 512, 600, 720,
1000, 1024, 1200, 1250, 1650, 2000, 2048, 2100,
2160, 2500, 3600, 4096, 5000, 5400, 9000 и 10600

- Външен диаметър на корпуса: от 20 мм до 80 мм
- Вал: плътен или кух
- Степен на защита: от IP54 до IP65

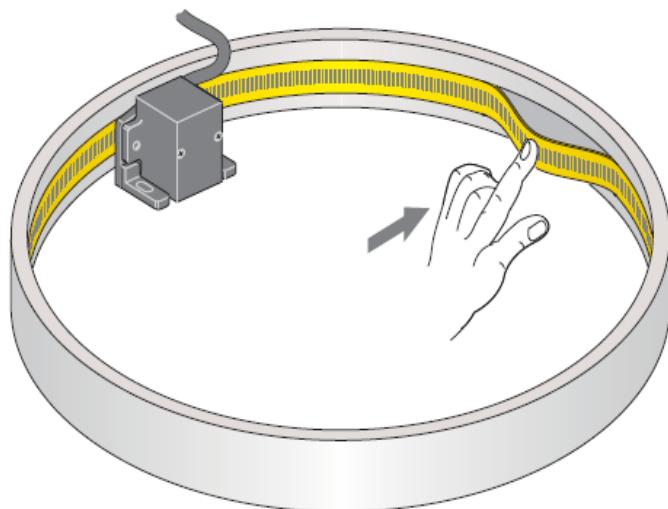
Позиционно управление на задвижванията

Оптични инкрементални енкодери с ротационно движение



Позиционно управление на задвижванията

The attainable system accuracy depends on the eccentricity of the graduation to the drive shaft bearing, as well as the radial runout and wobble of the bearing.



ERA 780C

ERA 700 and ERA 800 series

- **For very large diameters** up to 10 m
- AURODUR steel scale tape
- High accuracy even at the junction of the scale-tape ends

ERA 700 series

Scale tape is placed in a slot on the inside circumference of the machine element

- **ERA 780C:** full circle
- **ERA 781C:** segment

ERA 800 series

Scale tape is fastened on the outside circumference of the machine element

Позиционно управление на задвижванията

Оптични инкрементални енкодери с ротационно движение



Позиционно управление на задвижванията

Оптични инкрементални енкодери с линейно движение



Препоръчителна големина на работния ход: 120, 170, 220, 270, 300, 500, 750 и 1000 mm, друга само по заявка

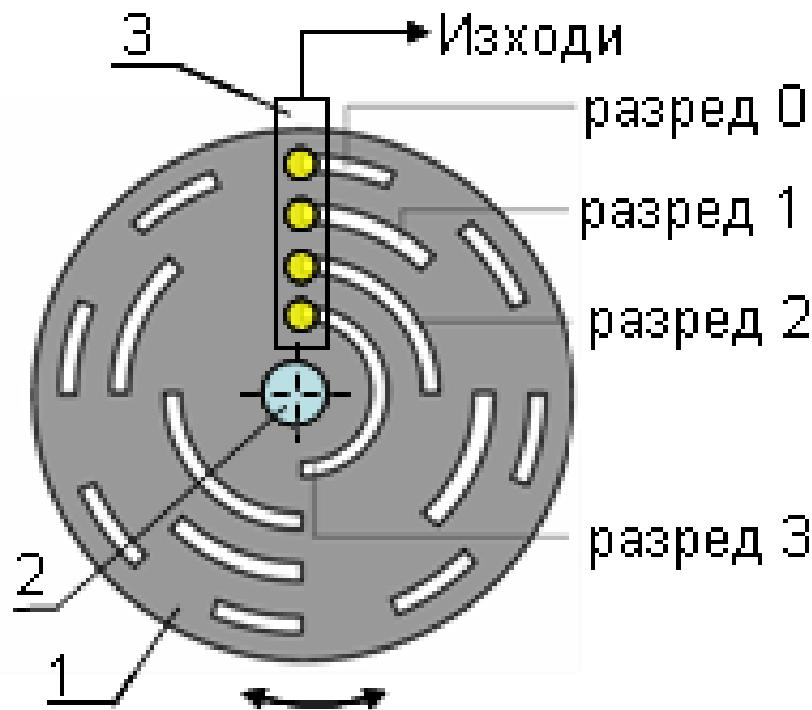
Позиционно управление на задвижванията



Интерполатор за линеен енкодер
габарити: 142 x 41 x 12 mm, степен на защита IP40.

Позиционно управление на задвижванията

Оптични абсолютни енкодери с двоичен код



p – код на позицията
 n – номер на разреда
 $c = 0$ – непрозрачна
част
 $c = 1$ – прозрачна част

$$p = c \cdot 2^n + c \cdot 2^{n-1} + c \cdot 2^{n-2} + \dots + c \cdot 2^0$$

Позиционно управление на задвижванията

Оптични абсолютни енкодери – принцип на работа

Този тип енкодери се изработват само за ротационно движение. Дискът 1 е закрепен на вала 2 на енкодера и съдържа “ n ” на брой концентрични писти, по които тези сектори са разделени по определен начин. Регистрираната от енкодера позиция се представя чрез двоичното число r . Всяка пista се използва като разред на това двоично число и има свой собствен източник на светлина и фотоприемник, разположен в блока 3. Най-вътрешната пista представлява най старшият разред n на двоичното число r и тя винаги е разделена на две равни части, като едната част е прозрачна, а другата непрозрачна.

Позиционно управление на задвижванията

Оптични абсолютни енкодери – принцип на работа

Втората след нея писта в посока към външния диаметър е разделена на четири равни части – две прозрачни и две непрозрачни, като се редуват прозрачна и непрозрачна част и представлява $(n-1)$ – вият разред на двоичното число. Правилото е, всяка следваща писта в посока към външния диаметър да се разделя на два пъти повече равни части от предишната, като едната половина от тези части са прозрачни, а другата половина – непрозрачни, като се редуват прозрачна с непрозрачна част. Когато дискът 1 се завърти на 180 градуса от показаното положение, фотоприемниците в блока 3 за момент ще регистрират същото състояние, както вече показаното.

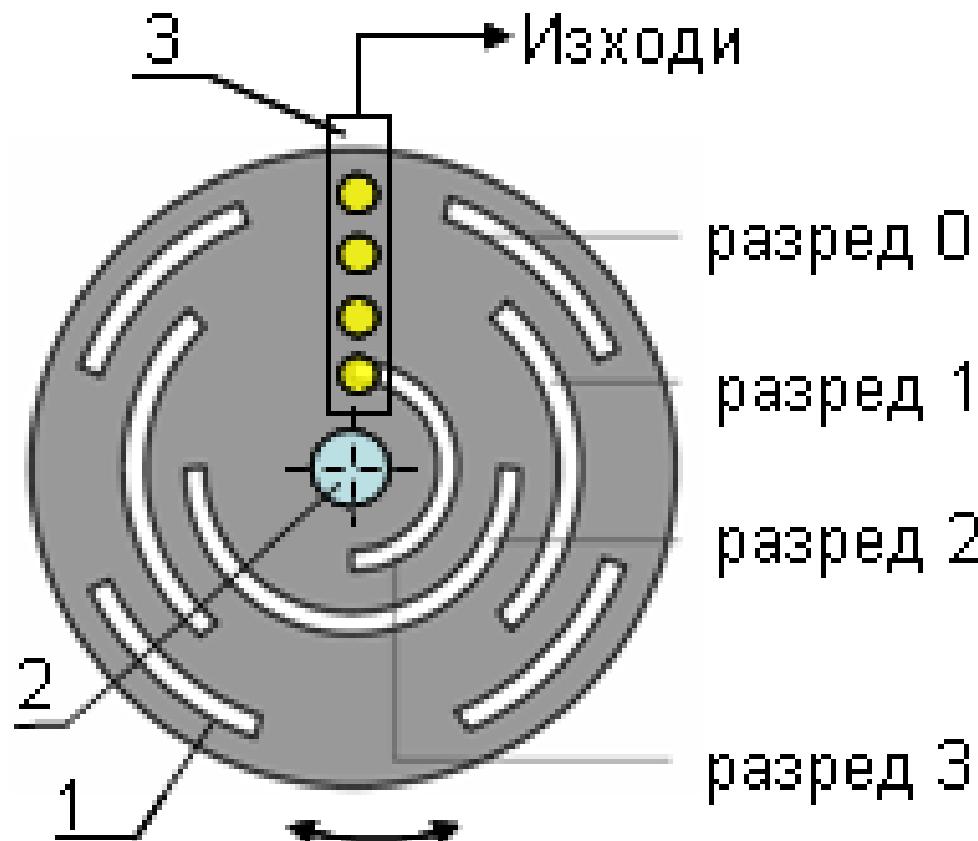
Позиционно управление на задвижванията

Оптични абсолютни енкодери – принцип на работа

Когато това е нежелателно, се използва диск с друго разпределение на прозрачните и непрозрачни сектори – енкодери с код на Грей. Кодът на Грей се получава от двоичния код по формални правила, които осигуряват в който и да е момент от време да се променя само един разряд. Този код осигурява същата разделителна способност както двоичния код.

Позиционно управление на задвижванията

Оптични абсолютни енкодери с код на Грей



Позиционно управление на задвижванията

Оптични абсолютни енкодери за ротационно движение



Оптичен абсолютен енкодер
с един оборот с 12 разреда,
 $2^{12} = 4096$ стойности за 1 оборот

Позиционно управление на задвижванията

Оптични абсолютни енкодери с много обороти

Съществуват енкодери, които освен стойността на позицията в рамките на оборота осигуряват числови информация и за това колко пълни оборота са извършени до тази позиция. Те са известни като **енкодер с много обороти** и това тяхно свойство се постига като към вала чрез редуктор се свързва втора скала, обикновено същата като първата. Двете скали са в общ корпус и предавателното отношение на редуктора между тях е равно на максималния брой стойности на числото p , осигурявано от първата скала.

Позиционно управление на задвижванията

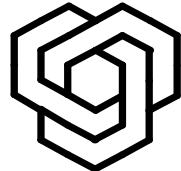


Оптичен абсолютен енкодер с много (2^{12}) обороти.

Осигурява $2^{12} \cdot 2^{12} = 2^{24} = 16\ 777\ 216$ различни стойности

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 8

ПРОГРАМИРУЕМИ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕРИ – ЧАСТ 1

**ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ. БАЗОВА СТРУКТУРА.
ПРИНЦИП НА РАБОТА. АРХИТЕКТУРА.
ФУНКЦИОНАЛНОСТ И ПРИЛОЖЕНИЕ**

Програмираме логически контролери

Предназначение

Програмираме логически контролери – Programmable Logical Controllers (PLCs) са устройства, които могат да се разглеждат като комплекс от аппаратни и програмни средства от областта на компютърните технологии и които се използват за управление на индустриални обекти с различна сложност (машини, съоръжения, технологични процеси и др.).

Програмираме логически контролери

Предназначение

Програмираните контролери се използват за решаване на сложни управляващи задачи в индустрията, главно в областта на нейната автоматизация.

Връзката между входните въздействия и изходните реакции на системата за управление се осъществява чрез последователност от инструкции, на базата на която се реализират алгоритми на управление.

Програмираме логически контролери Входни и изходни сигнали на PLC



Програмираме логически контролери Входни и изходни сигнали на PLC

Към входове на контролера се свързват елементи като бутони, сензори и различни типове измервателни устройства, напр. отчитане на преместване (позициониране), температура, налягане и др.

На база на техните показания във времето се формират променливи, които се явяват входни сигнали за контролера. Те биват два вида – цифрови и аналогови.

Програмираме логически контролери

Входни и изходни сигнали на PLC

Цифровите входни сигнали имат две състояния - включено/изключено, отворено/затворено, натиснат/отпуснат и т.н.

Такъв тип са сигналите от:

- бутони на табло – сигнал от натиснат или отпуснат бутон;
- индуктивен сензор (това е сензор, който реагира на близост на метал) – сигнал от задействан или незадействан такъв сензор;
- контактен сензор (който е поставен на врата или на отварящ се панел на машина);
- оптичен сензор – сигналът от него е за присъствие или отсъствие на обект в близост до полето на работа на сензора.

Програмираме логически контролери

Входни и изходни сигнали на PLC

Другият тип входни сигнали за програмируемият логически контролер са аналоговите сигнали. Типични примери за този тип сигнали са измерените променливи от:

- сензори за температура;
- сензори за налягане;
- сензори за позиция и др.

Програмираме логически контролери

Входни и изходни сигнали на PLC

На строго определено време (т.н. „време на сканиране“) контролерът „прочита“ състоянието на входните сигнали. В зависимост от тяхното състояние и от състоянието, в което се намира в момента система, подлежаща на управление, контролерът изработва изходни сигнали, чрез които се управляват изпълнителните механизми на машината. Изходните сигнали, също както входните, биват два вида – цифрови и аналогови.

Програмираме логически контролери Входни и изходни сигнали на PLC

Цифрови изходни сигнали също имат две състояния: включено/изключено, светнал/изгаснал, задействан/незадействан и т.н. Такъв тип са сигналите от:

- вентили – пневматични или хидравлични, които могат да бъдат или включени (подадено е напрежение към бобината на вентила) или изключени;
- реле (контактор) – биват включени или изключени;
- сигнална лампа – служи за идентифициране на нормална или аварийна ситуация при работа на машината.

Програмираме логически контролери Входни и изходни сигнали на PLC

Другият тип са аналоговите изходи на контролера, като тук електрическият сигнал, който контролерът изработва, е с множество възможни стойности. При електрически изход – напрежение например от 0 до 10V. Типични устройства в производствените системи, които се управляват с аналогови изходи са:

- Честотни инвертори – средства за управление на двигатели;
- пропорционални вентили – с тях се управляват налягането и скоростите на шприц машини;
- самостоятелни възли за управление на налягане и температура и др.

Програмираме логически контролери Предимства на PLC

Програмираме логически контролери представляват хардуерна управляваща система с възможности за програмиране, която изпълнява функции подобни на релейните логически системи.

Предимства на PLC спрямо електромеханичните релейни схеми са:

- гъвкавост - посредством смяна или модификация на програмата;
- по-малко на брой кабелни връзки (с използването на програма);

Програмираме логически контролери

Предимства на PLC

Предимства на PLC спрямо електромеханичните релейни схеми са:

- няма подвижни части;
- модулна структура - отстраняване на неизправности и разширения на конфигурацията;
- обслужват значително по-сложни системи;
- с ниска себестойност;
- компактни размери.

Програмираме логически контролери Принцип на работа на PLC

Програмирамите логически контролери работят под управлението на операционна система за реално време (ОСРВ), която осигурява циклично изпълнение на логическа програма.

Операционната система осигурява последователното изпълнение на 5 основни дейности, които се наричат още „фази на оперативния цикъл“.

Програмираме логически контролери

Принцип на работа на PLC



Програмираме логически контролери

Фаза 1 на оперативен цикъл

Фаза 1 включва сканиране на входове (Input Scan). Физическите места, където постъпват входните сигнали в промишления контролер се отбелязват като входни точки (Input Points). За всяка входна точка се определя по един бит в оперативната памет - т.нар. входен бит (Input Bit). Дейността по сканирането на входовете извършва „прочитане“ на входните точки и записване на информацията от тях във входните битове. В оперативната памет се създава „образ“ на входните въздействия към дадения момент (Process Image Inputs).

Програмираме логически контролери

Фаза 2 на оперативен цикъл

Фаза 2 е сканиране на програмата (Program Scan). През тази фаза се изпълняват всички инструкции от логическата програма по отработване на входните въздействия и формиране на изходните реакции.

Програмираме логически контролери

Фаза 3 на оперативен цикъл

Фаза 3 се нарича сканиране на изходите (Output Scan). Физическите места, през които промишленият контролер изпраща изходните сигнали към управляемия обект се наричат изходни точки (Output Points). Както при входните точки, така и за всяка изходна точка е определен по един бит в оперативната памет - т.нар. изходен бит (Output Bit). Отново, в оперативната памет се създава „образ“, сега вече на изходните реакции в дадения момент (Process Image Outputs).

Програмираме логически контролери

Фаза 4 на оперативен цикъл

Фаза 4 е предназначена да обслужи комуникацията (Service Communication). В тази част на оперативния цикъл се извършва комуникация с други устройства, например програмиращо устройство, централен компютър, устройство за човеко-машинен интерфейс (операторски пулт, панел, терминал) и др.

Програмираме логически контролери

Фаза 5 на оперативен цикъл

Фаза 5 е предназначена за изпълняване на системни функции (Housekeeping and Overhead). Към тази дейност влизат разнообразни действия, по-важни от които са:

- управление на паметта;
- управление на вътрешните регистри на микропроцесора;
- обслужване на вградените специални аппаратно-програмни функции (Firmware Function) като броячни входове, импулсни входове и изходи, допълнителни комуникационни портове и др.;

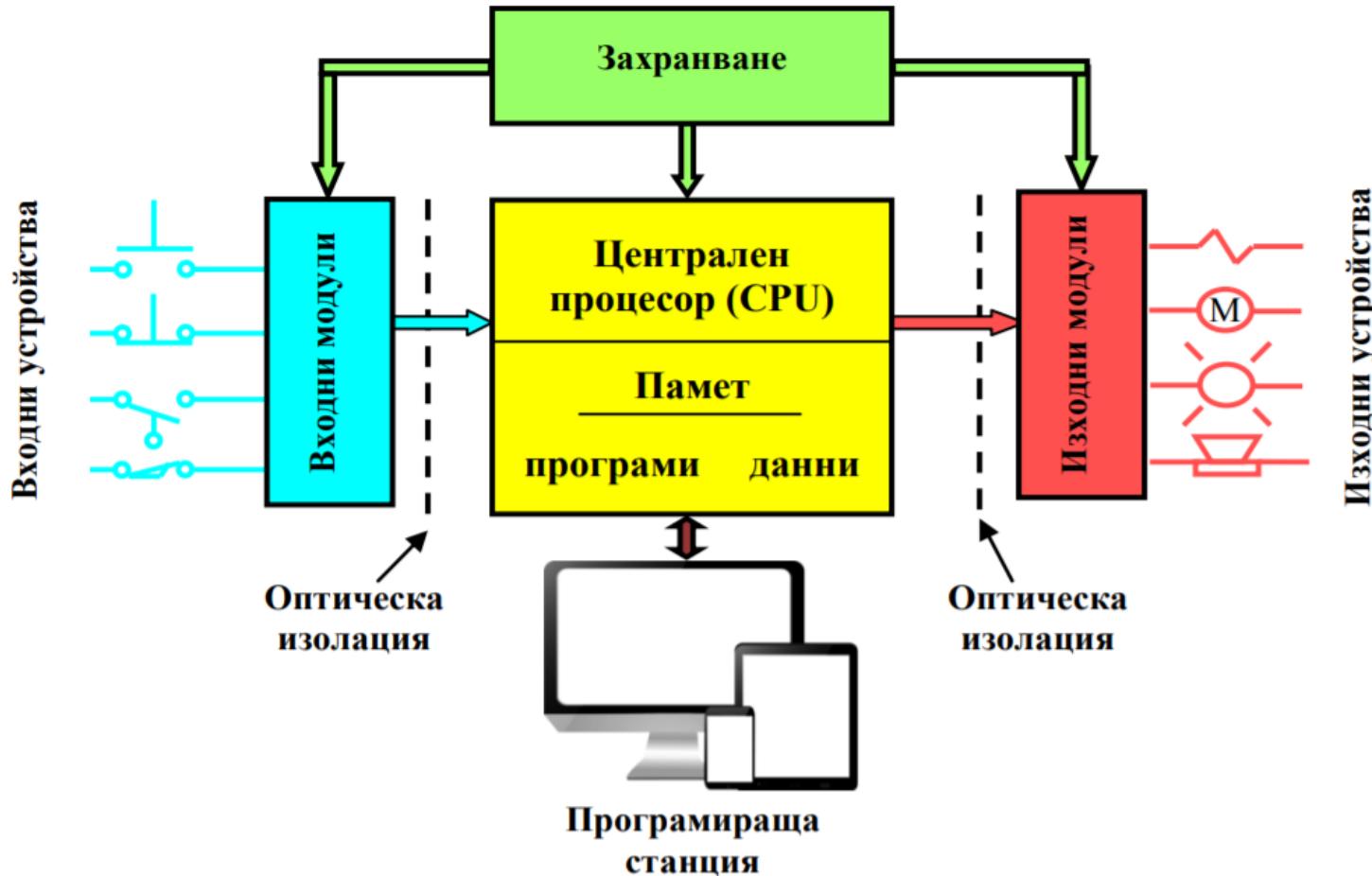
Програмираме логически контролери

Фаза 5 на оперативен цикъл

- извикване на вградени логически функции, които имитират работата на хардуерни устройства, използвани за целите на логическото управление като устройства за времезадържане (таймери), устройства за отброяване на външни или вътрешни за контролера събития (броячи) и др.;
- тестване на апаратно-програмните функции на промишления контролер (Self Diagnostic Test).

Програмирами логически контролери

Архитектура на PLC



Програмираме логически контролери

Архитектура на PLC

Процесорът е главният системен блок на програмируемите логически контролери, изпълняващ аритметични (нулиране, инвертиране, известване, събиране, изваждане и умножение) и логически (И, ИЛИ, НЕ, изключващо ИЛИ, проверка на условие, преход и работа с отделен бит) операции.

Програмираме логически контролери

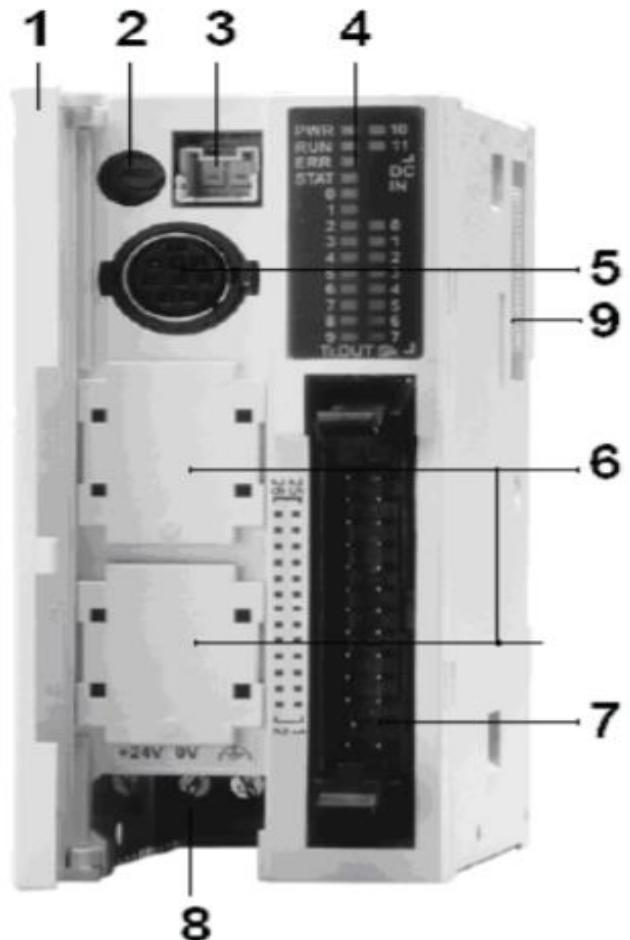
Архитектура на PLC

Операционната система осигурява изпълнението на следните процедури от процесора:

- сканиране състоянието на входовете и записване на това състояние в специално определена област на паметта;
- изпълнение на потребителската програма;
- записване състоянието на изходите в специално определена област на паметта и установяване на изходите в състояние, съответстващо на резултата от изпълнението на програмата;
- изпълнение на системни функции по контрол и управление на апаратни и програмно вградени функции и комуникация.

Програмираме логически контролери

Основни елементи на PLC



Програмираме логически контролери

Основни елементи на PLC

- 1 – Основен преден капак;
- 2 – Аналогов потенциометър ;
- 3, 5 – Съединители за свързване с вграден аналогов вход;
- 4 – Модул за индикация на работата на контролера;
- 6 – Слот за допълнителна памет EEPROM и слот за външен часовник за реално време (RTC);

Програмираме логически контролери

Основни елементи на PLC

- 7 – Съединител за свързване на входно/изходни модули;
- 8 – Съединител за свързване на захранващ модул.
- 9 – Съединител за свързване с отдалечени входно/изходни модули (десен панел) и с модул за сериен интерфейс (ляв панел).

Програмираме логически контролери

Основни елементи на PLC

Модулът за индикация на работата на контролера (позиция 4) представлява светлинен (LED) модул, чрез който потребителят може да следи работното състояние на контролера и състоянията на всички отделни входове и изходи.

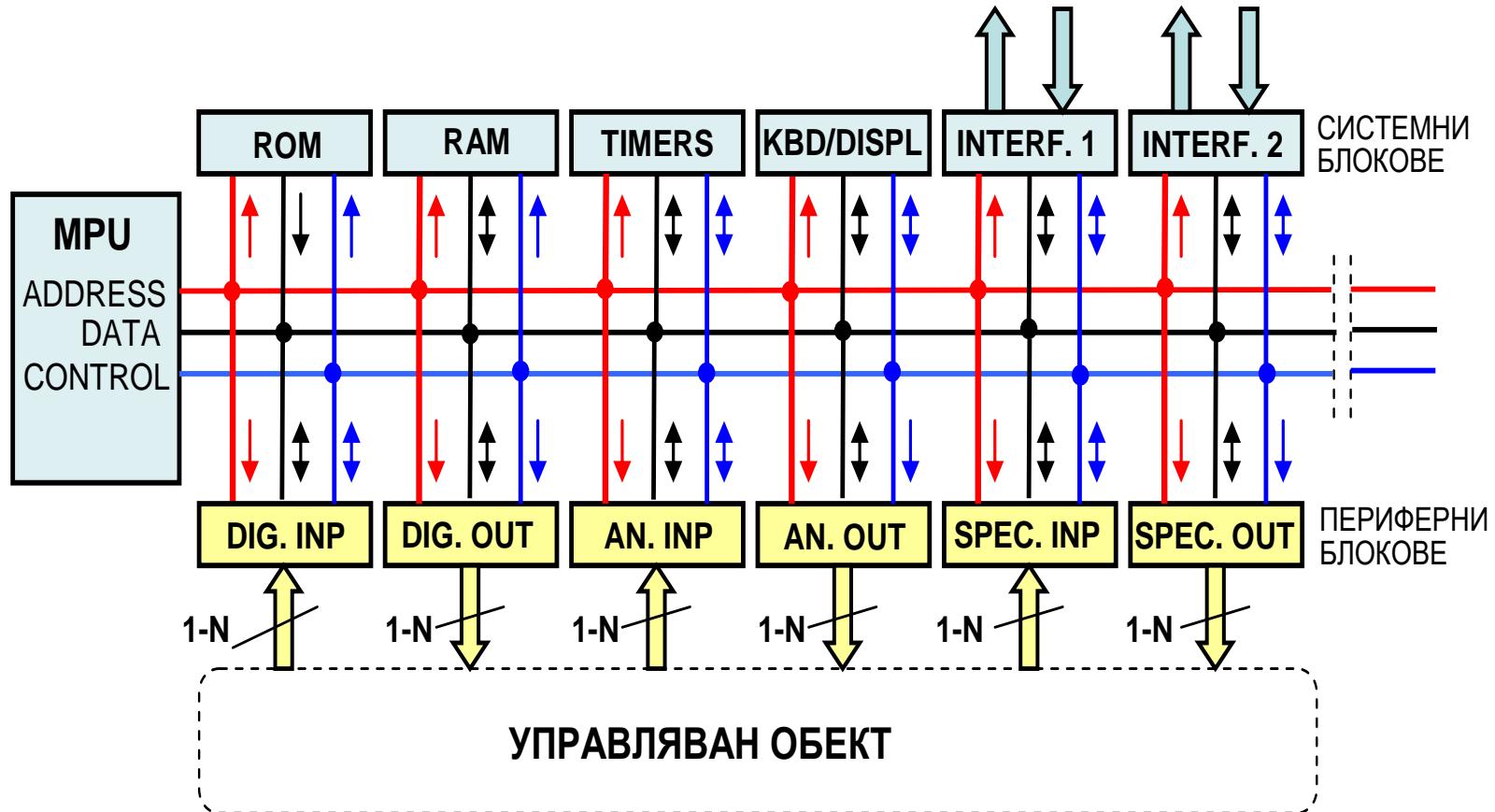
Програмираме логически контролери

Основни елементи на PLC

Панелът дава следната информация:

- PWR – показва наличието на захранващо напрежение;
- RUN – показва режим „работка“ на контролера;
- ERR – показва „грешка“;
- STAT – показва статус при програмиране на контролера;
- 0÷12 – показва наличието на сигнал на входа;
- 13÷20 – показва наличието на сигнал на изхода.

Система за управление „программируем контролер”



Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Връзката на микропроцесора със системните и периферните блокове е еднотипна и се осъществява чрез магистралите:
 - адресна магистрала (**ADDRESS**)
 - магистрала за данни (**DATA**)
 - управляваща магистрала (**CONTROL**)

Система за управление „програмирам контролер”

- ▶ Всяка магистрала представлява съвкупност от проводници (линии) по които се пренася информация в двоичен цифров вид.
- ▶ Всеки проводник (линия) пренася **1 бит** от тази информация.
- ▶ За удобство е прието, когато чрез тези битове се пренася еднотипна информация, те да се групират по няколко и когато групата съдържа **8 бита**, за нея да се използва понятието „**байт**“.

Система за управление „програмираме контролер”

Адресна магистрала

- ▶ Адресната магистрала **ADDRESS** е изцяло под управлението на процесора;
- ▶ Информацията в нея се движи само в посока от процесора към останалите блокове на PLC;
- ▶ Системните и периферните блокове имат собствени адреси (номера) и чрез нея процесорът посочва с кой блок ще работи в даден момент;
- ▶ Всеки от тези блокове в зависимост от неговата функция и конструкция може да заема един или повече адреси.

Система за управление „програмираме контролер”

Магистрала за данни

- ▶ Магистралата за данни **DATA** е двупосочна:
 - в едната посока процесорът изпраща по нея информация към блоковете;
 - в другата посока получава информация от блоковете;
- ▶ Броят на битовете в тази магистрала е важен за изчислителните възможности на процесора и дава названието на процесора по отношение на неговата разрядност.

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ В промишлените PLC броят на разредите в тази магистрала обикновено е 8 (т.е. използва се 8-битов процесор);
- ▶ Увеличаването броя на разредите в нея извън процесора (както при адресната) е невъзможно;
- ▶ Практиката показва, че при PLC за промишлено приложение обикновено няма нужда от по-голям брой разреди в магистралата за данни.

Система за управление „програмираме контролер”

Управляваща магистрала

- ▶ Управляващата магистрала **CONTROL** е предназначена за съгласуване на работата на процесора със системните и периферни блокове.
- ▶ Тя има малък брой разреди (обикновено 4-8), всеки от които е със самостоятелно предназначение и пренася разнородна по характер информация.

Система за управление „програмираме контролер”

Системни блокове на базовата структура

1. Процесор.

- ▶ Той е главният системен блок на PLC
- ▶ Представлява изделие на микроелектрониката и компютърните технологии и е оформен като интегрална схема с висока степен на интеграция
- ▶ Изпълнява **аритметични и логически** операции над информацията, която се пренася по магистралата за данни

Система за управление „програмираме контролер”

Логически операции, изпълнявани от процесора

- ▶ Логическите операции, които се изпълняват от процесора са **И, ИЛИ, НЕ, ИЗКЛЮЧВАЩО ИЛИ, ПРОВЕРКА НА УСЛОВИЕ и ПРЕХОД**
- ▶ Тези операции се изпълняват от отделна аппаратна част, която е допълнение на аппаратната част за аритметичните операции и е обединена с нея
- ▶ Към логическите операции в последствие се добави нова категория операции за **РАБОТА С ОТДЕЛЕН БИТ**, което е много удобно при управление на промишлени обекти

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Всички **операции** се изпълняват от процесора за определен брой машинни цикли
- ▶ **Машинният цикъл** е времето, за което процесорът извършва едно елементарно действие
- ▶ Колкото по-малък брой машинни цикли са необходими за изпълнението на една операция, толкова производителността на процесора е по-висока

Система за управление „програмираме контролер”

Основни характеристики на процесора

- ▶ Разрядност на магистралата за данни
- ▶ Разрядност на магистралата за адреси
- ▶ Скорост на работа - дефинира се чрез **продължителността** на машинния цикъл
- ▶ Брой и вид на изпълняваните аритметични и логически операции

Система за управление „програмираме контролер”

2. Памет ROM

- ▶ Тази памет се използва за съхранение на програмата, по която работи PLC
- ▶ ROM означава *Read Only Memory* – памет само за четене
- ▶ Принципите, които се използват в запомнящия елемент на този тип памет, се основават на въвеждане, натрупване и съхраняване на електрически заряди

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ В съответствие с тези принципи, информацията се записва в паметта по сложна процедура, която изисква време, несъизмеримо дълго спрямо това, което е необходимо за отделните действия на PLC при управление на обекта.
- ▶ След като е записана, тази информация се запазва при изключване на PLC.
- ▶ В паметта ROM се съхранява **три типа** информация:

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ **Първият тип** информация е съвкупност от програми за:
 - осигуряване на всички действия, които са необходими за привеждане в готовност на системните блокове на PLC след неговото включване
 - съвкупност от програми за извършване на аритметични действия, които надхвърлят възможностите на апаратната част на процесора
- ▶ **Информацията от първия тип не зависи от конкретния управляем обект**

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ **Вторият тип** информация също е съвкупност от програми, които са **пряко свързани** с действията на PLC за осигуряване управлението на конкретен обект

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ **Третият тип** информация е така наречената конфигурационна информация. Тя е необходима само за такива PLC, които са предназначени за управление на сходни по някакъв признак обекти и процеси.
- ▶ Тези PLC имат еднаква конструкция и съвкупност от програми, но в определени места на програмите има разлики в съответствие с конкретния обект. Чрез допълнителна информация от следените **параметри** се осигурява съответствие между контролер, програма и обект.

Система за управление „програмираме контролер”

3. Памет RAM

- ▶ RAM означава *Random Access Memory* - памет с произволен достъп
- ▶ Тази памет се използва за **съхранение на текущи (междинни) резултати**, получени в процеса на работа на PLC, които са **необходими за изработване на конкретно въздействие към управляемия обект**
- ▶ След изработване на поредното управляващо въздействие към обекта, информацията в тази памет престава да е актуална
- ▶ Обемът на тази памет е значително по-малък от необходимия обем на паметта ROM

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Информацията в паметта RAM се записва (въвежда) и чете (извежда) със скорост, която е съгласувана със скоростта на процесора.
- ▶ За работата на тази памет принципът на натрупване на заряди, използван при паметите ROM, е неприложим, тъй като при него скоростта на запис в паметта е ниска. **За целта се използват сложни технически решения.**
- ▶ Те осигуряват необходимото бързодействие, неограничен брой на записвания и четения, но имат тази особеност, че **информацията**, която се съдържа в паметта, се **загубва след изключване на PLC**

Система за управление „програмираме контролер”

Основни характеристики на памет RAM

- ▶ **Разрядност**
- ▶ **Обем**
- ▶ **Време на достъп**

Те се дефинират по същия начин както при паметта ROM.

Система за управление „програмираме контролер”

4. Блок *TIMERS* (*таймери*)

- ▶ Този блок съдържа множество (три и повече) независими таймера
- ▶ Таймерите са средства за измерване на време, но не са часовници
- ▶ Интервалът от време, през който се променя състоянието на таймер е прието да се нарича „**квант от време**”
- ▶ Квантът от време се задава независимо за всеки таймер, винаги е кратен на машинния цикъл на процесора и може да се изменя в широки граници, обикновено от 1 до 65536 машинни цикъла

Система за управление „програмираме контролер”

Особености на таймерите

- ▶ **Разрядността** на таймерите зависи от тяхното предназначение, но винаги е цяла степен на числото 2.
- ▶ Като правило те винаги работят в **режим на събиране**, т.е. тяхното съдържание се увеличава с 1 след поредният квант от време
- ▶ След определено време таймерът се препълва, при което се нулира и започва отново да нараства с единица

Система за управление „програмираме контролер”

5. Блок *KBD/DISP*

- ▶ Този блок съдържа специализирана клавиатура ***KBD*** (***KeyBoarD***) и специализиран дисплей ***DISP*** (***DISPlay***)
- ▶ Клавиатурата (***KBD***) съдържа малък брой бутони (10-20) и чрез нея се извършват три типа дейности:
 - ***избиране на режим на работа*** на PLC
 - ***избиране на обект за визуализиране***
 - ***директно записване на стойности*** в паметта RAM или периферните блокове

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Дисплеят обикновено има 3-4 светодиода и 3-5 от така наречените „цифрови индикатори със 7 сегмента”
- ▶ Чрез светодиодите се показва избран режим на работа, а чрез цифровите индикатори се показва съдържанието на избран адрес от паметите ROM, RAM, текущия номер на стъпката от алгоритъма за управление на обекта, стойността, която трябва да се запише в посочените блокове и др.

Система за управление „програмираме контролер”

6. Интерфейсен блок *INTERF.1*

- ▶ Той е предназначен за свързване на PLC към други компютърни системи
- ▶ Осигурява интерфейс от типа „*от точка до точка*”, т.е чрез него към PLC може да бъде свързана само една компютърна система
- ▶ Към настоящият момент тази система обикновено е персонален компютър (PC)
- ▶ Интерфейсът *INTERF.1* е двупосочен, като протоколното и физическото му нива съответстват изцяло на стандартния интерфейс *RS232*

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Блокът ***INTERF.1*** може да се използва по два начина:
 - да замени изцяло блока ***KBD/DIS*** и неговите функции да се изпълняват от персонален компютър
 - да осигури допълнителни удобства в процеса на съставяне на програмата за конкретния PLC и неговото въвеждане в експлоатация, като се запазва изцяло възможността РС да изпълнява и функциите на блока ***KBD/DIS***.

Система за управление „програмираме контролер”

7. Интерфейсен блок *INTERF.2*

- ▶ Блокът *INTERF.2* осигурява интерфейс от типа „локална мрежа”, т.е свързване на много PLC в единна система
- ▶ За да се реализира работоспособна връзка чрез този интерфейс е необходимо:
 - всеки PLC, който притежава и използва такъв интерфейс, да има уникален собствен адрес в мрежата, към която е свързан
 - всичките програмируеми контролери в мрежата да използват един и същ протокол на обмен

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Чрез този интерфейс отделните PLC получават задания за текущите действия, които трябва да извършат и изпращат доклад, когато ги завършат
- ▶ На протоколно ниво това са интерфейсите „PROFIBUS”, „FIELDBUS” и др., а на физическо ниво това е интерфейс RS485 в симплексен или дуплексен режим

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ В последните години широко разпространение получи **CAN** (Controller Area Network) интерфейс, който извършва аппаратно всички действия, свързани с разпознаване на адреса на получателя, доставяне по мрежата на предназначената за него информация и осигуряване на нейната достоверност без участието на процесора на PLC, т.е. освобождава време за управление на обекта.

Система за управление „програмираме контролер”

Периферни блокове на базовата структура

Обща характеристика

- ▶ Периферните блокове са предназначени за непосредствено свързване на PLC към управляемия обект.
- ▶ Обикновено не притежават изчислителни възможности и по същество осигуряват специализирани интерфейси.
- ▶ Всеки от тези блокове се изгражда на модулен принцип, т.е. той може да съдържа един или повече еднотипни модули.

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ В периферните блокове **задължително** се вграждат **три групи** от технически средства:
 - за **изолиране** на обекта (сензорите и изпълнителните механизми) от същинската част на PLC при запазване обменянето на сигнали между тях
 - за **привеждане на сигналите** от сензорите и сигналите към изпълнителните механизми в съответствие с възможностите на същинската част на PLC

Система за управление „програмираме контролер”

- за **защита на входовете и изходите** на PLC от повреждане при появяване на повреди във връзките между PLC и сензорите и изпълнителните механизми
- за **защита на входовете** от претоварване се използват ограничители, които са различни по вид, принцип на работа и параметри
- за **защита на изходите** от претоварване се използват различни по вид предпазители, в това число и стопяеми

Система за управление „програмираме контролер”

1. Блок “Цифрови входове” - „DIG. INP”

- ▶ Този блок (и модулите в него) възприемат само сигнали от типа „включено-изключено”.
- ▶ Той е предназначен за съвместна работа със сензори с такъв изходен сигнал или за въвеждане в PLC на сигнали от същия тип, но с друг, не от сензори произход, например средства за задаване на режим на работа, извършване на ръчни действия.
- ▶ Конструкцията на един цифров вход не е сложна и изиска малко на брой електронни елементи, поради което един такъв модул има по-голям брой входове, обикновено 8, 16 или 32.

Система за управление „програмираме контролер”

2. Блок цифрови изходи

- Неговото предназначение е да изработи сигнали от типа „включено-изключено” за непосредствено свързване към:
- хидравлични и пневматични разпределители.
 - електромагнитни съединители, релета, контактори.
 - специфични изпълнителни механизми.
 - средства за сигнализация с общо име „**аудио-визуални дисплей**” (лампи, сирени и други сигнални елементи).
 - други средства и обекти.

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Разнообразието от характеристиките на посочените средства е голямо, което дава пряко отражение върху конструкциите а този блок.
- ▶ Параметрите на неговите изходи са в много широки граници - от 24V/50 mA до 250V/16A при постоянен или променлив ток и контактен или безконтактен изходен сигнал.

Система за управление „програмираме контролер”

3. Блок аналогови входове - „AN. INP”

- ▶ Предназначен е за въвеждане на сигнали от сензори с аналогов изход, чиито сигнали са непрекъснати функции на времето и големините им се изменят безстепенно в определени граници.
- ▶ Системните блокове на PLC принципно не могат да работят със сигнали от такъв характер и аналоговите входни сигнали се преобразуват в равностойни по големина двоични числа които се използват от PLC.
- ▶ Преобразуването се извършва от специализирана апаратна част, известна като „**Аналого-Цифров Преобразувател**“ (**АЦП**).

Система за управление „програмираме контролер”

4. Блок аналогови изходи - „AN. OUT”

- ▶ Задачата на този блок е обратна на задачата на блока „аналогови входове” и се състои в това да преобразува число, получено при работата на PLC в равностойна на него аналогова стойност.
- ▶ Той е предназначен основно за връзка с изпълнителни механизми, които изискват такъв тип сигнал и по една или друга причина са необходими за управлявания обект.
- ▶ Блокът притежава свойството „памет” и запазва изведената на неговия изход аналогова стойност без участието на процесора за неограничено дълго време - по-точно до поредното извеждане на нова стойност.

Система за управление „програмираме контролер”

5. Блок специализирани входове - „SPEC. INP”

Този блок се характеризира със следните особености:

- ▶ Основната част от сигналите за връзка между PLC и управляемия обект са входни за него.
- ▶ Входовете са няколко на брой, като сигналите към тях имат взаимна връзка един с друг, в логическо отношение са неделими и обикновено се получават по протокол, който формално гарантира тяхната цялост и достоверност.

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Входните сигнали могат да имат характер и големини, които се различават от тези на другите (цифрови или аналогови) сигнали с които работи конкретния PLC
- ▶ ***Функцията на този блок не може да се реализира или замени по равностоен начин от каквите и да са съчетания от цифрови и аналогови входове и изходи от вече разгледаните блокове със съответните названия***

Система за управление „програмираме контролер”

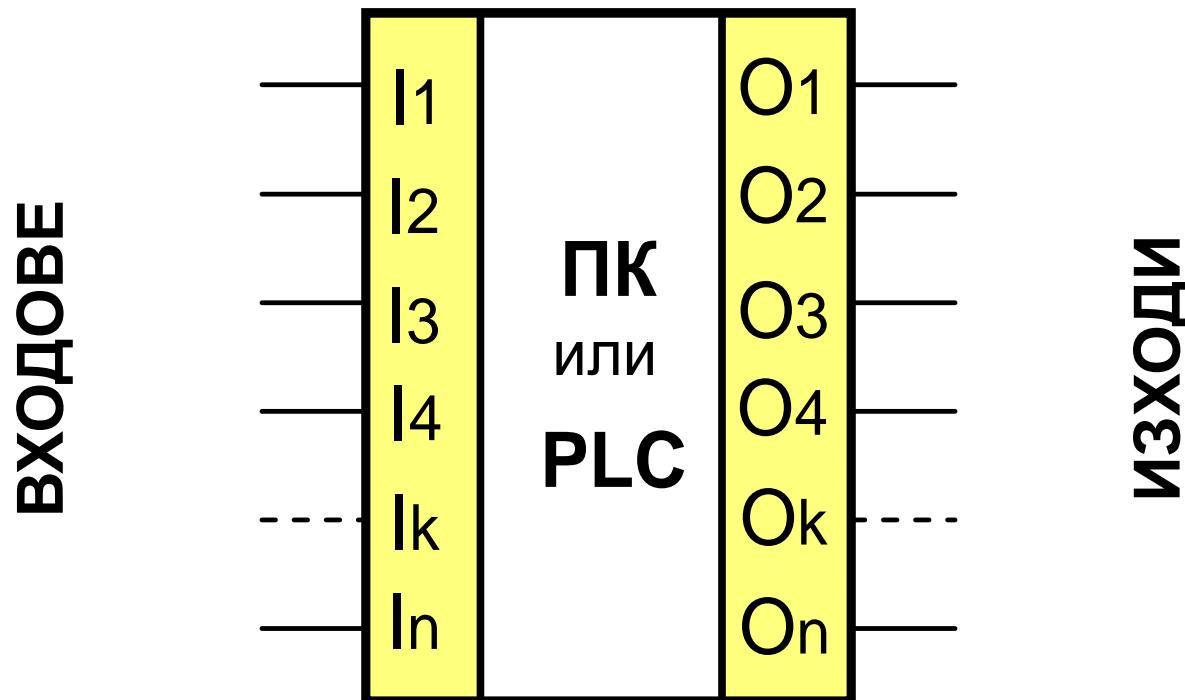
6. Блок специализирани изходи - „SPEC. OUT”

Този блок се характеризира със следните особености:

- ▶ Преобладаващата част от сигналите за връзка между PLC и управлявания обект са изходни за него.
- ▶ Изходите са няколко на брой, като техните сигнали в логическо отношение са неделими и могат да имат стойности, които се различават от останалите входни и изходни сигнали на PLC.

Система за управление „програмираме контролер”

Общоприето условно графично означение на PLC



Система за управление „програмираме контролер”

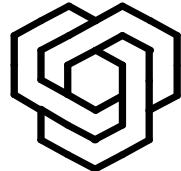
- ▶ Общоприетото условно графично означение на PLC не зависи от неговата конкретна реализация.
- ▶ Входовете **I1-In** (*Input 1 - Input n*) на PLC като правило се разполагат от лявата страна на това означение.
- ▶ Изходите **O1-On** (*Output 1- Output n*) като правило се разполагат от дясната страна на същото означени.
- ▶ Броят на входовете и изходите най-често е различен, като броят на входовете обикновено е по-голям от броя на изходите.

Система за управление „програмираме контролер”

- ▶ Към всеки вход се свързва **само един** източник на сигнал - сензор, ръчно задействан ключ (превключвател) или изход на по-старша система за управление.
- ▶ Към всеки изход се свързва **само едно** изпълнително устройство - електромагнит, светлинна или звукова сигнализация.
- ▶ Електромагнитът най-често е на електромагнитен съединител, хидравличен или пневматичен разпределител, реле или контактор.

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 8

ПРОГРАМИРУЕМИ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕРИ – ЧАСТ 2

ЦИФРОВИ СИСТЕМИ И КОДИРОВКИ.
ЛОГИЧЕСКИ ОПЕРАЦИИ.

Цифрови системи и кодировки

Познаването на различни по вид бройни системи и съответната кодировка е необходимо, когато се работи с програмируеми логически контролери (PLC) или с различни по тип дигитални компютърни системи. Тази необходимост произтича от факта, че едно от основните изисквания към тези устройства е да представляват, съхраняват и обработват информация на базата на числа.

Цифрови системи и кодировки

Програмираме логически контролери по принцип работят чрез използването на двоични (бинарни) числа под една или друга форма, като те се използват за представяне на информационните данни под различни по вид кодировки или масиви.

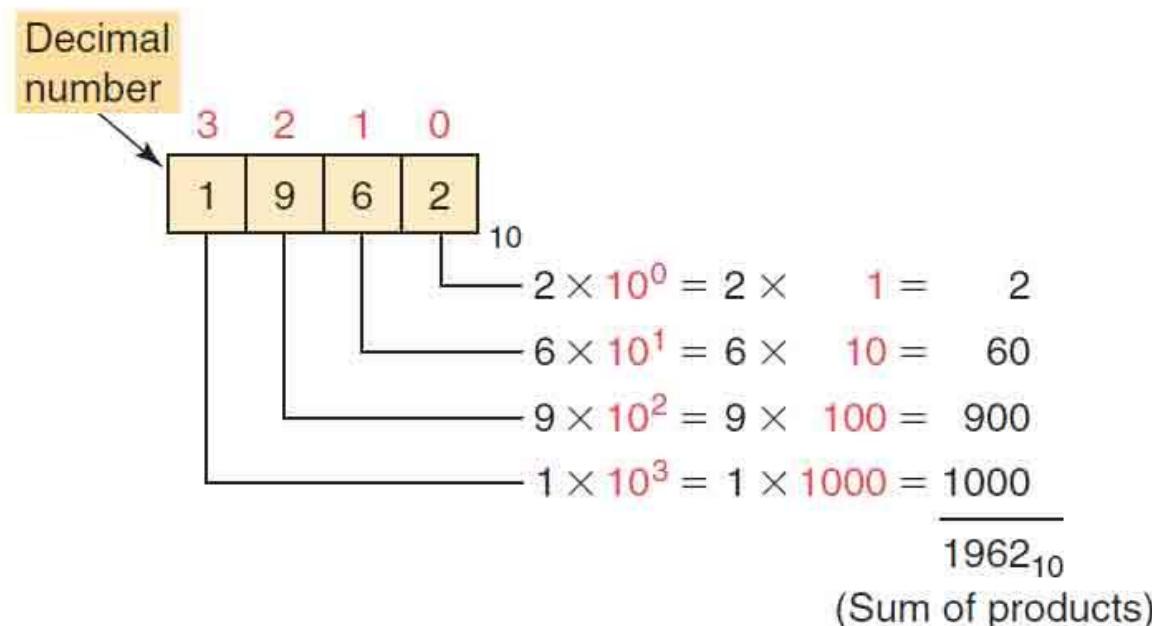
Независимо от този факт тук ще бъдат разгледани основните цифрови системи и кодировки, използвани в съвременните производствени условия.

Десетична система

Десетичната система, която е най-често срещана по света има за основа числото 10. Системата включва общ брой на различни символи или цифри от 0 до 9. Стойността на десетично число зависи от цифрите, които съставят броя и стойността на мястото на всяка цифра. За всяка позиция се присвоява стойност на място (тегло), като стойностите на цифрите се увеличават отдясно наляво. Претеглената стойност на всяка позиция може да се изрази като основа (10 в случая), повишена до силата на позицията. За десетичната система тогава, позиционните тегла са 1, 10, 100, 1000 и т.н.

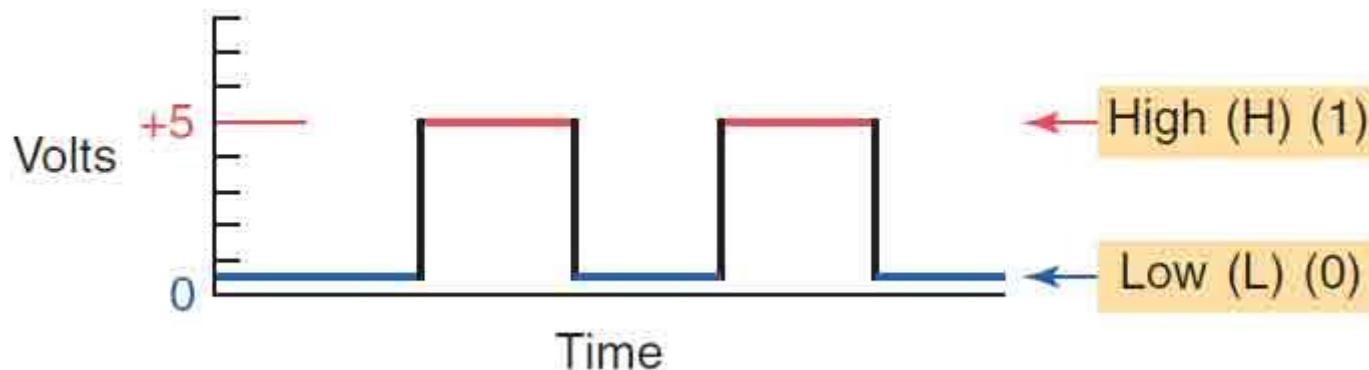
Десетична система

На фигурата е показано как може стойността на десетично число да се изчислява чрез умножаване на всяка цифра по теглото на неговата позиция и съответното сумиране на резултатите.



Бинарна система

Бинарната (двоична) система използва числото две (2) като основа, т.е. при нея допустимите цифри са само две – 0 и 1. При електрическите схеми е удачно да се използва такъв тип система, тъй като така лесно може да се направи разлика между две нива на напрежение, които могат да бъдат свързани с двоичните цифри 1 и 0.



Бинарна система

Бинарната система може да бъде приложена сравнително лесно към програмируеми контролери (PLC) и компютърни системи.

Тъй като двоичната система използва само две цифри, всяка позиция на двоично число може да премине само през две промени, като след това 1 се пренася в непосредствената лява позиция на израза.

В следващата таблица е представено сравнение между десетична, осмична, шестнадесетична и двоична система.

Бинарна система

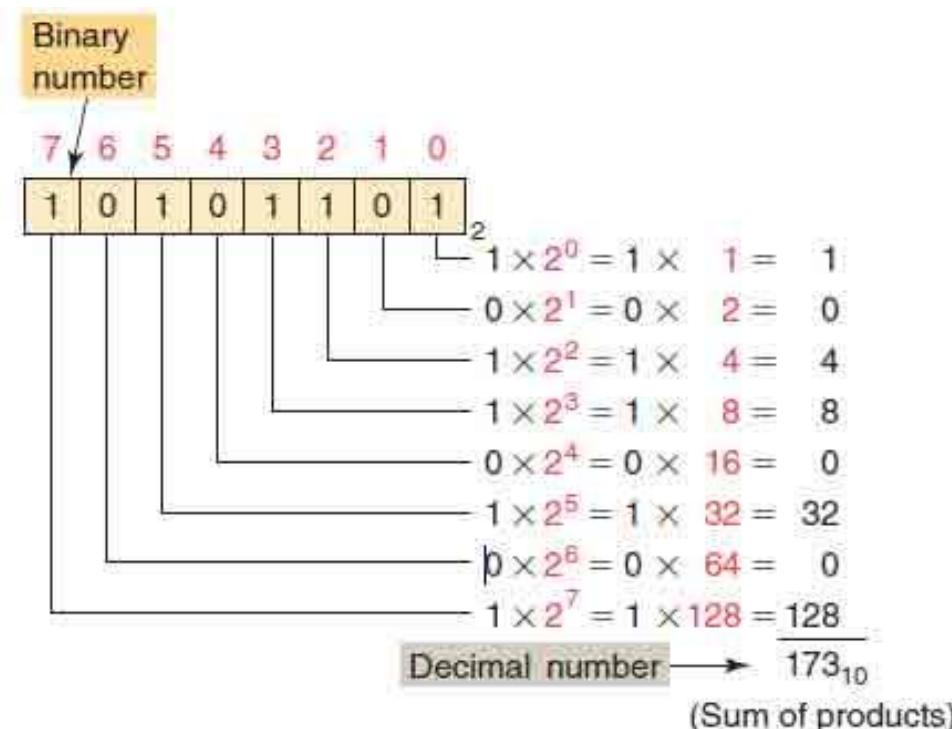
Decimal	Octal	Hexadecimal	Binary
0	0	0	0
1	1	1	1
2	2	2	10
3	3	3	11
4	4	4	100
5	5	5	101
6	6	6	110
7	7	7	111
8	10	8	1000
9	11	9	1001
10	12	A	1010
11	13	B	1011
12	14	C	1100
13	15	D	1101
14	16	E	1110
15	17	F	1111
16	20	10	10000
17	21	11	10001
18	22	12	10010
19	23	13	10011
20	24	14	10100

Бинарна система

Може да се определи десетичният еквивалент на двоично число по начин, подобен на този, използван за десетична система. В този случай претеглените стойности на позициите са 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 и т.н. Претеглената стойност се издига с основа 2 и степен 0 или 1, в зависимост от изобразяваната стойност.

Бинарна система

На фигурата е представено преобразуването на двоичното число 10101101 в десетичния му еквивалент - числото 173.



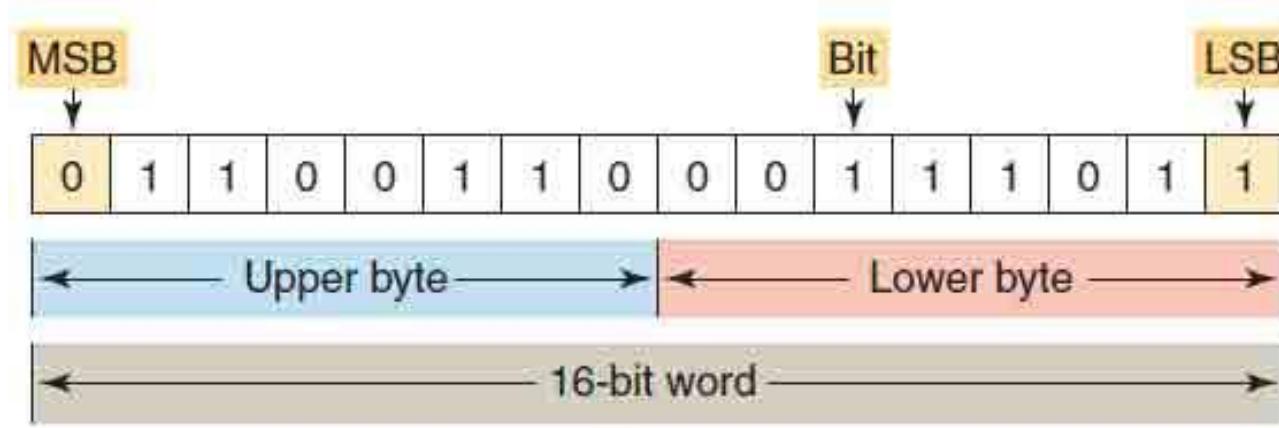
Бинарна система

Всяка цифра от двоично число е известна като бит. В PLC елементът памет-процесор се състои от стотици или хиляди места. Тези локации или регистри се наричат *думи* (машинни думи). Всяка дума (група) е в състояние да съхранява данни под формата на двоични цифри или битове. Броят на бита, които една група може да съхранява, зависи от типа на използваната PLC система. 16-битовите и 32-битовите групи са най-често срещаните в промишлените контролери.

Битовете също могат да бъдат групирани в една група – байтове.

Бинарна система

Група от 8 бита е байт и група от 2 или повече байта е дума. На фигурата по долу е представена съставена 16-битова дума от 2 байта.



Бинарна система

Най-малко значимият бит (LSB) е цифрата, която представлява най-малката стойност, а най-значимия бит (MSB) е цифрата, която представлява най-голямата стойност. Бит в рамките на думата може да съществува само в две състояния: логическо 1 (или състояние ON) или логическо 0 (или състояние OFF).

Бинарна система

PLC паметта е организирана с помощта на байтове, единични думи или двойни думи. По-старите PLC използват 8-битова или 16-битова памет докато по-нови системи, като ControlLogix платформата от Allen-Bradley, използва 32-битова памет (двойни думи).

Размерът на програмната памет на контролера се отнася до обема на потребителската програма, която може да бъде съхранена. Например, ако размерът на паметта е 1 К дума, тя може да съхранява 1024 думи или $16 \cdot 384 = 1024 \cdot 16$ бита информация, използвайки 16-битови думи или $32 \cdot 768 = 1024 \cdot 32$ бита, използващи 32-битови думи.

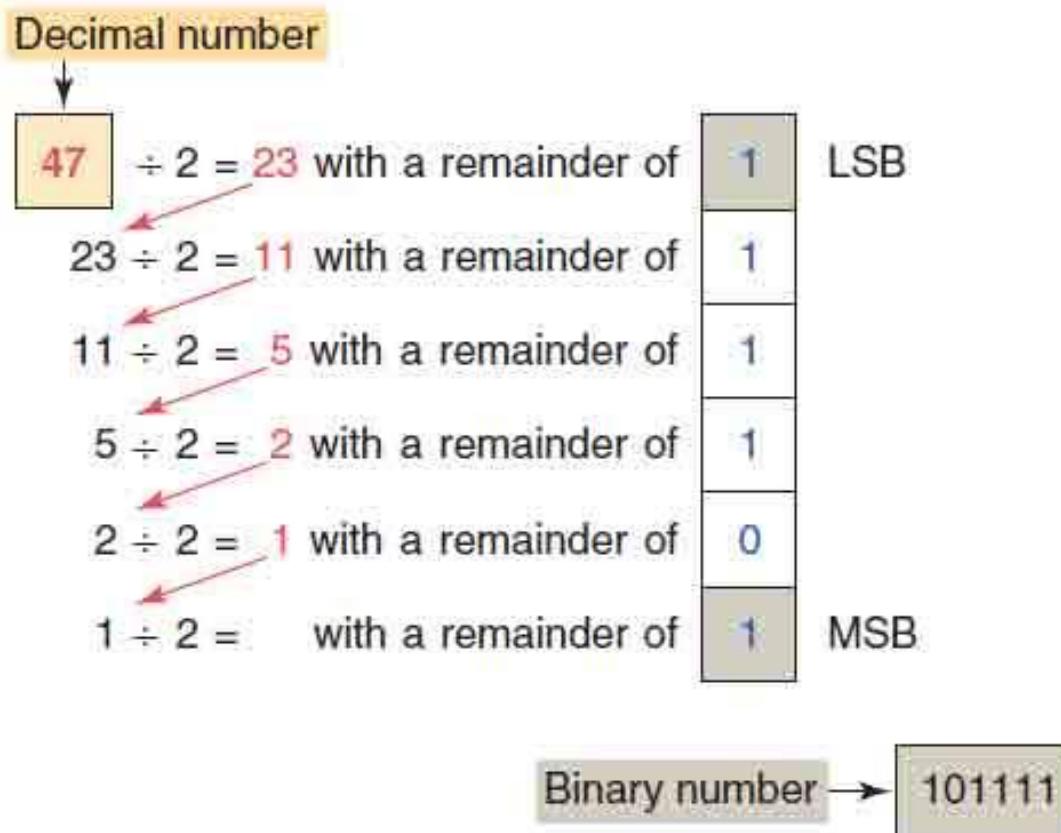
Бинарна система

За да конвертирате десетично число в неговия двоичен еквивалент е необходимо да се извършат поредица от деления на 2. На фигурата на следващият слайд е показано преобразуването на десетичното число 47 в двоично.

Започва се с разделяне на десетичното число на 2. Ако има остатък, той се поставя в LSB на двоичното число, а ако няма остатък, в LSB се поставя 0. Процесът се повтаря докато резултатът от последователни деления е намален до 0.

Бинарна система

Преобразуване на десетично число 47 в двоично - 101111.



Бинарна система

Въпреки че двоичната система има само две цифри тя може да се използва за представяне на всяко число, представено в десетичната система. Всички PLC работят на принципа на представяне на информацията от данни чрез двоична система. Процесорът, който е цифрово устройство „разбира“ само от 0 и 1, т.е. използва бинарна система. Тогава компютърната памет може да се представи като поредица от двоични числа (0 и 1).

Бинарна система

На представената фигура е показан статуса на изходен файл на програмиран контролер на фирмата Allen-Bradley, модулно шаси SLC 500, което е съставено от единични битове, групирани в 16-битови думи. По един 16-битов изход е запазен за всеки слот в шасито. Всеки бит представлява състоянието ON или OFF за всяка една изходна точка.

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	Address
1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	O:1
0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	O:2
1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	O:3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	O:4
1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	O:5

Отрицателни числа

Ако едно десетично число е положително, то има знак плюс. Съответно ако числото е отрицателно – то има знак минус.

В бинарните системи, каквите се използват в PLC, не е възможно да се използват положителни и отрицателни символи с които да може да се представи дали числото е с положителен или отрицателен знак. Един от методите за представяне на двоично число като с положителна или отрицателна стойност е да се използва допълнителна цифра или специален, обозначен бит откъм страната на MSB номера на цифрата.

Отрицателни числа

В началото на бит позицията се въвежда като знак допълнителна цифра. Когато е 0 означава, че числото е положително, а когато е 1 – отрицателно число.

Magnitude	Sign	Decimal Value
0111	0	+7
0110	0	+6
0101	0	+5
0100	0	+4
0011	0	+3
0010	0	+2
0001	0	+1
0000	0	0
1001	1	-1
1010	1	-2
1011	1	-3
1100	1	-4
1101	1	-5
1110	1	-6
1111	1	-7

Отрицателни числа

Друг метод за изразяване на отрицателно число в цифровата система е чрез използване на „допълнение“ към бинарният номер.

За да се допълни двоичното число е необходимо да се променят всички единици на нули (1 се замества с 0) и всички нули на единици (0 се замества с 1). Този метод е известен като „1“ форма на допълнение към двоичното число. Например допълнението „1“ на двоичното число 1001 (десетичното число 9) е неговият негативен образ 0110, което добавено към 1001 преобразува числото 9 на -9.

Отрицателни числа

Най-често срещаният начин за изразяване на отрицателен двоичен номер е да се представи като номер на „2“ форма на допълнение. Допълнението на „2“ форма е двоичното число, което се получава когато „1“ форма се добавя 1.

Нулата (нулев бит 0000) се означава като положително число.

Използването на „2“ форма на допълнение улеснява PLC за извършване на математически операции.

Отрицателни числа

Всеки път, когато отрицателно число се ввежда от клавиатура, PLC го съхранява като „2“ допълнение.

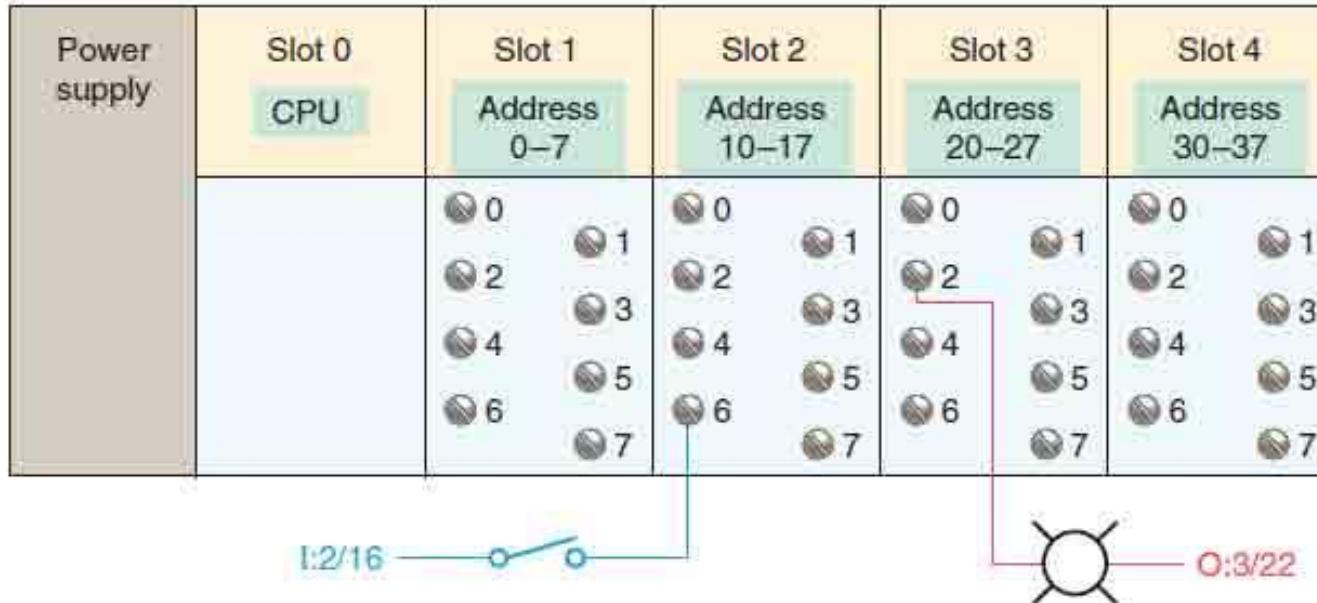
Signed Decimal	1's Complement	2's Complement
+7	0111	0111
+6	0110	0110
+5	0101	0101
+4	0100	Same as binary numbers
+3	0011	0011
+2	0010	0010
+1	0001	0001
0	0000	0000
-1	1110	1111
-2	1101	1110
-3	1100	1101
-4	1011	1100
-5	1010	1011
-6	1001	1010
-7	1000	1001

Осмична бройна система

За да се изрази число в двоичната система се изисква много повече цифри, отколкото се използват в десетичната система. Прекалено много двоични цифри водят до „тромавост“ за писане и четене. За да се реши този проблем се използват и други свързани бройни системи, като осмичната и шестнадесетичната бройни системи.

Осмичната бройна система за номериране има за основа 8 цифри. Използването ѝ се базира на правилото, че 8 бита с данни съставляват един байт информация.

Осмична бройна система



I/O module screw terminal number	Slot number and address			
	1	2	3	4
0	0	10	20	30
1	1	11	21	31
2	2	12	22	32
3	3	13	23	33
4	4	14	24	34
5	5	15	25	35
6	6	16	26	36
7	7	17	27	37

Входно-изходни модули, използваващи осмична система за номериране.

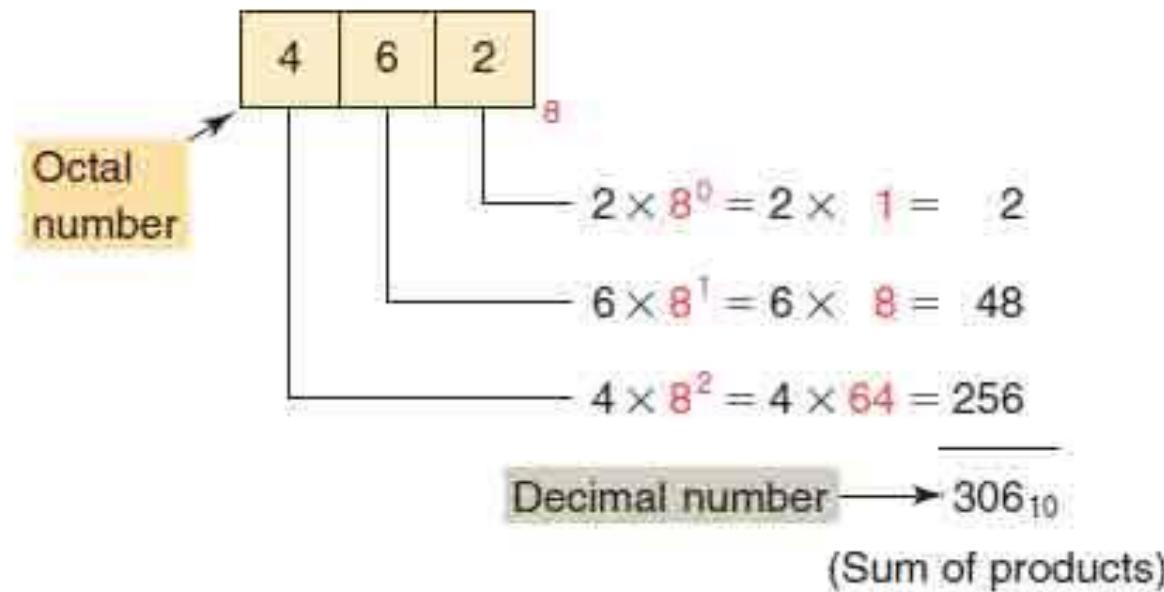
Осмична бройна система

Осмичната система е удобно средство за работа с големи двоични числа. Както е показано в таблицата, една осмична цифра може да се използва за изразяване на три двоични цифри. Както и при всички останали бройни системи, всяка цифра в осмично число има претеглена стойност.

Binary	Octal
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

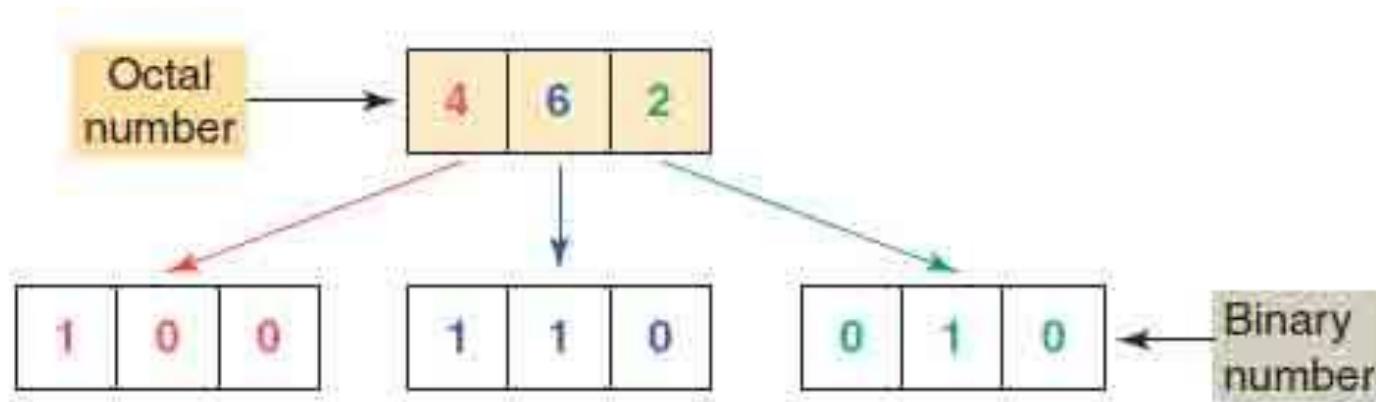
Осмична бройна система

Конвертиране на осмично число (462) в десетично такова (306).



Осмична бройна система

Конвертиране на осмично число (462) в двоично такова чрез сглобяване на 3-битови групи (100 110 010).



Шестнадесетична система

Шестнадесетичната система за номериране се използва в програмируеми контролери главно защото една дума от данни се състои от 16 бита с данни или два 8-битови байта. Шестнадесетичната система е с основа 16 цифри, с число от 1 до 9 и с букви A до F, използвани за представяне на числата от 10 до 15. Шестнадесетичното номериране позволява представяне на състоянието на голям брой двоични битове, като намират приложение при представянето на информацията на компютърни екрани или PLC дисплей устройства.

Шестнадесетична система

Техниките, които се използват при преобразуване на шестнадесетичен в десетичен и десетичен до шестнадесетичен код са същите, които се използват за конвертиране при двоични и осмични системи. За да се конвертира шестнадесетично число до неговия десетичен еквивалент шестнадесетичните цифри в колоните се умножават по базовото тегло 16, в зависимост от техният цифров низ.

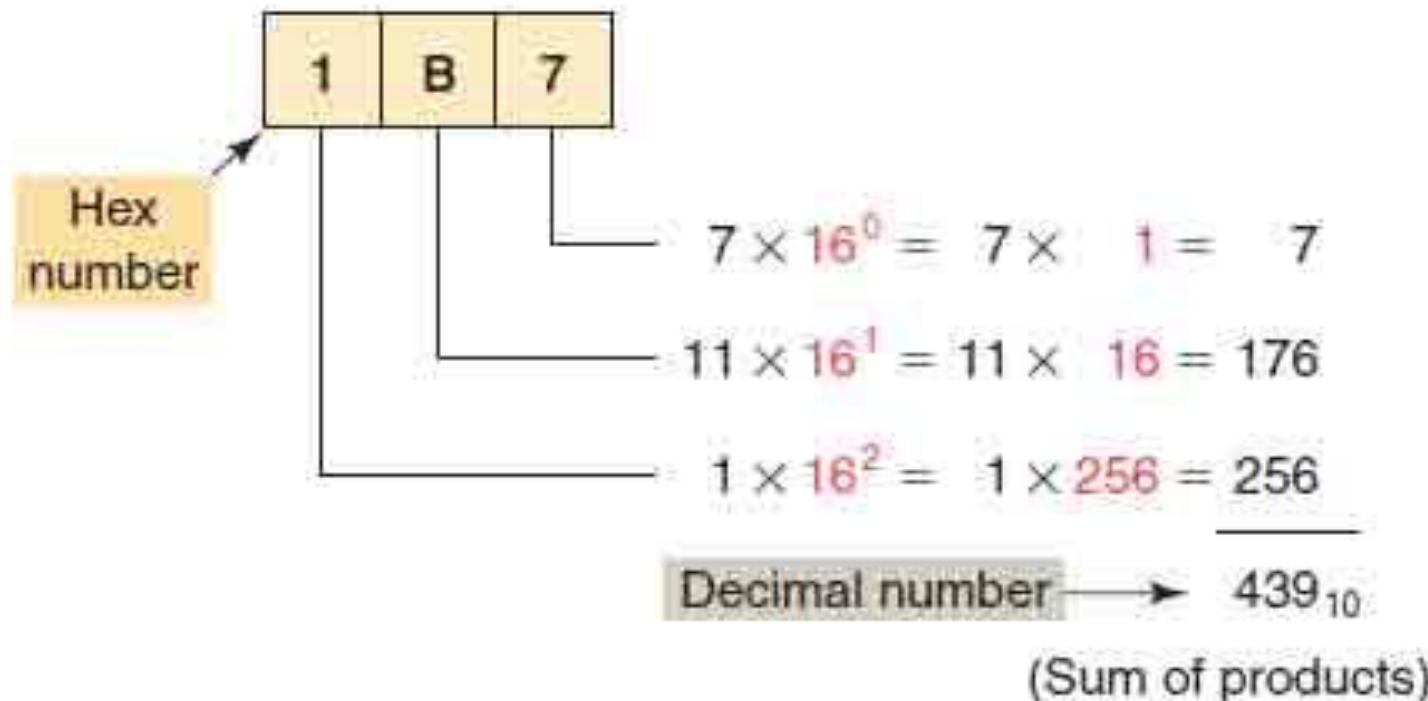
Шестнадесетична система

Представяне на шестнадесетични числа в двоични и десетични единици.

Hexadecimal	Binary	Decimal
0.	0000.	0
1.	0001.	1
2.	0010.	2
3.	0011.	3
4.	0100.	4
5.	0101.	5
6.	0110.	6
7.	0111.	7
8.	1000.	8
9.	1001.	9
A.	1010.	10
B.	1011.	11
C.	1100.	12
D.	1101.	13
E.	1110.	14
F.	1111.	15

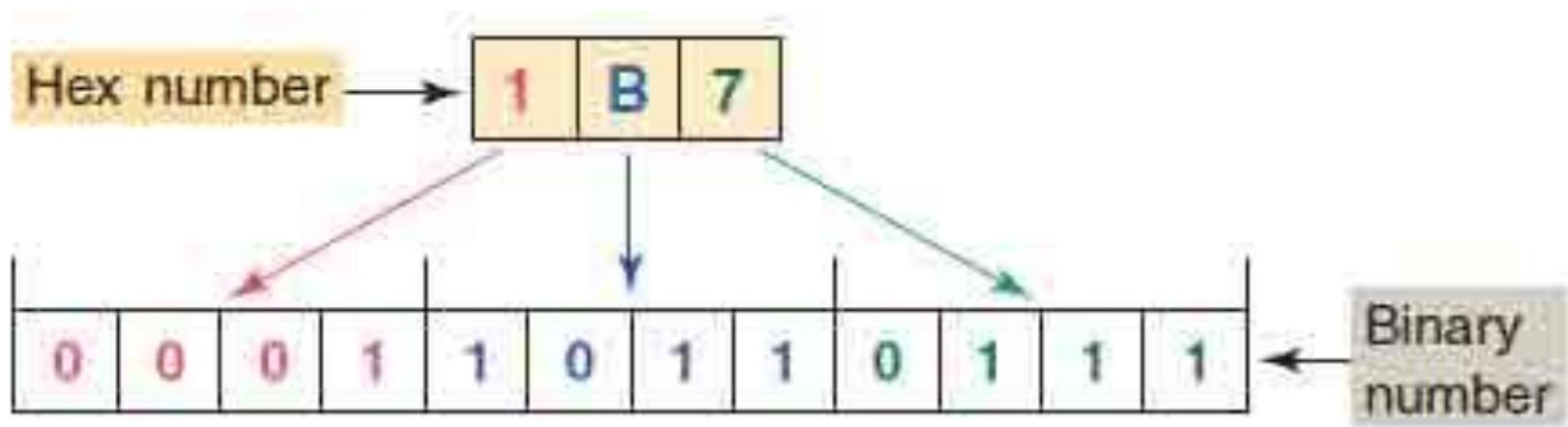
Шестнадесетична система

Конвертиране на шестнадесетично число (1B7) в десетично такова (439).



Шестнадесетична система

Конвертиране на шестнадесетично число (1B7) в двоично такова чрез сглобяване на 4-битови групи (0001 1011 0111).



Двоично десетична система Binary Coded Decimal (BCD) System

Двоично десетична система (BCD) осигурява удобен начин за работа с големи числа, които трябва да бъдат разглеждани като вход или изход от PLC. От досега разгледаните бройни системи е видно, че няма лесни начини по които да се премине от двоичен към десетичен код и обратно.

Системата BCD осигурява средство за преобразуване на разбираем за хората код (десетичен) до код (двоичен), който лесно може да бъде обработен от електронното оборудване (двоично).

Двоично десетична система

Binary Coded Decimal (BCD) System

Decimal	Binary	BCD	Hexadecimal
0	0	0000	0
1	1	0001	1
2	10	0010	2
3	11	0011	3
4	100	0100	4
5	101	0101	5
6	110	0110	6
7	111	0111	7
8	1000	1000	8
9	1001	1001	9
10	1010	0001 0000	A
11	1011	0001 0001	B
12	1100	0001 0010	C
13	1101	0001 0011	D
14	1110	0001 0100	E
15	1111	0001 0101	F
16	10000	0001 0110	10
17	10001	0001 0111	11
18	10010	0001 1000	12
19	10011	0001 1001	13
20	10100	0010 0000	14
126	111.1110	0001 0010 0110	7E
127	111.1111	0001 0010 0111	7F
128	1000.0000	0001 0010 1000	80
510	1.1111.1110	0101 0001 0000	1FE
511	1.1111.1111	0101 0001 0001	1FF
512	10.0000.0000	0101 0001 0010	200

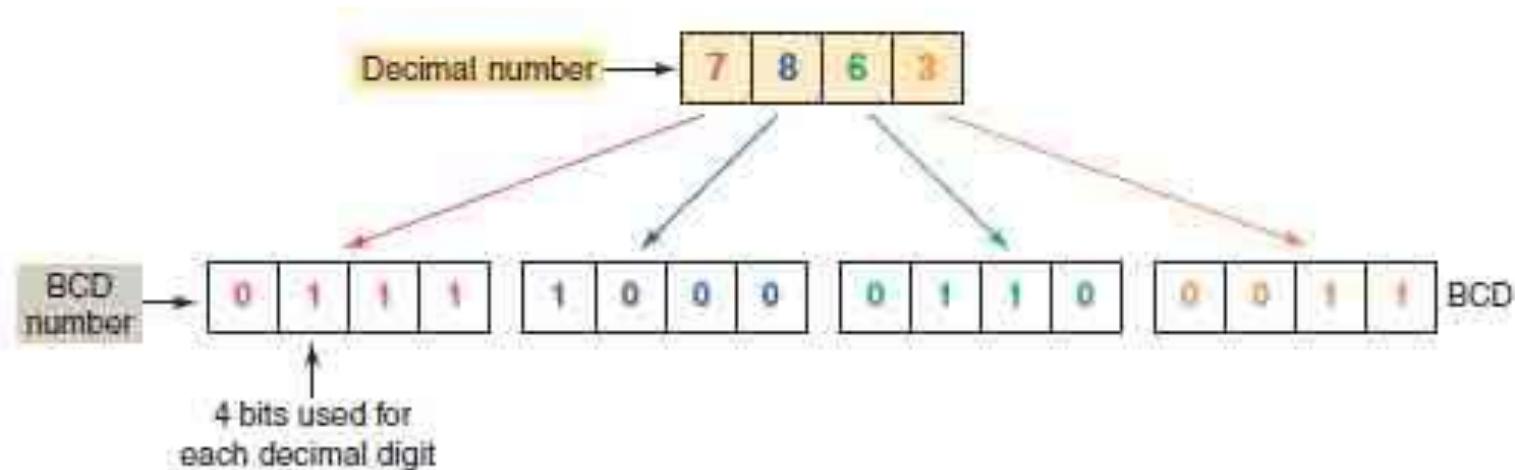
Двоично десетична система Binary Coded Decimal (BCD) System

PLC превключватели и LED дисплеите са примери за PLC устройства, които използват номерационната система BCD.

Системата BCD използва 4 бита за представяне на всеки десетичен знак. Използваните 4 бита са двоични еквиваленти на числа от 0 до 9. По този начин се получава BCD представяне на десетично число чрез замяна на всяка десетична цифра с нейния BCD еквивалент.

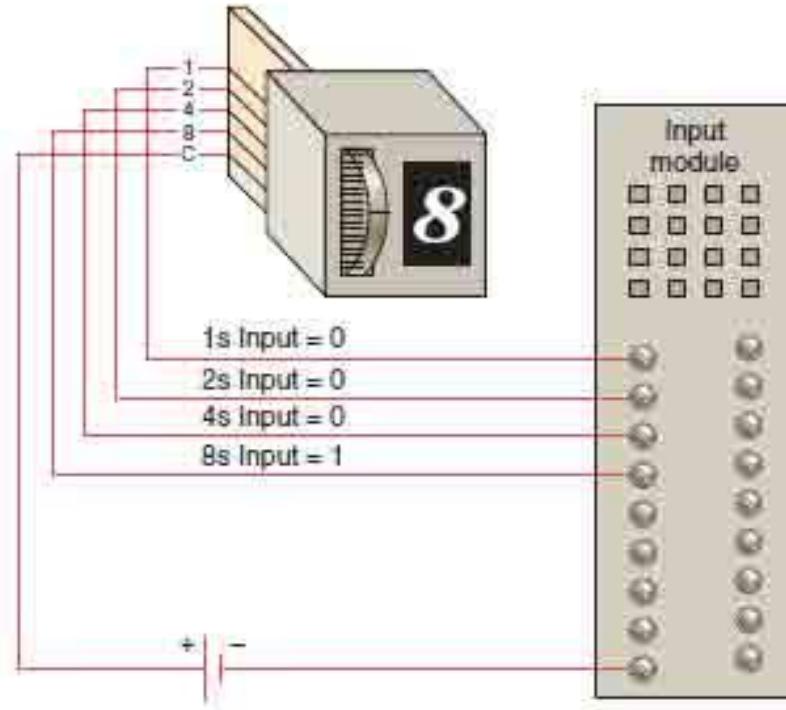
Двоично десетична система Binary Coded Decimal (BCD) System

За да се разграничи системата за номериране BCD от тази на двоичната система, означението BCD се поставя вдясно от представеното число. Конвертирането на числото 7863 в BCD е показано на фигурата.



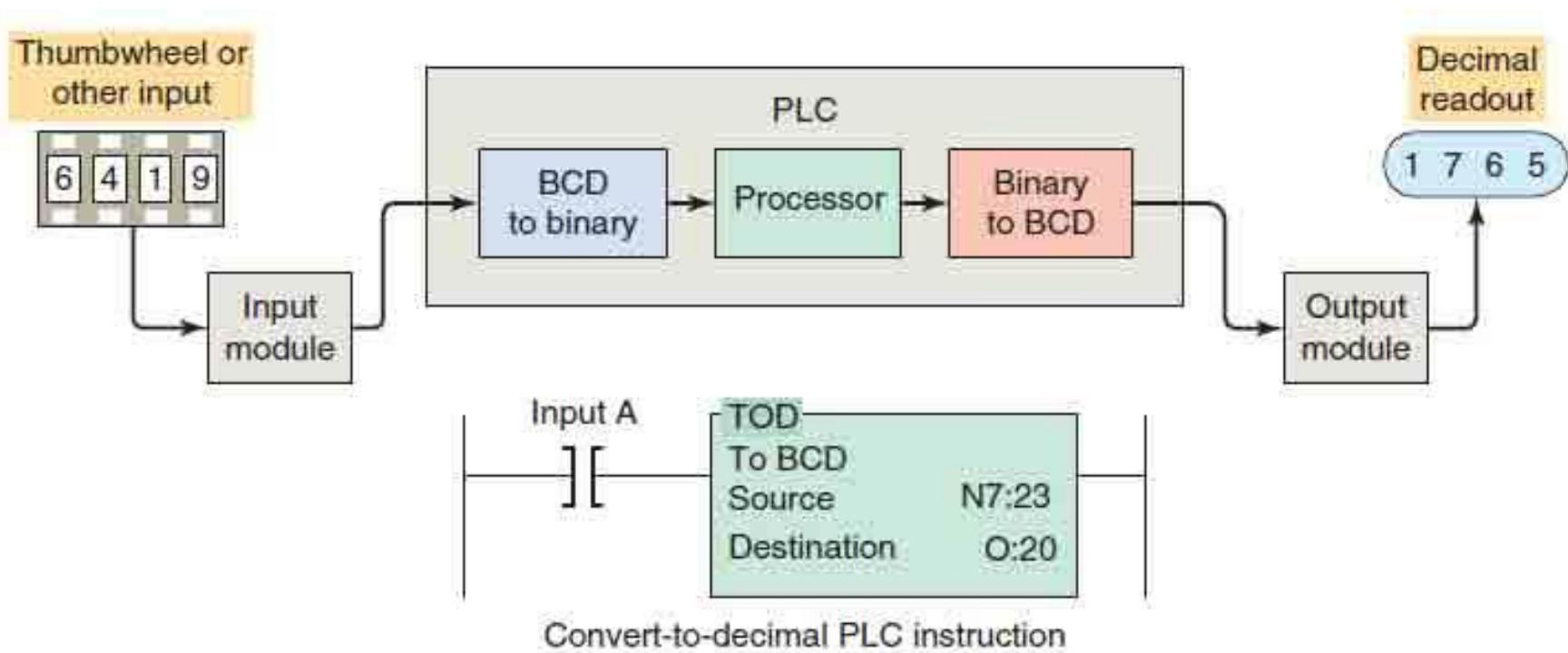
Двоично десетична система Binary Coded Decimal (BCD) System

Пример за използване на BCD от превключвател за входен интерфейс на програмируем контролер. В случая се конвертира числото 8 в двоичен код – 1000.



Двоично десетична система Binary Coded Decimal (BCD) System

Пример за преобразуване на числа на входа и изхода на програмирам контролер чрез използване на BCD.



Код на Грей (Grey code)

Код на Грей (Grey code) е специален тип двоичен код, при който не се използва теглото на позицията, т.е. всяка позиция няма определено тегло. Grey code е настроен така, че когато се преминава от едно число към следващо само един бит да може да се променя. Това действие от гледна точка на броене е объркващо, но то намира приложение при определяне на позиции за схемите на инкременталните енкодери, които се използват в машиностроенето.

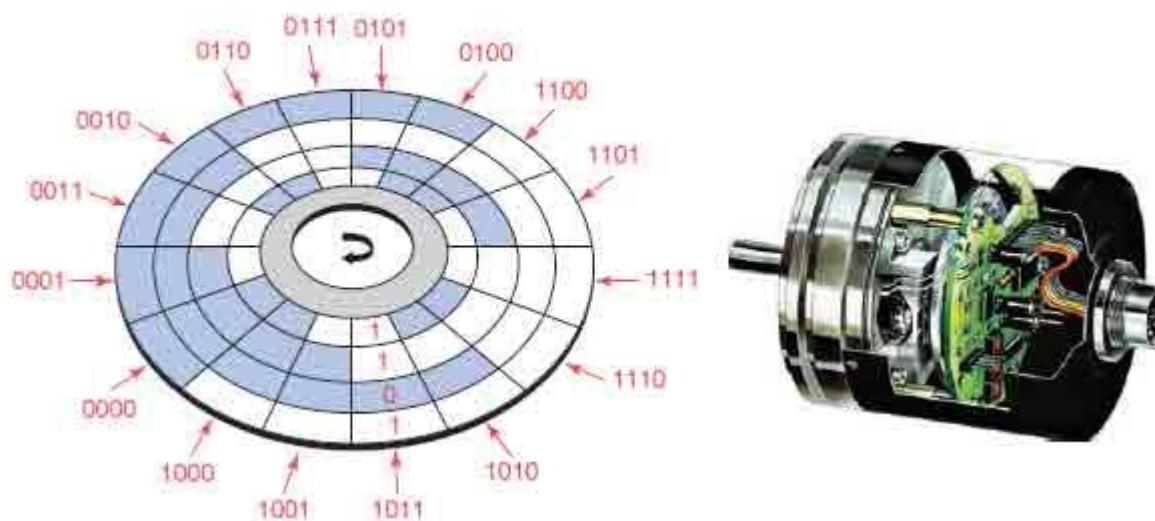
Код на Грей (Grey code)

Сравнение между код на Грей и двоичен код.

Gray Code	Binary
0000	0000
0001	0001
0011	0010
0010	0011
0110	0100
0111	0101
0101	0110
0100	0111
1100	1000
1101	1001
1111	1010
1110	1011
1010	1100
1011	1101
1001	1110
1000	1111

Код на Грей (Grey code)

Кодът на Грей се използва при оптични инкрементални енкодери за ротационно и линейно движение, участващи в позиционно управление на задвижванията при движение на роботи, металорежещи машини и различни по вид сервомеханизми.



ASCII Code

ASCII е абревиатура на американски стандартен код за информационен обмен (American Standard Code for Information Interchange). Това е буквено-цифров код, който включва както букви, така и цифри. Достъп до знаците от ASCII кода включват 10 цифрови цифри; 26 малки букви и 26 главни букви на азбуката, както и около 25 специални знака, налични върху стандартна клавиатура.

ASCII Code

Character	7-Bit ASCII	Character	7-Bit ASCII
A	100 0001	X	101 1000
B	100 0010	Y	101 1001
C	100 0011	Z	101 1010
D	100 0100	0	011 0000
E	100 0101	1	011 0001
F	100 0110	2	011 0010
G	100 0111	3	011 0011
H	100 1000	4	011 0100
I	100 1001	5	011 0101
J	100 1010	6	011 0110
K	100 1011	7	011 0111
L	100 1100	8	011 1000
M	100 1101	9	011 1001
N	100 1110	blank	010 0000
O	100 1111	,	010 1110
P	101 0000	,	010 1100
Q	101 0001	+	010 1011
R	101 0010	-	010 1101
S	101 0011	#	010 0011
T	101 0100	(010 1000
U	101 0101	%	010 0101
V	101 0110	=	011 1101
W	101 0111		

ASCII Code

ASCII Code се използва при свързване на PLC процесора с буквено-цифрови клавиатури и принтери.

Комуникационното взаимодействие между отделните устройства се реализира чрез RS-232 или RS-422 протокол.

Бит за паритет (Parity Bit)

Някои PLC комуникационни системи използват двоична цифра за проверка относно точността на предаването на данни. Например, когато данните се прехвърлят между различни програмирани контролери, някои от двоичните цифри може случайно да бъдат променени (от 1 на 0 или обратно).

Такива грешки се получават по различни причини (при прехвърляне на данни, шум, повреди в преносната мрежа и др.). За откриването на грешки при пренасяне на данни се използва т.н. бит за паритет.

Бит за паритет (Parity Bit)

Паритетът е система, при която всеки предаден знак съдържа един допълнителен бит. Този бит е известен като бит за паритет. Той може да бъде придобива стойност 0 или 1, в зависимост на броя на 1 и 0 в самия низ.

Обикновено се използват две системи за паритет: нечетна (odd) и четна (even).

Нечетен паритет означава, че общият брой битове, включително битът за паритет, да е нечетно число. При четния паритет общият брой битове (плюс битът за паритет) трябва да е четно число.

Бит за паритет (Parity Bit)

Примери за нечетни и четни паритети са представени в следната таблица:

Character	Even Parity Bit	Odd Parity Bit
0000	0	1
0001	1	0
0010	1	0
0011	0	1
0100	1	0
0101	0	1
0110	0	1
0111	1	0
1000	1	0
1001	0	1

Аритметични функции с двоични числа

Аритметичните функции са част от процесора на изчислителните машини, в частност и PLC. Двоичната алгебра включва събиране, изваждане, умножение и деление.

Събиране:

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$1 + 1 = 10$ (или 0 с 1 наум, което се добавя отляво, когато се събират числа с повече от една цифра.

Аритметични функции с двоични числа

Пример за събиране на двоични числа:

Decimal

$$\begin{array}{r} 5 \\ + 2 \\ \hline 7 \end{array}$$

Equivalent binary

$$\begin{array}{r} 101 \\ + 10 \\ \hline 111 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10 \\ + 3 \\ \hline 13 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{сагту} \\ 1 \\ 10 | 10 \\ + \\ \hline 11 | 01 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 26 \\ + 12 \\ \hline 38 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{сагту} \quad \text{сагту} \\ 1 \quad 1 | 1010 \\ + \quad \quad | 1100 \\ \hline 1 | 0 \quad 0110 \end{array}$$

Аритметични функции с двоични числа

Изваждане:

$$0 - 0 = 0$$

$0 - 1 = 1$ (с вземане на единица от лявостоящата цифра)

$$1 - 0 = 1$$

$$1 - 1 = 0$$

Аритметични функции с двоични числа

Пример за изваждане на двоични числа:

Subtract 1001 from 1101.

$$\begin{array}{r} 1101 \\ -1001 \\ \hline 0100 \end{array}$$

Subtract 0111 from 1011.

$$\begin{array}{r} 1011 \\ -0111 \\ \hline 0100 \end{array}$$

Subtract 111 from 100.

$$\begin{array}{r} 111 \\ -100 \\ \hline -011 \end{array}$$

Subtract 11011 from 10111.

$$\begin{array}{r} 11011 \\ -10111 \\ \hline -00100 \end{array}$$

С положителен резултат

С отрицателен резултат

Аритметични функции с двоични числа

Умножение:

$$0 * 0 = 0$$

$$0 * 1 = 0$$

$$1 * 0 = 0$$

$$1 * 1 = 1$$

Деление:

$$0 : 1 = 0$$

$$1 : 1 = 1$$

Както и при останалите бройни системи и тук не може да се дели на 0.

Логически инструкции

Програмираме контролери (PLC), както и цялото цифрово оборудване извършва своята дейност на използване на базата на бинарната концепция. Бинарният принцип стъпва на идеята, че повечето обекти могат да бъдат разглеждани (възприемани, съществуват) само в две състояния – условно наречени 1 и 0. Тези състояния могат представляват условията включено-изключено, отворено-затворено, вярно-невярно, високо-ниско или други две подобни условия.

Логически инструкции

Бинарната концепция позволява бързо обработване на информацията, тъй като борави само с две състояния, всяко от които е отчетливо различно от другото. Липсата на междинно състояние при обработването на информацията води до резултат, който може да бъде или ДА, или НЕ. Логическата схема на използване на концепцията се базира на използването на няколко входа, но с наличие само на един изход, който се активира от определени комбинации от условия, въвеждани на входовете, които служат за основа при вземане на решения.

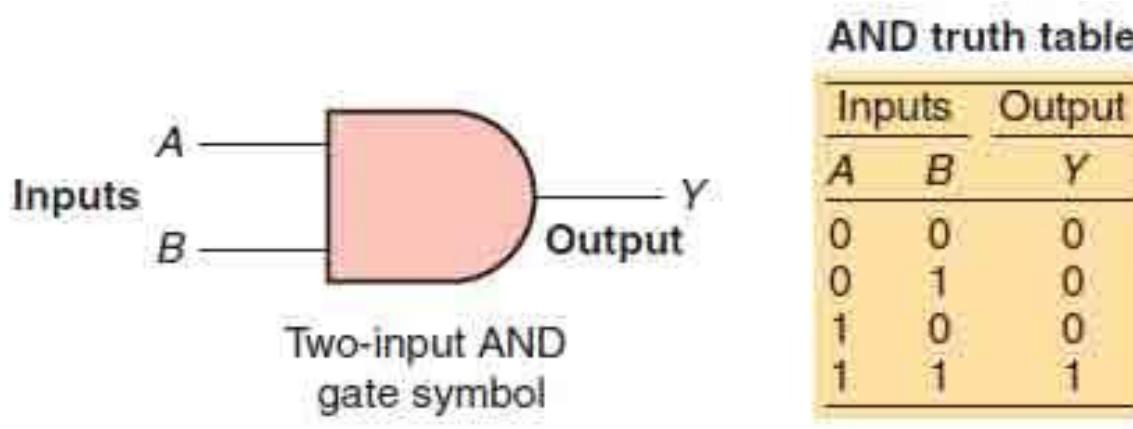
Логически оператори И, ИЛИ, НЕ и изключващо ИЛИ

Операциите, които се извършват от цифровото оборудване се базират на три основни логически функции: И, ИЛИ, и НЕ.

Всяка функция има правило, което определя крайният резултат, както и графически символ, чрез който се представя съответната логическа операция. Приема се, че резултатът (изходът) ще бъде отбелязван с Y , а входовете, обработващи постъпилите в тях сигнали ще бъдат отбелязвани с A , B , C . Също така с 1 се приема присъствието на сигнал или появата на някакво събитие, а с 0 – липса на сигнал или събитие.

Логически оператор И (AND)

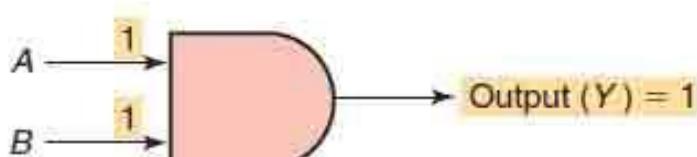
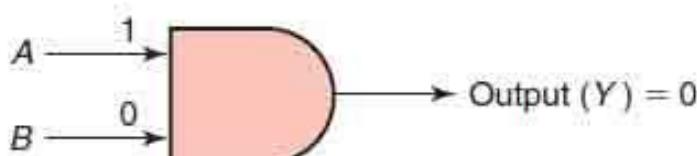
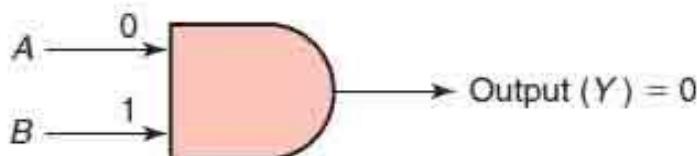
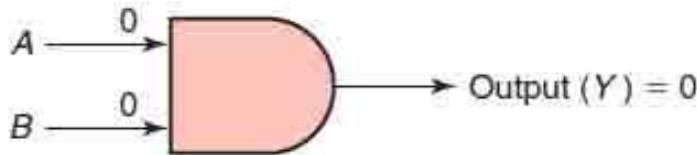
Графическият символ на логическият оператор И (AND) е представен на фигурата. Този символ включва два (или повече) входа и един изход, като се явява част от някакъв вид устройство (портал). Изходът AND на този портал е 1 само ако всички входове са 1. Възможните комбинации от входовете са показани в отделна таблица.



Логически оператор И (AND)

Основни правила, които се прилагат за логическият оператор И са:

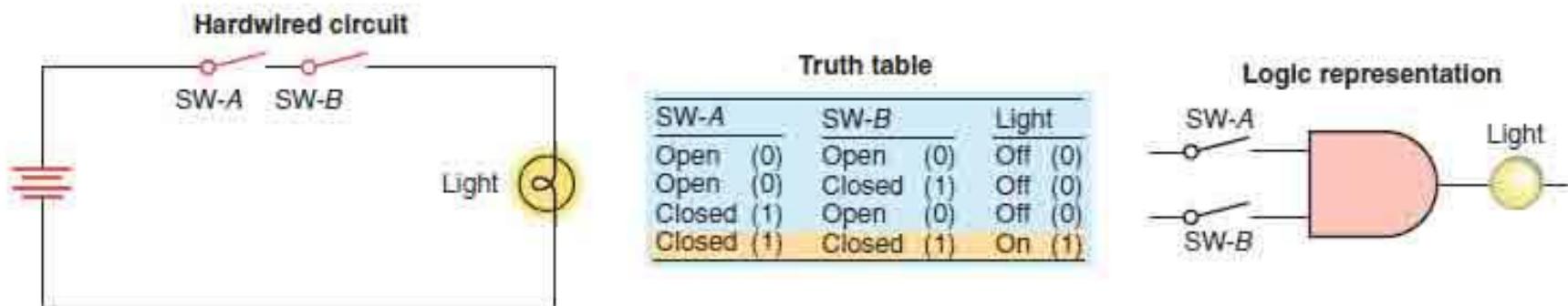
- Ако един или повече входове са 0, то изходът е 0.
- Ако всички входове са 1, то изходът е 1.



Truth table		
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

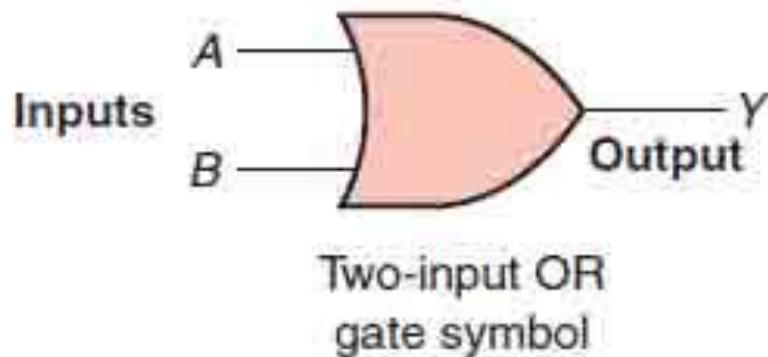
Логически оператор И (AND)

Използването на логическият оператор намира приложение при последователно свързани елементи, за които е необходимо да се изпълни условието всички тези елементи да бъдат включени, за да се реализира някакво събитие (действие). На фигурата е представен пример за използване на логическо И.



Логически оператор ИЛИ (OR)

Графическият символ на логическият оператор ИЛИ (OR) е представен на фигурата. Този символ отново включва два (или повече) входа и един изход. Изходът OR на този портал е 1 поне един вход е 1. Възможните комбинации от входовете са показани в отделна таблица.



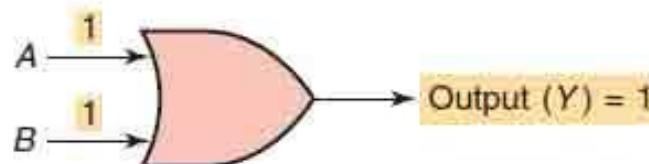
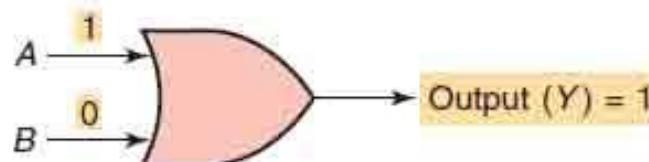
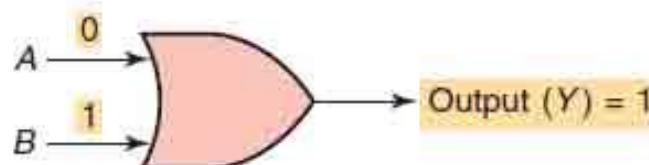
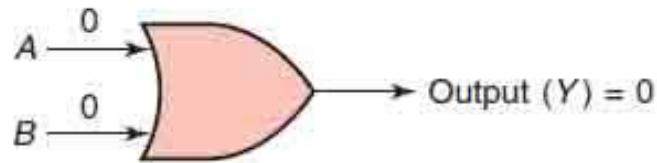
OR truth table

Inputs		Output
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Логически оператор ИЛИ (OR)

Основни правила, които се прилагат за логическият оператор ИЛИ са:

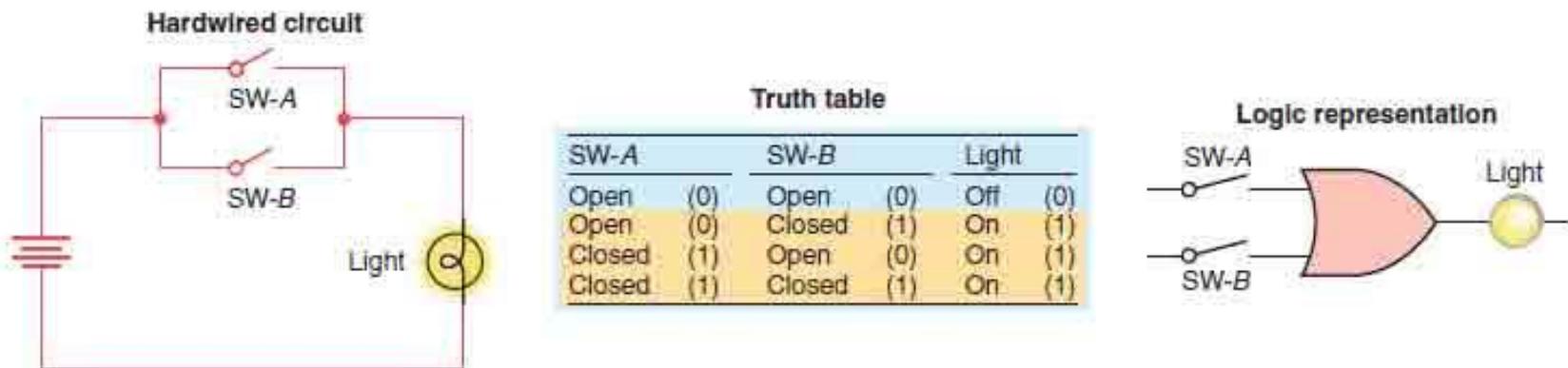
- Ако един или повече входове са 1, то изходът е 1.
- Ако всички входове са 0, то изходът е 0.



Truth table		
Inputs	Output	
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

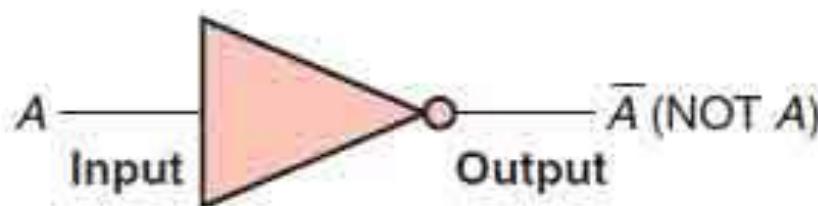
Логически оператор ИЛИ (OR)

Използването на логическият оператор намира приложение при паралелно свързани елементи, за които е необходимо да се изпълни условието поне един от тези елементи да бъде включен, за да се реализира събитие (действие). На фигурата е представен пример за използване на логическо ИЛИ.



Логически оператор НЕ (NOT)

За разлика от логическите оператори AND и OR, операторът NOT може да има само един вход. Изходът е 1, ако на входът е подаден сигнал 0 и изходът е 0, ако на входът е подаден сигнал 1. Резултатът на операцията NOT е винаги обратна на входа поради което е прието този тип оператор да се нарича и *инвертор*.

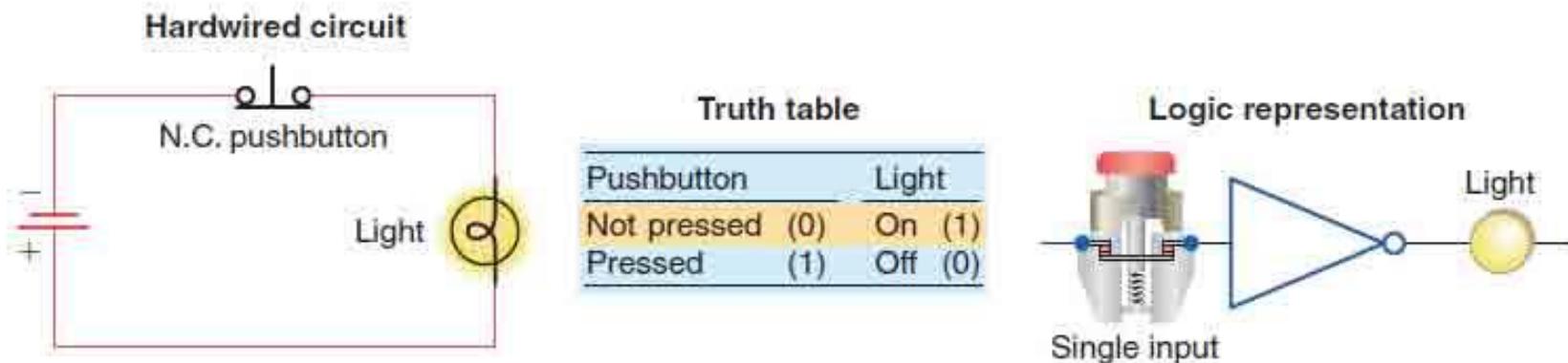


NOT truth table

A	NOT A
0	1
1	0

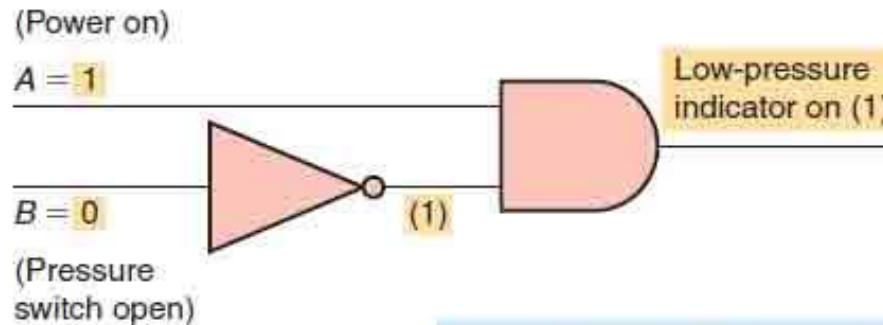
Логически оператор НЕ (NOT)

Логическият оператор NOT намира масово приложение при използване на нормално отворени и нормално затворени контакти. На фигурата е представен такъв пример за електрическа верига, която включва и изключва лампа. Когато бутона за въвеждане не се задейства лампата свети и обратно – при задействан бутон лампата се изключва.

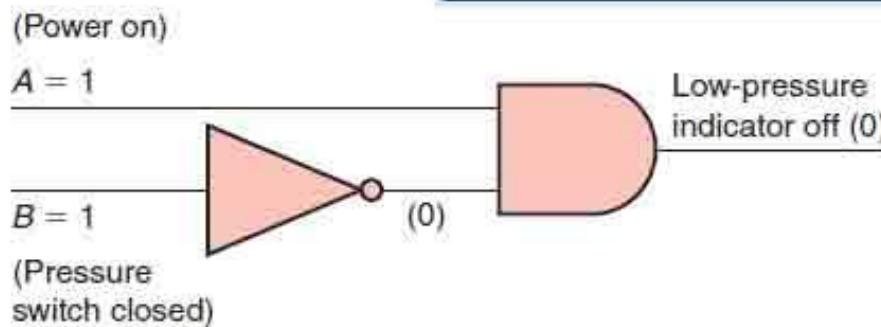


Логически оператор НЕ (NOT)

Логическият оператор NOT се използва най-често в комбинация с операторите AND или OR.

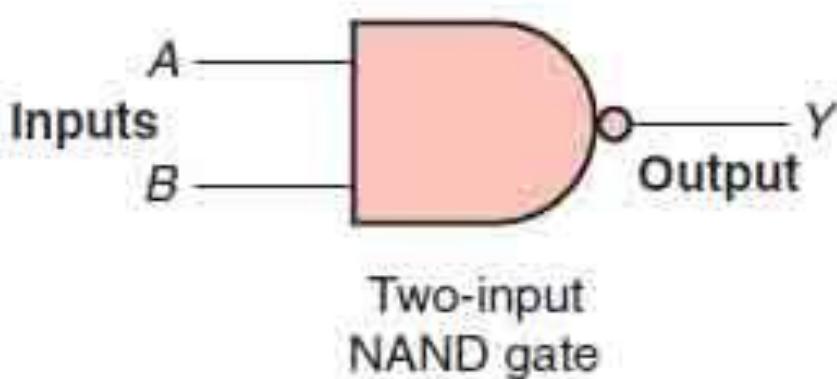


Truth table		
Pressure switch	Power	Pressure indicator
0	1	1
1	1	0



Логически оператор НЕ (NOT)

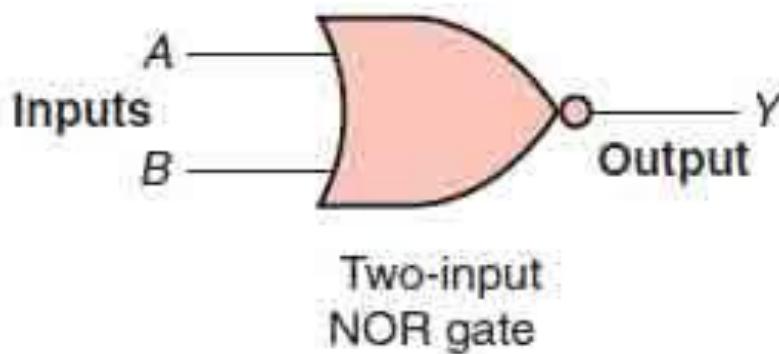
Символът NOT, поставен на изхода на AND порт би обърнал нормалния изходен резултат. Такъв порта с обрнат изход се нарича NAND порт. Символът на NAND порта и таблица с резултатите на изхода са представени на фигураната.



NAND truth table		
Inputs		Output
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Логически оператор НЕ (NOT)

Същото правило за обръщане на нормалния изходен резултат се прилага и ако на изхода на OR е поставен символ NOT. Нормалният изход е обрнат и се препраща като функция на т.н. NOR порт. Символът на NOR порта и таблица с резултатите на изхода са представени на фигураната.

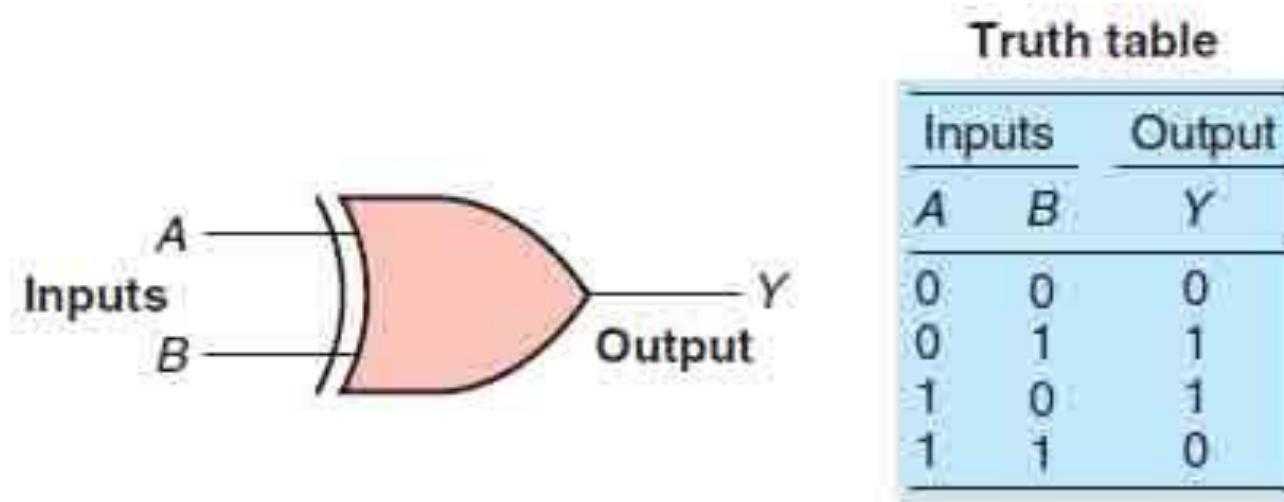


NOR truth table

Inputs		Output
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Логически оператор изключващо ИЛИ (XOR)

Друг оператор, който се използва е изключващо се ИЛИ (XOR). Символът на XOR порта и таблицата с резултатите са представени на фигуранта. Този оператор обикновено се използва за сравнение на две бинарни числа.



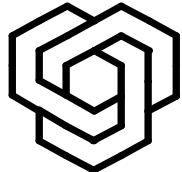
Булева алгебра

Математическото представяне на функционалните възможности на бинарната система и логика се нарича булева алгебра. Целта на тази алгебра е да се осигури прост начин за писане на сложни комбинации от логически твърдения. Булева алгебра е множество S с дефинирани функции \wedge (конюнкция I), \vee (дизюнкция $ИЛИ$) и \neg (отрицание $НЕ$).

Има множество приложения при програмиране на PLC, където може да се приложи булева алгебра за решаване на различни по вид проблеми.

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?



Технически университет София

Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”

Летен семестър 2022/2023 г.

Лекции по ЗАДВИЖВАНЕ И УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА (ЗУПТ)

Лектор: доц. д-р Григор Стамболов

Тема 8

ПРОГРАМИРУЕМИ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕРИ – ЧАСТ 3

**БУЛЕВА АЛГЕБРА, ИНСТРУКЦИИ И ФУНКЦИИ.
СТАНДАРТ IEC 61131 – ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ.
ОРГАНИЗАЦИЯ НА РАБОТА. ПРОГРАМНИ
ЕЗИЦИ.**

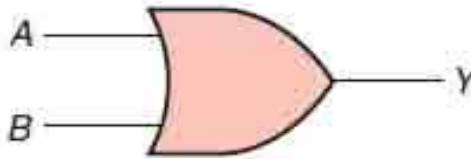
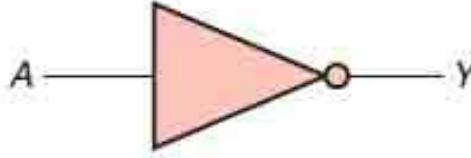
Булева алгебра

Математическото представяне на функционалните възможности на бинарната система и логика се нарича булева алгебра. Целта на тази алгебра е да се осигури прост начин за писане на сложни комбинации от логически твърдения. Булева алгебра е множество S с дефинирани функции \wedge (конюнкция I), \vee (дизюнкция $ИЛИ$) и \neg (отрицание $НЕ$).

Има множество приложения при програмиране на PLC, където може да се приложи булева алгебра за решаване на различно по вид проблеми.

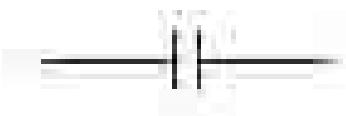
Булева алгебра

Булева алгебра, относяща се до логическите оператори AND, OR и NOT.

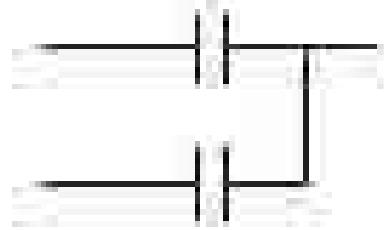
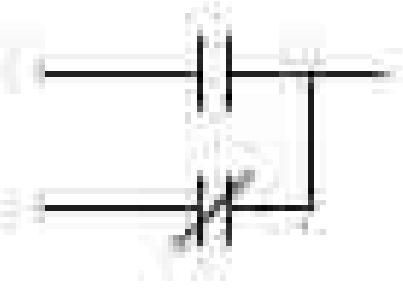
Logic symbol	Logic statement	Boolean equation	Boolean notations
	<p>Y is 1 if A and B are 1</p>	$Y = A \cdot B$ or $Y = AB$	Symbol Meaning • and
	<p>Y is 1 if A or B is 1</p>	$Y = A + B$	+ or - not o invert
	<p>Y is 1 if A is 0 Y is 0 if A is 1</p>	$Y = \overline{A}$	= result in

Булева алгебра

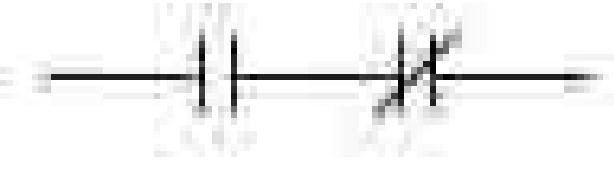
Връзка между булеви функции и графически символи от елементи, чрез които се описват действията при контактни релейни вериги .

Булеви инструкции	Графичен символ
<p>Store (STR)–Load (LD) Стъпало или допълнителен клон в стъпало с нормално отворен контакт</p>	
<p>Store Not (STR NOT)–Load Not (LD NOT) Стъпало или допълнителен клон в стъпало с нормално затворен контакт</p>	

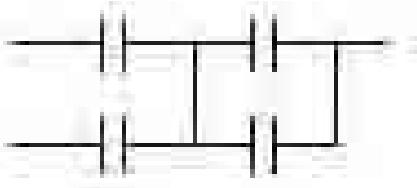
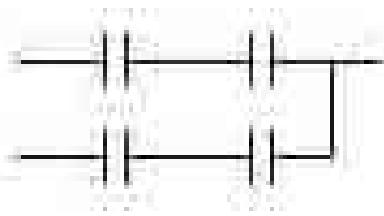
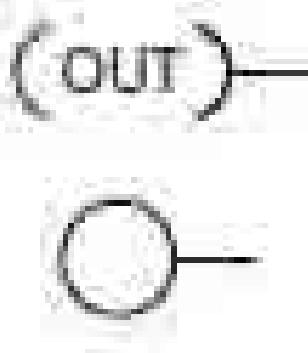
Булева алгебра

Булеви инструкции	Графичен символ
<p>Or (OR) Логичен оператор ИЛИ - нормално отворен контакт разположен успоредно с друг нормално отворен контакт на стъпало</p>	
<p>Or Not (OR NOT) Логичен оператор ИЛИ - нормално затворен контакт разположен успоредно с друг нормално отворен контакт на стъпало</p>	

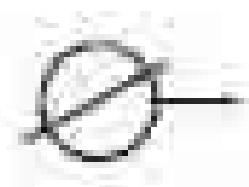
Булева алгебра

Булеви инструкции	Графичен символ
<p>And (AND) Логичен оператор И - нормално отворен контакт свързан последователно с друг нормално отворен контакт на стъпало</p>	
<p>And Not (AND NOT) Логичен оператор ИЛИ - нормално отворен контакт свързан последователно с друг нормално затворен контакт на стъпало</p>	

Булева алгебра

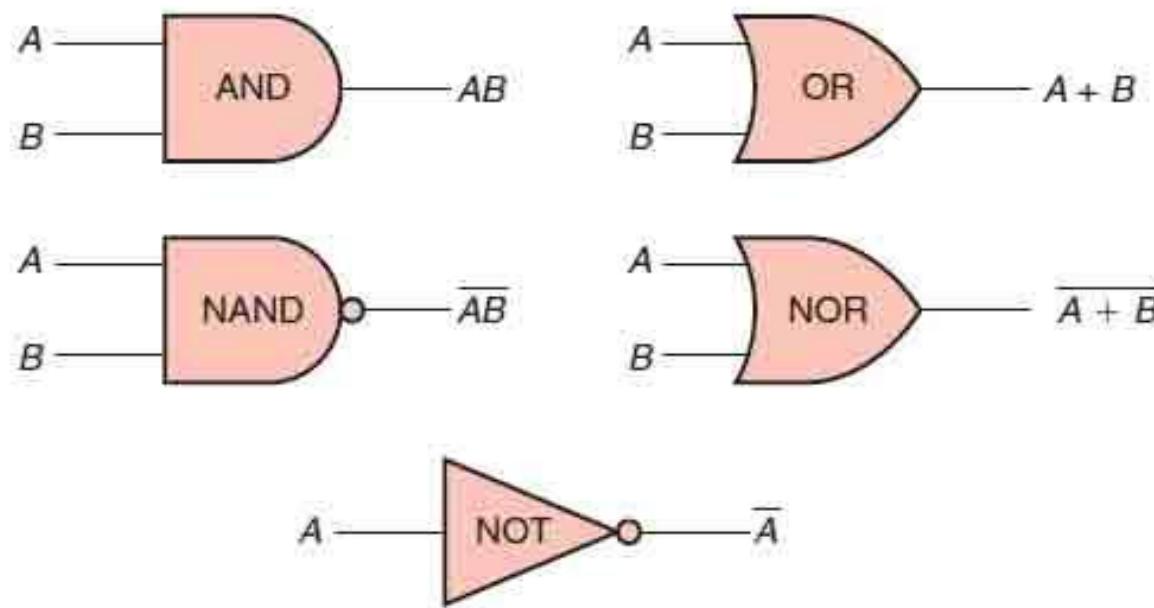
Булеви инструкции	Графичен символ
<p>And Store (AND STR)–And Load (AND LD)</p> <p>Два клона с логическо И, свързани последователно</p>	
<p>Or Store (OR STR)–Or Load (OR LOAD)</p> <p>Два клона с логическо ИЛИ, свързани паралелно</p>	
<p>Out (OUT)</p> <p>Отразява състоянието на стъпалото (Включване / Изключване) и извежда дискретното (ON / OFF) състояние в конкретна точка на регистъра на паметта</p>	

Булева алгебра

Булеви инструкции	Графичен символ
<p>Or Out (OR OUT) Отразява състоянието на стъпалото и извежда дискретното (ON / OFF) състояние в регистъра</p>	
<p>Output Not (OUT NOT) Отразява състоянието на стъпалото и изключва изхода при ON изпълнено действие (състояние). Включва изхода при OFF изпълнено условие (състояние)</p>	

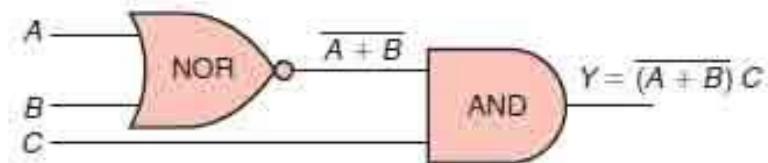
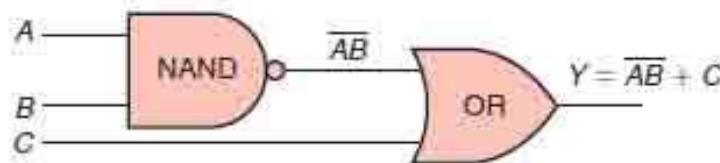
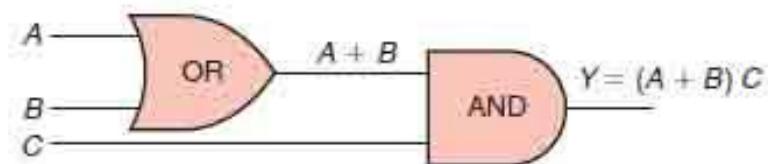
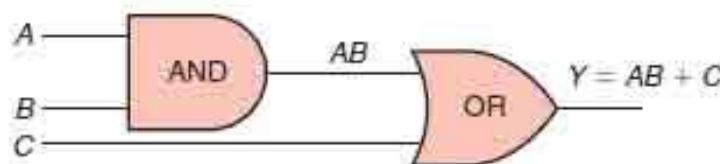
Булева алгебра

Цифровите системи на програмируемите логически контролери могат да бъдат проектирани на базата на използване на булева алгебра, като функциите на изграждащите ги вериги могат да бъдат представяни чрез булеви уравнения.



Булева алгебра

На тази фигура са представени комбинации от логическите оператори за формиране на булеви уравнения.



Булева алгебра

Овладяването на принципите за описание на сложни логически твърдения чрез опростени булеви уравнения е полезен инструмент при създаване на програмите за управление на програмируеми логически контролери. Някои от правилата, които се използват при булевата алгебра са различни от тези, характерни за обикновената алгебра.

Булева алгебра

Правилата

$$A + B = B + A$$

$$A * B = B * A$$

$$(A + B) + C = A + (B + C)$$

$$(A * B) * C = A * (B * C)$$

$$A * (B + C) = (A * B) + (A * C)$$

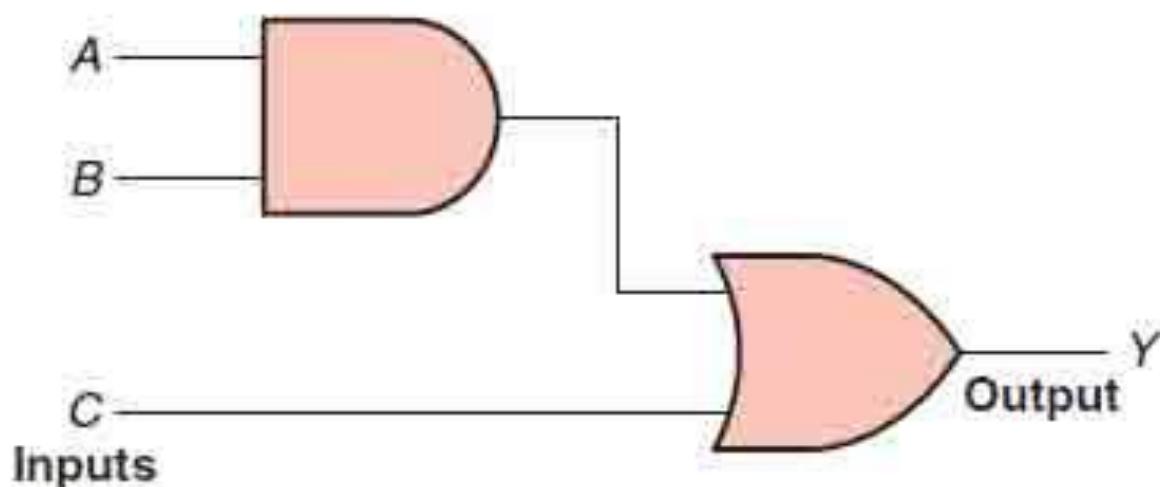
$A + (B * C) = (A + B) * (A + C)$ – това правило
важи само при булевата алгебра

Описание на логически вериги чрез булеви изрази

Пример за описание на логическа схема, описана чрез булева функция $Y = AB + C$.

За изграждането са необходими два порта:

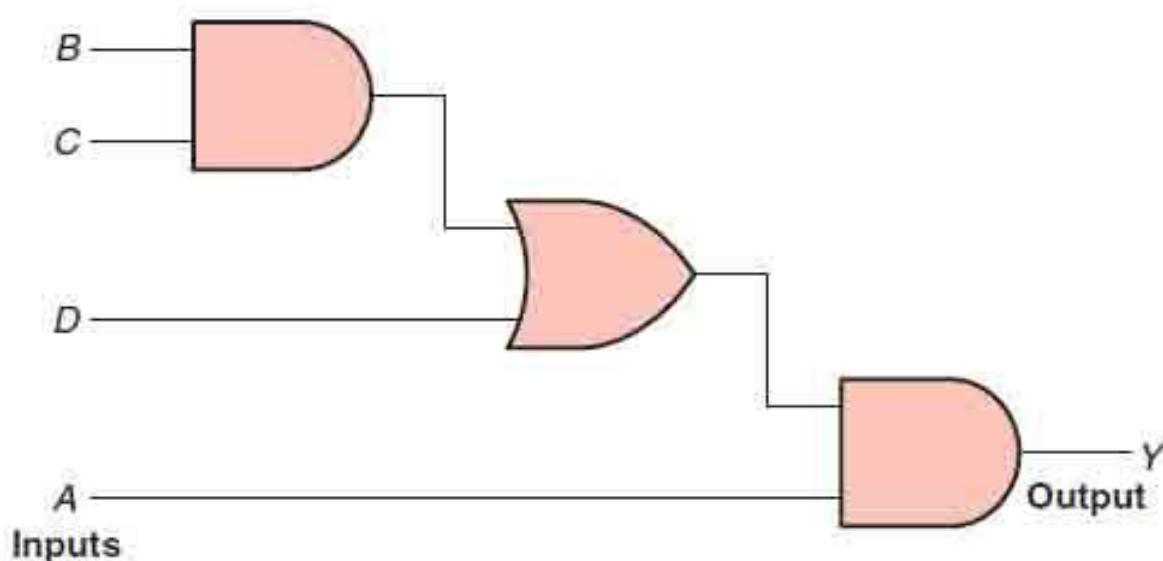
1. Порт AND – с входове A и B;
2. Порт OR – с вход C и друг вход – изхода на порт AND



Описание на логически вериги чрез булеви изрази

Пример за описание на логическа схема, описана чрез булева функция $Y = A(B\bar{C} + D)$.

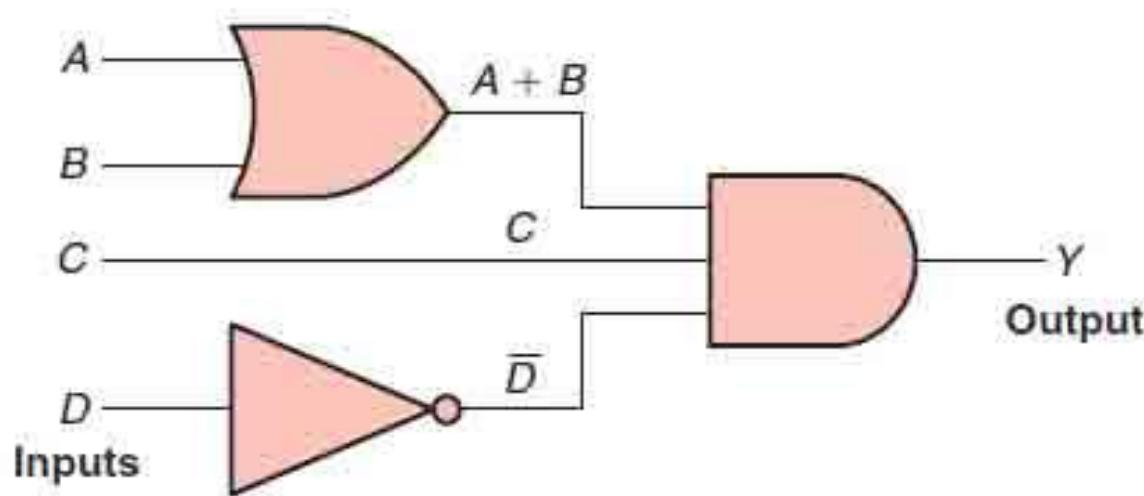
1. Порт AND – с входове B и C;
2. Порт OR – с входове B, C и D;
3. Порт AND – с входове A и изхода на OR порт.



Описание на логически вериги чрез булеви изрази

Пример за описание на логическа схема чрез комбинация, описана чрез булева функция $Y = CD(A + B)$.

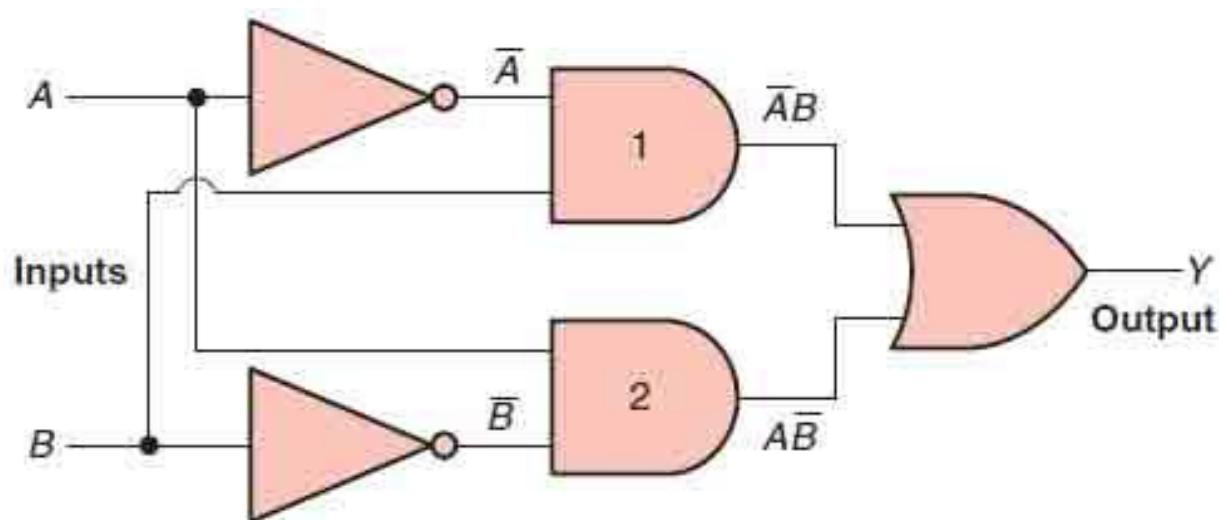
1. Порт OR – с входове A и B;
2. Порт инвертор – с вход \bar{D} ;
3. Порт AND – с входове $A + B$, C и \bar{D}



Описание на логически вериги чрез булеви изрази

Пример за описание на логическа схема чрез комбинация, описана чрез булева функция $Y = \bar{A}B + A\bar{B}$.

1. Порт AND (1) – с входове \bar{A} и B ;
2. Порт AND (2) – с входове A и \bar{B} ;
3. Порт OR – с входове $\bar{A}B$ и $A\bar{B}$

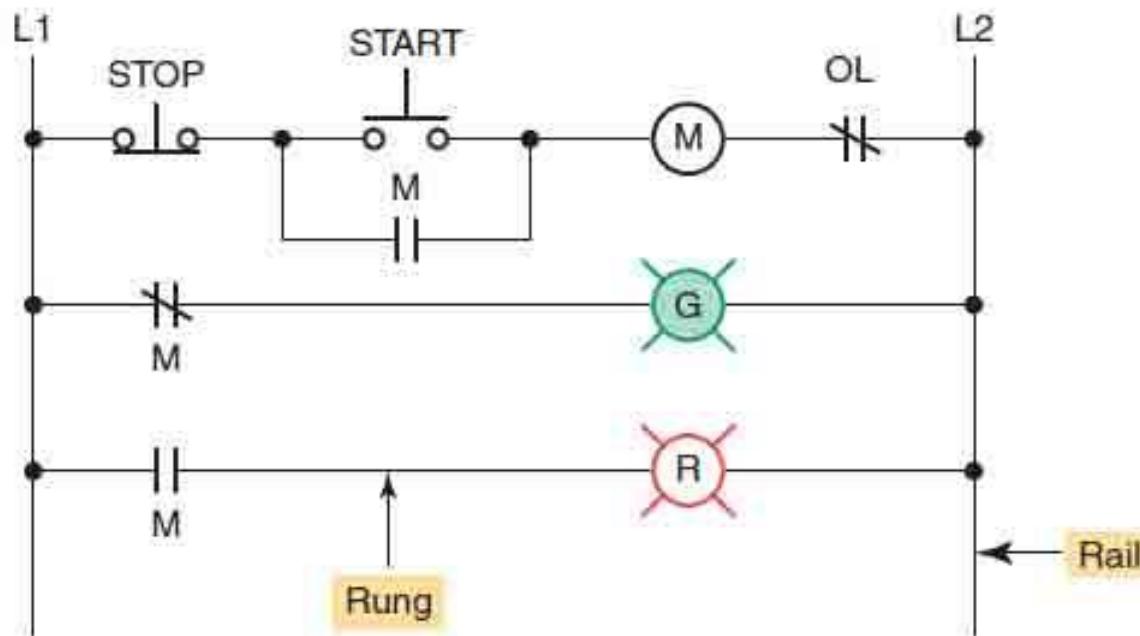


Хардуерна и програмна логика

Терминът хардуерна логика се отнася до онези логически функции за управление, които се определят от начина по който отделните устройства, изграждащи различни по вид производствени системи, са свързани помежду си чрез електрически връзки (вериги). Този тип логика е възможно да бъде реализирана с помощта на контактни релета (контактори), свързани във вериги, известни още като *ladder диаграми* (стълба). Този тип диаграми са с широко приложение в индустрията.

Хардуерна и програмна логика

На фигурата е показана типична схема, използваща хардуерна логика за станция за управление на електрически двигател с пилотни светлини (червена и зелена).



Хардуерна и програмна логика

Хардуерната логика е строго фиксирана промяна на състоянието настъпва само при изменение на свързането между електрическите елементи във веригата.

За разлика от хардуерната логика, програмната логика или програмното управление се базира основно на изпълнението на логически функции, които могат да се програмират и съответно сравнително лесно да се променят. Тези функции (И, ИЛИ, НЕ) се използват или поотделно, или в комбинации, за да формират инструкции, които да определят дали дадено устройство трябва да бъде включено или изключено.

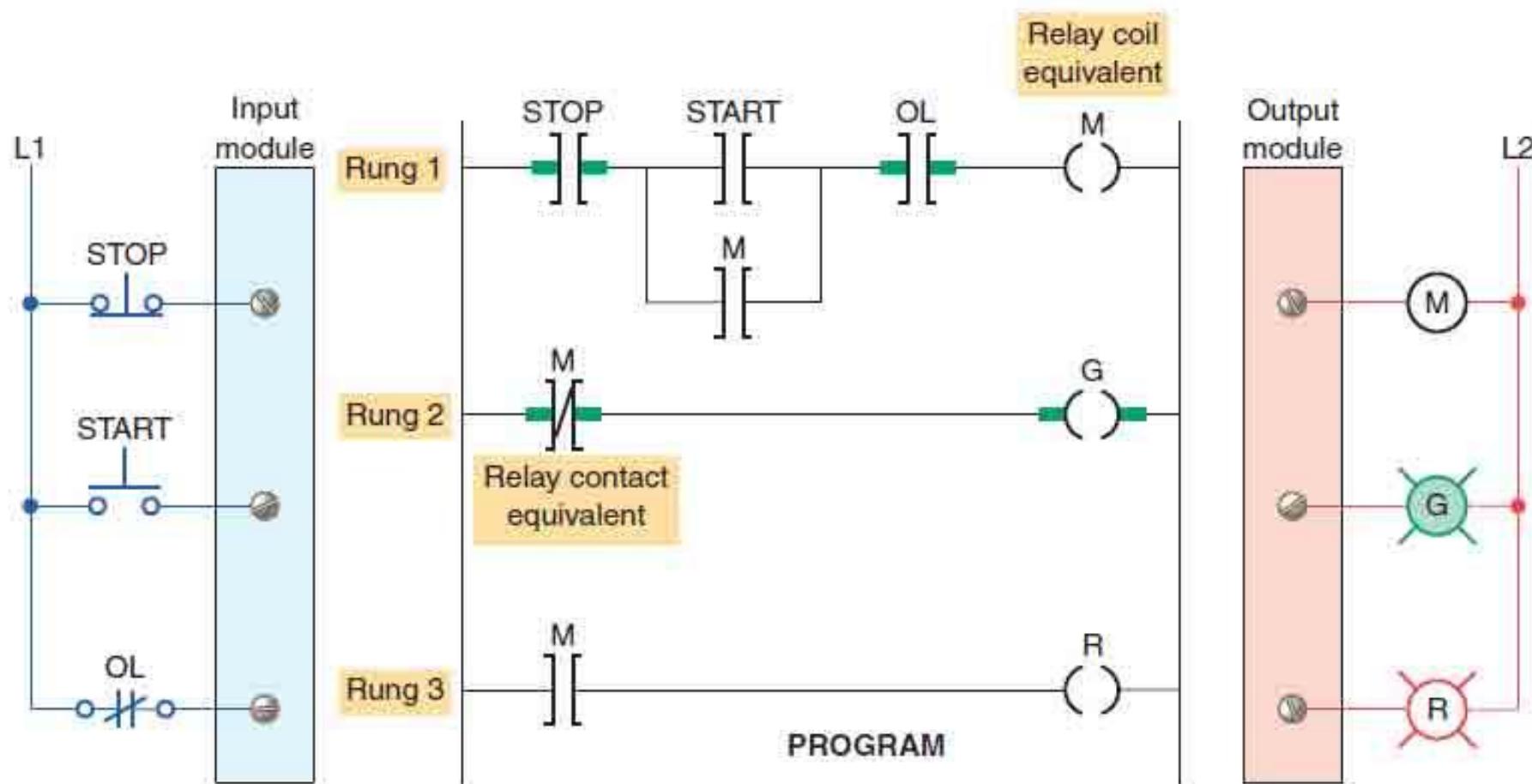
Хардуерна и програмна логика

Форматът, в който се изпълняват тези инструкции (команди), използван при програмируемите логически контролери (PLC) се нарича език, т.е. програмен език. Най-често срещаният език за програмиране на PLC е ladder логиката, позната още като Ladder диаграми.

На следващата фигура е представена същата схема за включване и изключване на електродвигател, но представена чрез Ladder диаграма. Използваните инструкции са еквивалентни на релетата (бобините) с нормално отворени и нормално затворени контакти.

Хардуерна и програмна логика

Ladder диаграма за вкл. / изкл. на ел. двигател



Хардуерна и програмна логика

Символиката на контактите при PLC е начин за изразяване логиката на управление. Тези символи по същество са подобни на тези, използвани за представяне на хардуерната логика при системите за управление на електрическите вериги.

Обикновено всяко стъпало от ladder диаграмата позволява един изход, но при някои PLC е възможно и да са множество от няколко изхода. При програмната логика всички механични контакти на превключвателите се представлят със софтуерен символ за контакт и всички електромагнитни намотки се представлят със символ на бобина.

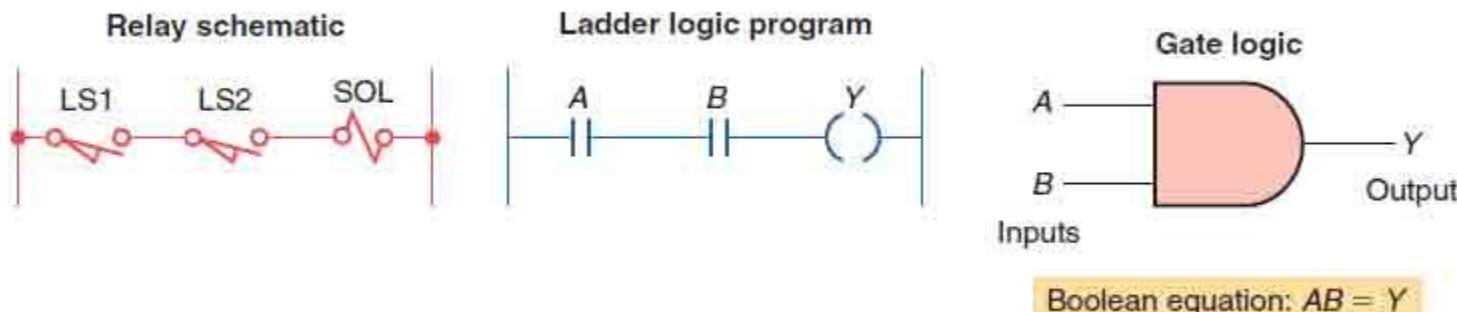
Хардуерна и програмна логика

Тъй като PLC използва логически ladder диаграми, преобразуването от всяка хардуерна логика към програмна се извършва сравнително опростено. Всяко стъпало е комбинация от условията, изразени чрез символи на входа, които са свързани отляво надясно със символът, който представлява изхода в дясното. Символите, които представляват входовете е възможно да са свързани последователно, паралелно или в комбинация, за да се получи желаната от системата за управление логика.

Хардуерна и програмна логика

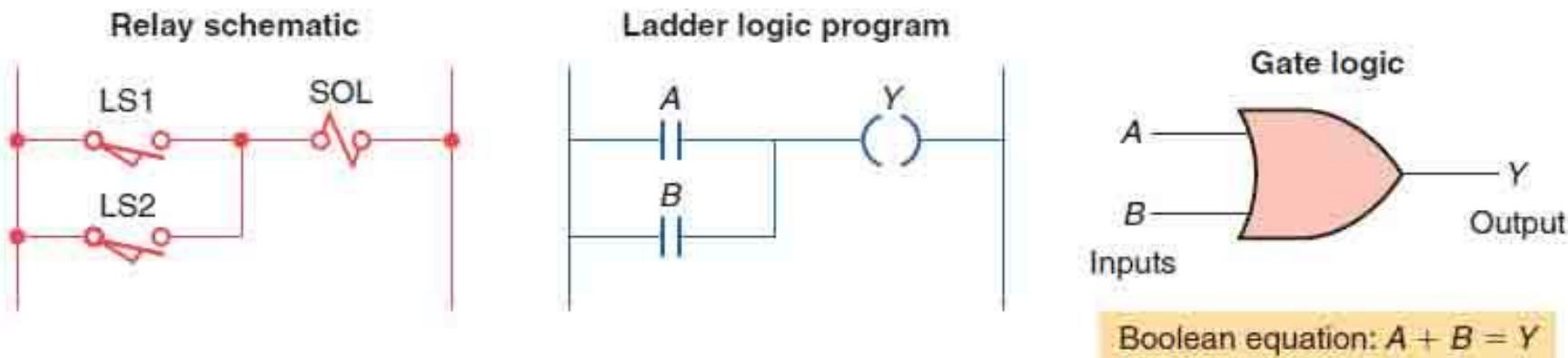
На следващите слайдове са представени примери за различни групи от елементи, които показват връзката между схемите на хардуерна логика, програмна логика и еквивалентната схема, изразена чрез логически оператори.

Тук е представена схема на два крайни превключвателя, свързани последователно и използвани за управление на електромагнитен контактор.



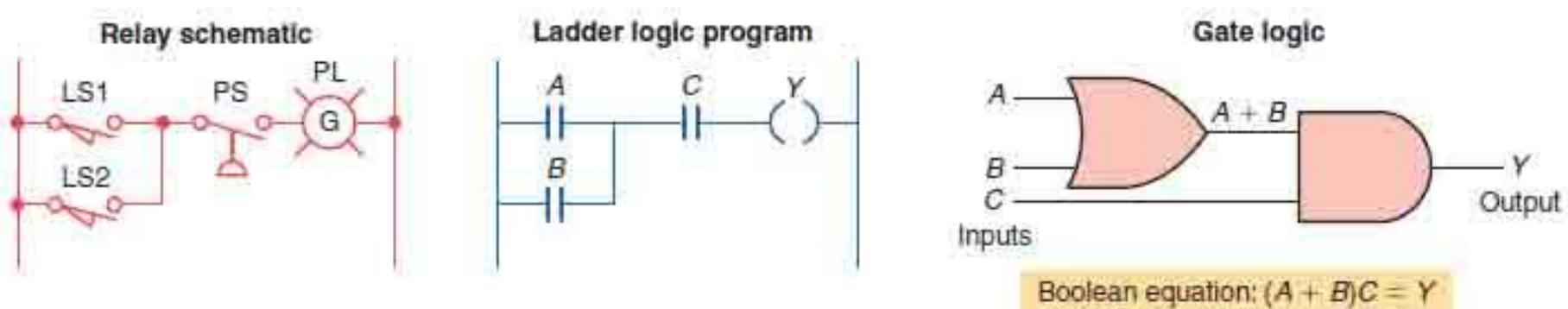
Хардуерна и програмна логика

Схема на два крайни превключвателя, свързани паралелно и използвани за управление на електромагнитен контактор.



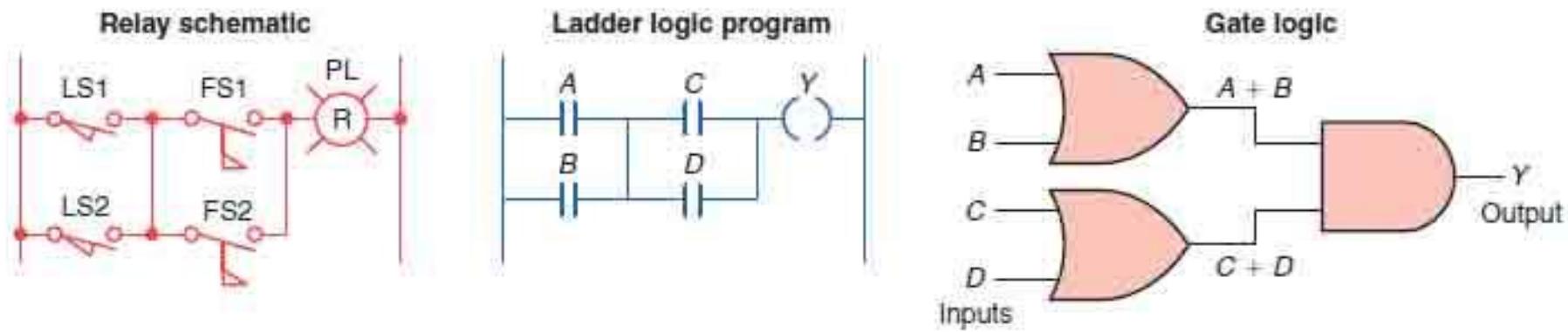
Хардуерна и програмна логика

Схема на два крайни превключвателя, свързани паралелно по между си и бутон, свързан последователно с тях, използвани за управление на пилотна светлина (лампа).



Хардуерна и програмна логика

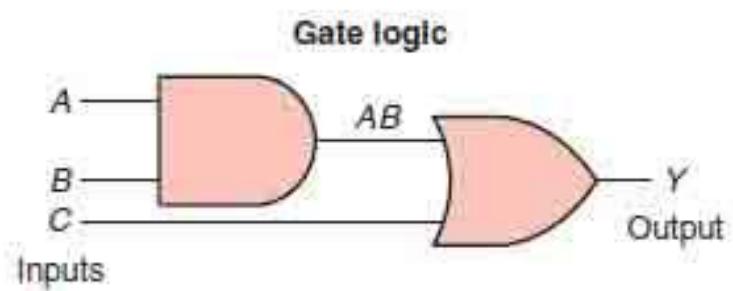
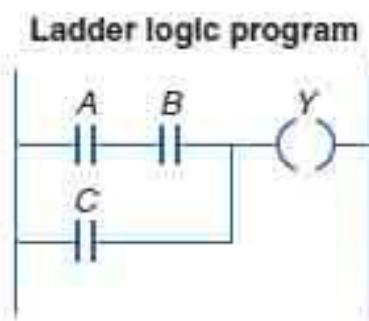
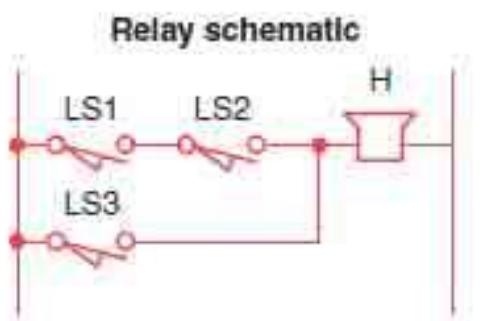
Схема на два крайни превключвателя, свързани паралелно по между си и последователно с два комплекта от превключватели, които се използват за управление на пилотна светлина (лампа).



$$\text{Boolean equation: } (A + B)(C + D) = Y$$

Хардуерна и програмна логика

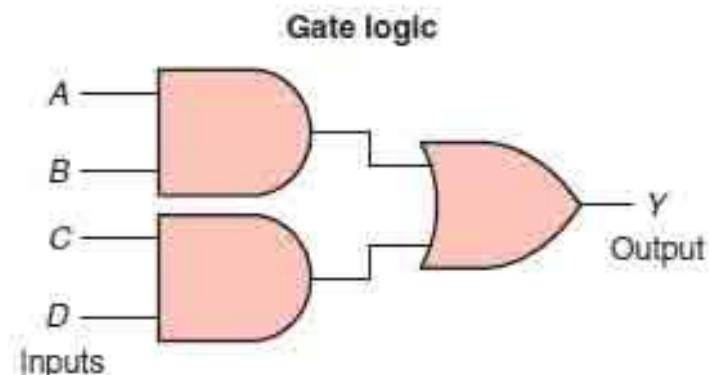
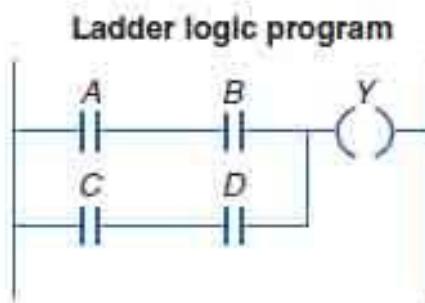
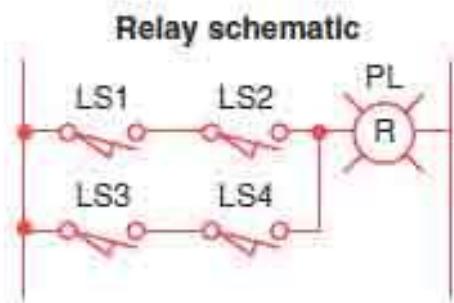
Схема на два крайни превключвателя, свързани последователно един с друг и паралелно с трети превключвател, която се използва за управление на предупредителен клаксон (сирена).



Boolean equation: $(AB) + C = Y$

Хардуерна и програмна логика

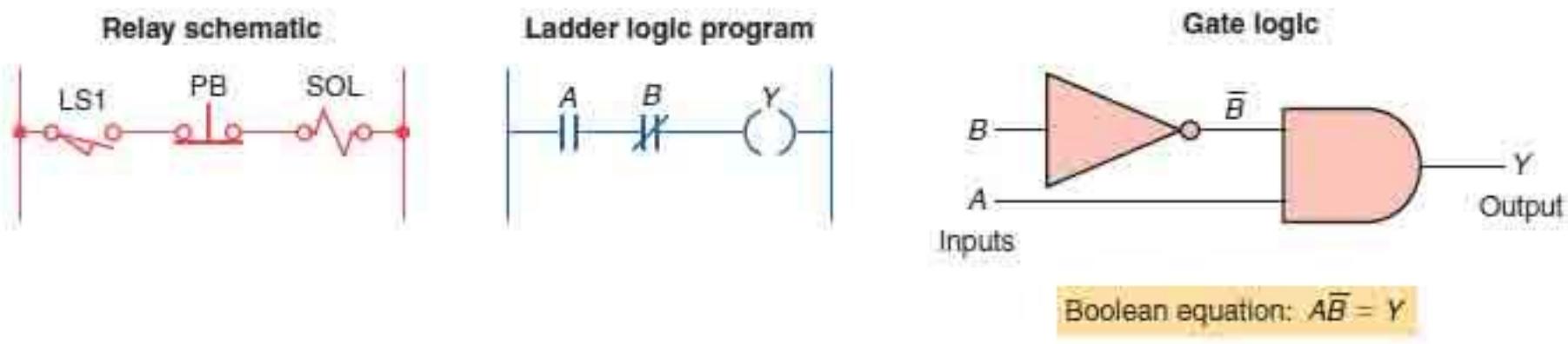
Схема на два крайни превключвателя, свързани последователно един с друг и паралелно с два други превключватели (свързани също последователно помежду си), която се използва за управление на пилотна светлина (лампа).



$$\text{Boolean equation: } (AB) + (CD) = Y$$

Хардуерна и програмна логика

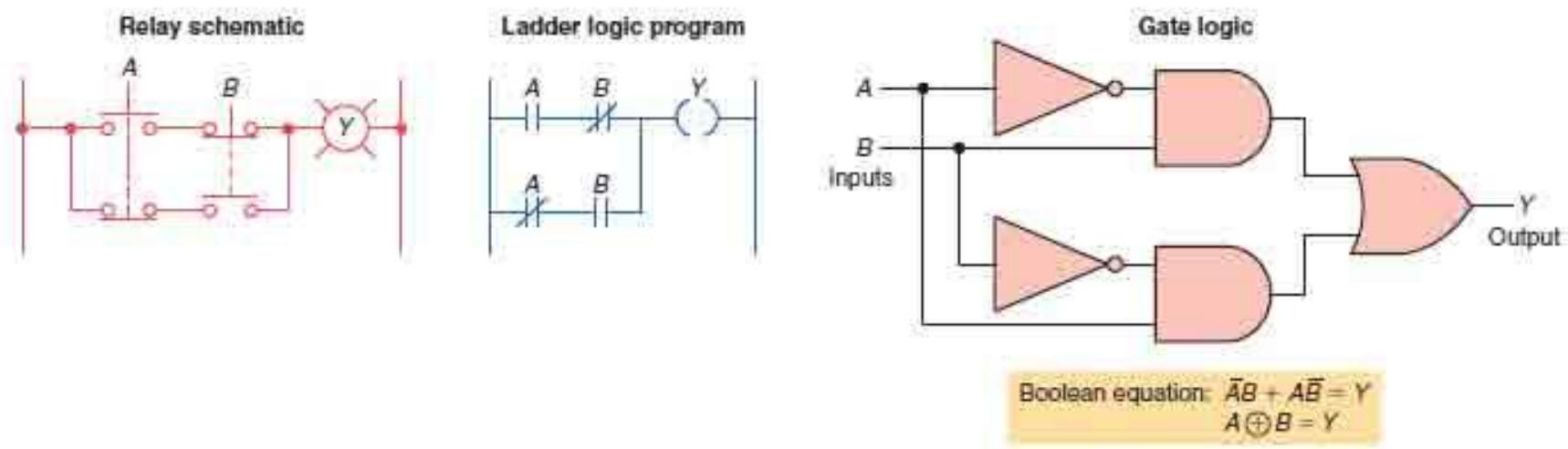
Схема на един краен превключвател, свързан последователно с нормално затворен бутон. Схемата се използва за управление на електромагнитен контактор. Тази верига е програмирана така, че контактора ще се включи, когато крайния превключвател е затворен и бутона не е натиснат.



Хардуерна и програмна логика

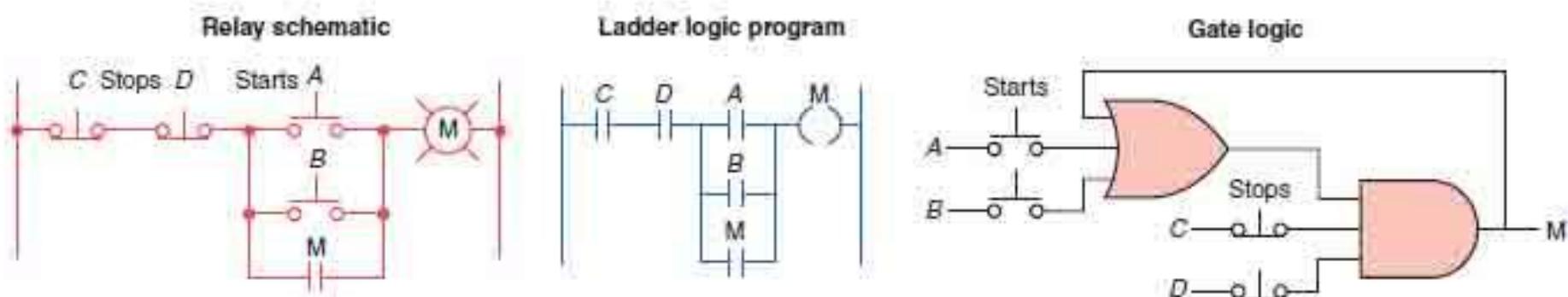
Схема на изключваща се ИЛИ (XOR) верига.
Лампата на изхода на тази схема свети само когато
е натиснат бутон А или В, но не и двета.

Програмната схема използва само нормално
отворените контакти на бутоните А и В като
входове.



Хардуерна и програмна логика

Схема за управление на двигател с два бутона за старт/стоп. Когато някой от бутоните за стартиране е активиран (натиснат), двигателят се включва. Двигателят работи и след като бутона за стартиране е освободен. Всеки бутон за спиране изключва двигателя след като бъде активиран (натиснат).

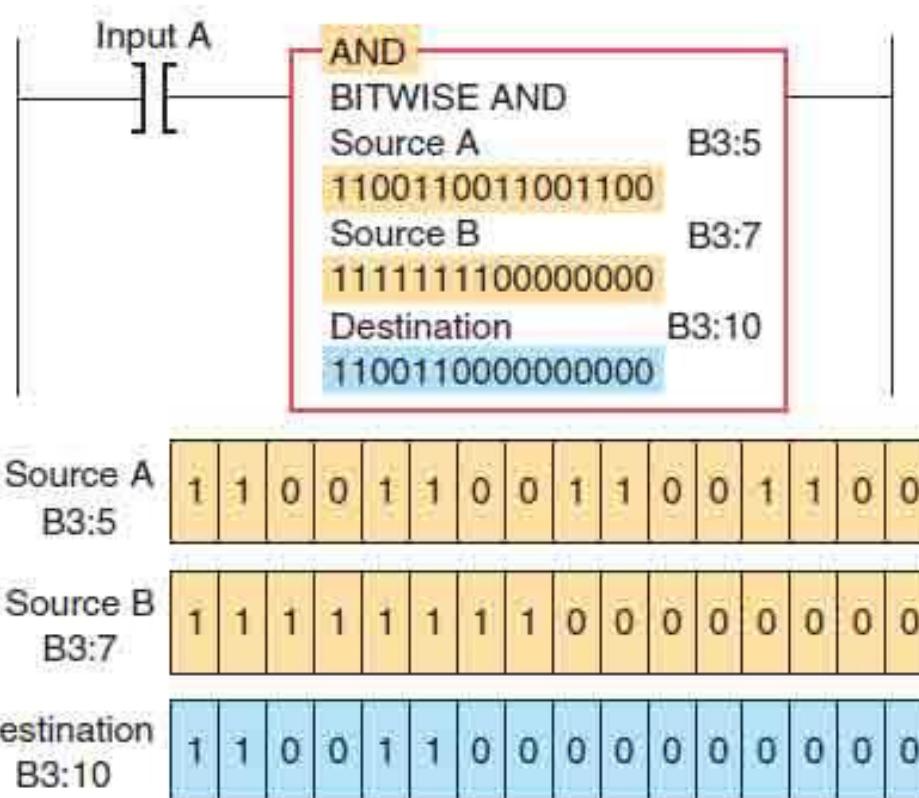


Инструкции за програмна логика на ниво дума

Повечето програмиращи логически контролери предоставят логически инструкции на ниво дума като част от техния набор инструкции. На базата на думите, разположени на входовете на контролера, чрез логическите оператори AND, OR, XOR и NOT се формират думите на изхода.

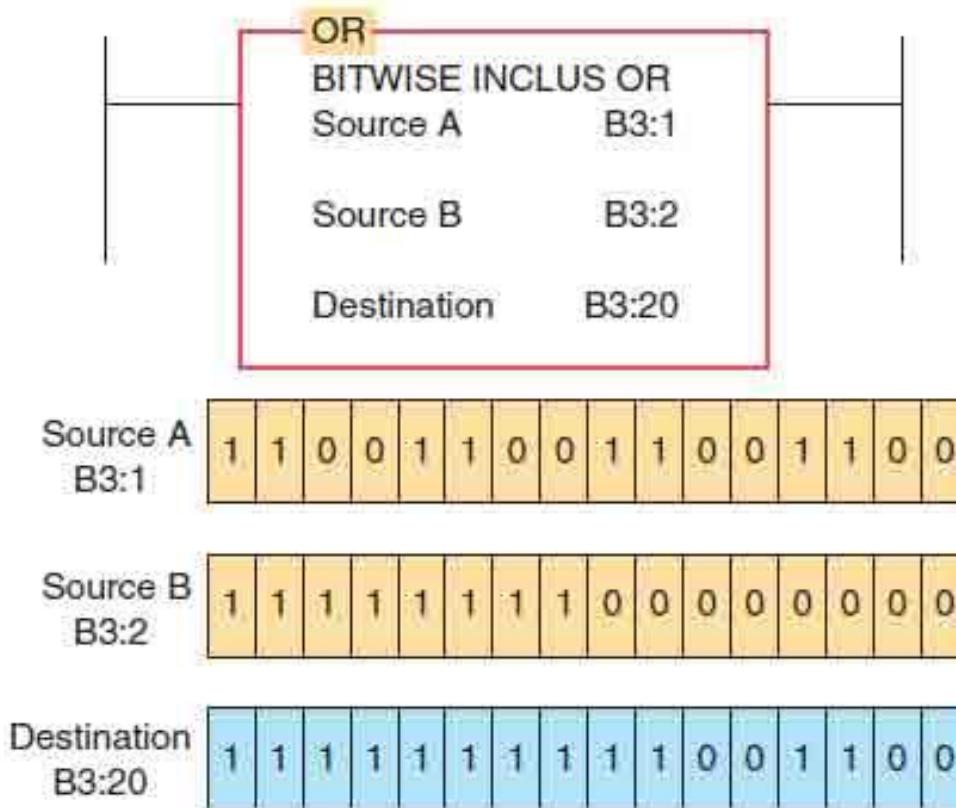
Инструкции за програмна логика на ниво дума

Пример с два дефинирани входа на PLC – B3:5 и B3:7 чрез използване на логическият оператор AND се формира изхода на думата B3:10.



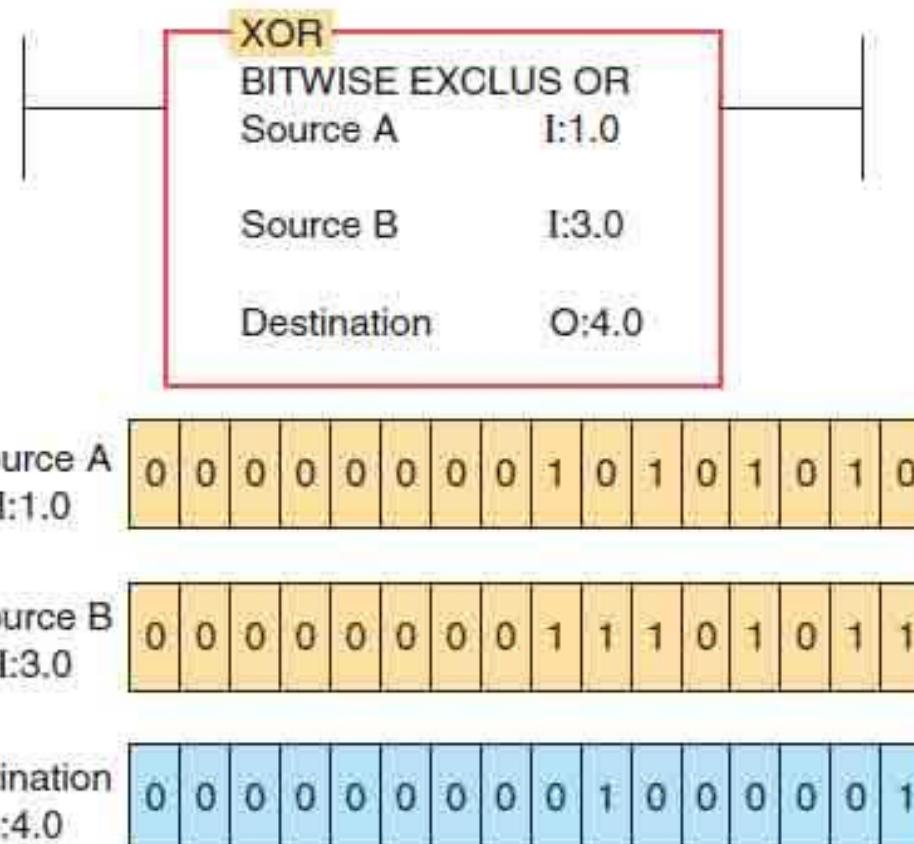
Инструкции за програмна логика на ниво дума

Пример с два дефинирани входа на PLC – B3:1 и B3:2 чрез използване на логическият оператор OR се формира изхода на думата B3:20.



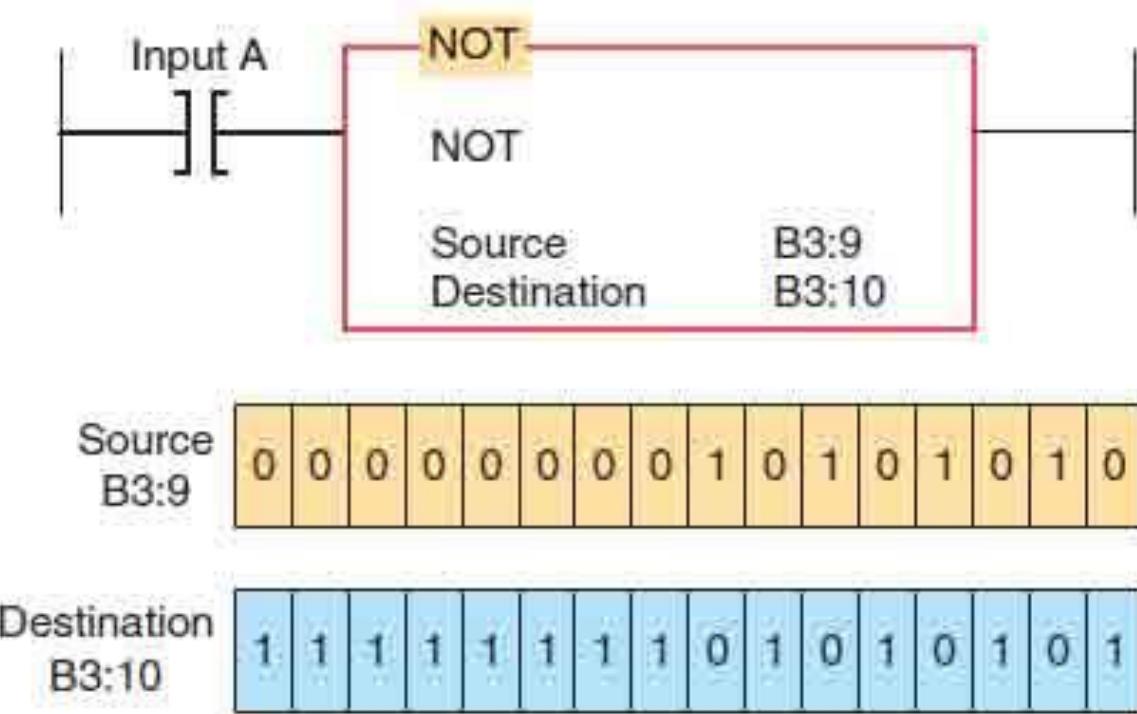
Инструкции за програмна логика на ниво дума

Пример с два дефинирани входа на PLC – I:1.0 и I:3.0 чрез използване на логическият оператор XOR се формира изхода на думата O:4.0.



Инструкции за програмна логика на ниво дума

Пример с един дефиниран вход на PLC – B3:9, чрез използване на логическият оператор NOT се формира изхода на думата B3:10.



Инструкции за програмна логика на ниво дума

При 32-битовите PLC (например от типа Allen-Bradley-Logix controller), входовете (source) и изходите (destination) могат да се представят като:

- SINT (еднобайтово цяло число) стойност;
- INT (двубайтово цяло число) стойност;
- DINT (четирибайтово цяло число) стойност;
- REAL (четирибайтово цяло число с плаваща запетая) стойност.

Международен стандарт IEC 61 131

Международният стандарт IEC 61 131 за програмиране на програмируеми логически контролери (PLC), въпреки навлизането през 2005г. на новия стандарт IEC 61 499, продължава да доминира при управлението на автоматизирани процеси, реализиращи се чрез програмируеми логически контролери.

Международен стандарт IEC 61 131

Системите, които използват стандарта IEC 61 131 разчитат на централизиран програмируем модул на управление с циклично сканиране на изпълнението на програмата, което включва събиране на данни от входните модули на контролера, обработка на тези данни със заложени в паметта програмни алгоритми и последващо извеждане на данните към изходните устройства на PLC за реализация на управлението на автоматизираната система.

Международен стандарт IEC 61 131

Интеграцията на подобен тип системи посредством комуникационни мрежи обикновено изисква процедури за синхронизация, за които са разработени множество софтуерни приложения от различните фирми производителки (Siemens, Allen Bradley, MicroLogix и др.) на програмируеми логически контролери. Към системите за програмиране на PLC, базирани на стандарта IEC 61 131 е необходимо да изпълняват множество специфични изисквания.

Изисквания към системите за програмиране на PLC

Системите за програмиране на PLC, базирани на стандарта IEC 61 131 трябва да бъдат:

- с висока надеждност, тъй като тези системи са със специално предназначение и е нужно да разполагат с всички средства, нужни за написване, тестиране и откриване на грешки при програмиране на PLC;
- с опция за управляване на една и съща написана програма от всеки контролер, поддържащ стандарта IEC 61 131;

Изисквания към системите за програмиране на PLC

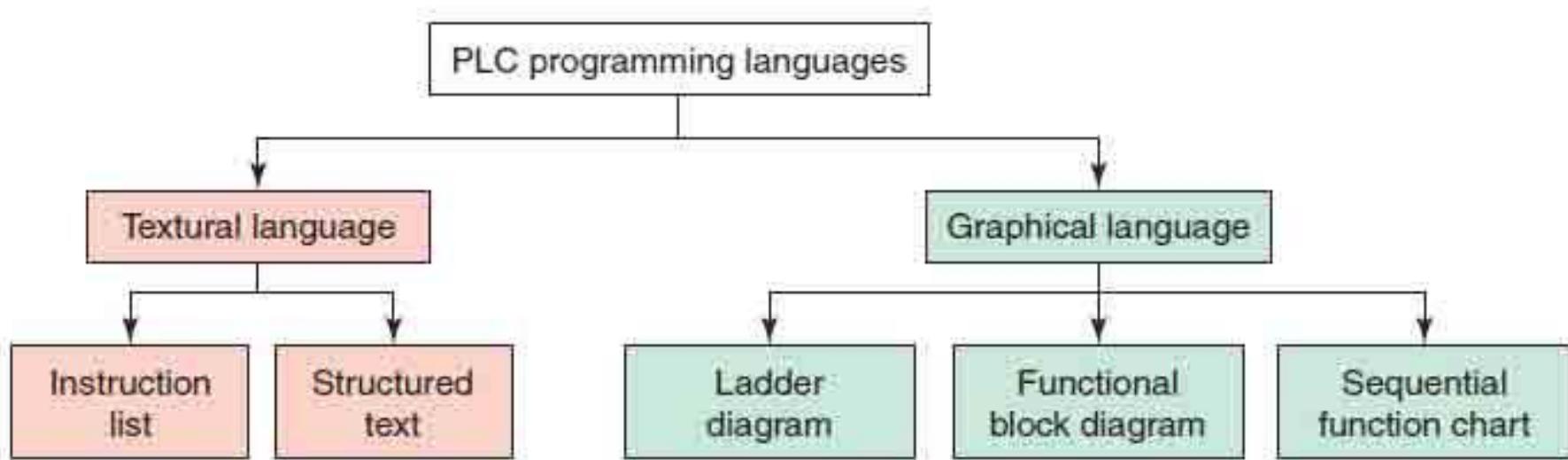
Системите за програмиране на PLC, базирани на стандарта IEC 61 131 трябва да бъдат:

- с възможност за повторна употреба на вече използвани фрагменти от програмата;
- с лесен и разбираем език за програмиране, не изискаващ специална квалификация.

PLC езици за програмиране

Терминът програмен език за PLC се отнася до методите, чрез които потребителят е възможно да използва комуникационен режим за споделяне на информация с PLC. Стандартът IEC 61 131 е създаден за стандартизиране на множеството свързани езици за опериране с програмируемите контролери, като определя пет стандартни езици, които се делят на графични и текстови, и се използват при програмиране на логически контролери.

PLC езици за програмиране



PLC езици за програмиране

Графични езици:

- Стълбовидна диаграма – **Ladder Diagram (LD)** - графичен език, удобен за специалисти, привикнали с графичния вид на релейно-контактните схеми. Целта е в максимално близък до традиционния вид да се представи действието на управляващата програма. Използват се следните елементи: променлива, нейно допълнение, начало и край на разклонение при паралелна верига, присвояване на резултат на изходна или междинна променлива;

PLC езици за програмиране

Графични езици:

- Функционална блок-схема – **Function Block Diagram (FBD)** – език за програмиране, основан на аналогия с алгоритъма за логическо управление на технологичния процес или с неговата схема на функциониране. Приема се, че съществува поток на сигналите, който преминава през диаграмата и определя състоянията на нейните елементи;

PLC езици за програмиране

Графични езици:

- Диаграма на последователност от функции – **Sequential Function Chart (SFC)** – графично изображение на взаимно свързвани стъпки, действия и преходи при определяне работата на управляваният от програмируемият контролер процес;

PLC езици за програмиране

Текстови езици:

- Списък с инструкции – **Instruction List (IL)** – език от ниско ниво, който използва мнемонични инструкции. Представлява език от текстов тип и съдържа последователност от инструкции на отделен ред от програма;

PLC езици за програмиране

Текстови езици:

- Структуриран текст – **Structured Text (ST)** – базиран на високо ниво програмен език от типа на BASIC, С или PASCAL семантика, като е разработен конкретно за приложения, свързани с индустриалното управление на процеси. Основен елемент в ST е изразът, който е конструкция, от която в процеса на изпълнение се получава стойност от определен тип.

PLC езици за програмиране

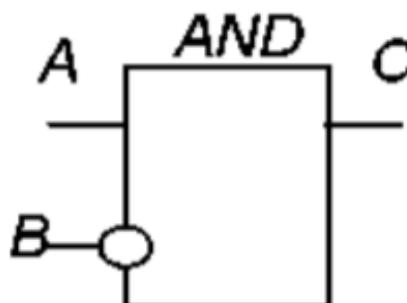
Instruction List (IL)

```
LD      A  
ANDN   B  
ST      C
```

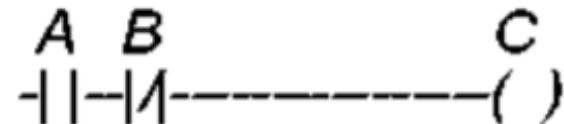
Structured Text (ST)

```
C:=A AND NOT B
```

Function Block Diagram (FBD)



Ladder Diagram (LD)

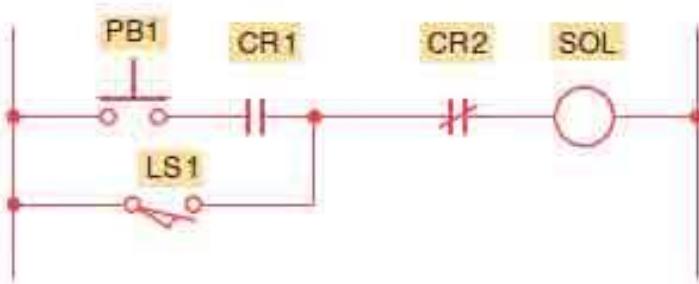


Ladder Diagram (LD)

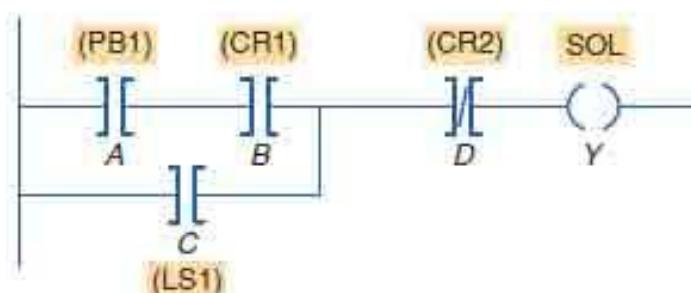
Програмният език Ladder Diagram (LD) е най-често използваният PLC език и е предназначен да имитира релейна логика на свързване. Този език е популярен за тези, които предпочитат да дефинират действията като управление на релейни контакти, намотки и други подобни функции като блокови инструкции.

Ladder Diagram (LD)

На фигурата е представена програма за управление на обект чрез релейна логика (а), нейното превъплъщение в Ladder диаграма чрез съответните символи (б), както и представянето ѝ чрез един от текстовите езици – Instruction List (IL)(с). За целта за управлението са използвани логическите оператори AND, OR и NOT.



(a) Hardwired relay control circuit



(b) Equivalent ladder diagram (LD) program

START	PB1
AND	CR1
OR	LS1
AND NOT	CR2
OUT	SOL

(c) Equivalent instruction list (IL) program

Functional Block Diagram (FBD)

Програмирането на функционална блок диаграма (FBD) използва инструкции, които са представени като свързани по между си блокове, обозначени за изпълнение на определени функции от системата за управление. Основните по вид функционалните блокове биват блокове от логически тип, таймери и броячи. Функционалните блок диаграми са подобни по оформление на електрически/електронни блок-схеми, използвани за представяне на сложни в своята обвързаност системи за управление чрез показване на блокове от функционалност.

Functional Block Diagram (FBD)

Основната концепция за изграждането на функционална блок диаграма (FBD) е свързана с представянето на преместването на потока от данни, чрез които се изпълняват необходимите действия в системата за управление. Потокът на данни във FBD протича еднопосочно от входовете, чрез функционални блокове или инструкции, където се залагат управляващи алгоритми, като след това обработените данни се подават към изходите на FBD.

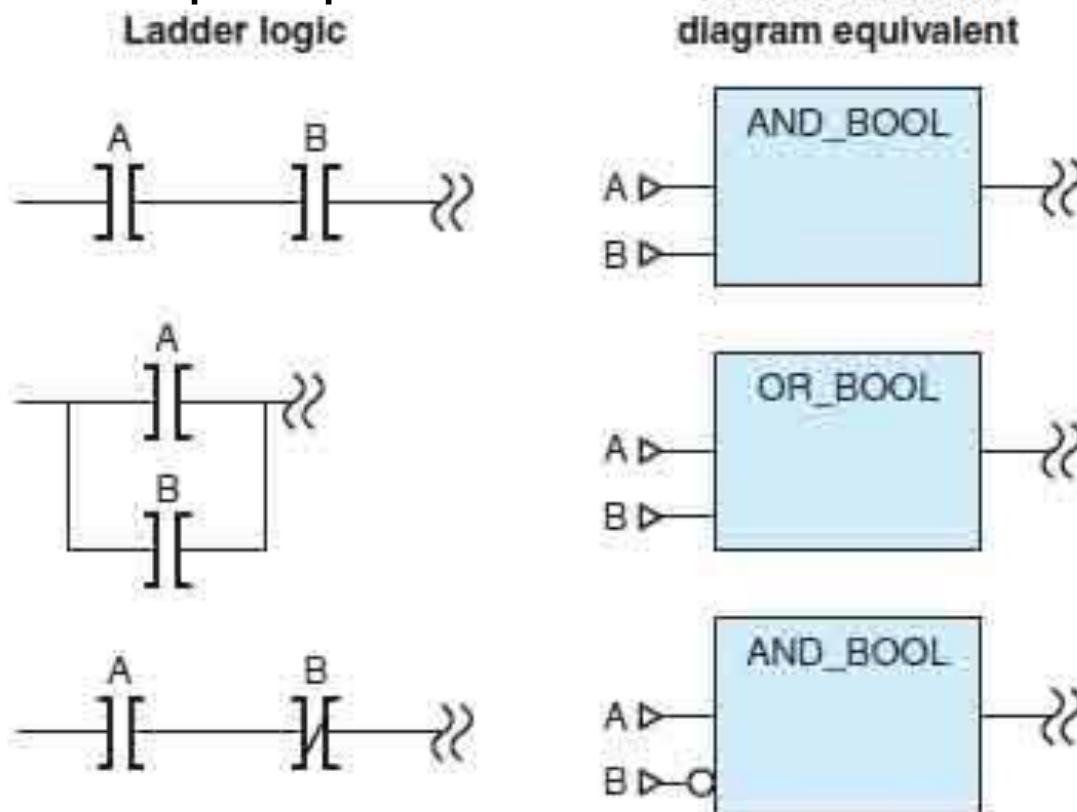
Програмирането чрез функционални блокове на програмируеми логически контролери намира широко приложение в автоматизираните системи.

Functional Block Diagram (FBD)

Вместо класическото представяне на схемите за управление чрез контакти, сензори и бобини или с Ladder диаграми функционалните блокове дават възможност за представяне чрез графично изображение на програмната среда с използването на базови алгоритми, които вече са предварително дефинирани. Операторът (програмист) попълва необходимата информация в рамките на функционалният блок, като по този начин оформя различните фази от изграждането на управляващата програма.

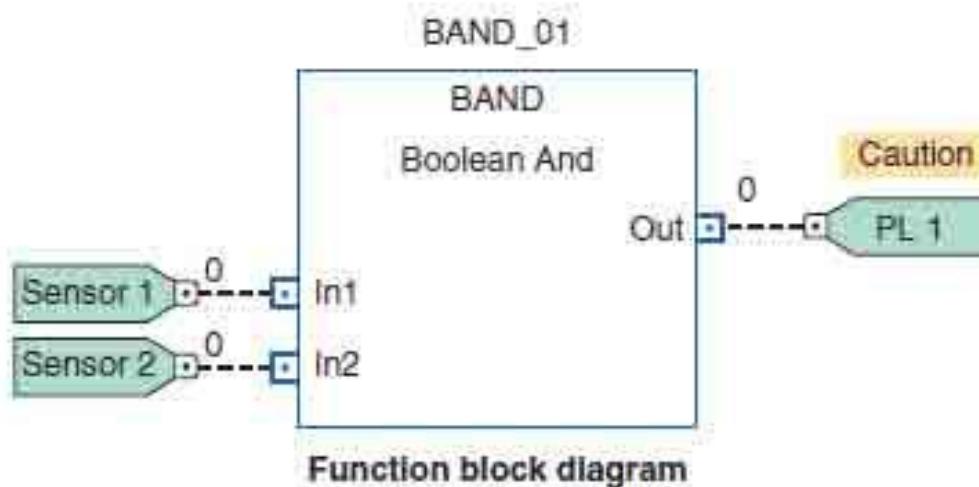
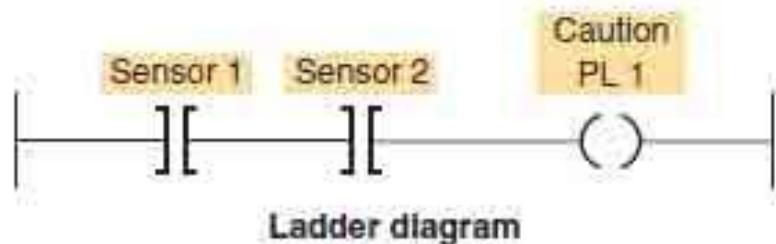
Functional Block Diagram (FBD)

На фигурата са представени еквивалентни функционални блокове на съответстващи Ladder логически оператори.



Functional Block Diagram (FBD)

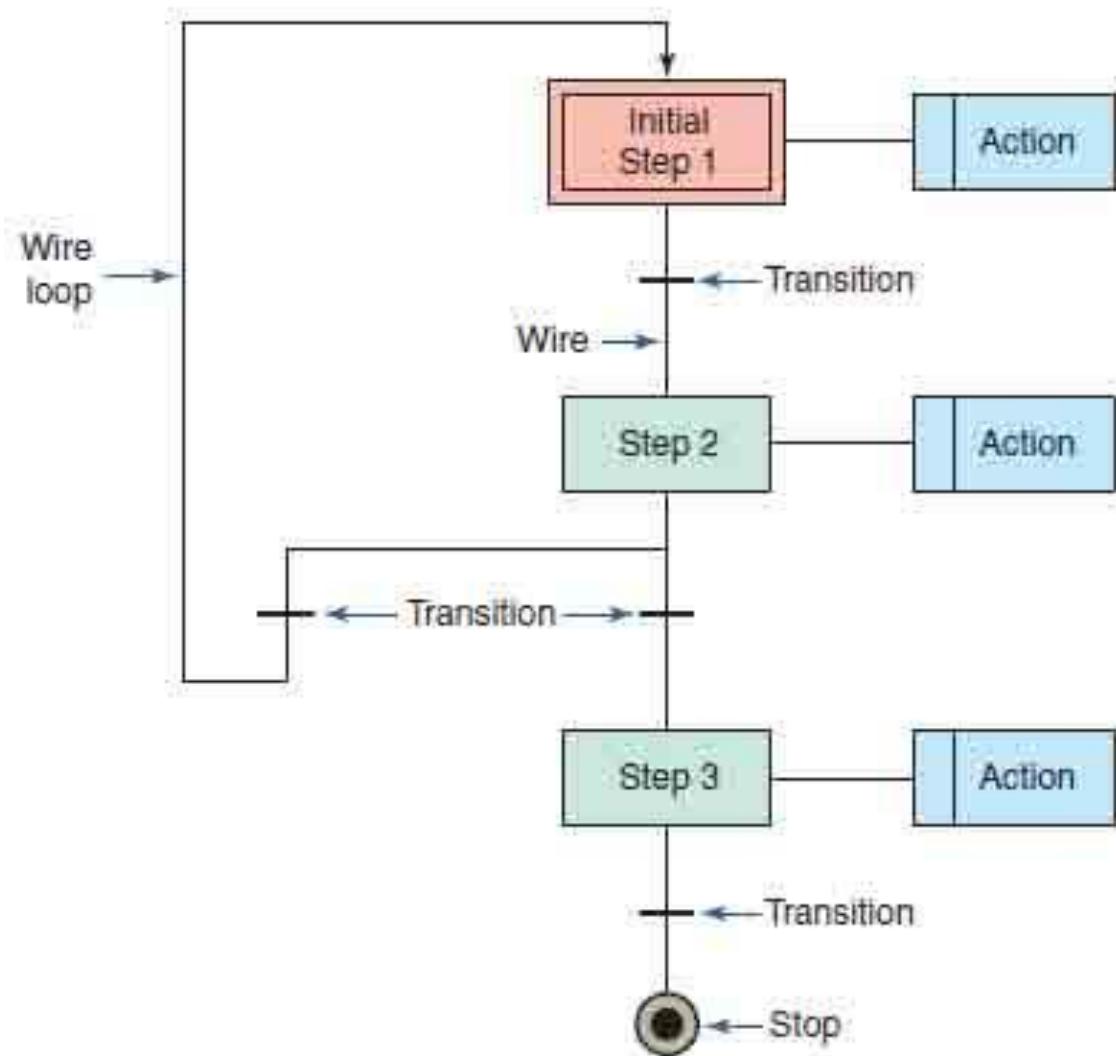
На тази фигура са представени Ladder диаграма за включване на обект (пилотна лампа) и еквивалентата им функционална блокова диаграма (FBD).



Functional Block Diagram (FBD)

Езикът за програмиране Sequential Function Chart (SFC) (диаграма на последователни функции) е подобен на графично представяне за изпълнението на даден процес. Програмирането чрез SFC намира приложение при проектиране на вече разработени и усъвършенствани процеси и цикли, като позволява разделянето на програмата на отделни стъпки от множество операции, които протичат последователно или паралелно във времето. Базовите елементи на една Sequential Function Chart диаграма са представени на следната фигура:

Functional Block Diagram (FBD)

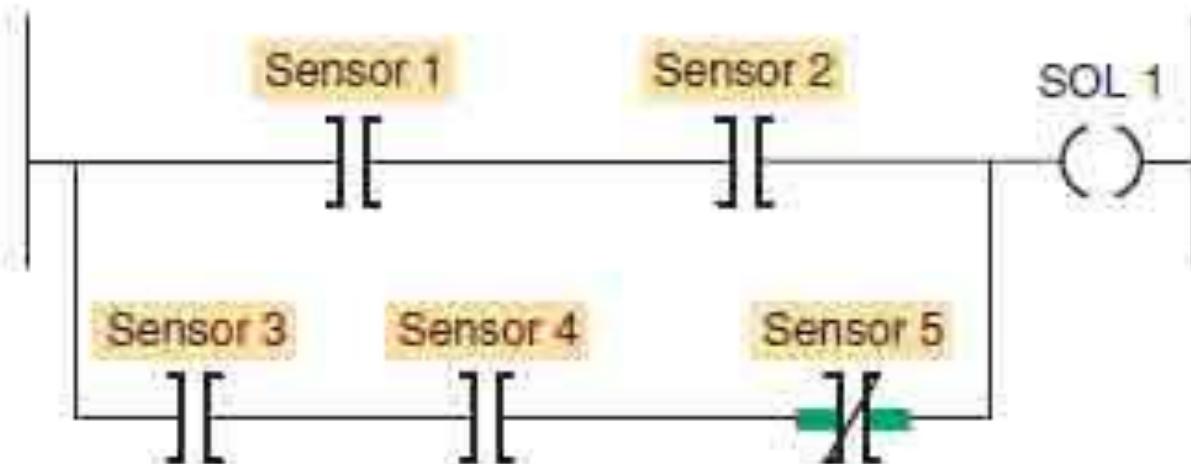


Structured Text (ST)

Structured Text (ST) е текстов език на високо ниво, който се използва за изпълнение на сложни процедури, които не могат да бъдат ясно представени чрез различните графични езици. Структурираният текст използва „изявления“, чрез които се определя какво е нужно да се изпълнява.

На следващата фигура е представено сравнение между програма, описана чрез структуриран текст и чрез Ladder диаграма, която се ползва за получаване на един и същ логически изход.

Structured Text (ST)



Ladder diagram (LD) program

```
IF Sensor_1 AND Sensor_2 THEN  
    SOL_1 := 1;  
ELSEIF Sensor_3 AND Sensor_4 AND NOT Sensor_5 THEN  
    SOL_1 := 1;  
ENDIF;
```

Structured text (ST) program

Инструкции от релеен тип

Програмният език Ladder Diagram (LD) по същество е символен набор от инструкции, които се използват при създаване на програмните алгоритми за изпълнение на управляващите програми при логическите контролери. Тези инструкции (под формата на символи) се подреждат по начин, съответстващ на логиката за управление, която е необходимо да бъде въведена в паметта на PLC. Тъй като наборът от инструкции се състои от основно от символи за различни по вид контакти, то езикът **Ladder Diagram** се определя в категорията на езиците с т. н. **контактна символология**.

Инструкции от релеен тип

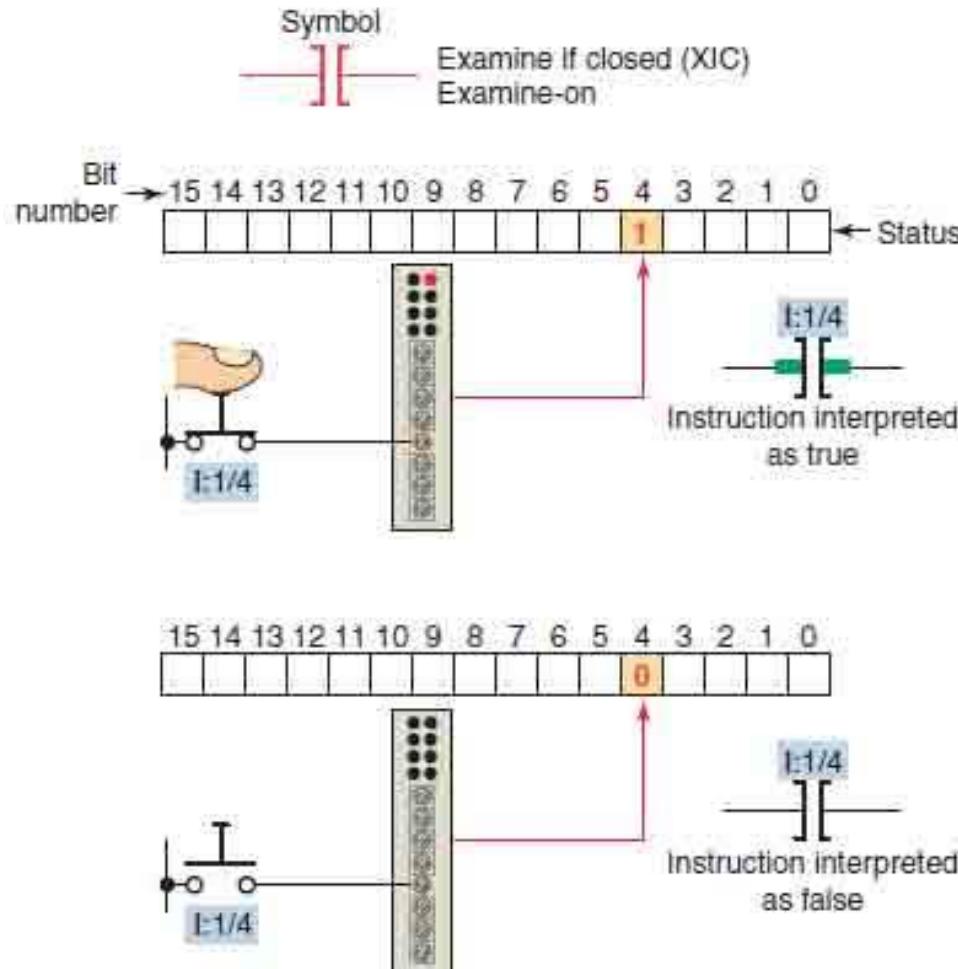
Представянето на контакти и намотки са основните символи от набора инструкции, използвани в схемата на Ladder диаграмите. Трите фундаментални символи, които се използват в контактна символна логика, са

- Examine If Closed (XIC) – нормално отворен контакт;
- Examine If Open (XIO) – нормално затворен контакт;
- Output Energize (OTE).

Всеки от тези инструкции заема един бит от паметта на PLC, като локалното място на тази памет се определя от адреса на инструкцията.

Инструкции от релеен тип

Пример за Examine If Closed (XIC) инструкция:



Инструкции от релеен тип

Инструкцията от релеен тип XIC, която се нарича още инструкция Examine-on, изглежда и работи като нормално отворен контакт на релето. Тази инструкция изисква от процесора на PLC да провери дали контактът е затворен. Това се установява чрез записаната стойност като бит (1 или 0) в място от паметта, посочено от съответният адрес. Битът в паметта е със стойност 1 или 0 в зависимост от състоянието на входното (физическо) устройство или от вътрешният (логически) адрес на релето, свързано с този бит.

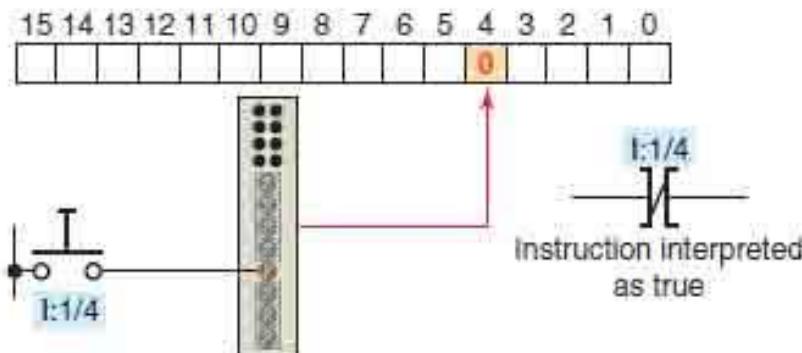
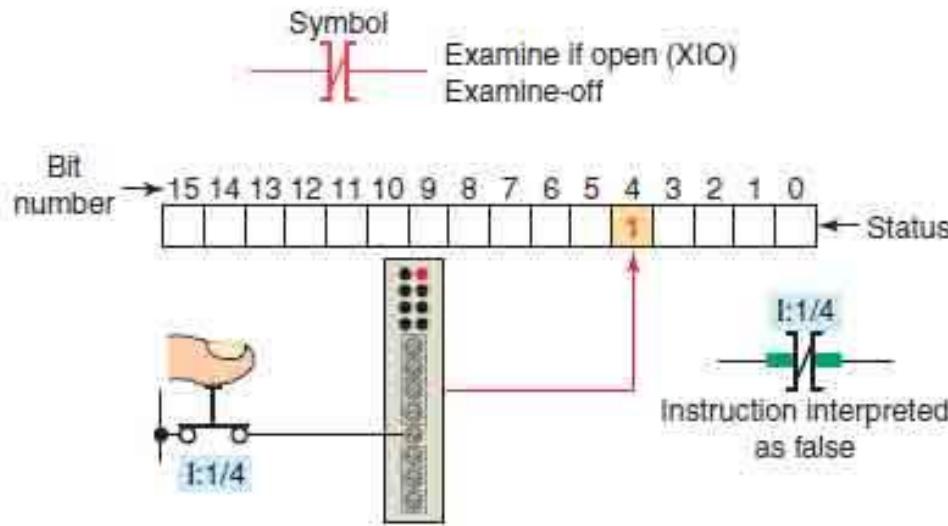
Инструкции от релеен тип

- 1 съответства на статус „истина“ (true) или включено състояние.
- 0 съответства на статус „неистина“ (false) или изключено състояние.

Когато “Examine-on” инструкцията е свързана с физическият вход на устройството, то стойността на инструкцията ще бъде настроена за 1, когато на физическият вход бъде подадено напрежение и 0 – когато не е подадено напрежение на този вход.

Инструкции от релеен тип

Пример за Examine If Open (XIO) инструкция:



Инструкции от релеен тип

Инструкцията от релеен тип XIO, която се нарича още инструкция Examine-off, изглежда и работи като нормално затворен контакт на релето. Тази инструкция изисква от процесора на PLC да провери дали контактът е отворен. Това се установява чрез записаната стойност като бит (1 или 0) в място от паметта, посочено от съответният адрес. Битът в паметта е със стойност 1 или 0 в зависимост от състоянието на входното (физическо) устройство или от вътрешният (логически) адрес на релето, свързано с този бит.

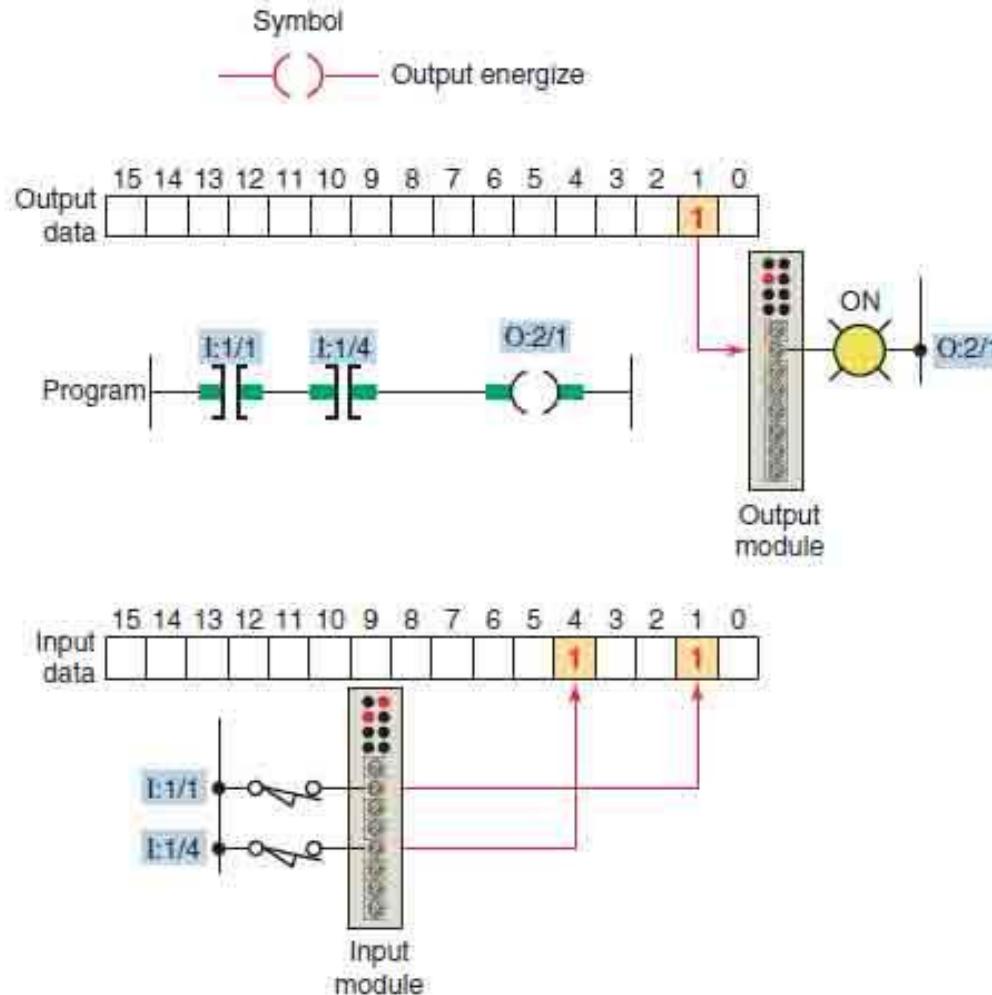
Инструкции от релеен тип

- 1 съответства на статус „истина“ (true) или включено състояние.
- 0 съответства на статус „неистина“ (false) или изключено състояние.

Когато “Examine-off” инструкцията е свързана с физическият вход на устройството, то стойността на инструкцията ще бъде настроена за 1 и ще е със статус „неистина (false)“, когато на физическият вход бъде подадено напрежение и 0, където инструкцията ще бъде със статус „истина (true)“ – когато не е подадено напрежение на този вход.

Инструкции от релеен тип

Пример за Output Energize (OTE) инструкция:



Инструкции от релеен тип

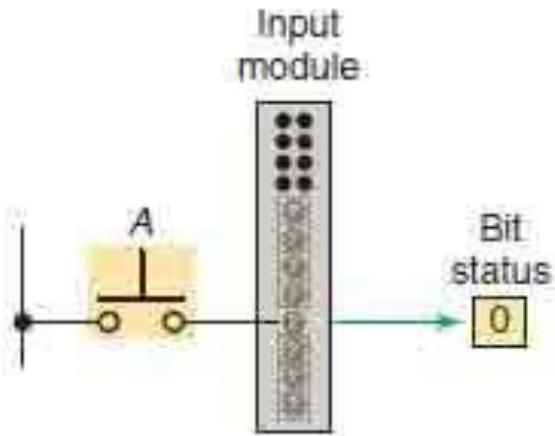
Инструкцията за ОТЕ изглежда и работи като намотка на бобина и е свързана отново с един бит памет. Тази инструкция сигнализира PLC за включване или изключване на захранването на изхода на веригата.

Процесорът приема тази инструкция за вярна (съответстваща на подаване на напрежение към бобина), когато има реализиран логичен път от XIC и XIO инструкции със статус „истина (true)“ на клона (стъпалото) на електрическата верига.

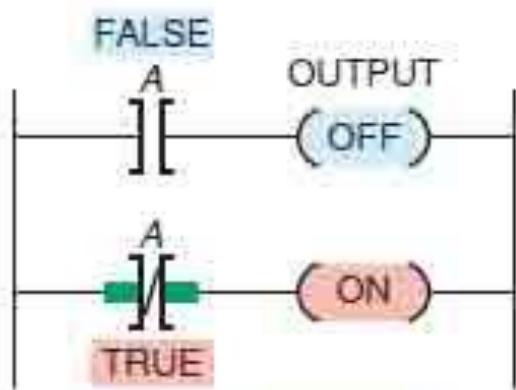
Инструкции от релеен тип

Действието на инструкцията Output Energize може да бъде обобщена чрез следните възможни състояния – битът в паметта на контролера на изхода (според зададеният адрес) при зададена стойност 1 захранва с напрежение изхода, т.е. включва устройството, свързано с този изход и при зададена стойност 0 не захранва с напрежение изхода, т.е. деактивира го и съответно включеното към този изход устройство не се включва, т.е. остава изключено.

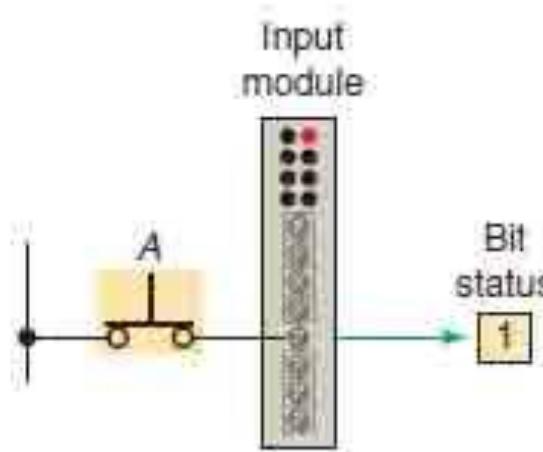
Инструкции от релеен тип



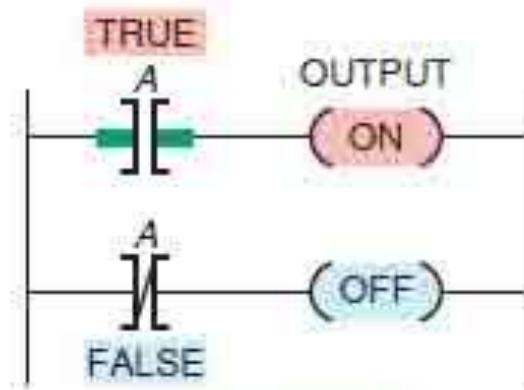
Ladder logic program



Button not actuated



Ladder logic program



Button actuated

Аналогия

между нормално
отворени (НО) и
нормално
затворени (НЗ)
контакти и бит
статусът (1 или 0)
в паметта на PLC.

Инструкции от релеен тип

Основната функция при програмирането чрез Ladder диаграми е да се управляват изходите на системата въз основа на входните условия, които постъпват в нея. Този начин на управление се представя в графичен вид и има вид на стълба (ladder).

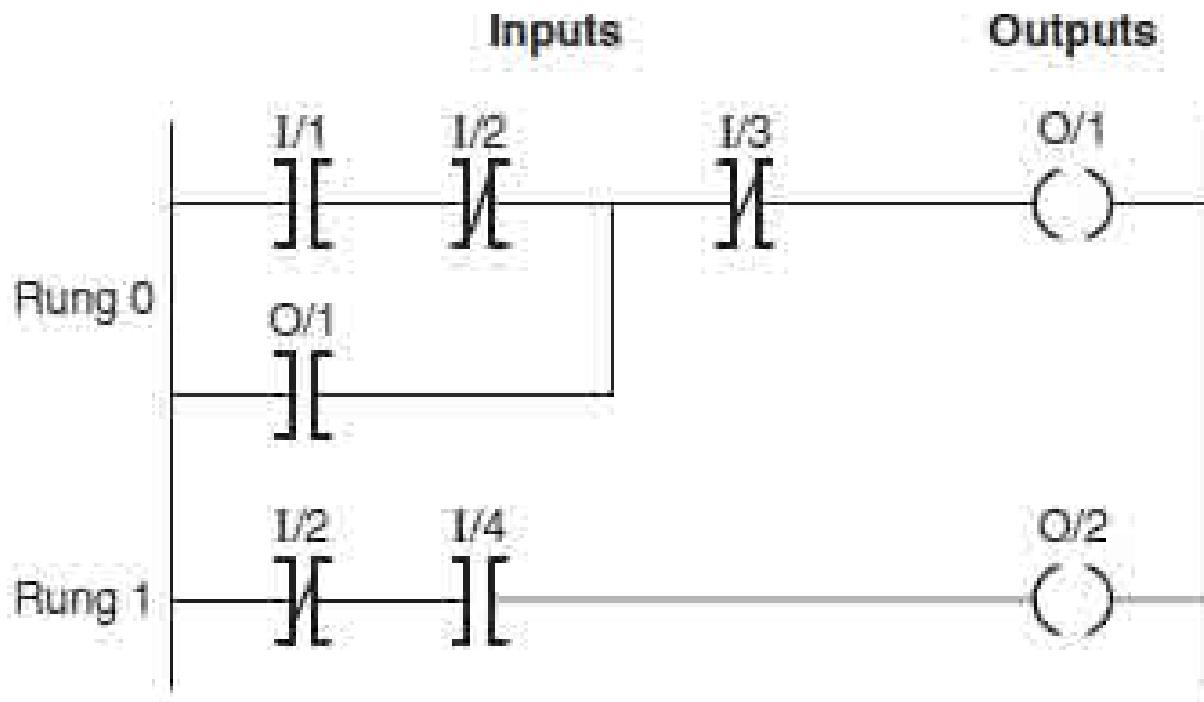
В тази стълба всяко стъпало се състои от набор от представени условия на въвеждане чрез инструкции за видовете контакти, постъпващи на входа и изходна инструкция в края на стъпалото, представено от символ на бобина.

Инструкции от релеен тип

Всеки символ за контакт или бобина се посочва с адрес в паметта на PLC, където се идентифицира като състояние. Броят на включените в стълбата изходни устройства, както и на входните и изходни инструкции са ограничени само от размера на паметта на контролера. Повечето PLC позволяват повече от един изход на стъпало.

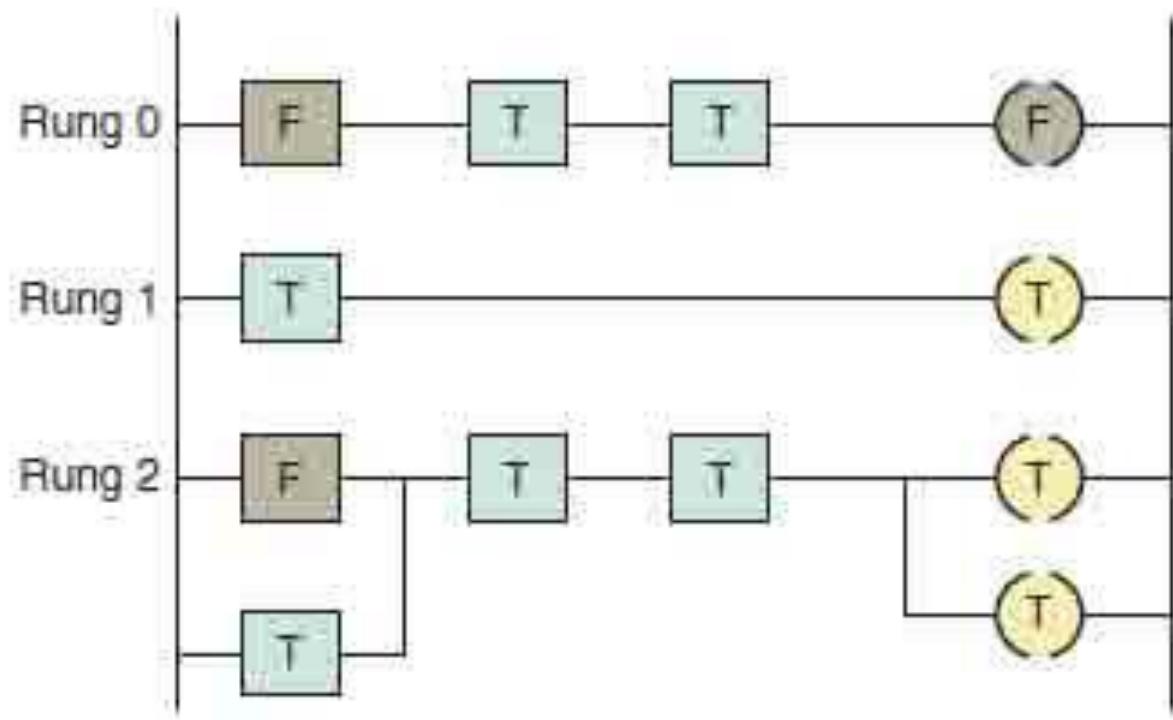
Инструкции от релеен тип

Примерна Ladder логическа диаграма с няколко стъпала.



Инструкции от релеен тип

Когато във всяко стъпало е възможно да протича напрежение, то се приема че в Ladder диаграмата е налична логична приемственост.

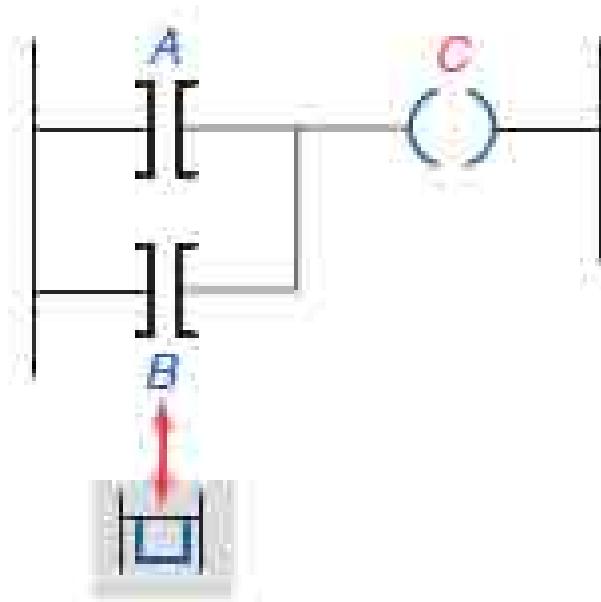


Разклоняване на инструкции от релеен тип

Техниката за разклоняване на инструкции се използва при създаване на паралелни клонове (ИЛИ условие) за удовлетворяване на въведени условия. По този начин се позволява въвеждането на повече от една комбинация от входни условия за установяване на логическа приемственост в едно стъпало.

Разклоняване на инструкции от релеен тип

На фигурата е представен пример за въвеждане на две инструкции с помощта на оператор ИЛИ за един клон от Ladder диаграма. Стойността на изхода C ще бъде *true*, ако някоя от входните инструкции A или B е *true*.

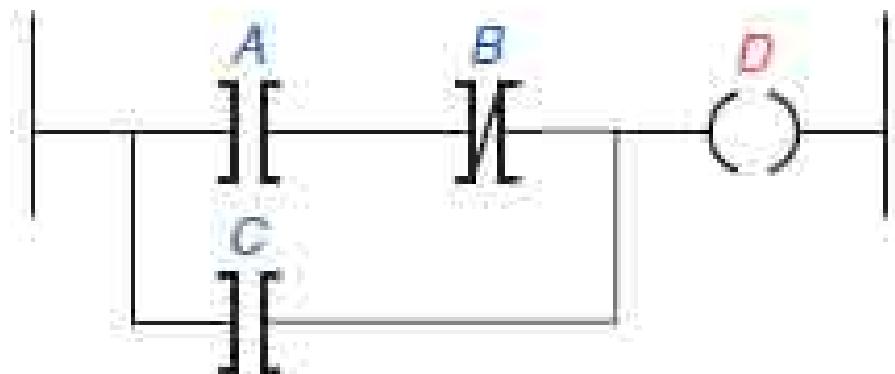


Разклоняване на инструкции от релеен тип

Входно разклоняване чрез образуване на паралелни клонове може да се използва във всяка приложна програма, така, че да позволи повече от една комбинация от входни условия. Ако поне един от тези паралелните клонове образуват логически път със стойност true, т.е. логиката на стъпалото е true, то на изходът ще бъде подадено напрежение. Ако никой от паралелните клоновете не реализира такъв логически път, то логиката на непрекъснатост не е установена и на изходът няма да бъде подадено напрежение.

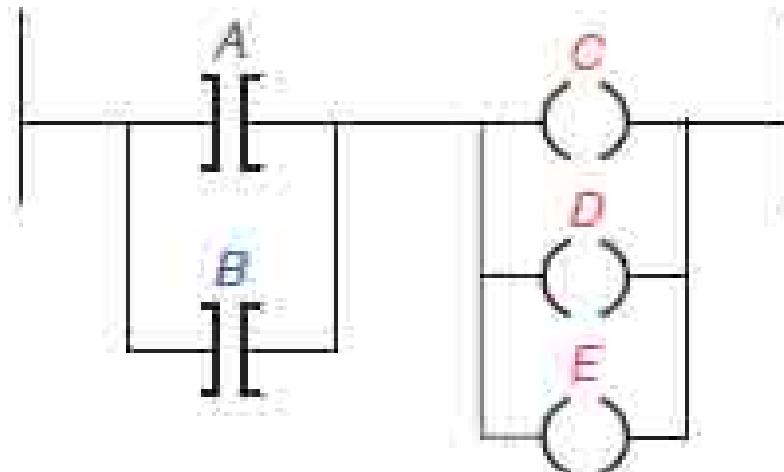
Разклоняване на инструкции от релеен тип

В примера, показан на фигурата, или A и B, или C осигуряват логическа приемственост и захранват изхода D.



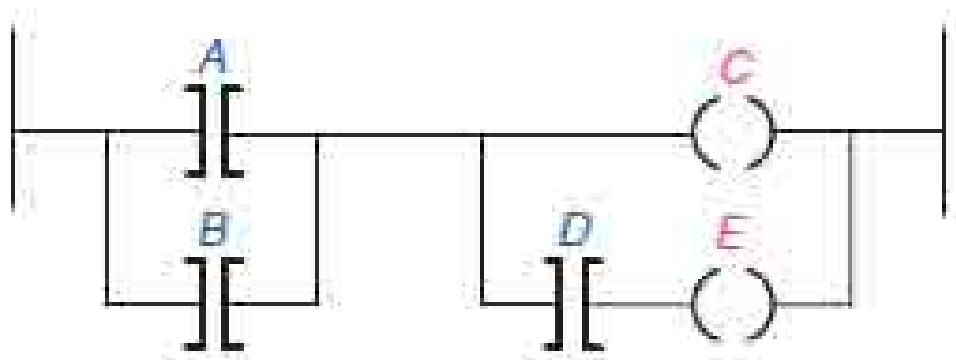
Разклоняване на инструкции от релеен тип

При повечето модели на PLC е възможно да се реализират клонове както на входната, така и на изходната част на стъпалото. По този се позволява да се програмират паралелни изходи към повече устройства, които удовлетворяват едни и същи входни условия.



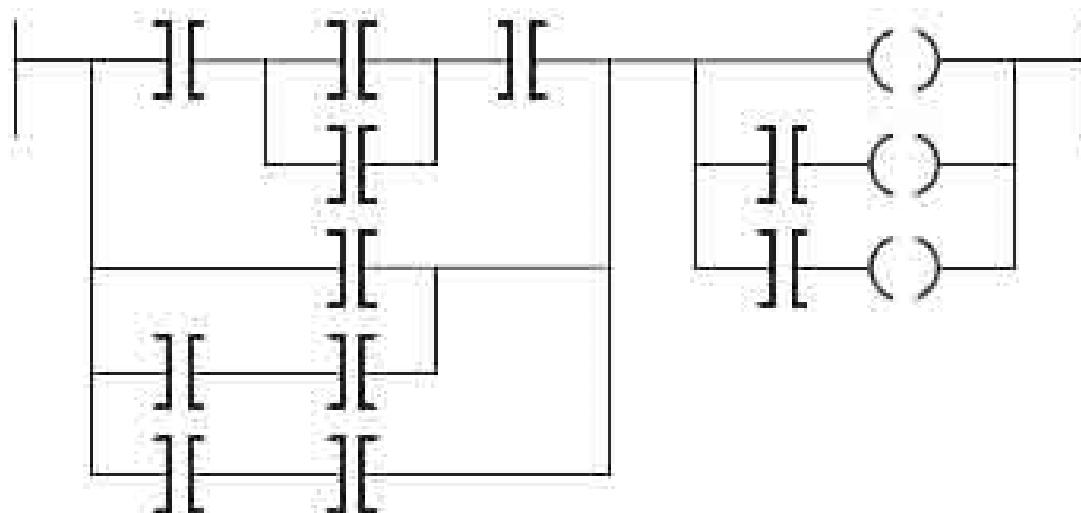
Разклоняване на инструкции от релеен тип

По този начин е възможно прилагането на различни вариации – на примера логическият път за устройство С се реализира чрез true за А или В, а за устройство Е – true за А и D или В и D.



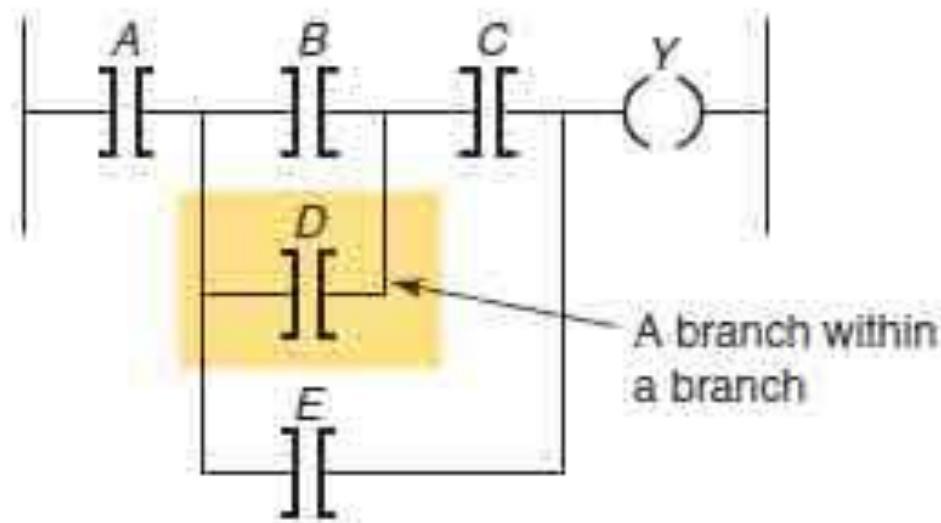
Разклоняване на инструкции от релеен тип

Входните и изходните клонове могат да бъдат изградени като мрежа, за да се избегне добавянето на излишни инструкции и за ускоряване времето на сканиране на процесора на контролера. На фигурата е представен такъв пример.



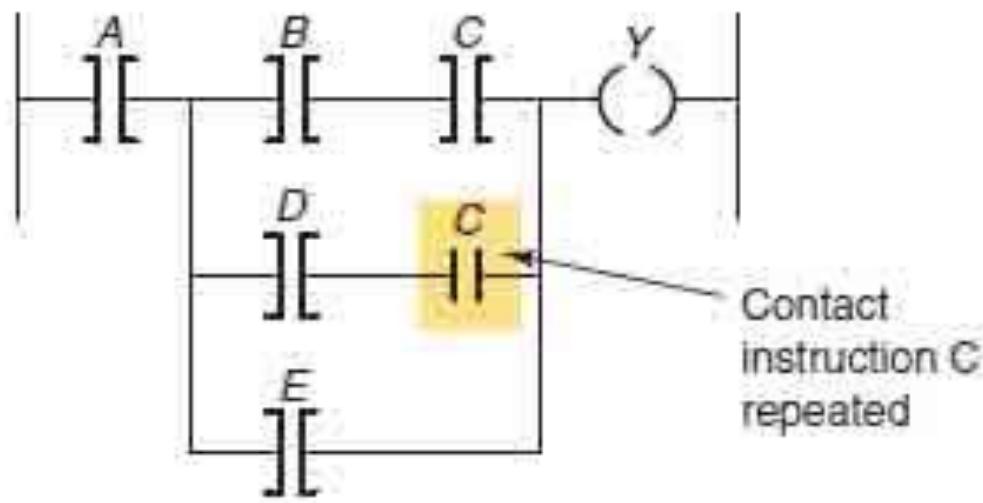
Разклоняване на инструкции от релеен тип

В някои модели PLC модели, програмирането на допълнителен клон в разклонителна верига не може да се извършва директно. На фигурата е показан подобен случай.



Разклоняване на инструкции от релеен тип

Възможно е обаче да се програмира логично еквивалентно условие на разклоняване, с добавяне на контакт (в случая C), като по този начин се избягва случая на „мрежа в мрежа“ от предишната фигура.

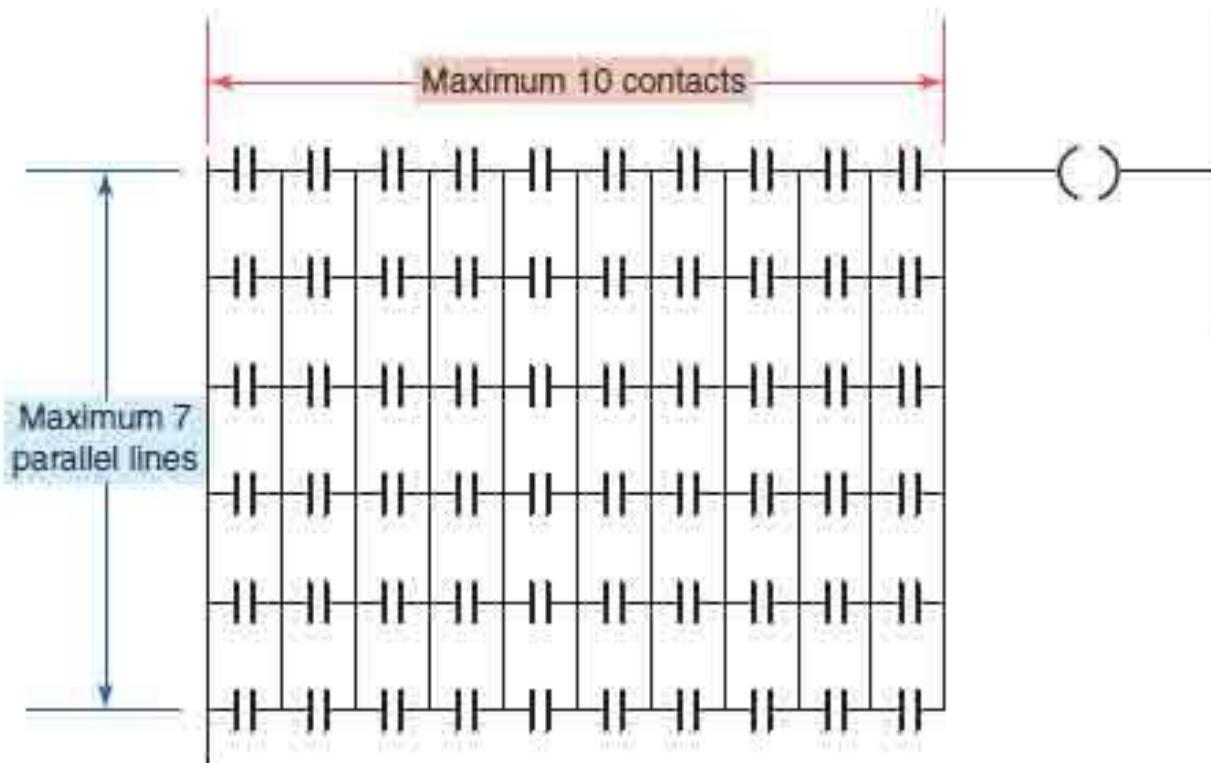


Разклоняване на инструкции от релеен тип

Някои производители на PLC практически нямат ограничения за допустимост на серийни елементи, паралелни разклонения или изходи. При други производители може да има ограничения за броя инструкции, които могат да бъдат включени в едно стъпало на Ladder диаграмата, както и ограничения за броя на успоредните разклонения. Въщност единственото ограничение за броя на стъпалата в Ladder диаграмите е размерът на паметта на контролера, което довежда до ограничения на матрицата на PLC.

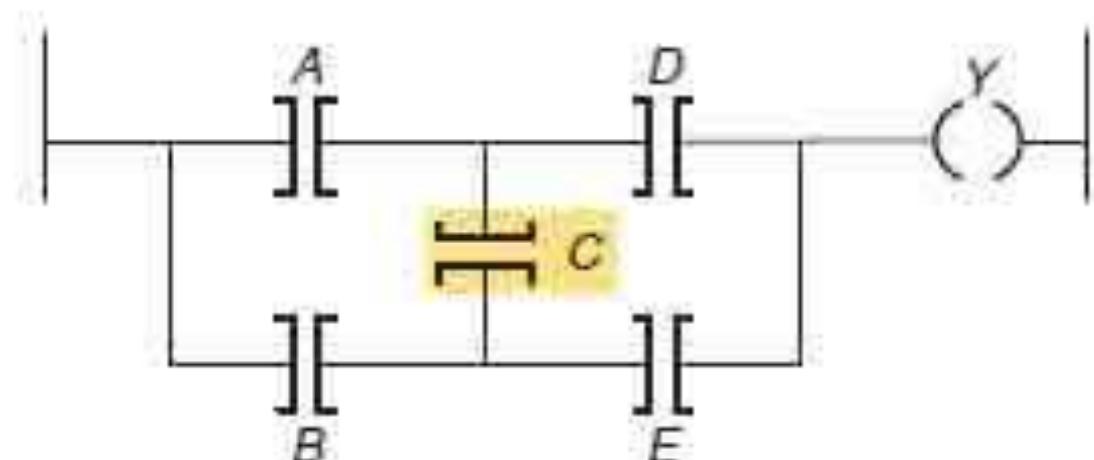
Разклоняване на инструкции от релеен тип

Пример с ограничена матрицата на PLC, която позволява до 10 инструкции на ред и до 7 паралелни клона за един клон на изход.



Разклоняване на инструкции от релеен тип

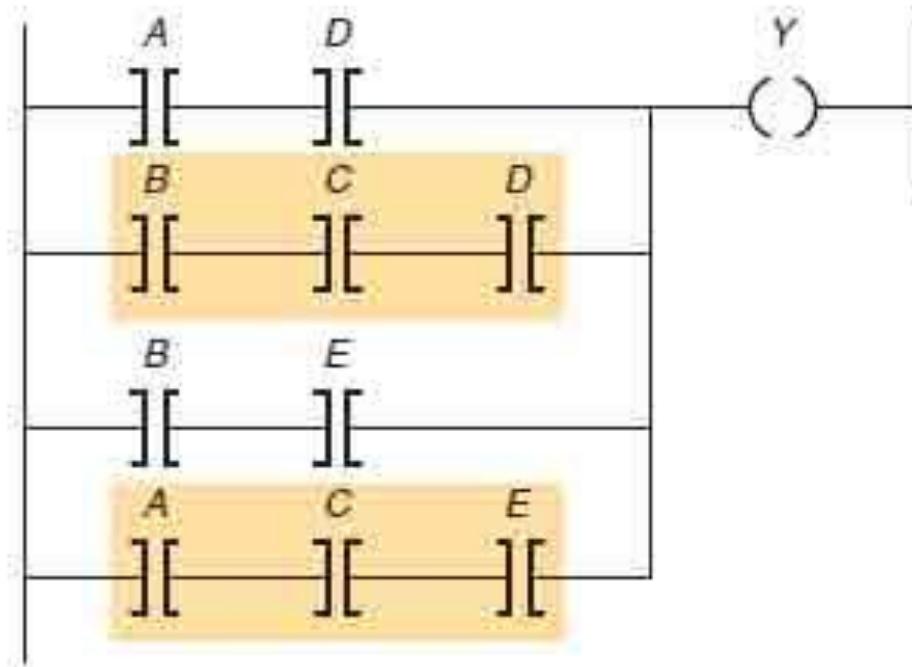
Друго ограничение при програмирането на разклонени вериги е когато PLC не позволява въвеждане на вертикален елемент на инструкция – контакт C от представената фигура.



Boolean equation: $Y = (AD) + (BCD) + (BE) + (ACE)$

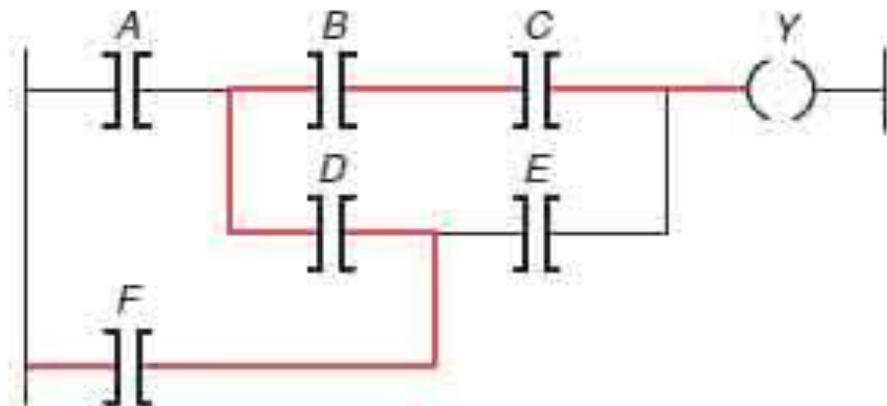
Разклоняване на инструкции от релеен тип

За решаване на проблема е нужно препрограмиране на логическият път, като решение на този проблем е представено на тази фигура.



Разклоняване на инструкции от релеен тип

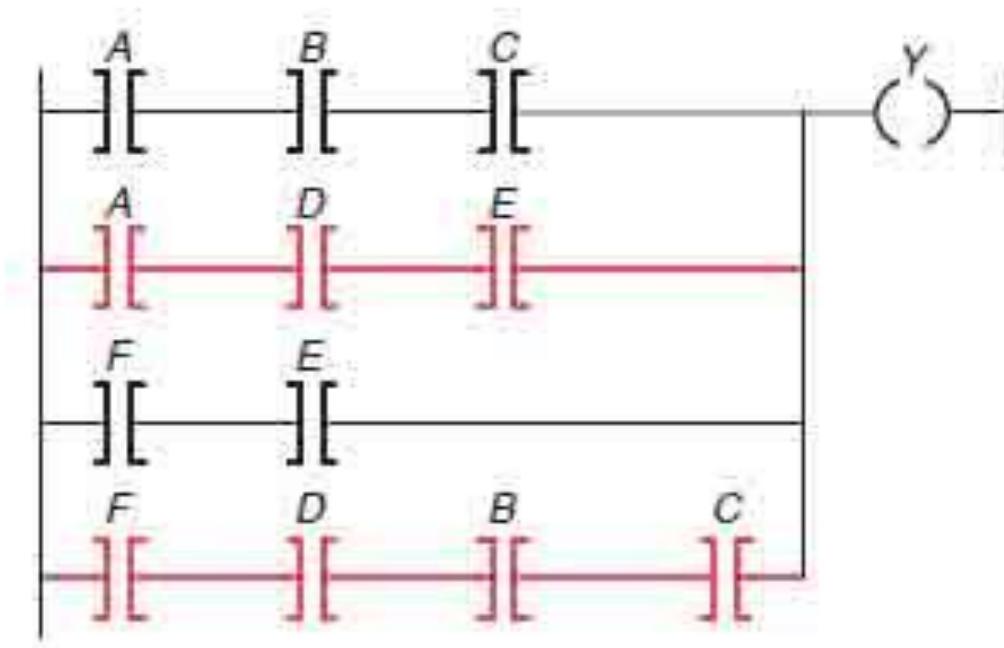
Процесорът изследва описаната логика в Ladder диаграмите само отляво надясно и отгоре надолу, като не позволява движение отдясно наляво. При ситуация, представена на тази схема, логическият път FDBC ще бъде игнориран.



$$\text{Boolean equation: } Y = (ABC) + (ADE) + (FE) + (FDB)$$

Разклоняване на инструкции от релеен тип

Решението е представено чрез препрограмиране в еквивалентна Ladder диаграма, където този проблем е решен успешно с добавянето на допълнителни успоредни разклонения.



Програмиране на PLC

Програмирането на PLC се осъществява посредством специализирани софтуерни продукти. Големите производители на програмируеми логически контролери обикновено предлагат специализиран софтуер към техните продукти (Siemens, Allen-Bradley, Schneider Electric и др.), като също така на пазара се предлагат софтуерни продукти и от независими производители, като едни от масово използваните такива са Codesys, IsaGRAF, FACTORY I/O и др.

Програмиране на PLC

Codesys (Controller Development System) включва набор от програми за програмиране на PLC и отстраняване на възникнали грешки. Софтуерният пакет е разделен на две основни части – среда за разработване на управляваща програма и среда за нейното изпълнение, намираща се в контролера. Включени са графически и текстови редактори, позволяващи програмиране и с основните IEC 61 131 програмни езици.

Програмиране на PLC

Програма, написана на някой от IEC езиците се компилира в **Codesys** като машинен код. Машинният код се зарежда в програмируемият логически контролер (PLC), след което чрез използване на специализирани функции и инструменти се отстраняват възникналите грешки. При отсъствие на реален контролер, отстраняването на грешки може да се извърши през емулятор, вграден в софтуерния пакет.

Програмиране на PLC

IsaGRAF също като Codesys се състои от среда за разработване на програма и среда за нейното изпълнение. Включени са графически и текстови редактори, позволяващи програмиране и с петте описани по-горе IEC езици, а също така позволява да се работи и с модифицираните функционалните блокове, използвани в следващият след IEC 61 131 стандарт – IEC 61 499.

Програмиране на PLC

Софтуерният пакет **FACTORY I/O** представлява виртуална 3D среда за моделиране на автоматизирани производствени участъци, управявани от програмируеми логически контролери (PLC). Чрез софтуерният пакет е възможно да се реализира управлението на различни по тип производствени сценарии, които се базират на използването на определен тип програмируеми контролери, като се използват езици за програмиране, описани в стандарта IEC 61 131.

Програмиране на PLC

Също така софтуерният пакет **FACTORY I/O** позволява да се използва и при обучение и проектиране на системи като HMI (Потребителски интерфейс), SCADA (Система за контрол, визуализация и събиране на данни), MES (Производствена изпълнителна система) и ERP (Планиране на ресурсите на предприятието). Вградените I/O драйвери позволяват бързо и лесно свързване с програмируеми логически контролери (PLC) на Siemens, Allen-Bradley и Schneider Electric.

Програмиране на PLC

Управление на автоматизиран производствен процес в софтуерният пакет FACTORY I/O с помощта на програмируем логически контролер (PLC) на Siemens.



Програмиране на PLC

Графичният потребителски интерфейс CONTROL I/O, вграден в програмният продукт позволява да се моделира и управлява автоматизиран производствен участък дори и без наличие на физически програмираме логически контролер (PLC), като за целта се разработват управляващи алгоритми, на базата на един от езиците на програмиране – Functional Block Diagram – FBD.

**Благодаря за Вашето
внимание!**

Въпроси?