

К. ИОНОВ

# ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МЕХАНИЗМИ И МАШИНИ

---

УЧЕБНИК ЗА  
ТЕХНИКУМИТЕ

СПЕЦИАЛНОСТ  
АВТОМАТИЗАЦИЯ  
НА ПРОИЗВОДСТВОТО



ТЕХНИКА

Учебникът е предназначен за специалността автоматизация на производството, изучавана в техникумите. В него са разгледани основните принципи на електрозадвижването и управлението на машините и механизмите, както и типови системи за автоматизация на някои от най-широко разпространените производствени машини и механизми (кранове, асансьори, металорежещи машини и др.). Материалът е изложен съобразно със знанията на учениците за устройството и принципа на действие на основните видове електрически машини и апарати.

Учебникът е одобрен от МНП по предложение на комисия в състав:

Председател — доц. к. т. н. инж. Светослав Йорданов  
Членове — инж. Стоян Бояев и инж. Невена Петрунова —  
рецензенти; инж. Васяла Парчева от МНП, инж. Пламен  
Гъмизов и инж. Мариана Рихтер от ДИ „Техника“.

## УВОД

### 1. АВТОМАТИЗАЦИЯТА — ОСНОВНО НАПРАВЛЕНИЕ НА СЪВРЕМЕННАТА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКА РЕВОЛЮЦИЯ

За решаване на задачите за изграждане на развитото социалистическо общество, за създаване на неговата материално-техническа база и за интензификация на общественото производство изключително голямо значение има непрекъснатият, динамичен технически прогрес във всички области на народното стопанство. Той се изразява в прогресивно развитие на техниката за производство, която включва средствата на труда, предметите на труда и технологията на производството. Техническият прогрес се развива в няколко основни направления — електрификация, химизация, комплексна механизация и автоматизация на производството и др.

Автоматизацията заема особено място сред другите направления на съвременната научно-техническа революция. До етапа на автоматизацията човек прехвърля на техниката само определени физически функции. Автоматизацията започва с определянето на определени умствени функции в процеса на управление, т. е. с предаването на тези функции на автоматично действащи машини, механизми и системи в процеса на управлението.

Автоматичните устройства не само заместват човека в управлението на процесите. Те решават принципно нови задачи, които човек поради ограничените си възможности (скорост на реагиране, обем на паметта, скорост на обработването на информация) не е в състояние изобщо да си постави. Космическите полети, атомните електроцентрали, сложните химични процеси са немислими без използването на технически устройства, които изпълняват отговорни задачи в управлението на тези процеси.

Автоматизацията решава и важни социални задачи, като освобождава работниците от тежък физически и вреден за здравето труд, от монотонни, еднообразни операции, прави техния труд значително по-съдържателен и творчески. Тя е важна предпоставка за по-нататъшната интелектуализация на производството.



## 2. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ ИЗ ОБЛАСТТА НА АВТОМАТИЗАЦИЯТА

Формите и развитието на автоматизацията се определят от характера на технологичните процеси.

Под технологичен процес ще разбираме комплекс от определени въздействия върху предмета на труда, в резултат на който той изменя положението си в пространството, геометричните си размери или физико-химичните си качества. Различаваме два основни типа технологични процеси: *непрекъснати* и *дискретни* (прекъсваеми).

*Непрекъснатите технологични процеси* се характеризират с непрекъснато въздействие върху предмета на труда до пълната му обработка. Обикновено те са свързани с физико-химични въздействия (температура, налягане, химични взаимодействия) и готовият продукт е най-често някакво вещество или материал с определени свойства. Непрекъснати процеси най-често се срещат в химическата, нефтопреработващата, целулозно-хартиената промишленост. За тях е характерно използването на специализирани технологични агрегати с определено предназначение (печи, конвертори, агрегати за синтез, варилни агрегати, инсталации за вакуум и др.).

*Дискретните (прекъсваеми) технологични процеси* се характеризират с това, че въздействието върху предмета на труда се осъществява само в определени работни места (позиции). През време на транспортването на предмета на труда от едно работно място на друго той не претърпява никакви въздействия. Готовият продукт представлява отделно, самостоятелно изделие. Дискретните технологични процеси се срещат най-често в машиностроенето (механична обработка, монтаж), електротехниката, електрониката, леката промишленост. Те се осъществяват от работни машини. Всяка от тях има *работни органи*, които в процеса на обработка на предмета на труда извършват комплекс от движения. От гледна точка на технологичния процес тези движения могат да се разделят на две основни групи: основни, при които се извършват необходимите въздействия върху предмета на труда (рязане, огъване и др.), и спомагателни, които не са свързани с непосредствена обработка (напр. подвеждане и отвеждане на инструменти, затягане, снемане и др.). Съвкупността от всички основни и спомагателни движения, които извършват работните органи за обработване на определен предмет (детайл, заготовка), представлява *работният цикъл* на машината.

В своето развитие автоматизацията преминава през няколко форми. Първата от тях е *частичната автоматизация* на производството. Тя се изразява в автоматизация на отделни технологични машини и агрегати, механизми, процеси.

Автоматизацията на управлението на всички основни и спомагателни процеси от постъпването на суровината до транспортването на готовата продукция (или полупродуктите) се нарича *комплексна автоматизация на производството*.

Когато автоматизацията обхваща освен производството и организационно-икономическата дейност на предприятието, говорим за *комплексна автоматизация на предприятието*.

В зависимост от участието на човека в процеса на управлението управляващите системи могат да се разделят на *автоматични* и *автоматизирани*.

В *автоматичните системи* всички процеси, свързани с получаване, преобразуване и използване на енергията, материалите и информацията, се извършват автоматично, без участие на човека. Неговите функции са свързани само с наблюдение и контрол върху функционирането на системата.

*Автоматизирани* се наричат системите, в които човекът изпълнява само някои функции, свързани с управлението на процеса. Такива са всички сложни системи за комплексна автоматизация и много от системите за частична автоматизация на отделни машини и агрегати. Участието на човека в тях се определя от редица фактори. Най-съществен са недостатъчната надеждност на много от техническите средства за автоматизация и твърде високата цена на напълно автоматичните системи, която често ги прави икономически неизгодни. Затова оптималното разпределение на функциите по управлението между човека и техническите системи с една от основните задачи при създаване на ефективни системи за автоматизация.

Въпреки че дискретните технологични процеси са значително по-стари в историята на човечеството и първите стъпки на автоматизацията са свързани с различни механизми, автоматизацията им изостава в сравнение с непрекъснатите. Понеже изпълнението на по-голяма част от операциите изисква точно пространствено ориентиране на обработвания предмет и инструментата, тези операции се изпълняват сравнително просто от човека, но автоматизацията им е трудна. Тя се усложнява и от огромното разнообразие на формите и размерите на изделията, получавани в резултат на дискретни технологични процеси.

В този учебник ще бъдат разгледани някои методи за автоматизация на производствените машини и механизми, които са основните елементи на дискретните технологични процеси. Тези методи, основани на прилагането на традиционните елементи на т. нар. „дискретна“ автоматика (релета, контактори, контактни управляващи устройства и др.), са в известен смисъл само началото на автоматизацията на тези процеси. За комплексната им автоматизация са необходими нови технически средства — съвременни управляващи машини, реализирани с микропроцесори.

### 3. ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕТО КАТО ОБЕКТ НА АВТОМАТИЗАЦИЯТА

Всяка работна машина се състои от три основни части: двигател, предавателен и изпълнителен (работен) механизъм. Най-съществена част е изпълнителният механизъм, който обединява всички работни органи на машината, въздействащи непосредствено върху предмета на труда.

Двигателят и предавателният механизъм привеждат в движение работния механизъм на машината. Затова те обикновено се обединяват под общото наименование задвижване. В зависимост от вида на задвижващия двигател различаваме *електрически*, *хидравлични*, *пневматични* и други видове задвижвания.

Несъмнените икономически и технически предимства на електрозадвижването успяха в сравнително кратък период да наложат електрическите двигатели като основен вид във всички отрасли на промишлеността. Докато мощността на електрическите двигатели през 1890 г. е била само 5 % от мощностите на всички промишлени двигатели, в 1930 г. тя е вече около 75 %, а сега е почти 100 %.

Широкото използване на електрическите двигатели оказва положително влияние на самите работни машини. Освен възможностите за максимално опростяване на конструкцията то позволява работа при най-изгодни условия и максимална автоматизация на всички операции, свързани с обслужването на машината, създаването на цели производствени комплекси (автоматичните линии, цехове и заводи).

Поради мястото и ролята на задвижването в работните машини твърде често тяхната автоматизация по същество се свежда до автоматизация на задвижването им. Същевременно автоматизираното задвижване е задължителен елемент на системите за автоматизация на машините и механизмите и е основа за комплексната автоматизация на технологичните процеси с дискретен (прекъснат) характер. Поради това основно място в учебника е отделено на въпросите, свързани с електрозадвижването и неговата автоматизация.

## ЧАСТ I ОСНОВИ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕТО

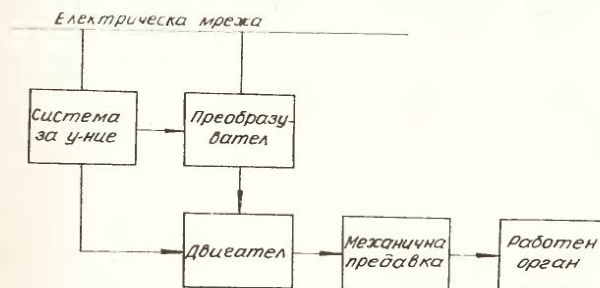
### 1.1. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ

#### 1.1.1. ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ. ВИДОВЕ

*Електрозадвижването* представлява в най-общ смисъл електромеханично устройство, което задвижва работните органи на производствените машини и механизми чрез преобразуване на електрическата енергия в механична.

На фиг. 1.1 е показана общата структура на електрозадвижването. Основен елемент в нея е двигателят, който преобразува електрическата енергия с определени параметри ( $U$ ,  $I$ ) в механична енергия, характеризираща се с въртящ момент  $M$  и ъгловата скорост  $\omega$ .

Крайно звено на системата за електрическо задвижване е работният орган на производствената машина. Между него и двигателя обикновено е включена някаква механична предавка, предназначава за съгласуване на момента и скоростта на двигателя



Фиг. 1.1. Обща структура на електрическото задвижване

с изискванията на работния механизъм. В ред случаи такава предавка не е необходима.

Двигателят най-често се захранва директно от електрическата мрежа, но в някои случаи това се извършва чрез преобразувател,



който изменя параметрите (напрежение, ток, честота) на захранването и така изменя параметрите на получената механична енергия.

Двигателят и преобразувателят се управляват от система за управление, която може да бъде изпълнена с най-разнообразни технически средства — от обикновени релета до ЦЕИМ — в зависимост от сложността на законите на управление.

Видове електрическо задвижване. Според броя на двигателите и съотношението им спрямо работните машини задвижването бива:

1. *Групово (трансмисионно)*. При тази система, която днес не се използва, един двигател задвижва чрез трансмисии всички работни машини в дадено предприятие или отделни групи от тях.

2. *Единично*. Всяка работна машина се задвижва от отделен двигател.

3. *Многодвигателно*. Отделните елементи на дадена машина, състояща се от много механизми, се задвижват от отделни двигатели.

Сега се използва почти изключително многодвигателното задвижване поради предимствата му:

облекчаване на конструкцията на машините чрез съкращаване на предавателните механизми между двигателя и задвижваните органи;

възможност за независимо регулиране на всеки работен орган, т. е. оптимално управление на работния цикъл.

В зависимост от степента на участие на човека в работата и управлението различаваме *ръчно, автоматизирано и автоматично електрическо задвижване*.

При ръчно или неавтоматизирано задвижване всички превключвания и регулирания в системата се извършват от човека в зависимост от условията на работа или изискванията на работните механизми. При автоматизираното задвижване част от тези операции се извършват автоматично от схемата за управление, а останалата — от човека. При автоматичното всички операции се извършват от схемата за управление без участие на човека.

### 1.1.2. МЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ДВИГАТЕЛИ И ПРОИЗВОДСТВЕНИТЕ МЕХАНИЗМИ

Механична характеристика на двигателя се нарича зависимостта между ъгловата скорост  $\omega$  и развивания от него въртящ момент  $M$ :

$$\omega = f(M).$$

Всяка механична характеристика се характеризира чрез *твърдостта си*, която се определя за даден участък с отношението

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{M_2 - M_1}{\omega_2 - \omega_1}, \quad (1.1)$$

където  $M_1, \omega_1$  и  $M_2, \omega_2$  са координатите на началната и крайната точка на участъка (фиг. 1.2).

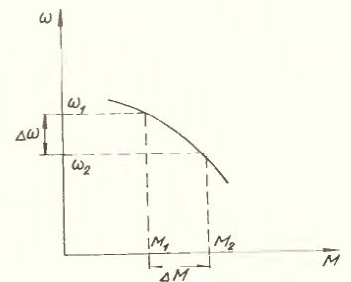
За сравнителни оценки и в практиката много често се използва *относителната твърдост*

$$\gamma = \frac{\Delta M / M_n}{\Delta \omega / \omega_0} = \beta \frac{\omega_0}{M_n} \quad (1.2)$$

и реципрочната ѝ стойност — *стръмнината*:

$$\alpha = \frac{1}{\gamma} = \frac{\Delta \omega / \omega_0}{\Delta M / M_n},$$

където  $\omega_0$  е скоростта при идеален празен ход, а  $M_n$  — номиналната стойност на въртящия момент.



Фиг. 1.2. Определяне на твърдостта на механичната характеристика

Ако се приеме, че  $M = M_n$ , то  $\alpha_n = \frac{\Delta \omega_n}{\omega_0}$  изразява *относителното изменение на скоростта при изменение на товара на двигателя от 0 до  $M_n$*  и почти винаги се измерва в %.

Всички двигатели, използвани в промишлеността, имат механични характеристики с отрицателна твърдост ( $\beta < 0$ ) в работните си участъци, т. е. с увеличение на въртящия момент скоростта намалява.

Твърдостта на механичната характеристика може да бъде еднаква във всяка нейна точка. Постоянна твърдост имат тези характеристики, за които зависимостта (1.1) е линейна. Такива са характеристиките на двигателите за постоянен ток с независимо възбуждане. Ако механичната характеристика е нелинейна, то твърдостта ѝ е различна в отделните ѝ точки. Такава е характеристиката на асинхронните двигатели, двигателите за постоянен ток с последователно възбуждане и др.

В зависимост от твърдостта различаваме три основни вида характеристики (фиг. 1.3).

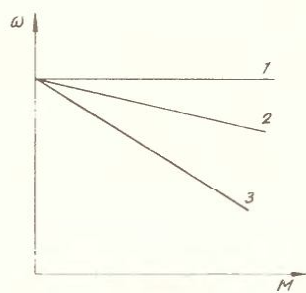
а. *Абсолютно твърди механични характеристики* (крива 1), за които  $\beta = \infty$  или  $\alpha = 0$ . Такава характеристика имат синхронните двигатели, поради което тя понякога се нарича *синхронна*.

б. *Твърди механични характеристики* (крива 2). Тяхната стръмност  $\alpha_n$  е до 10%. Характерни са за двигателите за постоянен ток с независимо възбуждане и за работния участък на асинхронните двигатели.

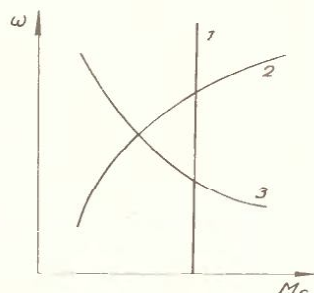


в. *Меки механични характеристики* (крива 3) със стръмност  $\alpha_n > 10\%$ . Характерни са за двигателите за постоянен ток с последователно (серийно) възбуждане.

Механичните характеристики на двигателите биват *естествени*



Фиг. 1.3. Видове механични характеристики на двигателите — абсолютно твърда (1), твърда (2) и мека (3)



Фиг. 1.4. Видове механични характеристики на производствените механизми

и *изкуствени*. Естествена е тази характеристика, при която зависимостта  $\omega = f(M)$  е определена при номинални параметри на захранващата мрежа, нормална схема на включване и липса на добавъчни съпротивления във веригите на двигателя. Изкуствена механична характеристика е зависимостта  $\omega = f(M)$ , получена при условия, различни от номиналните — промяна на свързването на намотките, включване на допълнителни елементи във веригите на двигателите или промяна на напрежението. Изкуствените характеристики, получени чрез включване на допълнителни съпротивления в силовата верига на двигателя, се наричат *реостатни*. Към изкуствените характеристики се прибавя при пускане, регулиране на скоростта и спиране на двигателите. Аналогично на двигателите работните машини и механизми имат механични характеристики, които представляват зависимостта  $\omega = f(M_c)$  между ъгловата скорост и съпротивителния момент на механизма.

Според вида на механичната характеристика основните видове производствени механизми са:

а. Механизми с механична характеристика, независеща от скоростта (крива 1 на фиг. 1.4). Такава характеристика имат подемните механизми на металорежещите машини и други. Към тази група могат да се причислят (макар и с известно приближение) всички механизми, при които основният съпротивителен момент се създава от силите на триене.

б. Механизми с нелинейно нарастваща механична характеристика (крива 2), при която съпротивителният момент  $M_c$  се изменя пропорционално на някаква степен (много често втора) на ъгловата скорост. Механизмите с такава характеристика (помпи, вентилатори, корабни витла) се наричат *механизми с вентилаторен момент*.

в. Механизми с нелинейно намаляваща механична характеристика (крива 3). Такава характеристика имат главните задвижвания на металорежещите машини, при които съпротивителният момент се създава главно от силите на рязане.

Тези примери не изчерпват всички възможни случаи, но дават представа за механичните характеристики на някои от най-типичните производствени машини, чието задвижване и автоматизация ще разгледаме по-нататък.

*Съпротивителните моменти* на работните машини могат да бъдат *активни* или *реактивни*. Реактивният съпротивителен момент възниква в резултат на реакцията на външни сили срещу движението. Затова той е насочен винаги срещу движението. Такъв характер има например разглежданият по-горе вентилаторен момент, както и съпротивителният момент, създаван от силите на триене.

Активният момент запазва посоката си при смяна на посоката на въртене. Следователно при движение в една посока той, както и реактивният, е насочен срещу задвижващия момент на двигателя, а при движение в обратната посока се сумира с двигателния. Такъв момент имат подемно-транспортните машини и транспортните средства при движение по наклон.

Тъй като съпротивителният момент в най-общ случай е обратен по знак на двигателния, би трябвало да се разполага във втория квадрант на координатната система  $\omega - M$ . Значително по-удобно е обаче при разглеждане на съвместната работа на двигателя и работната машина той да се чертае в първи квадрант заедно с двигателния.

Доброто познаване на механичните характеристики на двигателите и работните механизми има твърде важно значение, тъй като ни позволява да решим следните по-важни задачи:

- да намерим *точката на установен режим* (*работната точка*), в която ще работи двигателят;
- да определим дали работата на задвижването ще бъде *устойчива*;
- да определим *поведението* на задвижването *в преходни режими*;
- да определим *рициналните методи за регулиране* на скоростта на двигателя.

### 1.1.3. УСТОЙЧИВА РАБОТА НА ДВИГАТЕЛЯ В УСТАНОВЕН РЕЖИМ

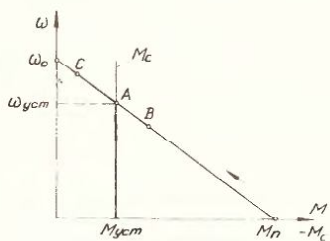
Работата на двигателя в кой да е момент се характеризира с определени стойности на въртящия момент и скоростта на въртене и следователно съответства на определена точка от механичната характеристика, която ще наричаме работна точка.

В установен режим на работа развиваният от двигателя въртящ момент ( $M$ ) не се изменя и е равен на противоположния по знак съпротивителен момент на задвижвания механизъм ( $M_c$ ), т. е. изпълнено е условието

$$M = M_c. \quad (1.3)$$

Следователно работната точка на двигателя в установен режим е точката, в която механичната му характеристика се пресича с механичната характеристика на задвижвания механизъм (фиг. 1.5). За определен двигател тази точка може да мени разположението си върху механичната му характеристика в твърде широки граници в зависимост от съпротивителния момент на задвижваната машина.

Механичната характеристика на двигателя има две много характерни точки, в които тя пресича координатните оси (фиг. 1.5). Пресечната точка с абсцисната ос съответствува на момента на включване на двигателя в мрежата ( $\omega=0$ ) и стойността на развивания от него въртящ момент  $M_n$ , който се нарича **пусков момент на двигателя**. Тъй като обикновено пусковият момент е по-голям от съпротивителния момент на задвижвания механизъм, двигателят започва постепенно да се развърта, ъгловата му скорост нараства и работната точка започва да се премества наляво по механичната характеристика. Този процес на развъртане продължава до т. А (фиг. 1.5), в която въртящият момент на двигателя става равен на съпротивителния момент  $M_c$  на механизма. Тази точка от механичната характеристика е точката на установен режим и нейните координати се наричат **установен момент** ( $M_{уст}$ ) и **установена скорост** ( $\omega_{уст}$ ). Ясно е, че тези координати зависят от гътемината на преодолявания съпротивителен момент. В идеалния случай, когато  $M_c=0$ , работата на двигателя съответствува на пресечната точка на механичната



Фиг. 1.5. Развъртане на двигателя до установен режим

тановен момент ( $M_{уст}$ ) и установена скорост ( $\omega_{уст}$ ). Ясно е, че тези координати зависят от гътемината на преодолявания съпротивителен момент. В идеалния случай, когато  $M_c=0$ , работата на двигателя съответствува на пресечната точка на механичната

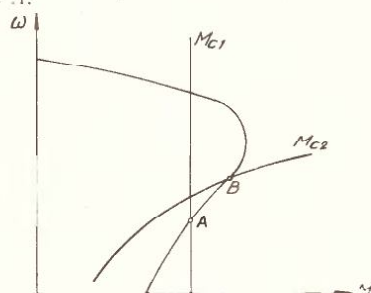
характеристика с координатната ос ( $M=0$ ,  $\omega=\omega_0$ ), като скоростта на въртене  $\omega_0$  се нарича **скорост на идеален празен ход**.

Режимът на идеален празен ход е практически неосъществим, тъй като при работа двигателят винаги преодолява някакъв максимален и минимален съпротивителен момент, предизвикан от силите на триене на собствените му движещи се части. Този режим, при който към вала на двигателя не е свързан никакъв полезен момент, а двигателят преодолява само собствения си съпротивителен момент, се нарича **режим на празен ход**. Скоростта на празен ход по-нататък също ще означаваме с  $\omega_0$ , като имаме предвид, че тя се различава от скоростта на идеален празен ход.

Ако съпротивителният момент на механизма  $M_c$  е постоянен и не зависи от скоростта, а механичната характеристика на двигателя е с отрицателна твърдост (вж. фиг. 1.5), то работната точка на двигателя в установен режим е **точка на устойчива работа (устойчиво равновесие)**. Нека двигателят работи в т. А (фиг. 1.5), за която е изпълнено условието (1.3). Нека предположим, че поради някаква причина скоростта на въртене намалее, т. е. двигателят премине в т. В от механичната си характеристика. В тази точка обаче въртящият момент се оказва по-голям от съпротивителния момент на механизма. Под действието на тази разлика скоростта на въртене ще започне да се увеличава до достигане на т. А, за която  $M=M_c$ . Аналогично, когато скоростта на двигателя се увеличи и той попадне напр. в т. С, неговият момент  $M$  ще се окаже по-малък от съпротивителния момент на задвижвания механизъм, което ще предизвика намаляване на скоростта, докато отново се стигне в т. А.

Устойчивата работа на електрическото задвижване зависи от взаимното разположение на механичните характеристики на двигателя и задвижвания механизъм, а не само от вида на механичната характеристика на двигателя.

Ще разгледаме работата на асинхронен двигател в долната част на механичната му характеристика, която обикновено се приема за неустойчива. Ако съпротивителният момент на задвижвания механизъм  $M_{c1}$  не зависи от скоростта, т. А от механичната характеристика на двигателя (фиг. 1.6) е точка на неустойчива работа, тъй като при повишаване на ъгловата скорост двигателят момент става по-голям от съпротивителния и двигателят



Фиг. 1.6. Устойчива работа на двигателя



ще продължи да увеличава скоростта си, а при намаляване на ъгловата скорост  $\omega < \omega_a$  съпротивителният момент става по-голям и това води до по-нататъшно намаляване на скоростта до пълно спиране на двигателя.

Ако обаче задвижваният механизъм е с вентилаторен момент ( $M_c$  на фиг. 1.6), лесно се вижда, че т. В от същата част на механичната характеристика на двигателя е точка на устойчива работа.

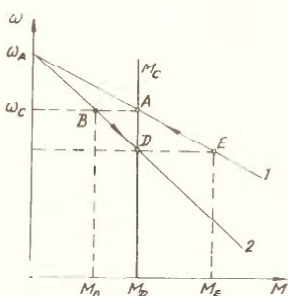
Разгледаните примери ни позволяват да кажем, че задвижването работи устойчиво, ако в точката на установен режим са изпълнени условията

$$\frac{\Delta M}{\Delta \omega} < \frac{\Delta M_c}{\Delta \omega} \quad (1.4)$$

или

$$\beta - \beta_c < 0. \quad (1.5)$$

Т. е. задвижването работи устойчиво, ако при положително нарастване на ъгловата скорост нарастването на момента на двигателя ( $\Delta M$ ) е по-малко от нарастването на съпротивителния момент на механизма ( $\Delta M_c$ ) и обратно — при отрицателно изменение на ъгловата скорост нарастването  $\Delta M$  е по-голямо от  $\Delta M_c$ .



Фиг. 1.7. Преход от една на друга механична характеристика

вис от скоростта (фиг. 1.7). Да предположим, че по някакъв начин (чрез включване на допълнителни съпротивления към намотките на двигателя, изменение на захранващото напрежение и т. н.) превключим двигателя да работи на изкуствената механична ха-

рактеристика 2 (фиг. 1.7). В момента на превключването поради инерцията скоростта остава практически постоянна и работната точка на двигателя В върху изкуствената механична характеристика се намира като пресечна точка с хоризонталната линия през т. А, която съответствува на условието  $\omega = \text{const}$ .

В т. В обаче моментът на двигателя  $M_a$  е значително по-малък от съпротивителния момент на задвижвания механизъм  $M_c$ . Поради това скоростта ще започне да намалява. Работната точка на двигателя ще започне да се премества надясно по механичната характеристика 2 до достигане на т. D. Там  $M_D = M_c$  и двигателят ще работи устойчиво със скорост  $\omega_c$ .

Нека сега отново превключим двигателя на естествената му характеристика. Работната точка E в момента на превключването се намира аналогично — от пресичането на естествената характеристика с хоризонтална права, минаваща през т. D. В т. E моментът на двигателя  $M_e$  е значително по-голям от съпротивителния момент на механизма  $M_c$ . Поради това скоростта на въртене започва да нараства, работната точка на двигателя се премества надясно по естествената му механична характеристика, докато отново достигне т. А.

Аналогично се осъществява преходът на двигателя между кои да са механични характеристики.

#### 1.1.4. ДИНАМИКА НА ЕЛЕКТРИЧЕСКОТО ЗАДВИЖВАНЕ

Видяхме, че в установен режим двигателят се върти с постоянна скорост и е изпълнено условието (1.3). В преходните режими обаче, какъвто е процесът на пускане до достигане на установена скорост или при преминаване от една механична характеристика на друга, към съпротивителния момент  $M_c$  на механизма се добавя и допълнителен момент  $M_{сн}$ , дължащ се на инерционните сили. Така че в най-общ случай можем да напишем:

$$M = M_c + M_{сн}. \quad (1.6)$$

От механиката е известно, че допълнителният момент  $M_{сн}$  наречен *динамичен*, се определя от ускорението (изменението на ъгловата скорост  $\Delta \omega$  за определено време  $\Delta t$ ) по формулата

$$M_{сн} = J \frac{\Delta \omega}{\Delta t}, \quad (1.7)$$

където  $J$  е инерционният момент на задвижвания механизъм. Тогава за момента на двигателя ще получим

$$M = M_c + J \frac{\Delta \omega}{\Delta t}. \quad (1.8)$$



Това уравнение се нарича *уравнение на движението на електрозадвижването*. Ясно е, че в установен режим ъгловата скорост не се изменя и следователно  $\frac{\Delta \omega}{\Delta t} = 0$ , т. е. уравнението се свежда до условие (1.3). При развъртане на двигателя скоростта му се увеличава и  $\frac{\Delta \omega}{\Delta t} > 0$ , а при спиране  $\frac{\Delta \omega}{\Delta t} < 0$ , което означава, че динамичният момент може да бъде със *съпротивителен* (при  $\frac{\Delta \omega}{\Delta t} > 0$ ) или *двигателен* характер (при  $\frac{\Delta \omega}{\Delta t} < 0$ ).

От уравнението на движение можем да получим продължителността на преходния процес до достигане на установен режим

$$\Delta t = \frac{J \cdot \Delta \omega}{M - M_c} \quad (1.9)$$

Ако ъгловата скорост се изменя от  $\omega_1$  до  $\omega_2$ , мож да се напише:

$$t = \frac{J(\omega_2 - \omega_1)}{M - M_c} \quad (1.10)$$

В (1.10), ако инерционният момент  $J$  се измерва в  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ , ъгловите скорости  $\omega_1$  и  $\omega_2$  — в  $\text{rad/s}$ , моментите  $M$  и  $M_c$  — в  $\text{Nm}$ , времето  $t$  се получава в  $\text{s}$ . В практиката често се използва *честотата на въртене  $n$* , измервана в  $\text{min}^{-1}$ . Тогава, като се вземе предвид, че  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$ , от (1.10) се получава

$$t = \frac{J(n_2 - n_1)}{9,55(M - M_c)} \approx \frac{J(n_2 - n_1)}{10(M - M_c)} \quad (1.11)$$

За да намерим времето за развъртане на двигателя до честота на въртене  $n$ , заместваем в горното уравнение  $n_1 = 0$  и  $n_2 = n$ :

$$t_n = \frac{J \cdot n}{10(M - M_c)} \quad (1.12)$$

Времето за спиране под действието на съпротивителния момент на механизма ще получим, като заместим  $M = 0$ ,  $n_1 = n$  и  $n_2 = 0$ . Тогава

$$t_c = \frac{J \cdot n}{10 M_c} \quad (1.13)$$

Ако  $M$  и  $M_c$  се изменят през време на преходния процес, целият процес може да се раздели на отделни участъци, в които моментите се приемат за постоянни. Определяме времето на преходния процес поотделно за всеки участък и сумираме всички получени стойности.

Механичната предавка между двигателя и задвижвания работен орган може да включва елементи (зъбни колела, ремъчни шайби и т. н.) с различна маса, инерционен момент, които се въртят с различна ъглова скорост (фиг. 1.8). Изследването на работата на задвижването изисква привеждането на всички моменти и сили към един елемент — най-често вала на двигателя.

За привеждане на съпротивителния момент към вала на двигателя се изхожда от баланса на мощностите в установен режим, за който може да се напише

$$P_d = P_c + \Delta P, \quad (1.14)$$

където  $P_d$  е мощността на двигателя;  $P_c$  — мощността, необходима за задвижване на производствения механизъм;  $\Delta P$  — загубите на мощност в предавателния механизъм. Ако изразим последните чрез коефициента на полезно действие  $\eta = \frac{P_c}{P_c + \Delta P}$  на предавката, който може да се определи сравнително лесно, ще получим

$$P_d = \frac{P_c}{\eta} \quad (1.15)$$

или

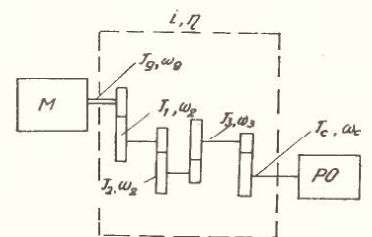
$$M_d \cdot \omega_d = \frac{M_c \cdot \omega_c}{\eta} \quad (1.16)$$

Тъй като в установен режим приведенят съпротивителен момент към вала на двигателя  $M'_c$  трябва да е равен на двигателния, можем да напишем

$$M'_c \cdot \omega_d = \frac{M_c \cdot \omega_c}{\eta}, \quad (1.17)$$

откъдето получавам е

$$M'_c = \frac{M_c}{\eta} \cdot \frac{\omega_c}{\omega_d} = \frac{M_c}{\eta \cdot i}, \quad (1.18)$$



Фиг. 1.8. Привеждане на инерционните моменти към вала на двигателя

където  $i = \frac{\omega_d}{\omega_c}$  е предавателното отношение на предавката (фиг. 1.8).

Ако задвижваният орган не се върти, а се движи постъпателно със скорост  $v_c$ , като при това преодолява сила  $F_c$ , то балансът на мощностите ще се запише във вида

$$M'_c \omega_d = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta}, \quad (1.19)$$

откъдето приведенят към вала на двигателя съпротивителен момент ще бъде

$$M'_c = \frac{F_c \cdot v_c}{\omega_d \cdot \eta}. \quad (1.20)$$

За привеждане на инерционните моменти на всички въртящи се с различна ъглова скорост части към вала на двигателя се изхожда от условието, че общият запас от кинетична енергия на всички движещи се части остава неизменен и може да се отнесе към коя да е ос на въртене. В такъв случай за еквивалентния инерционен момент  $J_e$ , приведен към вала на двигателя, може да се напише (фиг. 1.8):

$$J_e \frac{\omega_d^2}{2} = J_d \frac{\omega_d^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + \dots + J_n \frac{\omega_n^2}{2}, \quad (1.21)$$

където  $J_d$  и  $J_c$  са инерционните моменти на ротора на двигателя и на задвижвания механизъм, а  $J_1, J_2, \dots, J_n$  — инерционните моменти на елементите от предавателния механизъм, въртящи се със скорост  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ .

Тогава за сумарния инерционен момент, приведен към вала на двигателя, ще получим

$$J_e = J_d + J_1 \left( \frac{\omega_1}{\omega_d} \right)^2 + J_2 \left( \frac{\omega_2}{\omega_d} \right)^2 + \dots + J_n \left( \frac{\omega_n}{\omega_d} \right)^2. \quad (1.22)$$

### 1.1.5. СПИРАЧНИ РЕЖИМИ

Работата на ред машини и механизми изисква бързо и точно спиране на движещите се органи, което не може да се осъществи само под влияние на силите на триене след изключването на двигателя. Използуването на механични спирачни устройства не винаги е възможно и оправдано, тъй като те увеличават значително габаритите на задвижването и не се поддават на точна настройка. В тези случаи се използват някои режими на работа на

двигателите, наречени *спирачни*, при които развиваният въртящ момент е насочен срещу посоката на въртене на ротора им.

В спирачен режим двигателят черпи механична енергия (кинетичната енергия на движещите се части) и я преобразува в електри-

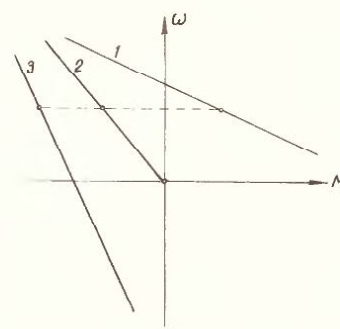


Фиг. 1.9. Спирачни режими на двигателите

ческа, като въртящият му момент действа като спирачка. Този момент се бележи с отрицателен знак и следователно механичните характеристики на двигателя в спирачни режими ще бъдат разположени във втория и четвъртия квадрант на координатната система ( $M, \omega$ ).

Всички спирачни режими е всъщност генераторен режим, при който постъпващата на вала на двигателя механична енергия се преобразува в електрическа, която или се връща в захранващата мрежа, или се разсейва като топлина в намотките на двигателя и свързаните последователно с тях резистори. В зависимост от това различаваме три спирачни режими (фиг. 1.9).

а. Генераторно (рекуперативно) спиране. Двигателят остава включен към мрежата и връща (рекуперира) в нея преобразуваната механична енергия от движещите се части, постъпваща на вала му. Този режим е най-икономичен от енергетична гледна точка, но може да се осъществи само при скорост, по-голяма от тази на идеален празен ход. Механичната характеристика на двигателя в режим на



Фиг. 1.10. Механични характеристики в спирачни режими: генераторно спиране (1), динамично спиране (2) и спиране с противоблъчване (3)



генераторно спиране представлява продължението на естествената му механична характеристика във II квадрант на координатната система (права 1 от фиг. 1.10).

**б. Динамично спиране.** Двигателят се изключва от захранващата мрежа. Постъпващата на вала му механична енергия се преобразува в електрическа, която се разсейва в намотките му като топлина. С намаляване на скоростта спирачният момент бързо намалява. Това е един от съществените недостатъци на този режим. Преходът от естествената механична характеристика към механичната характеристика при динамично спиране (права 2) се извършва като в т. 1.1.2.

**в. Спиране с противовключване.** При този режим двигателят се включва към захранващата мрежа в обратната посока на въртене. При това той създава спирачен момент чрез преобразуване на постъпващата на вала му механична енергия и получаваната от мрежата електрическа енергия.

В режим на противовключване спирането е най-интензивно. Но този режим е особено тежък за двигателя, който трябва да разсейва цялата получена енергия като топлина в намотките си.

Механичната характеристика на двигателя в режим на противовключване (права 3) продължава и в III квадрант на координатната система, т. е. след спиране двигателят влиза отново в двигателен режим и започва да се развърта в обратна посока. За да се избегне това, той трябва да се изключи от мрежата, след като ъгловата му скорост стане равна на нула или малко преди това.

#### 1.1.6. ОСНОВНИ ПРОЦЕСИ НА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКОТО ЗАДВИЖВАНЕ

Под управление на електрическото задвижване в най-общ смисъл се разбира определено въздействие върху двигателя, предизвикващо изменение на състоянието му ( $M, \omega$ ). Това е свързано с преход на двигателя на различни механични характеристики.

Обект на управлението най-често са процесите пускане, спиране, реверсиране и регулиране на скоростта. Освен тях обект на управлението могат да бъдат поддържането на определена скорост, завъртането на двигателя на определен ъгъл и др.

**Пускане.** Пускането на двигателя представлява преход от неподвижно състояние към установен режим на работа, характеризиращ се с определен двигателен момент и честота на въртене. То може да се осъществи най-просто чрез непосредствено включване на двигателя към захранващата мрежа, при което състоянието му се изменя по естествената механична характеристика (вж. фиг. 1.5).

Такова пряко пускане обаче не винаги е възможно и желано. При някои типове двигатели пусковите токове са недопустимо големи, в други случаи естественият пусков процес е свързан с големи механични удари или продължава твърде дълго, което се отразява неблагоприятно върху производителността на механизмите. Затова управлението на процеса на пускане на двигателите има за цел:

ограничаване на тока и момента на двигателя до безопасни за него и за задвижвания механизъм стойности;

плавно пускане (минимален момент при потегляне, малка стойност на ускорението и т. н.);

формирание на пусковия процес, т. е. осъществяването му за минимално време, без да се превишават допустимите стойности на момента и тока на двигателя.

В процеса на пускане двигателят във всички случаи трябва да развива въртящ момент, значително по-голям от статичния момент в установен режим, за да може да преодолее първоначалния съпротивителен момент на движещите се части и да ги ускори до достигане на установената скорост. Поради това той консумира от мрежата повишено количество енергия, което води до повишено нагряване на намотките му. Затова, когато са необходими чести спирания и пускания на двигателя, се налага да се вземат специални мерки за облекчаване на пусковия процес.

В зависимост от необходимия начален момент за преодоляване на инерционните и съпротивителните сили на механизма условията на пускане могат да бъдат:

*леки* — при механизми, изискващи пусков момент (10 ÷ 40%) от номиналния (вентилатори, помпи, металорежещи машини);

*нормални* — при които необходимият пусков момент е 50 ÷ 75% от номиналния (компресори, въжени линии);

*тежки* — при които необходимият пусков момент може да превиши няколко пъти номиналния (топкови мелници, бъркалки и др.).

**Спиране.** Спирането е процес, обратен на пускането, при който скоростта на двигателя се изменя от някаква установена стойност до нула. Той се извършва естествено под влияние на съпротивителния момент на механизма след изключване на двигателя от захранващата мрежа. Обаче неговите характеристики при тези условия (време за спиране, спирачен път) често са незадоволителни. За подобряването им се използват механични спирачни устройства или включване на двигателя в някой от разгледаните спирачни режими.

Основни задачи на управлението на процеса са:

намаляване на времето за спиране до минимум;

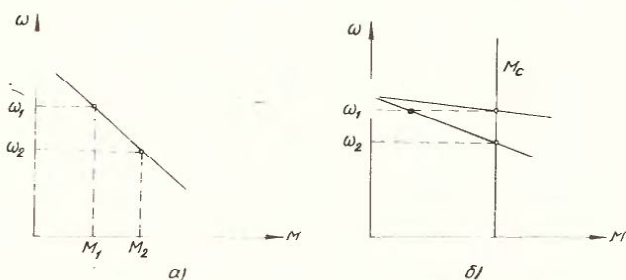
точно спиране на задвижващия орган в определена позиция.

**Реверсиране.** Реверсиране се нарича промяната на посоката на въртене на двигателя. Осъществява се чрез промяна на полярността на захранващото напрежение на котвената или възбу-



дигелната намотка при двигателите за постоянен ток или чрез промяна на реда на две от фазите на захранващото напрежение при трифазните променливотокови двигатели.

Реверсирането представлява последователно спиране и пуска-



Фиг. 1.11. Изменение (а) и регулиране (б) на скоростта на двигателя

не. Основни задачи на управлението му са: постигането на минимално време, ограничаването на тока и момента на двигателя до безопасни стойности и осигуряването на необходимата плавност на процеса.

При реверсиране най-често двигателят работи в двете посоки на естествената си механична характеристика, т. е. с една и съща скорост на въртене. Ако скоростта в двете посоки се различава, системата за управление се усложнява допълнително.

Реверсирането, също както и пускането, е утежнен режим на работа на двигателите и затова при необходимост от често реверсиране на работните органи се вземат специални мерки за облекчаването му. Напр. в ред металорежещи машини движението на работния орган се реверсира чрез превключване на електромагнитни съединители (посоката на въртене на двигателя се запазва); в други случаи за двете посоки се използват два отделни двигателя и т. н.

**Регулиране на скоростта.** Регулиране на скоростта е *принудителното изменение на скоростта на въртене на двигателя, свързано с изменение на механичната му характеристика*, т. е. с преход на друга механична характеристика. Понятието регулиране не трябва да се смесва с естественото изменение на скоростта, предизвикано от намаляване или увеличаване на съпротивителния момент на двигателя, което в съответствие с параметрите на механичната му характеристика може да бъде в широки граници. Ако двигателят работи на сравнителна мека механична характеристика (фиг. 1.11), увеличаването на съпротиви-

телния момент от  $M_1$  на  $M_2$  е свързано със значително изменение на скоростта  $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$  (фиг. 1.11 а), но не е свързано с изменение на механичната характеристика. Затова в случая не се извършва регулиране. Ако изменението на скоростта  $\Delta\omega$  е по-малко, но се извършва в резултат на преход на друга механична характеристика (фиг. 1.11 б), налице е регулиране на скоростта.

Щом като регулирането е свързано с изменение на механичните характеристики на двигателя, то методите на регулиране са известните вече методи за получаване на изкуствени механични характеристики, а именно:

изменение на параметрите (активно и реактивно съпротивление) на статорните и роторните вериги на двигателите;

изменение на параметрите (честота и напрежение) на захранващата мрежа;

изменение на схемата на свързване на намотките на двигателите.

Основните показатели, характеризиращи процеса на регулиране на скоростта, са следните:

а. **Диапазон на регулиране.** Представлява отношение на максималната към минималната скорост на въртене на двигателя при регулиране, т. е.

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} \quad (1.23)$$

при зададена твърдост на механичните характеристики.

Работните машини имат различни изисквания към този показател и в някои случаи (тежки металорежещи машини) стойността му достига до няколко хиляди. Обикновено той се изразява във вид на отношение, например 2:1, 10:1, 20:1, 250:1 и т. н.

б. **Плавност на регулирането.** Характеризира се с отношението на две съседни стойности на скоростта, които могат да бъдат реализирани:

$$P = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}} \quad (1.24)$$

Когато  $P=1$ , регулирането се нарича плавно или безстепенно. Ако  $P \neq 1$ , регулирането е степенно. Допълнителен показател е броят на степените на регулиране.

в. **Стабилност на скоростта.** Изразява се чрез отклонението на скоростта от зададената при изменение на съпротивителния момент в определени граници. По същество това представлява твърдостта на изкуствените регулировъчни механични характеристики.

г. **Посока на регулирането.** Определя се от мястото на изкуствените механични характеристики спрямо естествената. Ако

те са разположени само от едната страна, регулирането е еднозонно. То може да бъде под основната скорост (изкуствените механични характеристики са разположени под основната) и над основната скорост. Когато изкуствените характеристики са разположени от двете страни на естествената, регулирането е двузонно.

*д. Икономичност на регулирането.* Особено важен показател, който често определя избора на метода за регулиране. Той може да се определи чрез:

разходите, необходими за реализиране на един или друг метод на регулиране, включващи цената на всички необходими машини и съоръжения;

експлоатационните разходи, свързани с функционирането на системата за регулиране, които включват разходите на енергия в системата при преобразуване на електрическата енергия в механична.

По тези показатели се характеризират методите за регулиране на скоростта и се избира някой от тях в зависимост от изискванията на работната машина.

### Въпроси и задачи

1. Посочете основните елементи на електрическото задвижване. Кои от тях са абсолютно необходими във всички случаи?

2. Може ли двигателят да работи със скорост, равна на скоростта на идеален празен ход? Обяснете защо.

3. Предложете начин за експериментално определяне на инерционния момент на задвижването, като изхождате от уравнение (1.12) и приемете, че моментът на двигателя и съпротивителният момент остават постоянни и стойностите им са известни.

## 1.2. АСИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ

### 1.2.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Поради редицата си положителни качества: просто устройство, малка цена, голям к.п.д., удобство при експлоатация, асинхронните двигатели са най-разпространените двигатели в промишлеността (около 80% от всички двигатели). В зависимост от устройството на роторната им намотка различаваме:

*Двигатели с навит (фазен) ротор*, при които роторната намотка е трифазна като статорната и е свързана в звезда, като трите ѝ свободни края са изведени върху контактни пръстени. Това позволява в роторната верига на двигателя да се включват допълнителни активни и реактивни съпротивления за получаване на изкуствени механични характеристики.

*Двигатели с късосъединен (кафезен) ротор.* При тях роторната намотка е изработена от медни или алуминиеви прътове

(проводници), свързани в двата си края нахъсо с медни или алуминиеви пръстени. Поради простото си устройство тези двигатели са най-широко разпространени (над 90% от всички асинхронни двигатели), особено в задвижвания с малка и средна мощност, където не е необходимо регулиране на скоростта.

*Двигатели с двойнокафезна намотка.* Те имат две кафезни намотки, изработени от материал с различно специфично съпротивление — най-често от месинг и мед. Поради различните условия на разсейване на магнитния поток, а оттам и на индуктивните съпротивления на намотките, едната от тях (с голямо активно съпротивление) работи в процеса на пускане, а другата — в установен режим. Това позволява да се подобрят някои от характеристиките на двигателите с кафезен ротор и по-точно да се получи по-голям пусков момент при по-малък ток на пускане.

*Двигатели с дълбоки канали.* Основават се на същия принцип, както и двигателите с двойнокафезна намотка, но вместо две отделни намотки имат само една, разположена в канали, дълбочината на които е много по-голяма от ширината. Това опростява конструкцията им, затова те са много по-разпространени от двойнокафезните двигатели, а поради добрите си характеристики в редица случаи изместват и двигателите с нормално изпълнение.

Полезната мощност на асинхронния двигател се определя с израза

$$P = 3U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi_1 \cdot \eta = \sqrt{3} U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1 \cdot \eta, \quad (1.25)$$

където  $U_{1\phi}$  и  $I_{1\phi}$  са фазовото и линейното напрежение на захранващата мрежа;  $I_{1\phi}$  и  $I_1$  — фазовият и линейният ток в статорната намотка;  $\eta$  — к.п.д. на двигателя.

Важна и характерна величина за асинхронните двигатели е т. нар. *хлъзгане*  $s$ , което представлява относителната стойност на разликата между скоростта на въртене на ротора  $\omega$  и скоростта на създаването от статорната намотка въртящо се магнитно поле  $\omega_0$ .

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}. \quad (1.26)$$

Скоростта на въртене на магнитното поле

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}, \quad (1.27)$$

където  $f_1$  е честотата на захранващото напрежение,  $p$  — броят на чифтовете полюси на статорната намотка.



### 1.2.2. МЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Въртящият момент на асинхронния двигател се определя с израза

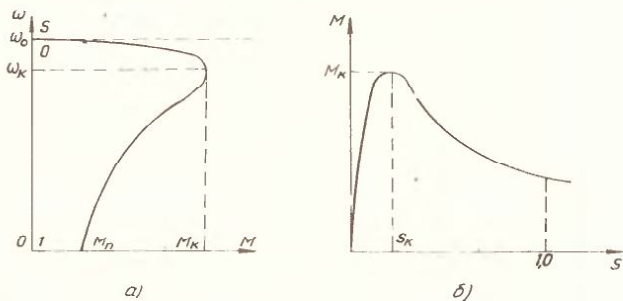
$$M = \frac{3pU_{1\phi}^2 \frac{r_2'}{s}}{2\pi f_1 \left[ \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}, \quad (1.28)$$

където  $r_1$  и  $x_1$  са активното и индуктивното съпротивление на статорната намотка, а  $r_2'$  и  $x_2'$  — приведените аналогични величини на роторната намотка.

Зависимостта между скоростта на въртене  $\omega$  и хлъзгането  $s$  е строго определена от (1.26), а именно

$$\omega = \omega_0(1-s).$$

Тогава  $M=f(s)$ , определена с израза (1.28), представлява уравнението на механичната характеристика на асинхронния двигател. За по-голямо удобство и сравнение с механичните характеристики на други видове двигатели обикновено тази зависимост се представя във вида  $M=f(\omega)$ .



Фиг. 1.12. Механична характеристика на асинхронен двигател

На фиг. 1.12 е показан видът на механичната характеристика на двигателя, определен и по двата начина (кривата и в двата случая има един и същ характер, изменя се само начинът на означаване. На стойност  $\omega = \omega_0$  (фиг. 1.12 а) съответствува хлъзгане  $s=0$  (фиг. 1.12 б), а на скорост  $\omega=0$  — хлъзгане  $s=1$ .

Характерно за механичната характеристика на асинхронния двигател е наличието на максимум на момента на двигателя  $M_k$ , на който съответствуват стойностите  $\omega_k$  и  $s_k$ . В диапазона между  $\omega_0$  и  $\omega_k$  твърдостта на механичната характеристика е отрицателна; при  $\omega = \omega_k$  е равна на нула; след което при  $\omega < \omega_k$  е положителна и в тази област работата на двигателя в някои случаи (вж. фиг. 1.6) е неустойчива. Затова максималната стойност на момента  $M_k$  се нарича още *критична* (при превишаването ѝ двигателят преминава в неустойчивата част от механичната си характеристика и при постоянен съпротивителен момент на вала му спира да се върти), а съответстващите му стойности  $\omega_k$  и  $s_k$  — *критична скорост* и *критично хлъзгане*.

Стойността на  $s_k$  се определя с израза

$$s_k = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (1.29)$$

и следователно зависи от параметрите (активно и реактивно съпротивление) на намотките на двигателя.

Като заместим стойността на  $s_k$  в (1.28), за критичния момент на двигателя ще получим

$$M_k = \frac{3pU_{1\phi}^2}{2\pi f_1 \left[ r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]^2}. \quad (1.30)$$

Ясно е, че възможностите на асинхронния двигател за претоварване са ограничени от големината на критичния момент. Отношението на критичния момент към номиналния момент на двигателя се нарича *претоварваща способност на двигателя*

$$\lambda = \frac{M_k}{M_n} = 1,8 \div 3,0.$$

По-големите стойности на  $\lambda$  са характерни за двигателите с по-голяма честота на въртене, както и за специално изработени двигатели с по-голямо насищане на магнетната система.

Механичната характеристика на асинхронния двигател може да се изрази точно чрез стойностите на  $M_k$  и  $s_k$ , като се използват (1.28), (1.29) и (1.30). След преобразувания и опростяване се получава формулата

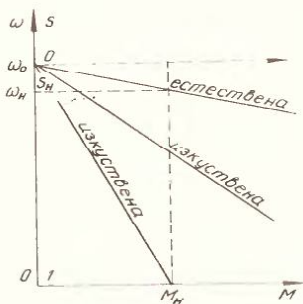
$$M = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (1.31)$$

наречена *формула на Клас*. Тя позволява да се построи с достатъчна за практиката точност механичната характеристика на



двигателя само по каталожни данни, без да познаваме електрическите параметри на намотките.

Като се има предвид, че около установения режим отношението  $s/s_k$  е много по-малко от  $s_k/s$  и може да се пренебрегне в сравнение с него, механичната характеристика на двигателя ще се представи с израз



$$M = \frac{2M_k}{s_k} s = c \cdot s. \quad (1.32)$$

Той представлява уравнение на права линия, чийто наклон се определя от коефициента  $c$ , т. е. от  $s_k$ . На фиг. 1.13 са показани няколко линейризиращи механични характеристики, определени по формула (1.30).

Фиг. 1.13. Линейризиращи механични характеристики на асинхронен двигател

### 1.2.3. ПУСКАНЕ НА АСИНХРОННИТЕ ДВИГАТЕЛИ

При пускането на асинхронните двигатели обикновено трябва да се решат два основни въпроса:

а) Да се увеличи пусковият момент на двигателя, който при нормални условия (работа на естествената механична характеристика) може да се окаже недостатъчен за преодоляване на статическия съпротивителен момент на вала на двигателя.

Стойността на пусковия момент може да се определи лесно от (1.28), като заместим  $s=1$ :

$$M_n = \frac{3pU_{1\phi}^2 r_2'}{2\pi f_1 [(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2]} \quad (1.33)$$

б) Да се ограничи пусковият ток до стойност, която не води до повреждане на двигателя и не нарушава нормалния режим на работа на мрежата.

Стойността на пусковия ток се определя от изрза

$$I_n = \frac{I_{1\phi}}{\sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (1.34)$$

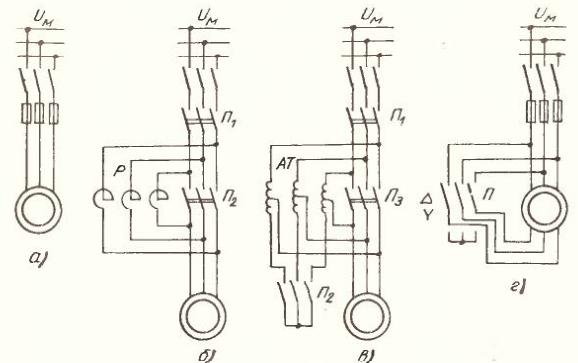
Зависимостите (1.28) и (1.34) показват, че изменението на момента и тока на двигателя е свързано с изменение на захранващото напрежение или с изменение на параметрите ( $r, x$ ) на статорната и роторната верига на двигателя.

Тези изменения са различни за двата основни типа асинхронни двигатели — с кафезен и навит ротор, затова ще разгледаме пускането им отделно.

#### Пускане на двигател с кафезен ротор

Пускането на асинхронните двигатели може да стане по няколко различни начина. Това са: директно пускане, реакторно пускане, автотрансформаторно пускане и пускане чрез превключване „звезда—триъгълник“. Схемите за отделните начини на пускане са показани на фиг. 1.14.

Директно пускане. Това е най-простият начин на пускане. При него статорната намотка на двигателя се включва непосредствено към мрежата с номинално напрежение (фиг. 1.14 а).



Фиг. 1.14. Схеми за пускане на асинхронен двигател: а) директно, б) с реакторно, в) с автотрансформатор; г) чрез превключване „звезда—триъгълник“

За да могат да се развъртят асинхронните двигатели, трябва да имат пусков момент  $M_n$ , по-голям от статическия съпротивителен момент на работния механизъм. Отношението на пусковия към номиналния въртящ момент на асинхронните двигатели е

кафезен ротор при пускане с номинално напрежение се нарича *кратност на пусковия момент*

$$K_n = \frac{M_n}{M_n} \quad (1.35)$$

Стойностите на  $K_n$  са в границите  $0,7 \div 1,8$  и се дават в каталозите за асинхронни машини. По-малките стойности се отнасят за двигатели с голяма мощност.

За осигуряване на двигателя и мрежата от повреди пусковият ток на двигателя при директно пускане (уравнение 1.34) не бива да е по-голям от определена стойност. Тази стойност се дава чрез т. нар. *кратност на пусковия ток*

$$K_{nt} = \frac{I_n}{I_n} \quad (1.36)$$

Кратността на пусковия ток за късосъединените двигатели с различни мощности и с различни скорости на въртене е в границите  $3,5 \div 15$ .

Съвременните късосъединени асинхронни двигатели се проектират така, че стойностите на възникващите при пускането електродинамични сили, действащи на намотките, и условията за нагриване на намотките да допускат директно пускане. Директното пускане е винаги възможно, когато електрическата мрежа е достатъчно мощна и пусковите токове на двигателя не предизвикват недопустимо голям пад на напрежение в нея (не повече от  $10 \div 15\%$ ).

Сполучливи в това отношение са двигателите със специална конструкция — двойнокафезните и с дълбоки канали. Те имат голям пусков момент при сравнително малка кратност на пусковия ток  $K_{nt} = 3 \div 5$  и са предназначени изключително за директно пускане.

Когато от условията за допустим пад на напрежението в мрежата директното пускане е невъзможно, се прилагат останалите начини на пускане. При тях обаче заедно с пусковия ток се намалява и пусковият момент на двигателя, което е недостатък на тези начини за пускане. Затова те се използват, когато е възможно пускането на двигателя на празен ход или при непълно натоварване.

**Реакторно пускане.** То се осъществява по схемата от фиг. 1.14б. Най-напред се включва прекъсвачът  $P_1$  и двигателят при отворен прекъсвач  $P_2$  се захранва чрез трифазния реактор  $R$ . Реакторът представлява три индуктивни бобини, всяка със съпротивление  $X_p$ , което именно ограничава пусковия ток. При достигането на установена скорост се включва прекъсвачът  $P_2$ , който

шунтира реактора, в резултат на което на двигателя се подава номиналното напрежение на електрическата мрежа.

Пусковият ток в този случай може лесно да се определи от уравнение (1.32):

$$I_n = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(r_1+r_2')^2+(x_1+x_2'+x_p)^2}} \quad (1.37)$$

В горния израз е пренебрегнато активното съпротивление на реактора, което е много по-малко в сравнение с активните съпротивления на статорната и роторната намотка.

Заедно с пусковия ток обаче намалява и пусковият момент на двигателя. Неговата стойност може да се определи аналогично от уравнение (1.31):

$$M_n = \frac{3pU_{1\phi}^2 r_2'}{2\pi f[(r_1+r_2')^2+(x_1+x_2'+x_p)^2]} \quad (1.38)$$

Този начин на пускане може да се окаже неподходящ, ако съпротивителният момент на задвижвания механизъм е твърде голям.

Вместо реактор в някои случаи се използват активни резистори, но се отделят големи количества топлина, което прави пускането неикономично.

**Автотрансформаторно пускане** (фиг. 1.14в). При това пускане най-напред се включват прекъсвачите  $P_1$  и  $P_2$ . На двигателя се подава понижено напрежение чрез автотрансформатора  $AT$ . След като двигателят достигне определена скорост, прекъсвачът  $P_2$  се изключва и двигателят се захранва чрез част от намотката на автотрансформатора  $AT$ , който в този случай работи като реактор. Накрая се включва прекъсвачът  $P_3$  и двигателят получава пълно напрежение.

Ако коефициентът на трансформация на автотрансформатора е  $k$ , пусковият ток на двигателя (уравнение 1.34), който тече в страната за ниско напрежение на автотрансформатора, намалява  $k$  пъти. Токът в мрежата ще бъде намален  $k^2$  пъти, защото е първичен за автотрансформатора. Пусковият момент намалява също  $k^2$  пъти.

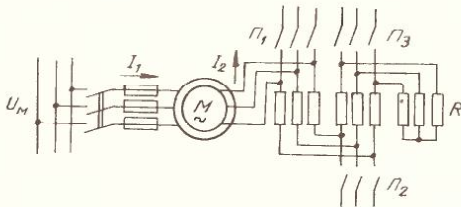
**Пускане чрез превключване „звезда—триъгълник“** (фиг. 1.14г). То може да се използва в случаите, когато са изведени шестте края на статорната намотка. При това е необходимо двигателят да е предназначен за нормална работа при свързване на намотката в триъгълник. Това се получава, когато двигателят е оразмерен за напрежение при триъгълно свързване  $380$  V, а работи към мрежа с линейно напрежение  $220$  V. На табелката на такъв двигател трябва да бъде написано  $\gamma/\Delta - 380/220$  V. При най-разпространеното линейно напрежение на мрежите за ниско



напрежение — 380 V (както е у нас), на табелката на двигателя, който ще се пуска чрез превключване „звезда—триъгълник“. трябва да е написано 660/380 V, или само  $\Delta$ —380 V. В този случай при пускането статорната намотка се включва най-напред в звезда (долното положение на прекъсвача П — фиг. 1.14 з), а при достигане на установена скорост се превключва в триъгълник. При този начин на пускане напрежението, което се подава на фазите на намотката, намалява  $\sqrt{3}$  пъти, пусковият момент  $(\sqrt{3})^2=3$  пъти, пусковият ток във фазите на намотката намалява  $\sqrt{3}$  пъти (колкото напрежението). Пусковият ток в мрежата се намалява  $\sqrt{3} \cdot \sqrt{3}=3$  пъти в сравнение с директното пускане при свързване на намотката в триъгълник, т. е. този начин на пускане е равностоен на автотрансформаторното пускане при  $k=\sqrt{3}$ . Той е сравнително прост, защото не изисква специални съоръжения, но може да се използва при двигатели, които ще се пускат на празен ход или малко натоварени.

#### Пускане на двигател с навит ротор

Двигателите с навит (фазен) ротор се използват значително по-рядко от късосъединените, главно когато късосъединените двигатели са неприемливи по условията за регулиране на скоростта на въртене; когато при пускането статическият съпротивителен момент на вала  $M_c$  е голям и не може да се използва двигател с кафезен ротор с пускане при понижено напрежение, а директното пускане на такъв двигател е недопустимо за електрическата мрежа.



Фиг. 1.15. Пускане на асинхронен двигател с фазен ротор

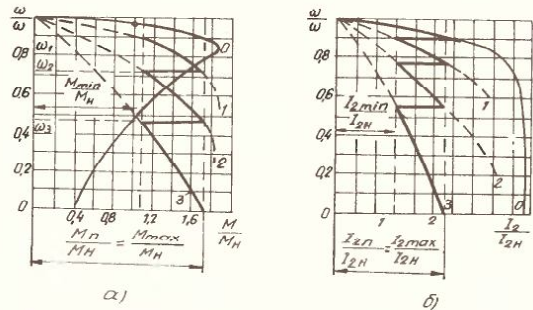
Пускането на фазните двигатели се извършва с пусков резистор R, включен във веригата на ротора (фиг. 1.15). Използват се обикновено резистори, чиито елементи са изготвени от чугун или друг материал, и много рядко при ръчно пускане — водни реостати. Пусковите резистори са с няколко степени и превключ-

ването от една степен на друга се извършва ръчно с помощта на отделни прекъсвачи или автоматично (в автоматизираните задвижвания) с контактори.

При пускане в роторната верига на двигателя отначало е включено цялото съпротивление на реостата. По-нататък в процеса на развъртане се затварят последователно прекъсвачите П<sub>3</sub>, П<sub>2</sub> и П<sub>1</sub>. Естествената и изкуствените механични характеристики на двигателя и зависимостта на тока  $I_n=f(s)$  при работа на различните степени на резистора са дадени на фиг. 1.16.

Съпротивленията на отделните степени на пусковия резистор, броят на степените и интервалите от време за превключването им се подбират така, че моментът и токът на двигателя през време на пускане да се изменят между стойностите  $M_{max}(I_{max})$  и  $M_{min}(I_{min})$ .

В началото на пускането при включено пълно съпротивление на реостата двигателя работи по изкуствената характеристика 3. Роторът започва да се върти, скоростта  $\omega$  започва да се увеличава и при  $\omega=\omega_3$ , когато въртящият момент, който двигателят развива, стане равен на  $M_{min}$ , прекъсвачът П<sub>3</sub> затваря контактите си. Двигателят започва да работи по другата изкуствена характеристика (крива 2). Веднага след превключването моментът му става равен на  $M_{max}$  и в процеса на ускоряването намалява до



Фиг. 1.16. Изменение на момента (а) и на тока (б) на двигателя при пускане

$M_{min}$ . След това става прехвърляне върху другата изкуствена характеристика и т. н. След изключването на последната степен от реостата двигателя преминава на работа на естествената характеристика и достига установената скорост. Аналогично се изменя токът при пускането — между стойностите  $I_{max}$  и  $I_{min}$ .

Стойностите на  $M_{\max}$  и  $I_{\max}$  се избират в съответствие с допустимото максимално натоварване на двигателя и захранващата мрежа, а стойностите на  $M_{\min}$  и  $I_{\min}$  — в зависимост от желаното време за протичане на преходния процес. Ясно е, че колкото стойностите на  $M_{\min}$  и  $I_{\min}$  са по-високи, толкова по-бързо ще завърши развъртането на двигателя до установената скорост, тъй като средната стойност на момента през време на преходния процес ще бъде по-голяма. Преходният процес ще протича за минимално време, ако моментът и токът на двигателя се поддържат постоянни и равни на максималните си стойности. Обаче съществува определена зависимост между стойността на  $M_{\min}$  и броя на степените на реостата. Увеличаването на тази стойност е свързано с увеличаване на броя на степените, а оттам и със значително усложняване на пусковата апаратура. Обикновено броят на пусковите степени е около 3-4, което осигурява задоволително протичане на преходния процес за по-голяма част от задвижванията (но в някои случаи достига до 20).

#### 1.2.4. Регулиране на скоростта

Съществуват две принципно различни възможности за регулиране на скоростта на асинхронните двигатели.

Първата от тях се състои в изменение на хлъзгането при запазване на скоростта на въртящото се магнитно поле  $\omega_0$ . Уравнението на механичната характеристика (1.28) показва, че това може да се осъществи чрез изменение на активното и индуктивното съпротивление в статорната или роторната верига или чрез изменение на захранващото напрежение.

Втората възможност за регулиране се състои в изменение на скоростта на въртящото се магнитно поле, което в съответствие със зависимостта (1.27) може да се извърши чрез изменение на честотата на захранващото напрежение  $f_1$ , или чрез изменение на броя на полюсите  $p$  на статорната намотка.

#### Реостатно регулиране

Това е най-типичният и широко разпространен начин за регулиране на скоростта на двигателите с навит ротор. Получава се чрез включване на резистори в роторната верига и схемата за регулиране по същество не се отличава от тази за реостатно пускане (фиг. 1.15).

От основните уравнения на асинхронния двигател се вижда, че при включване на добавъчно съпротивление  $r_d$  в роторната верига нараства стойността на критичното хлъзгане (1.29)

$$s_k = \frac{(r_2 + r_d)'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

а стойностите на  $\omega_0$  и  $M_k$  не се променят. Следователно получените изкуствени механични характеристики ще имат обща точка (при скоростта на идеален празен ход  $\omega_0$ ), а наклонът им спрямо естествената характеристика ще расте с увеличаване на стойността на  $r_d$ . Видът на реостатните механични характеристики, получени чрез включване на допълнително съпротивление в роторната верига, е показан на фиг. 1.16 а.

Съпротивленията на резисторите, които трябва да бъдат измерени за продължителна работа, се определят по формулата

$$r_d = \left( \frac{s_{\text{изк}}}{s_{\text{ест}}} - 1 \right) r_2 = \frac{\omega_{\text{ест}} - \omega_{\text{изк}}}{\omega_0 - \omega_{\text{ест}}} r_2 \quad (1.39)$$

където  $s_{\text{ест}}$  и  $\omega_{\text{ест}}$  са хлъзгането и скоростта на двигателя при работа на естествената му характеристика с даден момент,  $s_{\text{изк}}$  и  $\omega_{\text{изк}}$  — желаните хлъзгане и скорост при същия момент, които се получават в резултат на включване в роторната верига на резистор със съпротивление  $r_d$ ;  $r_2$  — активното фазно съпротивление на роторната верига.

Разглежданият начин на регулиране на скоростта е свързан със значителни загуби на енергия в резистора  $r_d$  и затова не е икономичен. Той се използва главно при кратковременен или повторнократковременен режим на работа.

Недостатък на реостатното регулиране е и това, че механичните характеристики, особено при ниски скорости, са с малка твърдост.

#### Регулиране чрез включване на допълнително индуктивно съпротивление в статорната верига

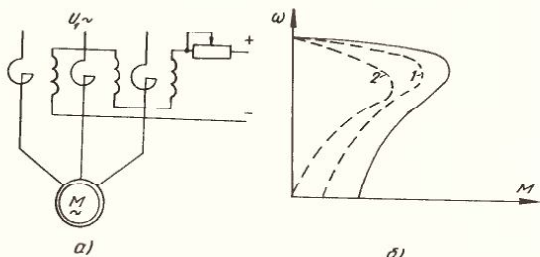
За регулиране в този случай се използват най-често дросели с подмагнитване.

Дроселът се състои от една работна намотка, включена в статорната верига на двигателя (фиг. 1.17 а), и една управляваща (подмагнитваща) намотка, включена към източник за постоянен ток. Чрез изменение на тока в управляващата намотка се изменя подмагнитването на феромагнитната сърцевина, а оттам — индуктивното съпротивление на основната намотка.

Включването на дросел в статорната верига на двигателя води до увеличаване на индуктивното съпротивление  $x_1$  на статорната верига и до намаляване на захранващото напрежение  $U_{1\phi}$ . В резултат се увеличава критичното хлъзгане (наклонът на характеристиките) и същевременно намалява критичният момент на двигателя. Общият вид на получените изкуствени характеристики е показан с кривите 1 и 2 на фиг. 1.17 б.



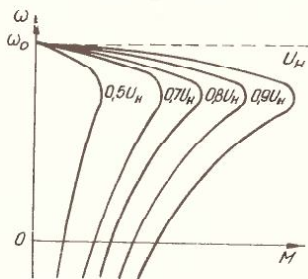
Този начин на регулиране е приложим и при двата вида асинхронни двигатели. Често той се комбинира при двигателите с навит ротор с регулирането чрез реостат в ротора.



Фиг. 1.17. Регулиране на скоростта чрез включване на индуктивно съпротивление в статорната верига  
а) схема на свързване; б) механични характеристики

### Регулиране чрез изменение на захранващото напрежение

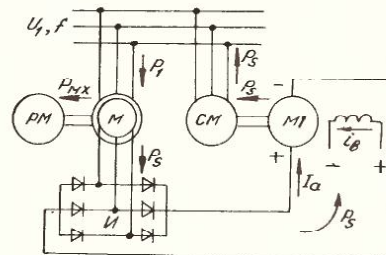
Изкуствените механични характеристики, получени чрез изменение на амплитудата на захранващото напрежение (фиг. 1.18), имат малка твърдост и номиналният момент на двигателя значително намалява с увеличаване на диапазона на регулиране ( $M \propto U^2$ ). За да се увеличи диапазонът на регулиране, в роторната верига на двигателя с навит ротор може да се включи допълнително съпротивление, като по този начин се увеличава стойността на  $s_k$ . Този начин на регулиране е неикономичен и се прилага само при маломощни задвижвания, където е необходимо временно понижаване на скоростта.



Фиг. 1.18. Механични характеристики при изменение на захранващото напрежение

### Каскадно регулиране

От разгледаните методи за регулиране най-добри показатели по отношение на диапазона на регулиране и твърдостта на меха-



Фиг. 1.19. Каскадно регулиране

ничните характеристики има реостатното регулиране в ротора на двигателя. При големи мощности на задвижването обаче този метод е твърде неикономичен, защото отделяните в регулиращите резистори активни загуби ( $3I_2^2 r_d$ ) стават твърде големи. Ефективно решаване на този проблем дават различните каскадни схеми. Те позволяват енергията, която при реостатното регулиране се разсейва като топлина, да се връща обратно в захранващата мрежа.

На фиг. 1.19 е показана една от най-простите каскадни схеми. В роторната верига на двигателя  $M$  чрез трифазния изправител  $I$  е включена последователно котвената верига на постоянноковия двигател  $MI$ . Той задвижва спомагателната машина  $CM$  (напр. синхронен генератор), който връща енергия в захранващата мрежа. Вместо да се изразходва напразно във вид на топлина, част от вторичната мощност на двигателя се използва за задвижване на двигателя  $MI$  и оттам чрез спомагателната машина  $CM$  се връща в мрежата. Големината на тази част от мощността може да се регулира плавно чрез изменение на възбудителния ток  $I_a$  на двигателя  $MI$ , а оттам — да се регулира плавно скоростта.

Каскадните схеми са сравнително сложни и скъпи (в тях участвуват две допълнителни електрически машини), затова се използват само при задвижвания с твърде голяма мощност (няколко хиляди kW), когато реализираните икономии от енергия са твърде значителни.

### Регулиране чрез превключване на броя на полюсите

Този начин на регулиране, свързан с изменение на скоростта на въртящото се магнитно поле  $\omega_0$  (вж. (1.27)), е твърде популярен и широко разпространен поради сравнителната си простота и удобство. Той е практически приложим само за двигателите с кафезен ротор, защото при двигателите с навит ротор превключването на броя на полюсите на статорната намотка изисква съответно изменение на техния брой и в роторната. При късосоединените двигатели това не е необходимо.

Изменението на броя на полюсите на един двигател може да стане по два начина: 1) като се използва статор с няколко намотки, разположени в общи канали, и с различен брой чифтове полюси  $p$ ; 2) като се използва секционирана намотка, чрез която да се получат различни стойности на  $p$  при превключване на отделните секции в схемата на свързване. Използването на няколко намотки не е изгодно, тъй като при ограниченото място в каналите сечението на проводниците на всяка от намотките трябва да се намали, което ще намали мощността на двигателите. Двигателите, в които може да се изменя броят на полюсите, се наричат многоскоростни. Най-разпространени са двускоростните двигатели. Те имат една намотка с възможност за превключване на броя на полюсите  $p$  в отношение 2:1. Многоскоростните двигатели се използват в металорежещите и дървообработващите машини, в товарните и пътническите асансьори и др.

Съществуват две основни схеми за превключване на намотките на двигателите в отношение  $p_2:p_1=2:1$  — при постоянен момент и при постоянна мощност.

За първата схема при превключване на намотката от по-малката скорост ( $p_2$ ) към по-голямата ( $p_1$ ) схемата на свързване се променя от звезда (Y) в двойна звезда (YY). При това, ако се приеме, че  $U_1 = \text{const}$ ,  $\cos \varphi_1 \approx \cos \varphi_2$  и  $\eta_2 = \eta_1$ , при свързване на намотките в звезда двигателят развива на вала си мощност

$$P_1 = 3 U_\phi I_\phi \cos \varphi_1 \eta_1. \quad (1.40)$$

При свързването им в двойна звезда двете половини от всяка фаза се свързват паралелно (фиг. 1.20 а), поради което токът във всяка фаза нараства два пъти и мощността на вала става

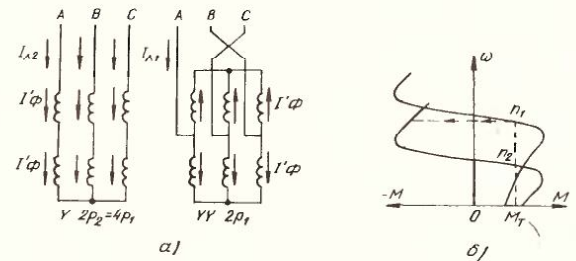
$$P_2 = 3 U_\phi 2 I_\phi \cos \varphi_2 \eta_2. \quad (1.41)$$

Тогава

$$\frac{P_2}{P_1} = 2.$$

Но понеже свързването в двойна звезда е свързано с двукратно увеличаване на скоростта, за въртящите моменти в двата луча се получава

$$M_2 = 975 \frac{P_2}{n_2} = 975 \frac{2P_1}{2n_1} = M_1,$$



Фиг. 1.20. Регулиране при постоянен момент

откъдето идва наименованието „регулиране на скоростта при постоянен момент“.

Механичните характеристики на двигателя при тази схема на свързване са показани на фиг. 1.20 б.

При втората схема на превключване свързването на намотките се променя от триъгълник ( $\Delta$ ) в двойна звезда ( $\Delta\Delta$ ) (фиг. 1.21 а). При свързване на намотките в триъгълник мощността е

$$P_1 = 3 U_\phi I_\phi \cos \varphi_1 \eta_1. \quad (1.42)$$

При свързването им в двойна звезда токът във всяка фаза също ще нарасне два пъти поради паралелното свързване на двете половини, но напрежението на всяка от фазите ще се намали  $\sqrt{3}$  пъти, или

$$P_2 = 3 \frac{U_\phi}{\sqrt{3}} \cdot 2 I_\phi \cos \varphi_2 \cdot \eta_2. \quad (1.43)$$

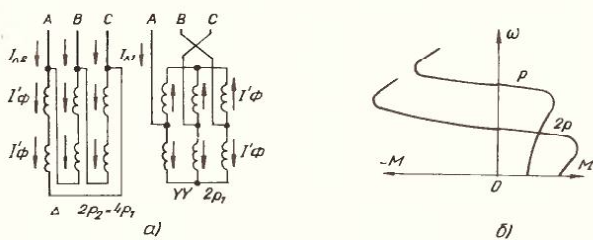
От (1.42) и (1.43) лесно получаваме

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155$$



или  $P_2 \approx P_1$ , откъдето идва наименованието „регулиране на скоростта при постоянна мощност“.

Механичните характеристики на двигателя в този случай са показани на фиг. 1.21 б.



Фиг. 1.21. Регулиране при постоянна мощност

Поякога двигателите се изработват с две независими статорни намотки, всяка от които позволява превключване на броя на полюсите. Получават се четири различни синхронни скорости, например  $3000/1500/1000/500 \text{ min}^{-1}$  или  $1500/1000/750/500 \text{ min}^{-1}$ .

По този начин скоростта се регулира икономично, без да се намалява твърдостта на механичните характеристики. Обаче многоскоростните двигатели в сравнение с едноскоростните имат увеличени габарити и по-лоши енергийни показатели (к.п.д.,  $\cos \phi$ ). Съществен недостатък е и това, че регулирането е стъпално, с малък брой степени и строго определено съотношение на скоростите за всяка от тях.

### Честотно регулиране

Този начин на регулиране също е свързан с изменение на скоростта на въртящото се магнитно поле (вж. формула (1.27)). Прилагането му изисква наличие на преобразувател на честота ПЧ (електромашинен, полупроводников и др. (фиг. 1.22 а)).

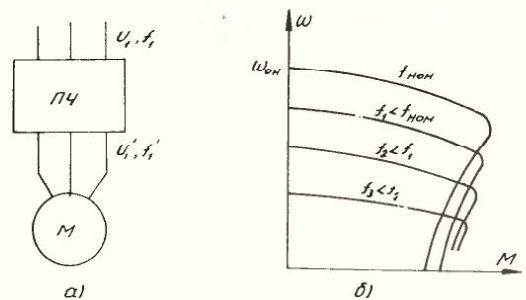
При регулиране на честотата обаче възниква необходимост да се регулира и амплитудата на захранващото напрежение. Това лесно може да се види от уравнението

$$U_{1\phi} \sim E_1 = 4,44 f_1 \Phi \omega_1 k_n - k \Phi f_1, \quad (1.44)$$

където  $U_{1\phi}$  и  $f_1$  са амплитудата и честотата на захранващото напрежение,  $\Phi$  — магнитният поток на асинхронния двигател,  $\omega_1$  —

броят на навивките на една фаза от статорната намотка,  $k_n$  — коефициентът на намотката.

Ако честотата се изменя при неизменно напрежение, магнитният поток ще се изменя в обратно пропорционална зависимост.



Фиг. 1.22. Честотно регулиране. Схема на свързване (а) и механични характеристики (б)

При намаление на честотата потокът ще нараства, това ще доведе до насищане на магнитопровода, а оттам и до рязко увеличаване на тока на двигателя. При увеличаване на честотата магнитният поток ще намалява, а с него и допустимият момент на двигателя.

Ясно е, че за запазване на постоянството на магнитния поток заедно с честотата трябва да се регулира и захранващото напрежение, като при постоянно натоварване на двигателя ( $M_c = \text{const}$ ) трябва да се спазва условието

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \text{ или } \frac{U'_1}{f'_1} = \frac{U_1}{f_1}. \quad (1.45)$$

Механичните характеристики на двигателя при честотното регулиране и спазване на условието (1.45) са показани на фиг. 1.22б. Тяхната твърдост е равна на тази на естествената характеристика.

Честотното регулиране може да се извършва в най-широк обхват под и над естествената механична характеристика на двигателя. Основният проблем за прилагането му е създаването на сравнително прости и евтини преобразуватели на честота.

### 1.2.5. СПИРАЧНИ РЕЖИМИ

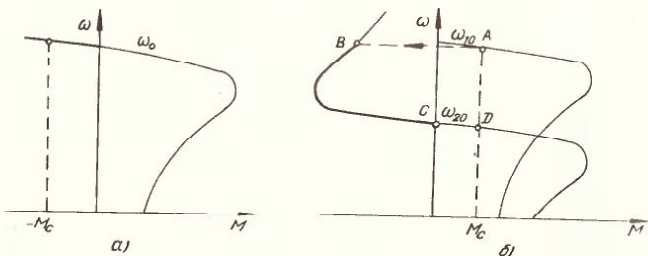
Основните спирачни режими на работа на всички видове двигатели бяха разгледани накратко в т. 1. 1. 4. Тук ще се спрем малко по-подробно на някои особености, свързани с реализирането им при асинхронните двигатели.

**Генераторно спиране.** Този режим може да се осъществи само при скорост, по-голяма от тази на въртящото се магнитно поле. При това асинхронната машина преминава в режим на генератор и отдава в мрежата активна енергия, но консумира реактивна енергия за възбуждане. Практически този режим може да се осъществи в два случая.

а. При наличие на активен съпротивителен момент (напр. при спускане на товар), който е в състояние да ускори ротора до скорост, по-голяма от синхронната. Механичната характеристика в този случай представлява продължение на естествената механична характеристика във втори квадрант (фиг. 1.23а).

б. При двускоростните асинхронни двигатели, когато се превключва от по-голяма към по-малка скорост. Преходът от механичната характеристика, съответстваща на голямата скорост, към механичната характеристика на малката скорост е показан на фиг. 1.23б до достигане на новия установен режим в т. D. В частта от характеристиката B—C двигателят работи в режим на генераторно спиране.

**Динамично спиране.** Този режим се осъществява, когато ста-

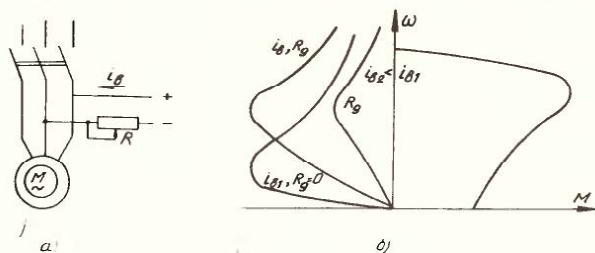


Фиг. 1.23. Механична характеристика на асинхронен двигател в режим на генераторно спиране при спускане на товар (а) и превключване на брой на полюсите (б)

торната намотка на двигателя се изключва от мрежата и към две от фазите ѝ се включва източник на постоянен ток (фиг. 1.24а).

При преминаване през статорната намотка постоянният ток създава неподвижно магнитно поле. Роторът се върти, в неговите

проводници се индуцира е. д. н. и протича ток, който взаимодейства с магнитното поле. Създава се електромагнитен момент, противопоставящ се на въртенето на ротора, т. е. моментът е спирачен. Машината работи като синхронен генератор с



Фиг. 1.24. Динамично спиране. Схема на свързване (а) и механични характеристики (б)

възбуждане в статора, който отдава енергията си в собственото активно съпротивление на роторната верига. Механичните характеристики при този режим са показани на фиг. 1.24б. Те могат да се изменят чрез включване на допълнително съпротивление  $R_d$  в роторната верига (ако двигателят е с фазов ротор) или чрез изменение на големината на възбудителния ток  $i_0$ . При превключване на двигателя в режим на динамично спиране скоростта му намалява до  $\omega=0$ .

Динамичното спиране е сравнително плавно, осъществява се лесно и затова е широко разпространено.

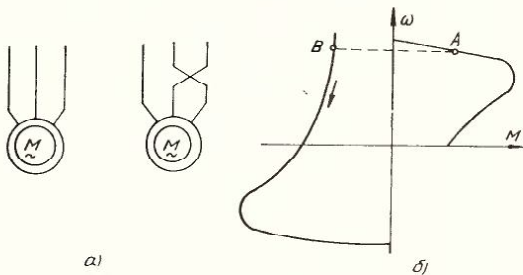
**Спиране чрез противовключване.** При този режим на спиране магнитното поле на статора се върти в посока, обратна на ротора. Така се създава спирачен момент. Наименованието „противовключване“ идва от най-употребявания начин за реализирането му — чрез превключване на две от фазите на двигателя (фиг. 1.25а). При това двигателя преминава в т. B на механичната характеристика и скоростта му бързо намалява до нула (фиг. 1.25б). След достигане на нулева скорост обаче той започва да се ускорява в обратна посока. За да се избегне това, при нулева скорост той трябва да се изключи от мрежата.

Този режим осъществява сравнително най-интензивно спиране, но е съпроводен с твърде големи механични и токови удари, поради което прилагането му не винаги е желано.

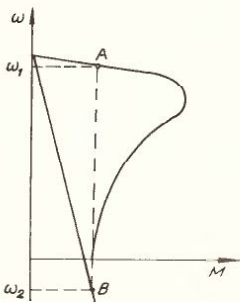
Съществува и друга възможност за спиране с противовключване (при двигатели с навит ротор), която също като при генераторното спиране е свързана с наличие на активен съпротивите-



лен момент. Да предположим, че двигателят на подемно устройство работи за издигане на товара в т. А от естествената си механична характеристика със скорост  $\omega = \omega_1$  (фиг. 1.26). Чрез включване на допълнително съпротивление в ротора двигателят се-



Фиг. 1.25. Спиране с противовключване. Схема на свързване (а) и механични характеристики (б)



Фиг. 1.26. Режим на противовключване при активен съпротивителен момент

превключва на работа върху изкуствена характеристика с голям наклон. Понеже двигателният момент става по-малък от съпротивителния, двигателят ще започне да намалява скоростта си до  $\omega = 0$ . След това под влияние на активния момент, създаван от товара, той ще започне да се върти обратно на посоката на въртене на магнитното поле до достигане на т. В, т. е. товарът ще започне да се спуска със скорост  $\omega = \omega_2$ , при което двигателят ще работи в режим на противовключване. Стойността на допълнителното съпротивление може да се определи по (1.39), като заместим  $s_{\text{нск}} = 1,2 \div 1,5$ .

### Въпроси и задачи

1. Обяснете защо в частта от механичната си характеристика, съответстваща на  $s > s_k$  и постоянен съпротивителен момент, работата на двигателя е неустойчива.

2. Посочете начините за получаване на изкуствени механични характеристики. Кои от тях се реализират практически най-лесно?

3. Сравнете начините за регулиране на скоростта на асинхронните двигатели, като отбележите положителните страни и недостатъците на всеки.

4. При какъв режим на работа хлъзгането на двигателя  $s > 1$ ?

5. Върху табелката на асинхронен двигател по отношение на захранващото напрежение е отбелязано:  $U 380 \text{ V}$ . Може ли този двигател да се пуска чрез превключване „звезда — триъгълник“?

## 1.3. ДВИГАТЕЛИ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК

### 1.3.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Двигателите за постоянен ток имат значително по-сложно устройство и по-висока цена в сравнение с обикновените асинхронни двигатели. Но за сметка на това те имат много по-добри регулировъчни качества, които ги правят незаменими за задвижвания, където е необходим широк диапазон за регулиране и има високи изисквания към регулировъчните характеристики. В зависимост от начина на свързване на възбудителната намотка различаваме:

**Двигатели с независимо възбуждане**, при които възбудителната намотка се захранва отделно от котвената. Независим източник на възбуждане може да бъде отделен генератор, акумулаторна батерия, токоизправител и др. Често двете намотки се захранват от един и същ източник на напрежение (паралелно възбуждане), като и в този случай възбудителният ток не зависи от тока в котвата.

**Двигатели с последователно възбуждане** (сериен двигатели), при които възбудителната намотка е свързана последователно с котвената.

**Двигатели със смесено възбуждане** (компаундни двигатели). Те имат две възбудителни намотки, едната от която е свързана паралелно (тя е основната), а другата — последователно на котвената верига.

Основни и общи за всички видове двигатели за постоянен ток са следните зависимости:

Уравнение на котвената верига:

$$U = E_a + I_a R_a, \quad (1.46)$$

където  $U$  е захранващото напрежение,  $E_a$  — е. д. н. на котвената намотка,  $R_a$  и  $I_a$  са съпротивлението и токът на котвата.

Скоростта на въртене на двигателя  $\omega$  може да се намери от (1.46), като се отчете, че е. д. н.  $E_a = c\Phi\omega$ :

$$\omega = \frac{U - I_a R_a}{c \Phi}, \quad (1.47)$$

където  $\Phi$  е стойността на магнитния поток, а  $c$  — константа на двигателя, която зависи от конструкцията му.

Въртящият момент се определя по формулата

$$M = c \Phi I_a. \quad (1.48)$$

### 1.3.2. МЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Механични характеристики на двигател с независимо възбуждане. Уравнението на механичната характеристика на двигателя с независимо възбуждане лесно може да се получи от съвместното решаване на уравнения (1.47) и (1.48) и има вида

$$\omega = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R_a}{c^2\Phi^2} M. \quad (1.49)$$

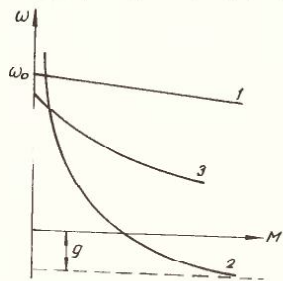
Тъй като стойностите на  $U$ ,  $\Phi$  и  $R_a$  са постоянни, за естествената механична характеристика може да се напише

$$\omega = \omega_0 - bM, \quad (1.50)$$

където  $\omega_0$  и  $b$  са константи и следователно (1.50) представлява уравнение на права линия (права 1 на фиг. 1.27). Тази права пресича ординатната ос в точката  $\omega = \omega_0$ , която е скоростта на идеален празен ход, а наклонът ѝ спрямо абсцисната ос (твърдостта на характеристиката) се определя от стойността на  $b$ , т. е. от големината на съпротивлението на роторната верига и от възбудителния магнитен поток на двигателя. Тя е реципрочна на твърдостта на механичната характеристика —  $b = \frac{1}{\beta}$ , определена с (1.1).

Механична характеристика на двигател с последователно възбуждане. Уравнението ѝ може да се получи по същия начин при съвместното решаване на (1.47) и (1.48), като се има предвид и това, че стойността на магнитния поток не е постоянна, а зависи от тока в котвата и следователно

$$\Phi = k_b I_a, \quad (1.51)$$



Фиг. 1.27. Механични характеристики на двигател за постоянен ток с независимо възбуждане

и от натоварването. Ако се приеме приблизителната линейна зависимост

за механичната характеристика ще получим израза

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{k_b c M}} - \frac{R_a}{k_b c} \quad (1.52)$$

или в съкратен вид

$$\omega = \frac{a}{\sqrt{M}} - g. \quad (1.53)$$

Това е уравнение на хипербола, едната ос на която е ординатата, а другата — права, успоредна на абсцисната ос и разположена под нея на разстояние  $\omega = -g$  (крива  $a$  на фиг. 1.27). От това следва, че при липса на натоварване скоростта нараства значително (теоретически се стреми към безкрайност). Затова този двигател не трябва да се пуска на празен ход или с малък товар.

Уравнението на механичната характеристика показва, че и тук получаването на изкуствени характеристики е свързано с изменение на захранващото напрежение или с изменение на съпротивлението на котвената верига на двигателя.

Механична характеристика на двигател със смесено възбуждане. Общият вид на естествената характеристика на този двигател е показана с крива 3 на фиг. 1.27. Тъй като основната възбудителна намотка е паралелната, характеристиката е сравнително по-близка до тази на двигателя с паралелно възбуждане, но е с по-малка твърдост от нея.

### 1.3.3. ПУСКАНЕ НА ДВИГАТЕЛИТЕ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК

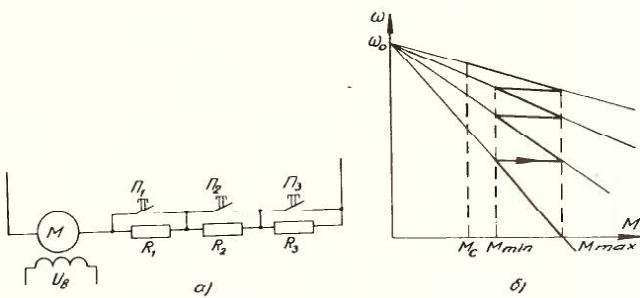
От уравнение (1.46) следва, че в момента на пускане ( $\omega = 0$  и  $E_a \approx 0$ ) при директно свързване на двигателя към захранващата мрежа през него протича ток

$$I_a = \frac{U}{R_a}. \quad (1.54)$$

При нормалните машини  $R_a$  има много малка стойност и затова при директно пускане токът в котвената верига достига недопустимо големи стойности:  $I_a = (20 \div 50) I_n$ . Ето защо директно могат да се пускат практически само двигатели с много малка мощност (под 1 kW), за които  $R_a$  е сравнително по-голямо. За всички останали двигатели трябва да се вземат специални мерки за понижаване на пусковия ток: включване на допълнителни резистори в котвената верига на двигателя и понижаване на захранващото напрежение.



**Пускане с допълнителни (пускови) резистори.** Това е най-разпространеният начин на пускане на двигателите за постоянен ток. Схемата на свързване и изменението на момента и скоростта в съответствие с механичните характеристики на двигателя с независимо възбуждане са показани на фиг. 1.28.



Фиг. 1.28. Пускане на двигател за постоянен ток с пускови резистори. Схемата на свързване (а) и механични характеристики (б)

Двигателят се включва към мрежата с последователно включен в котвената му верига резистор със съпротивление  $R_d = R_1 + R_2 + R_3$ . Стойността на  $R_d$  се избира така, че пусковият ток да не надминава определена стойност  $I_n = (1,5 \div 2,5) I_n$  в зависимост от мощността на двигателя (по-големи стойности на пусковия ток се допускат за по-маломощни двигатели), т.е.

$$I_n = \frac{U}{R_a + R_d} \leq (1,5 \div 2,5) I_n \quad (1.55)$$

В процеса на развъртане на двигателя с прекъсвачите  $P_1, P_2$  и  $P_3$  се изключват трите степени на пусковия резистор. Процесът на пускане и преходът на двигателя на отделните механични характеристики са показани на фиг. 1.28б. Броят на степените на пусковия резистор и стойността на всяка от тях се избират така, че през време на пускане моментът на двигателя да се изменя между максималната ( $M_{max} = M_n$ ) и минималната стойност ( $M_{min}$ ). Тук са в сила същите съображения, които бяха посочени при пускането на асинхронните двигатели с навит ротор — по-голямата стойност на  $M_{min}$  води до съкращаване на времето за пускане, но е свързана с увеличаване на броя на пусковите степени, а оттам и с усложняване и оскъпяване на пусковата апаратура. Практически броят на степените обикновено е  $5 \div 6$ . Те се измеряват за кратковременен режим на работа.

Двигателите с последователно и смесено възбуждане се пускат аналогично.

**Пускане при понижено напрежение на котвата.** Пусковият ток може да се ограничи и чрез захранване на котвената верига от отделен източник с регулируемо напрежение (отделен генератор за постоянен ток, управляеми изправители). При това е необходимо възбудителната намотка да се захранва от друг, независим източник на напрежение, така че при пускане възбудителният ток в нея да е равен на номиналния. Този начин на пускане се използва при мощни двигатели с регулиране на скоростта.

### 1.3.4. РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА

От уравненията за механичните характеристики на двигателите (1.49) и (1.52) следва, че принципно са възможни три основни начина за регулиране на скоростта:

чрез изменение на съпротивлението в котвената верига на двигателя;

чрез изменение на захранващото напрежение;

чрез изменение на възбудителния поток.

При по-подробното разглеждане на тези начини ще имаме предвид преди всичко двигателите с независимо възбуждане, които поради добрите си регулировъчни качества намират най-широко приложение в регулируемите електрозадвигания.

**Регулиране чрез изменение на съпротивлението в котвената верига.** Този начин на регулиране се състои във включване на различни по стойност резистори в котвената верига на двигателя и по същество схемата за регулиране не се отличава от тази за реостатно пускане (фиг. 1.28). Уравнението на изкуствени механични характеристики на двигателя с независимо възбуждане може лесно да се получи от (1.49), като добавим към съпротивлението на котвената верига съпротивлението на регулировъчния резистор  $R_d$ :

$$\omega = \frac{U}{c \Phi} - \frac{R_a + R_d}{c^2 \Phi^2} M$$

или в съкратен вид

$$\omega = \omega_0 - b' M,$$

където  $b' > b$  (вж. 1.50).

Оттук следва, че всички изкуствени реостатни характеристики се пресичат в една точка на ординатната ос при  $\omega_0$ , а наклонът им спрямо естествената се увеличава с нарастване на  $R_d$ , т.е. твърдостта им намалява (фиг. 1.29 а). Това ограничава диапазона на регулиране до около 3:1.

Уравнението на изкуствените характеристики на двигателите с последователно възбуждане ще получим аналогично от (1.52):

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{k_b c M}} - \frac{R_a + R_d}{k_b c}$$

или съкратено

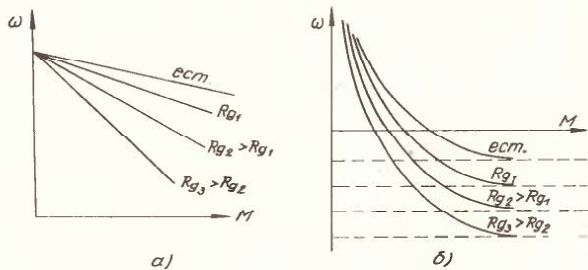
$$\omega = \frac{a}{\sqrt{M}} - g',$$

където  $g' > g$ .

Следователно изкуствените характеристики на двигателя с последователно възбуждане представляват също хиперболи с една обща ос — ординатата, а втората — успоредна на абсцисата, се намира на разстояние  $g'$  от нея (фиг. 1.29 б), което се увеличава с увеличаване на  $R_d$ , т. е. твърдостта на механичните характеристики и тук намалява с увеличаване на  $R_d$ .

Реостатното регулиране е свързано със значителни енергийни загуби в регулиращите резистори и затова е твърде неикономично, особено при двигатели с големи мощности. Въпреки несвършенствата си то се прилага често, особено в подземно-транспортните механизми, поради сравнително простата си реализация.

Разновидност на реостатното регулиране при двигателите с независимо възбуждане представлява схемата на фиг. 1.30, където освен добавъчния резистор  $R_d$  в котвената верига е включен



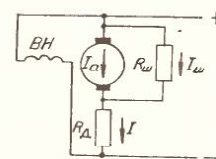
Фиг. 1.29. Изкуствени механични характеристики при реостатно регулиране на двигател с независимо (а) и с последователно (б) възбуждане

и резисторът  $R_{ш}$  (паралелно на котвата на двигателя). Така практически се намалява котвеното напрежение и уравнението на регулировъчните характеристики ще има вида

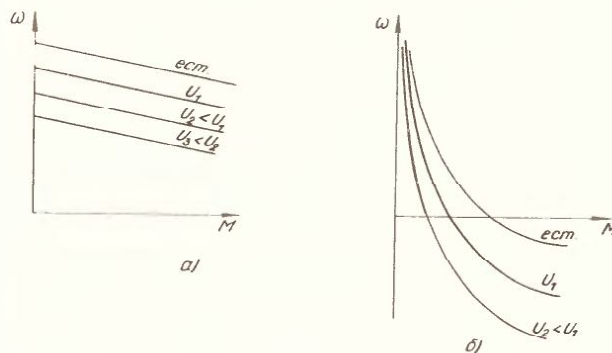
$$\omega = \omega_0' - b'M,$$

където  $\omega_0' < \omega_0$  и  $b' > b$ , т. е. това са уравнения на прави линии, които пресичат ординатната ос под естествената характеристика на двигателя и наклонът им спрямо абсцисната ос е по-голям в сравнение с естествената.

С увеличаване на стойността на  $R_{ш}$  скоростта на идеален празен ход на двигателя намалява, но твърдостта на изкуствените характеристики е по-голяма в сравнение с тези, получени при същото добавъчно съпротивление  $R_d$ , но без шунтиране. Това дава възможност за разширяването на диапозона на регулиране до  $(5 \div 6):1$ , но е свързано с допълнителните енергийни загуби в резистора  $R_{ш}$ . Затова тази схема на регулиране се използва при двигатели със сравнително малка мощност (няколко kW) за кратковременно снижаване на скоростта.



Фиг. 1.30. Шунтиране на котвата на двигателя. Схема на свързване

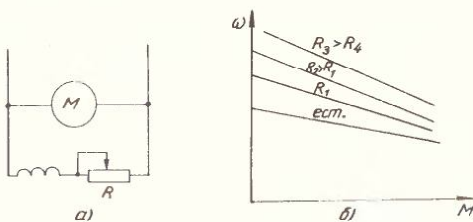


Фиг. 1.31. Изкуствени механични характеристики при изменение на захранващото напрежение на двигателя с независимо (а) и с последователно (б) възбуждане

Регулиране чрез изменение на захранващото напрежение. Тъй като работата на двигателите при напрежение  $U > U_n$  е недопустима, този начин на регулиране дава възможност за изменение на скоростта под номиналната. При това положение к. п. д.



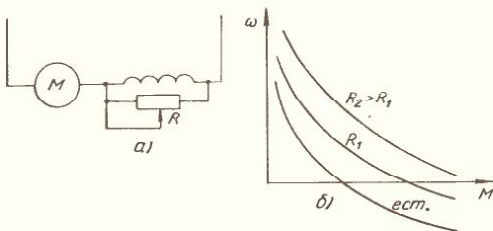
на двигателя остава висок, тъй като в схемата му не се включват никакви допълнителни съпротивления. Получените механични характеристики и за двата основни вида двигатели (фиг. 1.31) са успоредни на естествената и следователно имат същата твърдост.



Фиг. 1.32. Регулиране на скоростта чрез изменение на възбудяването на двигател с паралелно възбудяване. Схема за свързване (а) и механични характеристики (б)

Този начин дава най-добри възможности за регулиране, но изисква отделен източник на регулируемо напрежение. Въпреки това той намира много широко приложение в системите за безстепенно регулиране на скоростта.

**Регулиране чрез изменение на възбудяването.** Изменението на възбудителния поток на двигателя може да се осъществи чрез



Фиг. 1.33. Изменение на възбудителния поток на двигател с последователно възбудяване. Схема на свързване (а) и механични характеристики (б)

включване на регулируем резистор последователно във възбудителната верига на двигателя с паралелно възбудяване (фиг. 1.32 а) или паралелно на възбудителната намотка при двигателя с последователно възбудяване (фиг. 1.33 а).

Нормалните електрически машини са изчислени за работа с максимален магнитен поток, съответстващ на началото на насищане на магнитната им верига. При това възбудителният ток съответствува на максимално допустимото нагряване на възбудителната намотка в условията на продължителна работа. Поради това регулиране по този начин може да се извършва само за сметка на намаляване на възбудителния ток, а оттам и на магнитния поток. Получените механични характеристики са показани на фиг. 1.32 б и 1.33 б. Те са разположени над естествената характеристика на двигателя и имат по-малка твърдост от нея, тъй като с намаляване на  $\Phi$  нарастват стойностите на  $\omega_0$  и  $b$  в уравнението (1.50).

Диапазонът на регулиране за обикновените машини е до 2:1, а при машините със специално изпълнение достига до 8:1. Той се ограничава от механичната якост на машината и от условията на комутация. При високи скорости комутацията се влошава поради увеличените вибрации на четковия апарат, неустойчивостта на четковия контакт и по-силното изкривяване на отслабеното магнитно поле от реакцията на тока на котвата.

Регулирането е сравнително икономично, тъй като допълнителните съпротивления са включени във вериги със сравнително малка мощност. Основен недостатък, който ограничава прилагането му, е възможността за регулиране само над номиналната скорост. Затова в схемите за регулиране този начин обикновено се използва в съчетание с други, позволяващи регулиране под номиналната скорост.

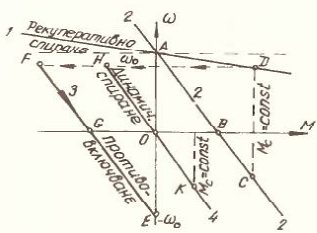
### 1.35. СПИРАЧНИ РЕЖИМИ

**Генераторно (рекуперативно) спиране.** Този режим се осъществява само ако скоростта стане по-голяма от тази на идеален празен ход  $\omega_0$ , следователно при наличие на активен съпротивителен момент (спускане на товар, движение на транспортно средство по наклон). В този случай е. д. н.  $E_a = c \omega \Phi$  става по-голямо от напрежението на мрежата, токът  $I_a = \frac{U - E_a}{R_a}$  сменя знака си, следователно сменя знака си и електромагнитният момент, който става съпротивителен. Машината става генератор, който отдава енергия в мрежата.

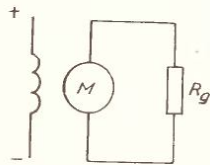
Механичната характеристика в този режим е продължение на естествената характеристика във втория квадрант на координатната система ( $M, \omega$ ) (фиг. 1.34).

Режимът на рекуперативно спиране е невъзможен при нормално свързване на двигателя с последователно възбудяване, защото техните механични характеристики не преминават във втори квадрант, тъй като  $\omega_0 \rightarrow \infty$ . Този режим може да се приложи

при тях само ако възбудителната им намотка се изключи от веригата на котвата и се свърже към независим източник на напрежение. Това се прави често, защото особено при електротранспортните съоръжения, по този начин се възстановява голямо количество енергия.



Фиг. 1.34. Механични характеристики в спиращи режими



Фиг. 1.35. Динамично спиране

**Динамично спиране.** Този режим се реализира, като котвената верига на двигателя се изключва от захранващото напрежение и се свързва нахъсо или през резистора  $R_d$ . При това възбудителният поток се запазва същият (Фиг. 1.35).

Машината започва да работи в режим на генератор с независимо възбуждане за сметка на кинетичната енергия на въртящите се маси. Произведената електрическа енергия се изразходва в резистора  $R_d$ . Механичната характеристика на двигателя в режим на динамично спиране е показана с права 4 на фиг. 1.34. С намаляване на скоростта спиращият момент също намалява. За да се увеличи стойността му при по-малките скорости, понякога резисторът  $R_d$  е с няколко степени, които се изключват последователно при намаляване на скоростта.

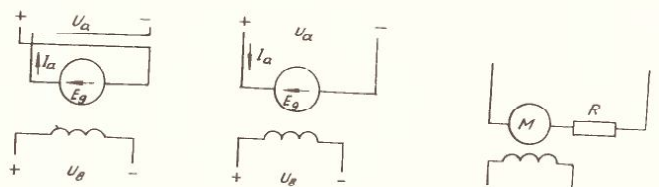
**Спиране с противовключване.** Този режим се осъществява по два начина. Първият се състои в изменение на полярността на захранващото напрежение в котвената верига на двигателя (Фиг. 1.36). След превключване на напрежението работната точка на двигателя преминава върху съответната механична характеристика във II квадрант (участък  $FG$  от крива 3 на фиг. 1.34). Под действието на развивания спиращ момент скоростта бързо намалява и стига до нула, след което двигателят започва да се развърта в обратна посока, ако не се изключи от мрежата.

Ако двигателят е работил на естествената си характеристика, то при превключване на полярността на котвената верига е. д. н.

на двигателя ще стане съпосочно с външното захранващо напрежение и токът в котвата ще достигне стойност

$$I = \frac{U + E_a}{R_a}$$

многократно по-голяма от номиналния ток на двигателя. Поради това в режим на противовключване котвената верига на двига-



Фиг. 1.36. Спиране с противовключване

Фиг. 1.37. Режим на противовключване при активен съпротивителен момент. Схема на свързване

теля трябва да се включи добавъчен резистор за ограничаване на тока.

Режимът на спиране с противовключване може да се осъществи при наличие на активен съпротивителен момент чрез включване на резистор с достатъчно голямо съпротивление в котвената верига (Фиг. 1.37). В този случай двигателят се превключва върху изкуствена характеристика с голям наклон (права 2 на фиг. 1.34). Поради малката стойност на въртящия момент скоростта на въртене намалява до нула (т.  $B$  на фиг. 1.34), след което под влияние на активния външен момент двигателят започва да се развърта в обратна посока. При това моментът на двигателя запазва знака си и е насочен срещу посоката на въртене, т. е. осъществява се режим на противовключване. Скоростта на въртене в установен режим (в т.  $C$ ) се регулира чрез изменение на допълнителното съпротивление  $R_d$ . Този начин на осъществяване на режима може да се използва при подежни устройства за спускане на товара с малки скорости.



### 1.3.6. БЕЗСТЕПЕННО РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА

Разгледаните в т. 1.3.4 начини за регулиране на скоростта на двигателите за постоянен ток показваха, че най-перспективният от тях се състои в изменение на захранващото напрежение при постоянен магнитен поток на двигателя. Получените изкуствени механични характеристики имат голяма твърдост, равна на тази на естествената, което дава възможност да се регулира скоростта в широк обхват без допълнителни енергийни загуби, при големи стойности на останалите показатели на процеса на регулиране. Затова този метод се прилага изключително много във всички системи за електрозадвижване.

Реализацията на този метод изисква наличие на източник на регулируемо напрежение, който може да бъде самостоятелен регулируем генератор, или управляем преобразувател на мрежовото напрежение. В зависимост от това скоростта на двигателите се регулира в различни системи, най-разпространените от които са:

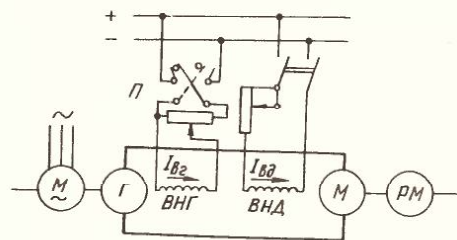
- „Генератор — двигател“ (Г — Д),
- „Електромашинен усилвател — двигател“ (ЕМУ — Д),
- „Магнитен усилвател — двигател“ (МУ — Д),
- „Полупроводников преобразувател — двигател“ (ПП — Д).

Като двигател във всички случаи се използва двигател за постоянен ток с независимо възбуждане, който има най-добри възможности за регулиране и затова се прилага най-често.

#### Система „Генератор — двигател“ (Г — Д)

Тази система, наричана още *леонардова група*, се състои от работен механизъм РМ и двигател за постоянен ток (М), захранван от отделен генератор (Г) със съизмерима мощност. Генераторът се задвижва от самостоятелен двигател — асинхронен или синхронен (в големите агрегати). Възбудителните намотки на генератора и двигателя се захранват от независим източник на напрежение (фиг. 1.38). Пускането и регулирането на скоростта се извършват по следния начин. При максимален възбудителен ток  $I_{вд}$  на двигателя и  $I_{вг}=0$  се пуска първичният двигател АД. След това започва плавно да се увеличава  $I_{вг}$ . При известно малко напрежение в котвената верига двигателят започва да се върти, като с нарастването му скоростта плавно се увеличава. Регулирайки по този начин плавно възбудителния ток, а оттам и напрежението на генератора, можем да получим скорости на двигателя от 0 до  $\omega = \omega_n$ . По-нататъшното увеличаване на скоростта е възможно чрез намаляване на възбудителния ток на двигателя. За реверсиране на двигателя  $I_{вг}$  се намалява до нула, превключва се възбудителната намотка на генератора (ВНГ) чрез превключвателя П и отново се увеличава до необходимата стойност.

Спирането при системата Г — Д се извършва обикновено чрез от даване на енергия в мрежата. За целта се намалява възбуждането и напрежението на генератора. Тогава е. д. н. на двигателя  $E_d$  става по-голямо от е. д. н. на генератора  $E_g$ . Токът в котвената верига



Фиг. 1.38. Регулиране по система генератор — двигател

$$I_a = \frac{E_g - E_d}{R_{ог} + R_{ад}} \quad (1.56)$$

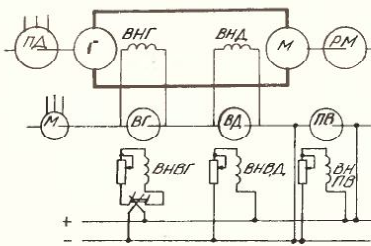
сменя посоката си и ролите на двете машини се разменят: двигателят става генератор, а генераторът — двигател, който завърта асинхронната машина над синхронната ѝ скорост и я превръща в асинхронен генератор, който отдава енергия в променливотоковата мрежа.

При по-голяма мощност на двигателя (напр. в задвижването на прокатните станове, където мощността надминава 5000 kW) управлението на възбужданията на двигателя и генератора става много сложно. В такива случаи от простата схема Г — Д (фиг. 1.38) се преминава към каскадна (двустепенна). При нея генераторът Г се задвижва от отделен помощен двигател ПД (фиг. 1.39). Възбудителните намотки на генератора (ВНГ) и на двигателя (ВНД) се захранват от отделни възбудителки ВГ и ВД, чийто възбудителни намотки ВНВГ и ВНВД се захранват от отделна подвъзбудителка ПВ, и цялото управление на системата е пренесено във веригите на възбудителките. Тази система е по-благодействаща поради наличието на две степени, но процесът на управление при нея е значително облекчен.

*Механични характеристики.* Уравнението на механичните характеристики лесно може да се получи от (1.49) и има вида

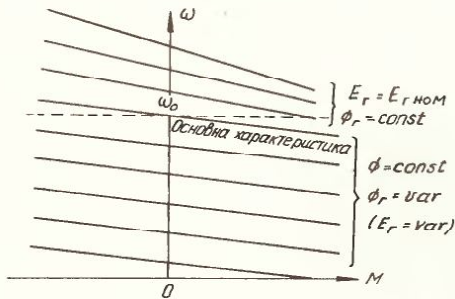
$$\omega = \frac{E_g}{c \Phi} - \frac{R_{ог} + R_{ад}}{c^2 \Phi^2} M, \quad (1.57)$$

където  $E_r$  е е. д. н. на генератора, а  $R_{ag}$  и  $R_{ad}$  — съпротивления на котвената верига на генератора и двигателя. Изкуствените характеристики при изменение на  $E_r$  и  $\Phi = \text{const}$  са прави линии, успоредни на естествената механична характеристика. Тяхната



Фиг. 1.39. Двустепенна (каскадна) система Г—Д

твърдост е по-малка от тази на характеристиките, получени при захранване на двигателя от мрежа с постоянно напрежение, поради наличието на допълнителното активно съпротивление на генератора  $R_{ag}$  в котвената верига (фиг. 1.40).

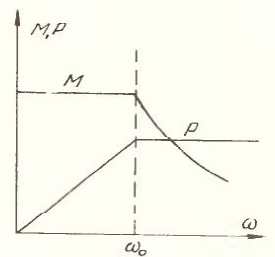


Фиг. 1.40. Механични характеристики при регулиране по система Г—Д

При регулиране над основната скорост чрез отслабване на магнитния поток ( $E_r = E_{r \text{ ном}}$ ) твърдостта на характеристиките намалява и те се разполагат над естествената.

От основните зависимости на двигателите с независимо възбуждане лесно може да се види, че при регулиране в зоната под номиналната скорост, когато магнитният поток на двигателя е постоянен и равен на номиналния, въртящият му момент (1.48) също остава постоянен за целия диапазон на регулиране или, с други думи, регулирането на скоростта под номиналната се извършва при постоянен момент. При това мощността на двигателя намалява с намаляването на скоростта ( $P \equiv M \omega$ ).

Регулирането в зоната над основната скорост се извършва чрез намаляване на магнитния поток. С него намалява и номиналният момент на двигателя. Затова пък мощността му



Фиг. 1.41. Изменение на момента и мощността на двигателя при регулиране по система Г—Д

$$P \equiv M \omega = c \Phi I_a \frac{U - I_a R_a}{c \Phi} = (U - I_a R_a) I_a \approx \text{const.}$$

Или регулирането в зоната над основната скорост на двигателя се извършва при постоянна мощност. На фиг. 1.41 е показано изменението на момента и мощността на двигателя в двете зони на регулиране.

Широкото използване на системата Г—Д се определя от възможностите за регулиране в широк обхват. Долната граница на скоростта, която може да се получи, е около  $0,1 \omega_n$ . Тя се ограничава от силното влияние на реакцията на котвата на генератора при слабите полета, влиянието на остатъчния магнетизъм върху тях и от относително големия пад на напрежение в намотката. Като се вземе предвид, че чрез отслабване на полето на двигателя скоростта му на въртене може да се регулира над номиналната, общият обхват на изменение на скоростта, т. е. диапазонът на регулиране на системата Г—Д може да достигне 1:30.

Механичните характеристики на системата Г—Д при двигателя с последователно и смесено възбуждане също са достатъчно твърди и осигуряват стабилно регулиране в диапазон до 10÷15. Тези двигатели обаче се използват сравнително рядко в системата Г—Д.

**Предимства и недостатъци на системата Г—Д.** Положителни качества на системата Г—Д са:

1. Възможността за безстепенно регулиране в широк обхват.
2. Голямата твърдост на механичните характеристики.
3. Възможността за плавно пускане, спиране и реверсиране на дви-



гателя чрез подходящо изменение на напрежението на генератора, без да е необходима специална апаратура.

4. Високите икономически показатели на процеса на регулиране, дължащи се на липса на енергийни загуби в допълнителни пускови или регулиращи резистори в котвената верига, както и на възможността за спиране чрез рекуперация (връщане на енергия в мрежата).

5. Простотата на схемата за регулиране и на системата като цяло.

Същевременно системата не е лишена и от недостатъци, най-съществените от които са:

1. Голяма инсталирана мощност на участващите в системата машини — над три пъти по-голяма от мощността на регулируемия двигател, което е свързано със сравнително нисък к. п. д. (до 70 ÷ 75%).

2. Големи габарити и цена.

3. Големи експлоатационни разходи, свързани с ремонта и обслужването на въртящите се електрически машини.

През последните 10—15 години системата Г—Д беше в значителна степен изместена от съвременните статични полупроводникови преобразуватели, които ще бъдат разглеждани по-нататък, но и сега тя е почти без конкуренция в областта на регулируемите електрозадвижвания с големи мощности (над няколкостотин kW).

#### Система „Електромашинен усилвател — двигател“ (ЕМУ—Д)

Електромашинните усилватели представляват електрически машини за постоянен ток със специална конструкция, които имат много голям коефициент на усилване по отношение на електрическите сигнали, подавани на възбудителните им намотки.

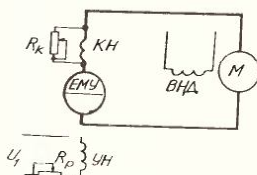
Ще припомним, че всеки генератор за постоянен ток може да се разглежда като електромеханичен усилвател, тъй като определени изменения на възбудителната му мощност предизвикват многократно по-големи изменения на мощността, която той отдава. С други думи, той усилва електрическия сигнал за сметка на механичната мощност, която получава чрез вала си. За обикновените електрически машини коефициентът на усилване може да се определи с израза

$$k_y = \frac{P_a}{P_b} = \frac{U_a \cdot I_a}{U_b \cdot I_b} \quad (1.58)$$

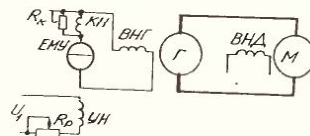
Като имаме предвид, че обикновено  $U_a = U_b$  и  $I_b = (0,02 \div 0,05) I_a$ , то стойността му е в границите от 20 до 50.

При електромашинните усилватели стойностите на коефициента на усилване достигат няколко хиляди. При най-разпространен-

ния от тях — ЕМУ с напречно поле (амплидин), това се постига чрез конструктивно обединение на два последователно свързани постояннотокови генератора. Тяхната конструкция и принцип на действие са разглеждани подробно в курса по електрически машини.



Фиг. 1.42. Регулиране на скоростта по система ЕМУ—Д



Фиг. 1.43. Използване на ЕМУ като възбудителка в системата Г—Д

На фиг. 1.42 е показана схема за регулиране на скоростта на двигателя за постоянен ток с независимо възбуждане по система ЕМУ—Д. В нея ЕМУ изпълнява ролята на генератора в системата Г—Д, поради което работата на показаната система не се различава от тази на системата Г—Д. Механичните характеристики на двигателя имат същия вид.

Предимство на тази схема е, че поради големия коефициент на усилване на ЕМУ за регулиране на скоростта е необходима много по-малка мощност, отколкото в системата Г—Д. Друго предимство на разглежданата схема е, че електромашинният усилвател може да има няколко управляващи намотки (обикновено четири), което позволява регулирането да се извършва при едновременно действие на няколко управляващи сигнала. Това позволява да се получат различни по форма механични характеристики, необходими за някои специални задвижвания.

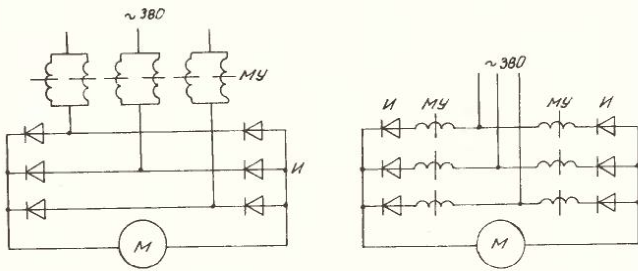
Когато регулираният двигател е с голяма мощност, електромашинният усилвател се използва за регулиране на възбуждането на генератора в системата Г—Д. В случая ЕМУ играе ролята на възбудителка (фиг. 1.43). Тук се използва също големият коефициент на усилване на ЕМУ и останалите предимства на електромашинния усилвател.

#### Система „Магнитен усилвател — двигател“ (МУ—Д)

Магнитният усилвател (силовите магнитни усилватели се наричат още дросели с насищане) е електрически апарат, в който се използва изменението на магнитната проводимост на феромагнитните материали под действието на магнитното поле. Него-

вото устройство и начин на работа са разгледани подробно в курса по електрически апарати.

В електрозадвигвания с малка мощност (до 4÷5 kW) магнитните усилватели могат да захранват директно котвата на постоянно



Фиг. 1.44. Свързване на еднофазни магнитни усилватели в трифазни схеми

явнотоковия двигател, т. е. да изпълняват ролята на гсисратора в системата Г—Д.

При еднофазните схеми на свързване пулсациите на изправеното напрежение са сравнително големи и натоварването на мрежата е несиметрично. Това влошава енергетичните показатели на двигателя и на системата като цяло. За намаляване на този недостатък еднофазните магнитни усилватели се свързват в трифазни схеми (фиг. 1.44).

Механичните характеристики на двигателя, включен по системата МУ—Д, са с по-малка твърдост в сравнение с тези на системата Г—Д, тъй като магнитният усилвател представлява допълнително съпротивление, включено в котвената верига на двигателя. Това ограничава диапазона на регулиране до 1 : (4÷5).

**Предимствата** на системата МУ—Д са:

1. Магнитният усилвател е статичен преобразувател — в него няма въртящи се части и обслужването му е много просто.
2. Магнитният усилвател понася големи претоварвания, което повишава сигурността на системата.
3. Магнитният усилвател може да има няколко управляващи намотки, което дава възможност за управление на системата от няколко различни сигнала.

По-съществени **недостатъци** на системата са:

1. Магнитният усилвател е много инертен и затова не е подходящ за системи на регулиране, в които е необходимо голямо бързодействие.
2. С нарастване на мощността значително се увеличават масата и габаритите на магнитните усилватели. Това ограничава

приложението на МУ за регулиране на скоростта на двигатели с мощност, не по-голяма от 10÷15 kW.

3. Посоката на въртене на двигателя не може да се измени безконтактно, трябва да се превключи полярността на котвената верига. Този недостатък може да се избегне чрез свързване на магнитните усилватели в т. нар. реверсивни (двукатни) схеми. В тези схеми изменението на полярността на входния сигнал предизвиква изменение на полярността на изходното напрежение. Тези схеми обаче са значително по-сложни, поради което почти не се използват в системата МУ—Д.

#### Система „Полупроводников преобразувател — двигател“ (ПП—Д)

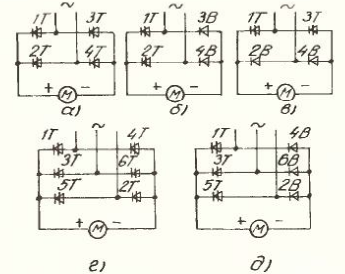
Полупроводниковите преобразуватели (усилватели) могат да се изпълнят с транзистори или тиристори. Транзисторите са с ограничена мощност, поради което използването им в системите за електрозадвигване е възможно само за двигатели с много малка мощност (под 1 kW). Изключително приложение в електрозадвигването сега намират полупроводниковите управляеми вентили, наречени *тиристори*.

Изработваните в настоящия момент тиристори са за токове до 200 А и напрежение до 1000 V, но техните качества и номинални параметри непрекъснато се подобряват.

За захранване на котвените и на възбудителните намотки на двигателите за постоянен ток се използват различни

мостови изправителни схеми на регулиране на изходното изправено напрежение. Най-често срещаните от тях са показани на фиг. 1.45. В зависимост от захранващото напрежение те биват еднофазни (фиг. 1.45 а, б, в) и трифазни (фиг. 1.45 г, д), а в зависимост от броя на управляемите полупроводникови елементи — симетрични или напълно управляеми (фиг. 1.45 а и г) и несиметрични или полууправляеми (фиг. 1.45 б, в, д).

Броят на елементите на *еднофазните изправителни схеми* е по-малък. Те са по-прости и по-евтини. Изходното изправено напрежение при тях обаче има по-големи пулсации, което увеличава



Фиг. 1.45. Схеми на тиристорни преобразуватели



ва загубите в управлявания двигател. Затова еднофазните изправителни схеми се използват в задвижвания с малка мощност (до  $2 \div 3$  kW). За регулиране на скоростта на двигатели с по-голяма мощност се прилагат трифазни изправителни схеми, тъй като освен по-малките загуби на мощност при тях и захранващата мрежа се натоварва симетрично.

*Несиметричните (полууправляемите) изправителни схеми* имат предимство пред симетричните поради по-малкия брой управляеми елементи. Това опростява схемата за управление на изправителя и намалява цената му. При *симетричните схеми* обаче възможностите за регулиране на изправеното напрежение и за работа в специални режими (например рекуперативно спиране) са по-големи. Пулсациите на изправеното напрежение при несиметричните схеми са по-големи.

Изборът на дадена схема и на елементите в нея се определят от конкретните условия, при които изправителят ще работи, и изискванията към задвижването, за което се проектира. Дадена схема на практика винаги се захранва чрез специален трансформатор, за да се съгласува максималното изправено напрежение с номиналното напрежение на двигателя. За да се избегне употребата на трансформатор, в последно време се произвеждат и двигатели с номинални напрежения, съответстващи на изправените напрежения на тиристорните схеми.

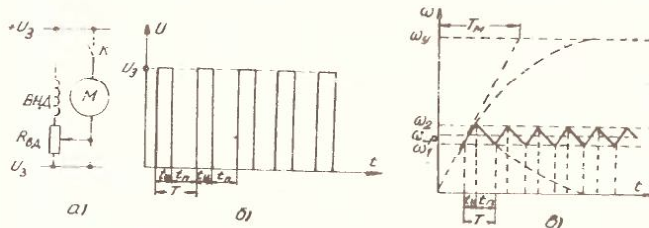
Регулирането на скоростта с разгледаните изправителни схеми се извършва чрез регулиране на изправеното напрежение. Ако изправителят е включен към котвата на управлявания двигател, регулирането се основава на същия принцип, както в системата „Г—Д“ — чрез изменение на напрежението. Ако изправителят е включен към възбудителната намотка, регулирането става чрез изменение на възбудителния ток. Механичните характеристики на двигателите са подобни на разгледаните вече съответни характеристики.

Основни *предимства* на управляемите тиристорни изправители са големият коефициент на усилване, голямото бързодействие и малкият обем на устройствата. *Недостатък* на управляемите тиристорни схеми е, че тиристорите не понасят продължителни претоварвания и изискват специални мерки за защита.

#### Система „Широчинно-импулсен преобразувател — двигател“ (ШИМ—Д)

За разлика от разгледаните дотук методи за регулиране, където плавно се изменя някой от параметрите на подаваната към двигателя енергия (най-често големината на захранващото напрежение), при импулсно регулиране параметрите на захранващия източник не се изменят, но енергията се подава към двигателя в непрекъснато, а на отделни импулси. В най-прост случай то-

ва може да се осъществи по схемата на фиг. 1.46 а, където с помощта на контакта  $K$  двигателят периодично се включва и изключва към захранващото напрежение. Подаваното към котвата на двигателя напрежение представлява ред импулси с продължи-



Фиг. 1.46. Регулиране по система ШИМ — Д

телиост на всеки импулс  $t_n$  и време между два импулса  $t_n$  (фиг. 1.46 б).

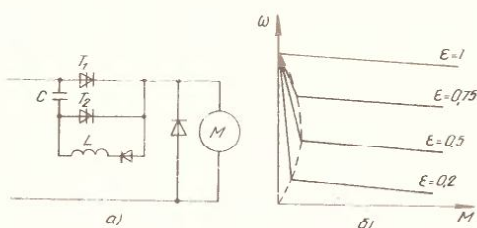
Ако периодът на повторение на тези импулси  $T = t_n + t_n$  е постоянен и значително по-малък от електромеханичната време-константа на двигателя  $T_m$ , скоростта не може да достигне установената си стойност  $\omega_y$ , съответстваща на амплитудата на захранващото напрежение, а се колебае около някаква средна стойност  $\omega_{cp}$  (фиг. 1.46 в). Тази средна стойност зависи от съотношението на времената  $t_n$  и  $t_n$ , по-точно от величината

$$\epsilon = \frac{t_n}{t_n + t_n} = \frac{t_n}{T} \quad (1.59)$$

наречена *относителна продължителност на включването*. Колкото тази величина е по-голяма и следователно колкото е по-голяма ширината на прилагания към двигателя импулс, толкова по-голяма ще бъде и средната стойност  $\omega_{cp}$  на скоростта му. Ясно е, че регулирането на скоростта е свързано с изменение на ширината на захранващите импулси, което е дало и наименованието на този начин на регулиране — *широчинно-импулсно*, а на преобразувателите, които го осъществяват — *широчинно-импулсни модулатори (ШИМ)*.

На фиг. 1.47 а е показана принципната схема за регулиране на скоростта на двигател с помощта на ШИМ с два тиристора  $T_1$  и  $T_2$ . Ролята на ключ при подаването на управляващ импулс изпълнява тиристорът  $T_1$ . Изключването на  $T_1$  се осъществява с помощта на спомагателния тиристор  $T_2$ , подаващ към  $T_1$  запущащо напрежение на комутиращия кондензатор  $C$ , който се презарежда през индуктивността  $L$ .

Механичните характеристики на двигателя, управляван по тази схема, са показани на фиг. 1.47б. С пунктирна линия е ограничена зоната на прекъснат ток в котвата, в която твърдостта на механичните характеристики е малка. Основен метод за намаля-



Фиг. 1.47. Регулиране на скоростта с ШИМ с два тиристора

ване на тази зона и за намаляване на пулсациите на тока на котвата, момента и ъгловата скорост на двигателя е увеличаване на честотата на комутация, която достига до 800–1200 Hz.

#### Въпроси и задачи

1. Кой от двигателите за постоянен ток има най-добри възможности за регулиране? В какво се изразяват те?
2. От какво се ограничават диапазонът на регулиране на двигателите с независимо възбуждане в зоните под и над основната скорост?
3. Каква стойност трябва да има възбудителният ток на двигателя с независимо възбуждане при пускане? Обяснете защо.
4. Направете кратко сравнение на начините за регулиране на скоростта на двигателите за постоянен ток. Кой от тях е най-икономичен?
5. Кой спирачен режим осигурява най-бързо спиране на двигателя? Обяснете защо.
6. Може ли да се регулира скоростта на въртене на двигателя с независимо възбуждане под основната чрез увеличаване на възбудителния му поток? Обяснете защо.

### 1.4. СИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ

#### 1.4.1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Конструкцията и принципът на действие на тези двигатели са разгледани подробно в курса по електрически машини. Най-характерното за тях е това, че роторът на двигателя се върти с постоянна скорост, равна на скоростта на въртящото се магнитно поле, определена от зависимостта (1.27).

Според конструкцията на ротора, където обикновено са разположени намотките, създаващи постоянно магнитно поле, син-

хронните двигатели биват два вида — *явнополюсни* и *неявнополюсни*. Намотките за постоянен ток се захравват най-често от специална машина, наречена възбудителка, чрез контактни пръстени и четки, монтирани върху вала на двигателя.

Съвременните синхронни двигатели имат върху ротора си и още една късосъединена намотка, която служи за пускане на двигателя в асинхронен режим, както и за успокояване на евентуални колебания на ротора при променливо натоварване.

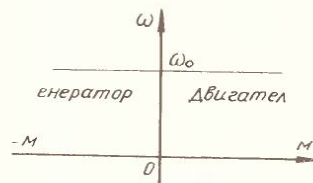
#### 1.4.2. МЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

От принципа на работа на синхронния двигател следва, че скоростта му е постоянна и не зависи от натоварването, т. е. механичната му характеристика е абсолютно твърда и представлява права линия, успоредна на абсцисната ос (фиг. 1.48).

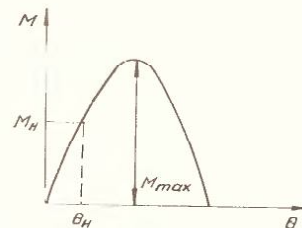
Това свойство на синхронния двигател се обяснява с характера на електромагнитния му момент. При въртене оста на ротора изостава от оста на въртищото се магнитно поле на някакъв ъгъл  $\theta$ , чиято стойност зависи от конструкцията на двигателя. С увеличаване на натоварването този ъгъл нараства, при което се увеличава и въртящият момент на двигателя в съответствие със зависимостта

$$M = M_{\max} \cdot \sin \theta, \quad (1.60)$$

Този ъгъл и въртящият момент на двигателя може да се увеличават до 90 електрически градуса ( $\sin 90^\circ = 1$ ), след което дви-



Фиг. 1.48. Механична характеристика на синхронен двигател



Фиг. 1.49. Ъглова характеристика на синхронен двигател

гателят излиза от синхронизъм и спира. Зависимостта между ъгъла и товарния момент се нарича *ъглова характеристика на двигателя* (фиг. 1.49).

Отношението на максималния момент, който двигателят може да развие, към номиналния се нарича *коэффициент на статическо претоварване*:



$$k_m = \frac{M_{\max}}{M_n} \quad (1.61)$$

Обикновено  $k_m \approx (2 \div 2,5)$ , но съществуват и специални синхронни машини, където той достига до  $3,5 \div 4$ .

#### 1.4.3. ПУСКАНЕ, СПИРАНЕ И РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА

За да се включи към захранващата мрежа, синхронният двигател трябва да има преди включването:

1. Ред на фазите, равен с този на мрежата.
2. Е. д. н., равно по амплитудна, моментна, ефективна стойност и честота на напрежението на мрежата.

Само при изпълнение на тези условия, иаречени условия за паралелна работа, синхронната машина — била тя двигател или генератор — може да бъде включена към електрическата мрежа. Процесът, свързан с изпълняването на тези условия и включването към мрежата, се нарича *синхронизиране*.

Съществуват три начина за пускане на синхронните двигатели: с помощен двигател, честотно пускане, асинхронно пускане.

**Пускане с помощен двигател.** Този начин се използва, ако синхронната машина е свързана с друга машина — постоянно-токова. В този случай постоянно-токовата машина може да се използва като двигател за развъртане до синхронната скорост. След изпълняването на условията за паралелна работа — равенство на честотата и на напреженията, машината се включва към мрежата. Освен това включването на машината в паралел по този начин трябва да е съпроводено с операциите по синхронизирането, които не са съвсем прости.

**Честотно пускане.** Този начин изисква източник с регулируема честота и (едновременно) напрежение. В случая двигателят е в синхронизъм от момента на развъртането си — неговата скорост се изменя с промяната на честотата. Честотният преобразувател обаче е скъп и този начин не се прилага по същите съображения, както и при регулирането на скоростта на въртене на асинхронните двигатели.

**Асинхронно пускане.** Това е най-широко разпространеният начин за пускане на синхронните двигатели. Самото му наименование показва, че по време на това пускане синхронната машина ще работи като асинхронен двигател.

За осъществяване на такова пускане съвременните синхронни двигатели имат на ротора си и допълнителна пускова късосъединена намотка, подобна на кафезната намотка на асинхронните двигатели. В такъв случай при включване на двигателя към променливотоковото захранващо напрежение (възбудителната намотка при това е изключена!) той се развърта като обикновен асинхронен двигател. При достигане на скорост, близка до син-

хронната ( $\omega = 0,95 \omega_0$ ), към възбудителната намотка се подава постоянно напрежение и двигателят влиза в синхронизъм.

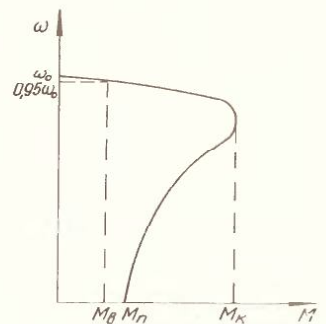
Пусковата характеристика на двигателя в този случай има същия вид както при асинхронните двигатели (фиг. 1.50). Тук също така могат да се определят понятията пусков момент ( $M_n$  на фиг. 1.50) и критичен момент ( $M_k$ ). Освен това тук се определя и т. нар. *входен момент* ( $M_B$ ). Това е моментът, развиван от двигателя при  $\omega = 0,95 \omega_0$ , при който той се включва в синхронизъм.

При синхронни двигатели с голяма мощност асинхронното пускане може да се облекчи чрез реактор или автотрансформатор.

От известните начини за спиране на двигателите при синхронните се използва само динамичното спиране. При него двигателят се изключва от мрежата и се включва към някакво активно съпротивление. Процесът протича така както при асинхронните двигатели.

Генераторното спиране е неприложимо, тъй като и в генераторен режим (фиг. 1.48) скоростта на въртене се запазва постоянна. Спирането с противовключване протича при много тежки условия, поради което практически не се използва.

Скоростта на въртене на синхронните двигатели може да бъде регулирана само чрез изменение на честотата на захранващото напрежение, но това почти не се прилага. На практика тези двигатели се използват само в задвижвания, където се изисква поддържане на строго постоянна скорост, а не регулирането ѝ.



Фиг. 1.50. Асинхронно пускане на синхронен двигател

#### 1.4.4. ПРИЛОЖЕНИЕ

В сравнение с асинхронните двигатели синхронните имат голямо предимство, което се състои в това, че благодарение на възбуждането с постоянен ток те могат да работят с  $\cos \varphi = 1$ . При това те не консумират реактивна мощност от мрежата, а когато работят превъзбудени, даже и отдават реактивна мощност. В резултат на това се подобрява факторът на мощността на мрежата и се намаляват падът на напрежение и загубите в нея. Подобрява се и  $\cos \varphi$  на генераторите, работещи в електроцентра-

лите. Максималният момент на синхронния двигател е пропорционален на  $U$ , а на асинхронния двигател — на  $U^2$ . Затова при понижаване на напрежението синхронният двигател запазва по-голяма претоварваща способност. Синхронните двигатели имат по-голям к. п. д. от асинхронните.

От друга страна, конструкцията на синхронните двигатели е по-сложна, отколкото на късосъединените асинхронни двигатели и освен това синхронните трябва да имат възбудителя или друго устройство за захранване на възбудителната намотка с постоянен ток. Затова в повечето случаи синхронните двигатели са по-скъпи. Тяхното пускане е по-сложно и регулирането на скоростта — трудно.

Въпреки това предимството на синхронните двигатели е толкова голямо, че при  $P_n > 200-300$  kW е целесъобразно да се използват навсякъде, където не са необходими чести пускания и спирания и регулиране на скоростта на въртене — за задвижване на генераторите в системи Г—Д, мощни помпи, вентилатори, компресори, мелници, трошачки и пр. Използването на синхронните двигатели непрекъснато се разширява и те се строят с мощности до  $P_n = 50\,000$  kW.

## 1.5. РЕЖИМИ НА РАБОТА И ИЗБОР НА ДВИГАТЕЛИ

### 1.5.1. НАГРЯВАНЕ И ОХЛАЖДАНЕ НА ДВИГАТЕЛИТЕ

Правилното определяне на мощността на двигателите има голямо значение за работата на задвижваните от тях механизми. При недостатъчна мощност на двигателя не могат напълно да се използват производствените мощности на машината. Двигателят системно се претоварва и бързо излиза от строя. Завишаването на необходимата мощност води до непълно използване на двигателя, при което се влошават експлоатационните му показатели (к. п. д.,  $\cos \phi$ ), а необходимите капиталовложения и експлоатационни разходи нарастват.

Понятието *номинална мощност на двигателя* е свързано с неговото нагряване. Известно е, че двигателят се нагрява поради загубите на енергия в него. Загубите, които се дължат на нагряването на намотките, са пропорционални на натоварването и се наричат *променливи загуби*.

Останалите загуби, дължащи се на хистерезиса, вихровите токове и на механичното триене, зависят много слабо от натоварването, поради което се наричат *постоянни*.

Отделните части на двигателя се нагряват под влиянието на различни видове загуби и имат различни топлинни характеристики. При това между тях се извършва непрекъснат теплообмен. Всич-

ко това затруднява твърде много точното изследване на процеса. Затова опростено се приема, че двигателят е еднородно тяло с еднакви топлинни свойства. При това допускане може лесно да се определи, че при работа с определено натоварване нагряване

на двигателя се повишава, стремейки се асимптотически към някаква установена стойност  $\tau_y$  (фиг. 1.51). Изменението на температурата на двигателя може да се определи с уравнението

$$\tau = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right), \quad (1.62)$$

където величината  $T$  с размерност време се нарича *времеконстанта на нагряване*. Тя може да се определи графично с допирателната в началната точка на кривата на нагряване (фиг. 1.51).

От (1.62) следва, че установената стойност на нагряване  $\tau_y$  се достига теоретично след време  $t = \infty$  (за  $t = \infty$  се получава  $e^{-\frac{t}{T}} = 0$ ). За време  $t \geq 4T$  обаче достигнатата температура се различава от  $\tau_y$  само с около 2%, така че процесът на нагряване може практически да се приеме за завършен.

При охлаждане изменението на температурата (фиг. 1.51) се описва с уравнението

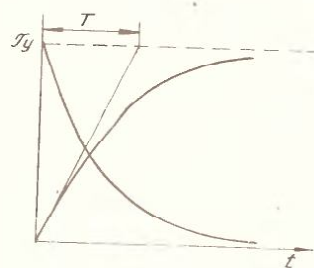
$$\tau = \tau_y e^{-\frac{t}{T}}. \quad (1.63)$$

От него следва също, че пълно охлаждане на двигателя,  $\tau = 0$ , теоретически се постига за  $t = \infty$ , но практически процесът на охлаждане може да се смята за завършен след време  $t \geq 4T$ .

Стойността на времеконстантата на нагряване зависи от размерите на двигателя и вида на конструкцията му. За обикновени двигатели с малка и средна мощност тя е равна на  $20 \div 30$  min. Следователно времето за достигане на установената температура е около  $80 \div 120$  min.

Максималната допустима температура, до която може да се нагрее двигателят, се определя от най-малко топлоустойчивия материал в неговата конструкция — изоляцията на намотките му. Според максималната допустима температура  $\tau_m$  се различават следните класове на изоляция:

Клас	А	Е	В	Г	Н
°C	105	120	130	155	180



Фиг. 1.51. Криви на нагряване и охлаждане на електродвигател



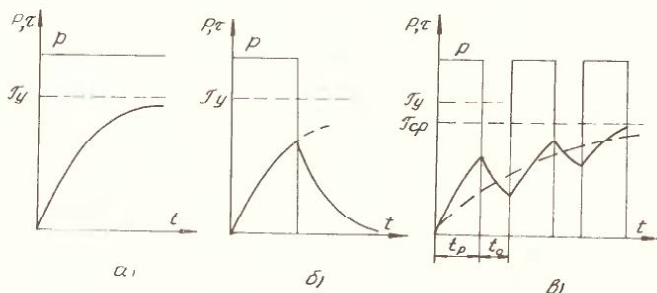
Най-разпространена в практиката е изолацията от клас А. Към нея се отнасят памучните материали, хартията и др., пропити с изолационни материали, лакове и емайли. Тя се употребява предимно за двигатели с малки и средни мощности.

Към клас В се отнасят слюдата, азбестът, стъкленото влакно и други подобни материали, при които е използвано органично свързващо вещество (микафолий, микалента). Те се използват за двигатели с големи мощности и с тежък режим на работа (кранови и металургични).

Под номинална мощност на двигателя се разбира тази, при чието постоянно действие нагряването му за  $t \rightarrow \infty$  не превишава максималното допустимо за съответния клас на изолацията. При това условие максималният срок на служба на двигателя е 12—15 години (за клас А). Прегряването силно съкращава срока на служба. Може да се приеме приблизително, че превишаването на максималната работна температура с всеки  $8^\circ\text{C}$  съкращава двойно този срок.

### 1.5.2. РЕЖИМИ НА РАБОТА

При задвижването на много производствени механизми натоварването и мощността на двигателя се изменят. Това може нагледно да се представи чрез товарната диаграма, която представява изменението на мощността или въртящия момент на двигателя във времето.



Фиг. 1.52. Режимы на работа на двигателяте  
а) продължителен; б) кратковременен; в) повторно-кратковременен

Според вида на натоварването, а оттам и според характера на нагряване и охлаждане на двигателите различаваме няколко режима на работа, които се регламентират от БДС 180—74.

1. **Продължителен** (фиг. 1.52 а). Характеризира се с постоян-

но натоварване и продължително време на работа, за което двигателят достига установената си температура  $t_y$ . Съгласно БДС се означава върху табелката на електродвигателя с S1.

2. **Кратковременен** (фиг. 1.52 б). Характеризира се също с постоянно натоварване, но за периода на работа двигателят не успява да достигне установената си температура и в следващата пауза се охлажда напълно. Означава се с S2, като след него се поставя някоя от стандартизираните стойности на продължителността на работа — 10, 30, 60 и 90 min.

3. **Повторно-кратковременен** (фиг. 1.52 в). За периода на работа двигателят не успява да достигне установената си температура, но и не може да се охлади напълно в следващата пауза. В резултат на редуване на периоди на натоварване и паузи температурата на двигателя се установява около някаква средна стойност  $t_{cp}$ , по-малка от установената.

Повторно-кратковременният режим на работа се означава с S3 и се характеризира с величината

$$PB = \frac{t_p}{t_p + t_0}, \quad (1.64)$$

която се нарича *продължителност на включването* и почти винаги се означава в %. Приети са 4 основни стойности на  $PB$  — 15, 25, 40 и 60 %, за които се определят мощностите на двигателите. Мощностите са определени за различни  $PB$  при продължителност на цикъла  $(t_p + t_0) \leq 10$  min, освен ако в каталога няма други специални указания.

4. **Повторно-кратковременен с чести пускания** (S4). Периодите на работа на този режим са също като S3, но допустимият брой включвания в час е повишен и може да има една от следните стандартни стойности, които се означават върху табелката на машината: 30, 60, 120 и 240.

5. **Повторно-кратковременен с чести пускания и електрическо спиране** (S5). Този режим е аналогичен на S4 по всички показатели, но се отчита и електрическото спиране, което повишава прегряването.

6. **Променлив** (S6). По характер е аналогичен на S3 с тази разлика, че при премахване на външното натоварване двигателят не се изключва от мрежата, а остава да работи на празен ход. Характеризира се също с относителната продължителност на работа, определена по формула (1.64).

7. **Променлив с чести пускания и електрическо спиране** (S7). Съдържа аналогично на S5 периодично повтарящи се интервали на пускане, постоянно външно натоварване и електрическо спиране. Практически двигателят е постоянно под напрежение. Характеризира се с продължителността на включване и брой на включванията в час.

8. Променлив с изменение на скоростта (S8). Натоварването на двигателя в границите на един цикъл се изменя с изменение на скоростта. Характеризира се с броя на включенията в час, относителната продължителност на работа за всяко външно натоварване и съответната на него скорост.

Режимите на работа, прелвиждащи голям брой включения в час (S4, S5, S7 и S8), се характеризират и с т. нар. *коэффициент на инерция (F)*, който представлява отношение на общия инерционен момент на всички движещи се части на машината (приведен към вала на двигателя) към инерционния момент на двигателя. Приети са следните стандартни стойности на  $F$ : 1,2; 1,6; 2; 2,5 и 4.

В практиката често могат да се срещнат режими на работа, чиито товарни диаграми се различават от разгледаните. По същество обаче всеки режим може да се разглежда като сума на някои от горните.

### 1.5.3. ИЗБОР НА МОЩНОСТТА НА ДВИГАТЕЛИТЕ

Избор на мощността при продължителен режим на работа с постоянно натоварване (S1). Режимът на работа с постоянно или малко изменящо се натоварване е характерен за работата на много механизми: помпи, вентилатори, тежки металорежещи машини и др. В такъв режим номиналната мощност на електродвигателя ( $P_n$ ) трябва да бъде равна на мощността, която се изисква за задвижване на работния механизъм ( $P_p$ ). Ако в каталога на двигателите няма двигател с такава мощност, избира се двигателят с най-близката по-голяма мощност. Следователно изборът на двигателя в продължителен режим на работа се определя от условията

$$P_n \geq P_p \text{ или } M_n \geq M_p.$$

Необходимата мощност за задвижване на работния механизъм може да се определи с помощта на теоретични зависимости, характерни за съответния технологичен процес, или по експериментален път.

Допълнителните динамични натоварвания, които възникват при пускане или електрическо спиране в този режим на работа, са възможни, но много редки и не се вземат под внимание, защото практически не оказват влияние върху нагряването на двигателя.

**Избор на мощността при кратковременно натоварване (S2).** Необходимата мощност при кратковременен режим на работа обикновено се избира от възможността за претоварване на двигателя (максимален момент). Така например за асинхронен двигател

$$M_{\max} = M_n = k_n \cdot M_n, \quad (1.65)$$

където  $k_n$  е кратността на пусковия момент на двигателя (вж. (1.35)).

За постояннотокови двигатели обикновено се приема

$$M_{\max} = (2-2,5) M_n. \quad (1.66)$$

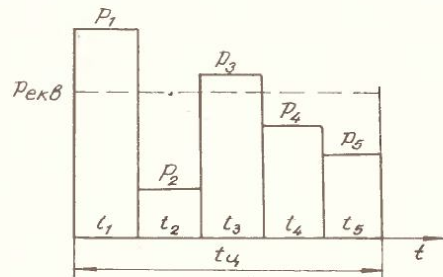
По-голямо увеличаване на максималния момент при тях е не-допустимо, защото силно се влошава комутацията.

Така че окончателно за избор на двигател в кратковременен режим на работа може да се напише

$$P_{\max} \geq P_p \text{ или } M_{\max} \geq M_p. \quad (1.67)$$

Обаче използването на двигател, предназначен за постоянно натоварване, в кратковременен режим на работа не е много целесъобразно. Твърде често претоварващата способност на нормалните двигатели е твърде ниска. Поради това избраният двигател по условията (1.65) и (1.66) няма да може да достигне максимално допустимата си температура в края на работния период, т. е. той ще се използва недостатъчно. Поради това за кратковременен режим на работа се конструират специални видове двигатели.

**Избор на мощността при продължителен режим на работа с променливо натоварване.** Този режим също е характерен за работата на металорежещи машини, транспортни ленти, елеватори, топкови мелници и др. Товарната му диаграма (фиг. 1.53) се



Фиг. 1.53. Режим на продължителна работа с променливо натоварване

характеризира с циклични или напълно произволни изменения на товара. Възможни са и режими на пускане и електрическо спиране, които са твърде редки и влиянието им върху нагряването на двигателя може да се пренебрегне.



За да определим необходимата мощност на двигателя, променливият цикъл на работа се заменя с еквивалентен цикъл със същата продължителност и с постоянно натоварване (като на фиг. 1.52 а), така че количеството топлина, отделено в двигателя през време на еквивалентното натоварване, да е равно на количеството топлина, отделено при реалното натоварване. Следователно може да се напише

$$Q_{\text{екв}} \cdot t_{\text{ц}} = Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + Q_3 t_3 + Q_4 t_4 + Q_5 t_5, \quad (1.68)$$

където  $Q_{\text{екв}}$  е количеството топлина, отделено за единица време при работа с еквивалентното натоварване;  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5$  — количествата топлина, отделени за единица време при работа със съответните натоварвания на реалния цикъл.

Количеството топлина, отделено за единица време, е пропорционално на загубите в двигателя. Разделяйки последните на постоянни и променливи, ще получим израза

$$(\Delta P_n + bI_{\text{екв}}^2) t_{\text{ц}} = (\Delta P_n + bI_1^2) t_1 + (\Delta P_n + bI_2^2) t_2 + (\Delta P_n + bI_3^2) t_3 + (\Delta P_n + bI_4^2) t_4 + (\Delta P_n + bI_5^2) t_5, \quad (1.69)$$

в който с  $\Delta P_n$  са означени номиналните постоянни загуби, а променливите са пропорционални на квадрата на тока ( $b$  е коефициент на пропорционалност). От него лесно може да се получи формулата на еквивалентния ток

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + I_4^2 t_4 + I_5^2 t_5}{t_{\text{ц}}}}, \quad (1.70)$$

която за най-общ случай на натоварване ще напишем във вида

$$I_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{t_{\text{ц}}}}, \quad (1.71)$$

където  $t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + \dots + t_n$ .

При постоянен магнитен поток на двигателя въртящият му момент е приблизително пропорционален на тока. Тогава може да се използва формулата за еквивалентния момент

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_{\text{ц}}}}, \quad (1.72)$$

Ако механичната характеристика на двигателя е достатъчно твърда, мощността му е приблизително пропорционална на момента и тогава може да се използва формулата за еквивалентна мощност

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_{\text{ц}}}}, \quad (1.73)$$

Изборът на двигател може да се извърши по едно от условията

$$I_n \geq I_{\text{екв}}; M_n \geq M_{\text{екв}} \text{ или } P_n \geq P_{\text{екв}}. \quad (1.74)$$

Най-точно е първото (методът на еквивалентния ток), но практическото му приложение е много трудно, тъй като изисква построяване на товарната диаграма във вида  $I=f(t)$ . Затова обикновено се използват останалите два метода — на еквивалентния момент и еквивалентната мощност.

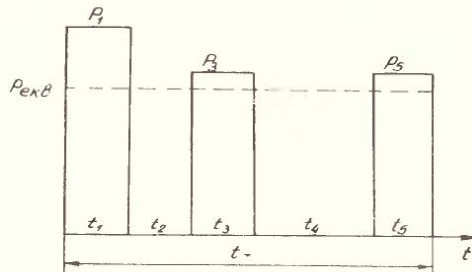
Двигателят, избран по някои от горните методи, трябва да се провери и на претоварване, т. е. на условието

$$\frac{I_{\text{max}}}{I_n} \leq \lambda_I \text{ или } \frac{M_{\text{max}}}{M_n} \leq \lambda_M, \quad (1.75)$$

където  $M_{\text{max}}$  и  $I_{\text{max}}$  са максималните стойности на момента и тока на двигателя в товарната диаграма, а  $\lambda_I$  и  $\lambda_M$  са максималните допустими стойности за избрания двигател.

Ако избраният двигател по (1.74) не удовлетворява условието (1.75), трябва да се избере следващият по мощност двигател в каталога.

Избор на мощността при повторно-кратковременен режим на работа с променливо натоварване. Идеалната товарна диаграма на повторно-кратковременния режим на работа S3 е показана на фиг. 1.52 в. На практика обаче тя почти не се среща в този вид, а във вида, показан на фиг. 1.54, където големината на



Фиг. 1.54. Режим на повторно-кратковременна работа с променливо натоварване

натоварванията и продължителността на времената на работа и пауза могат да имат различна стойност. Тази диаграма е особено характерна за крановите механизми.

Тогава мощността на двигателя се избира по следния начин. Определя се по товарната диаграма еквивалентната мощност на двигателя

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_3^2 t_3 + P_5^2 t_5}{t_1 + t_3 + t_5}} \quad (1.76)$$

и продължителността му на включване

$$ПВ = \frac{t_1 + t_3 + t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5} = \frac{\sum t_p}{\sum t_p + \sum t_0} \quad (1.77)$$

където с  $t_p$  е означено времето за работа, а с  $t_0$  — времето, през което двигателят е изключен от мрежата. За да се отчетат влошените условия на охлаждане през време на паузите, то се умножава с корекционен коефициент  $\alpha \approx 0,25 \div 0,35$ . За продължителността на включване се получава окончателно

$$ПВ = \frac{\sum t_p}{\sum t_p + \alpha \sum t_0} \quad (1.78)$$

Определената стойност на ПВ обаче рядко съвпада с някоя от стандартните стойности (15, 25, 40 и 60%). Обикновено в каталозите мощността на двигателите, предназначени за повторно-кратковременна работа, се дава за ПВ = 25%, освен ако изрично не е посочена някаква друга стойност.

За това за окончателния избор на двигателя е необходимо определената еквивалентна мощност по товарната диаграма (1.76) да се приведе към указаната в каталога продължителност на включване ( $ПВ_{\text{кат}}$ ) по формулата

$$P'_{\text{екв}} = P_{\text{екв}} \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{\text{кат}}}} \quad (1.79)$$

Тогава избираме двигател от условието

$$P_n \geq P'_{\text{екв}} \quad (1.80)$$

Избраният двигател трябва да се провери и на претоварване по (1.75).

За работа в повторно-кратковременен режим се конструират специални двигатели. Характерно за тях е стремението да се намали инерционният момент на ротора (по-малък диаметър и по-голяма дължина) за намаляване на времето на преходните процеси.

Избор на двигател за голям брой включения в час. Ако технологичният процес изисква голям брой включения в час — до няколко хиляди (т. е. значително над предвидения стандартен брой за режимите S4, S5 и S7), решаващи за нагряването на двигателя са топлинните загуби през време на преходните процеси на пускане и спиране.

Максимално допустимият брой на включванията в час Z може да се определи по формулата

$$Z = 3600 \frac{(\Delta P_n - \Delta P_p) ПВ + \alpha (1 - ПВ) \Delta P_n}{\Delta A_n + \Delta A_c} \quad (1.81)$$

където  $\Delta P_n$  и  $\Delta P_p$  са загубите от мощност в двигателя при номинално натоварване ( $P_n$ ) и действителното натоварване ( $P_p$ );  $\alpha$  — коефициент, отчитащ влошеното охлаждане през време на паузите (вж. формула 1.78), а  $\Delta A_n$  и  $\Delta A_c$  са загубите на енергия при пускане и спиране, чието точно определяне сега няма да разглеждаме.

Анализът на формула (1.81) показва, че увеличение на допустимия брой включения в час може да се постигне чрез намаляване на натоварването на двигателя (а оттам и на  $\Delta P_p$ ) или чрез подобряване на охлаждането му през време на паузите (увеличаване на стойността на  $\alpha$ ) чрез системата за независима вентилация на двигателя, която действа непрекъснато през време на работа.

Увеличаването на мощността ( $\Delta P_n$ ) не винаги води до увеличаване на Z, тъй като с нея расте и инерционният момент на двигателя, а оттам и загубите на енергия при пускане ( $\Delta A_n$ ) и спиране ( $\Delta A_c$ ).

#### 1.5.4. ИЗБОР НА КОНСТРУКТИВНОТО ИЗПЪЛНЕНИЕ НА ДВИГАТЕЛИТЕ

Едно от важните предимства на електрическото задвижване е възможността за най-различно конструктивно изпълнение на двигателя, а оттам и възможността за най-доброто му приспособяване към изискванията и условията на задвижваната работна машина.

Конструктивното изпълнение на електродвигателите се различава по начина на закрепване, разположението на вала, защитата от действието на околната среда и вентилацията.

Според начина на закрепване двигателите се изпълняват най-често в 3 основни форми:

- а) машини с крака (лапи), обикновено четири;
- б) машини с фланец на тялото и без крака;
- в) машини с крака и с фланец.

Съгласно БДС 2168—68 формата на изпълнение на електрическите машини се означава условно с буква М, следвана от три цифри.

Първата цифра характеризира основната форма на изпълнение на машините. Тя има стойности съответно 1, 2 и 3.

Втората цифра характеризира някои допълнителни конструктивни разновидности на основната форма. Например за машините с крака (форма на изпълнение М1) тя може да означава наличие на два (М10) или само на един (М12) лагерен щит, разположение на краката близо до вала (М11), наличие на вграден редуктор (М16) и др.

Всяка основна форма допуска различни конструктивни разновидности. Това облекчава конструктивното оформяне на задвижването при непосредствено свързване на двигателя и работната машина.



Третата цифра характеризира работното положение на машината и означава:

- 1 — хоризонтално положение,
- 2 — вертикално положение с вал надолу,
- 3 — вертикално положение с вал нагоре.

Машини, в чието условно означение третата цифра е 0, са предназначени за работа във всяко положение. Напр. М301 означава машина без крака с фланец на тялото, предназначена за работа в хоризонтално положение.

Конструктивното изпълнение на двигателите трябва да осигурява нормалната им работа при различни условия на околната среда. В зависимост от степента на защита различаваме три основни типа двигатели.

1. *Двигатели от открит тип.* Конструкцията им не осигурява защита нито от попадане на външни предмети, нито от досег с въртящите се или тоководещи части. Двигателят се охлажда много добре — най-често със закрепен на вала му вентилатор.

2. *Двигатели от защитен тип.* Имат защита от случайни докосвания на въртящите се и тоководещите части и от попадане на външни тела над определени размери. Охлаждането се извършва по същия начин.

3. *Двигатели от закрит тип.* Защитени са от проникване на външни тела и от капки вода във всички направления. Пълното закриване затруднява охлаждането му, затова мощността на двигателите от този тип е около два пъти по-малка в сравнение с открит двигател със същите размери. Най-често срещаният начин на охлаждане при тези двигатели е с помощта на вентилатор, закрепен на вала извън закрития корпус (обдухан двигател). Отделянето на топлината се подобрява и чрез охлаждащите ребра, които увеличават общата повърхност на корпуса.

За двигателите, работещи в повторно-кратковременен режим или с регулиране на скоростта в широк обхват, охлаждането от собствен вентилатор често е недостатъчно, тъй като е много слабо при малки скорости и липсва съвсем, когато двигателят е спрял. Тогава се прибегва до принудително охлаждане с отделно задвижван вентилатор, който най-често се монтира върху корпуса на двигателя.

Степента на защита на двигателите се означава условно с буквите IP, следвани от две цифри. Първата цифра, която има стойности от 0 до 6, определя степента на защита срещу допир на тоководещи и въртящи се части и срещу проникване на чужди тела.

Втората цифра приема стойности от 0 до 8 и определя степента на защита от проникване на вода.

Особено големи са изискванията към двигателите, работещи в пожароопасна, взривоопасна и химически активна среда.

## 1.5. СВЪРЗВАНЕ НА ДВИГАТЕЛЯ С РАБОТНИТЕ МАШИНИ

Начинът на свързване на двигателя със задвижвания механизъм зависи както от формата на изпълнение на двигателя, така и от някои специфични конструктивни изисквания на работните машини.

Едно от най-простите и ефективни решения се състои в непосредственото свързване на двигателя с механизма чрез еластични механични съединители с различни конструкции. Основното предназначение на съединителите е да смекчат ударите при пускане, спиране и други преходни режими.

Използуването на различни по конструкция електромагнитни съединители разширява твърде много възможностите на задвижването, тъй като те освен основната си функция изпълняват и други допълнителни функции — включване и изключване, регулиране на скоростта и т. н. Подробно този въпрос ще се разгледа в следващите раздели.

При различна скорост на въртене на електродвигателя и работната машина за съгласуване на скоростите се използват механични предавки — най-често ремъчни и зъбни. Ремъчните предавки се прилагат при по-големи разстояния между осите. Съвременните ремъчни предавки са с клинообразни ремъци, които осигуряват плавно предаване на въртящия момент. Основно предимство на ремъчната предавка е еластичността ѝ, а недостатък — значително хлъзгане, особено в преходни режими. Използуваните зъбни предавки са различни по вид и конструкция. Често срещано конструктивно решение е закрепването на двигателя и редуктора на обща фундаментна плоча. Най-съвършената конструктивна форма е ограниченото сливане на двигателя и предавката в обща конструкция, наречена редукторен двигател.

### Въпроси и задачи

1. Кой от методите за избор на мощността на двигателите — на еквивалентния ток, на еквивалентния момент или на еквивалентната мощност — е най-точен? Обяснете защо.

2. Може ли да се използва методът на еквивалентната мощност в случай на двигател за постоянен ток с последователно възбуждане?

3. Кога налага конструирането на специални типове двигатели за работа в кратковременен и повторно-кратковременен режим?

4. Как ще се отрази върху избора на мощността обстоятелството, че в някои участъци от товарната диаграма скоростта на двигателя се изменя под номиналната?

5. Разполагаме с два типа електродвигатели, единият от които е със самостоятелно (вентилатор, монтиран на вала), а другият — с принудително (независимо) охлаждане. Двигателят от кой тип трябва да има по-голяма мощност при работа в повторно-кратковременен режим?

6. Товарната диаграма на механизма представлява три редуващи се участъци на натоварване с момент съответно 2, 4 и 1 [N.m] и продължителност по 1 min, следвани от 3 min пауза. Определете необходимата мощност на двигателя при стандартна  $P_{\Sigma} = 25\%$ .

## ЧАСТ 2. УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА РАБОТНИЯ ЦИКЪЛ НА МАШИНИ И МЕХАНИЗМИ

### 2.1. ОСНОВНИ СХЕМИ ЗА РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯТА

#### 2.1.1. ИЗПОЛЗВАНЕ НА КОНТАКТНИ АПАРАТИ ЗА АВТОМАТИЗАЦИЯ НА УПРАВЛЕНИЕТО

Управлението на работния цикъл на голяма част от машините и механизмите се свежда до управление на задвижванията им, което включва пускането, спирането, реверсирането и промяната на скоростта (честотата на въртене) в съответствие с изискванията на технологичния процес.

В най-простите случаи, разгледани в предния раздел, тези операции се извършват с помощта на апарати за ръчно управление: прекъсвачи, пакетни превключватели, контролери и др. Тези апарати се задействуват от съответния работник (оператор), натоварен с управлението на технологичния процес.

За автоматизация на управлението широко се използват различни контактни апарати. Най-често срещаните са различни видове релета и контактори, бутони за управление, пътни превключватели и др. Тяхната конструкция и принцип на действие са разгледани подробно в курса по електрически апарати. Системите, построени с тяхно участие, се наричат системи за дискретно (релейно-контактно) управление. Наименованието „релейно“ е свързано с най-типичния представител на тези апарати — електромагнитното реле, а наименованието „дискретно“ отразява факта, че те имат няколко (най-често две) устойчиви състояния, напр. „включено“ и „изключено“, като преминават рязко от едното в другото, изменяйки скокообразно управляващите сигнали или въздействия.

Ще разгледаме използването на тези апарати за автоматизация на основните процеси на управлението, като започнем с един прост пример — пускане на асинхронен двигател чрез пряко включване към захранващата мрежа. На фиг. 2.1 а е показано ръчното управление на процеса от оператора, който в необходимия момент включва прекъсвача *Пр*.

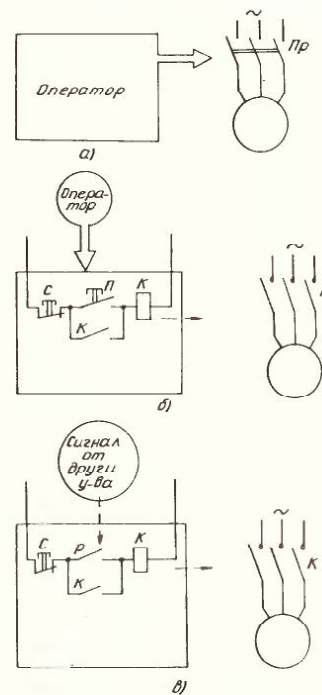
Използването на релейно-контактни елементи позволява да реализираме ситуацията, показана на фиг. 2.1 б. Тук прекъсва-

чът е заменен със силовите контакти на контактора *К*, който се включва при подаване на захранващо напрежение на бобината му чрез пусковия бутон *П*. Процесът все още не е автоматизиран. Необходима е намесата на оператора, въпреки че тя се изразява само в натискане на бутона *П*.

Тази схема обаче съдържа две важни предпоставки за по-нататъшната автоматизация на процеса на управление. Първата се състои в това, че командният орган (пусковият бутон *П*) може да бъде монтиран на голямо разстояние от управлявания двигател (дистанционно управление). Това значително облекчава работата на оператора, който може да управлява удобно работата на няколко различни механизма от общ команден пулт.

Втората важна предпоставка се състои в това, че бутонът, чрез който операторът подава сигнал за включване на контактора *К*, може лесно да се замени с контакт на друго управляващо устройство (напр. реле), което да се задейства във функция от работата на друг механизъм (фиг. 2.1 в). Тогава за пускането на двигателя вече не е необходима намесата на оператора — процесът напълно се автоматизира.

По-нататък ще разгледаме някои основни типови схеми за управление на асинхронни двигатели с късосъединен ротор, които са значително по-прости в сравнение с другите видове електрически двигатели, но илюстрират основните принципи на съставяне то и функционирането на релейно-контактните схеми.



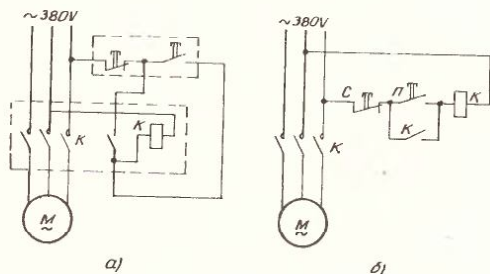
Фиг. 2.1. Преход от ръчно към автоматично управление



## 2.1.2. РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНО УПРАВЛЕНИЕ НА АСИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ С КЪСОСЪЕДИНЕН РОТОР

На фиг. 2.1 б е показана най-простата схема за управление на пускането на асинхронен двигател с късосъединен ротор, която включва два основни апарата — контактор и пусков бутон. При натискане на бутона П (Пускане) се затварят трите главни контакта. Двигателят се включва към мрежата. Едновременно с главните се затваря и спомагателният (блокиращ) контакт К, който осъществява паралелната (блокираща) верига на бутона П. Поради това контакторът остава включен и след отпускане на бутона. Изключването му и спирането на двигателя става чрез натискане на бутона С (Стоп).

При начертаване на схемите за управление с помощта на приетите означения (приложение 1) са възможни два подхода. Първият предвижда пространственото обединяване на елементите, принадлежащи на един и същ апарат. По такъв начин е начертана схемата на фиг. 2.2 а, където тези елементи са отделени с прекъсвана линия. Този начин на изобразяване дава ясна представа за пространственото разположение на всички елементи, затова се използва при съставянето на монтажни схеми. Обаче при наличието на голям брой елементи в изпълнените по този начин схеми се появяват много пресичащи се линии, което затруднява проследяването на отделните вериги. В подобни схеми



Фиг. 2.2. Схема за пускане на асинхронен двигател: а) съвместна (монтажна), б) разгъната (принципна)

е много трудно, а понякога и невъзможно да се изясни напълно принципът на работа и функциите на отделните елементи. Затова схемите за управление на електрическите задвижвания обикновено се изпълняват по начина, показан на фиг. 2.2 б. Отделните

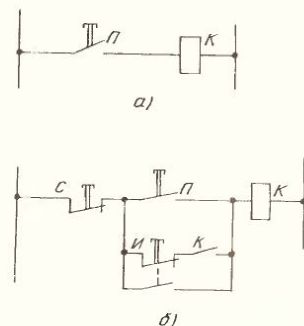
апарати и елементи се чертаят в схемата не според пространственото им разположение, а там, където е най-удобно, с цел да се получи максимално проста и нагледна схема. При това много често може да се случи елементите на един и същ апарат да бъдат разположени на различни места, както например намотката, силовите контакти и блокиращият контакт на контактора К на фиг. 2.2 б. За да се покаже, че принадлежат към един и същ апарат, отделните му елементи се означават в схемата с еднакви букви. Така построените схеми се наричат *принципни*.

При по-нататъшните описания на принципните схеми трябва да се има предвид, че състоянието на електрическите апарати, характеризиращо се с липса на външно въздействие (захранващо напрежение — за релетата и контакторите, задействуваша сила — за бутоните и пътните превключватели и т. н.), се нарича *нормално*. Контактите им, които при това са отворени, се наричат *нормално отворени (н. о.)* или *включващи*, а затворените — *нормално затворени (н. з.)* или *изключващи*.

Разгледаната схема осъществява продължително включване на електрическия двигател. Често пъти е необходимо моментно (импулсно) включване само докато е натиснат пусковият бутон. Така се реализират т. нар. „настройващи“ премествания на подвижните органи на работните машини. Най-просто това може да се осъществи само с един пусков бутон П, както това е показано на фиг. 2.3 а.

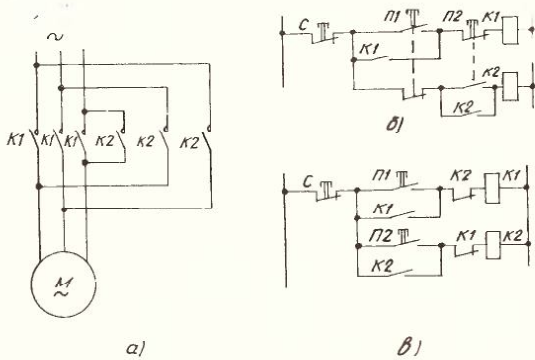
Схемата на фиг. 2.3 б дава възможност както за непрекъснато, така и за импулсно включване на двигателя. Непрекъснатото включване се осъществява чрез натискане на бутона П. При натискане на бутона И (импулс) н. з. му контакт прекъсва самоблокиращата верига на контакта К, поради което след отпускане на бутона захранването на контактора се прекъсва. Затова е необходимо н. о. контакт на К да се отвори, преди да се е затворил н. з. контакт на И, през който се осъществява самоблокиращата верига на контактора К.

За реверсиране на двигателя са необходими два контактора. Свързването на силовите им контакти е показано на фиг. 2.4 а. Посоката на въртене се променя чрез смяна на реда на две от фазите на захранващото напрежение. Всеки от контакторите за



Фиг. 2.3. Импулсно включване

двете посоки на въртене —  $K1$  и  $K2$ , включва или изключва по схемата на фиг. 2.4. За да се избегне едновременното включване на двата контактора, което ще предизвика късо съединение в захранващата мрежа, съществуват различни начини, два от които са показани на фиг. 2.4 б и в.



Фиг. 2.4. Реверсиране на двигателя

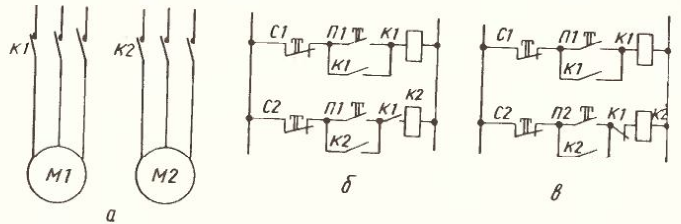
В схемата на фиг. 2.4 б се използват н. з. контакти на двата пускови бутона  $\Pi 1$  и  $\Pi 2$ . Когато натиснем  $\Pi 1$ , най-напред се прекъсва веригата на контактора  $K2$ , след което се включва  $K1$ . Следователно  $K2$  ще изключи, ако е бил включен, преди да се включи  $K1$ . При едновременно натискане на двата бутона н. з. им контакти прекъсват веригата и на двата контактора, така че нито един от тях не може да се включи.

Тази схема обаче не може да ни предпази от късо съединение във всички случаи. Понякога поради механична повреда или заваряване на контактите контакторът може да остане включен и след прекъсване на захранващото му напрежение. Затова по-надеждна е схемата на фиг. 2.4 в с електрическа - блокировка между контакторите чрез н. з. им блокиращи контакти. Ясно е, че ако един от контакторите е включен, захранващата верига на другия е прекъсната. За реверсиране на двигателя най-напред трябва да се натисне бутонът  $C$ , след което може да се включи контакторът за обратната посока на въртене.

Чрез релейно-контактна апаратура се осъществяват най-различни зависимости между отделните задвижвания. В схемата на фиг. 2.5 б вторият двигател ( $M2$ ) се включва само след включването на първия чрез н. о. блокиращ контакт на контактора  $K1$ .

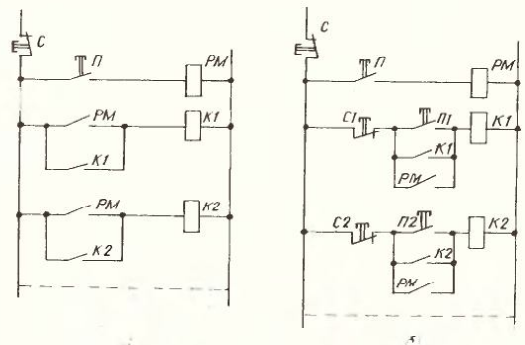
включен в управляващата верига на контактора  $K2$ , т. е.  $K2$  може да получи захранване само след като е включен  $K1$ .

В схемата за управление на двата двигателя на фиг. 2.5 в е осъществена обратната зависимост. Тук в захранващата верига



Фиг. 2.5. Зависимости (взаимни блокировки) между два двигателя

на контактора  $K2$  е включен н. з. контакт на контактора  $K1$ . Следователно  $K2$  може да се включи само ако  $K1$  е изключил, т. е. двигателят  $M2$  може да работи само когато  $M1$  е спрял. Пускането на  $M1$  автоматично води до изключване на  $M2$ .



Фиг. 2.6. Едновременно включване и изключване на електрически двигатели

На практика често се налага няколко двигателя да бъдат включени и изключени едновременно. В схемата на фиг. 2.6 а е използвано едно междинно реле  $PM$ , което се включва при натискане на пусковия бутон и с н. о. си контакти включва кон-



такторите  $K1$  и  $K2$ . Те включват едновременно двата двигателя и се самоблокират с н. о. си блокиращи контакти  $K1$  и  $K2$ , включени паралелно на контактите на релето  $PM$ . При натискане на бутона  $C$  се прекъсва захранването на всички контактори и така едновременно се изключват работещите двигатели. Броят на двигателите, които могат да се управляват едновременно по този начин, практически е ограничен само от броя на контактите на релето  $PM$ .

Схемата на фиг. 2.6 б освен едновременно включване и изключване на двата двигателя по същия начин позволява и самостоятелно пускане и спиране на всеки от тях.

Осъществяването на подобни зависимости при включване и изключване на отделни двигатели и апарати представлява първата стъпка към създаването на автоматизирани електрически задвижвания.

#### Въпроси и задачи

1. Кои от следните електрически апарати: краен изключвател, реле за време, дроселс подмагнитване, стъпален реостат, потенциометър са с дискретно действие? Кои други такива апарати познавате?

2. Възможно ли е един и същи апарат да бъде използван като средство за релейно (дискретно) и за непрекъснато управление? Дайте примери.

3. Постройте схема за управление на пускането на 3 асинхронни двигателя ( $M_1, M_2, M_3$ ), която да отговаря на едно от следните условия:

- $M_1$  може да бъде пуснат само след пускането на  $M_2$  и  $M_3$ ;
- $M_1$  може да бъде пуснат, ако е пуснат  $M_2$  или  $M_3$ ;
- $M_3$  може да бъде пуснат само ако  $M_1$  е пуснат, а  $M_2$  — изключен (сприй);
- $M_1$  се изключва автоматично при пускане на  $M_3$ , ако  $M_2$  не е пуснат.

## 2.2. АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ ВЪВ ФУНКЦИЯ ОТ ВРЕМЕТО

Електрическите задвижвания често се управляват във функция от времето. Това изискване е особено характерно при пускането и електрическото спиране на двигателите.

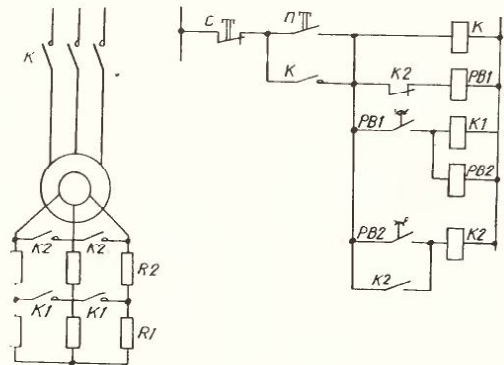
Нека си припомним схемата за реостатно пускане на двигателя с фазов ротор (фиг. 1.12). Първоначално двигателят се включва към мрежата с включени пускови резистори в роторната си верига. Развъртането по съответната изкуствена механична характеристика 3 (фиг. 1.13 а) продължава, докато моментът на двигателя достигне стойност  $M_{min}$ . В този момент се изключва едната от степените на пусковия резистор и двигателят преминава на нова изкуствена характеристика 2, като моментът му отново нараства до  $M_{max}$ . Развъртането продължава по тази характеристика до ново достигане на  $M_{min}$ , след което се изключва следващата степен, и т. н. За правилното протичане на пусковия

процес е твърде важно моментът и токът на двигателя да остане в границите между  $M_{max}(I_{max})$  и  $M_{min}(I_{min})$ , което изисква точно спазване на необходимите интервали от време между превключването на отделните степени на пусковия реостат.

Основен апарат, с който се автоматизира управлението във функция от времето, е релето за време, което дава сигнал на изхода си (включва) определено време след постъпване на входен сигнал (напрежение на входа).

В зависимост от принципа, по който се осъществява задържането на сигнала, релетата за време биват механични (с часовников механизъм), пневматични, електронни, моторни и т. н. Те могат да осигурят задръжка по време от няколко десети от секундата до няколко часа, като най-малко закъснение се получава при електромагнитните релета, а най-голямо — при моторните релета.

Да разгледаме схема за автоматизация на пускането на асинхронен двигател с навит ротор във функция от времето (фиг. 2.7). Тя работи по следния начин. При натискане на пусковия бутон контакторът  $K$  включва двигателя към мрежата. Контактните



Фиг. 2.7. Автоматично пускане на асинхронен двигател с навит ротор

$K1$  и  $K2$  са изключени, т. е. в роторната намотка са включени и двете степени  $R1$  и  $R2$  на пусковия резистор. Едновременно с  $K$  се включва и релето за време  $PB1$ , което след изтичане на определеното време за задръжка включва  $K1$ , който изключва

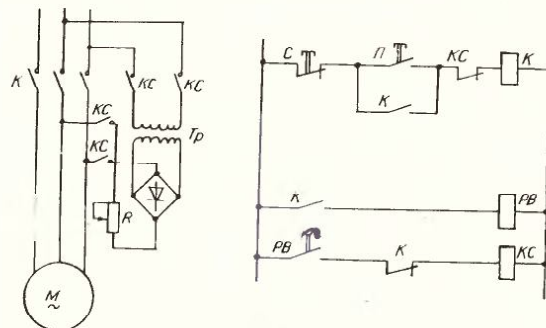
първата степен на пусковия резистор. Заедно с  $K1$  се включва второто реле за време  $PB2$ , което със закъснение включва следващия контактор  $K2$ . Той включва нахъсо роторната намотка и с това процесът на пускане е завършен. При това н. з. контакт на  $K2$  прекъсва веригата на  $PB1$ , което изключва  $K1$  и  $PB2$ , така че след приключване на пускането остават включени само контакторите  $K$  и  $K2$ .

Един от разпространените начини за пускане на асинхронни двигатели с късосъединен ротор е чрез превключване на статорната намотка от звезда в триъгълник (фиг. 2.8). Използува се реле за време  $PB$ , което изключва контактора  $K1$ , свързващ статорната намотка в звезда, и включва  $K2$ , който я свързва в триъгълник.

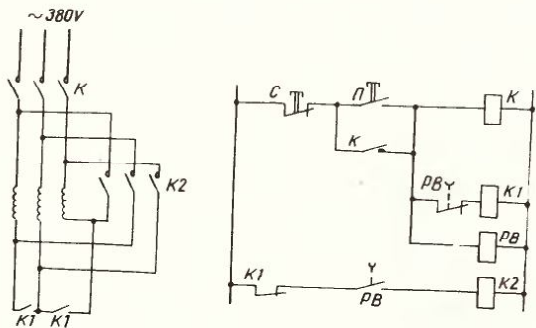
Аналогично (във функция от времето) се управляват спиращите режими на двигателите. Схема за управление на процеса на динамично спиране на асинхронен двигател е показана на фиг. 2.9. При натискане на бутона  $C$  се изключва контакторът  $K$ , чиито блокиращи контакти изключват релето за време  $PB$ , което е било включено през време на работата на двигателя, и включват спиращия контактор  $KС$ . Силовите контакти на  $KС$  включват захранването на трансформатора  $Tr$ , който подава постоянно напрежение към статорната намотка на двигателя. След определено време релето  $PB$  отваря н. о. си контакт в захранващата верига на  $KС$ , който се изключва и с това режимът на динамично спиране се прекратява. Времето на закъснение на ре-

лето  $PB$  се определя така, че да е равно на времето, необходимо за спиране на двигателя, или малко по-голямо от него.

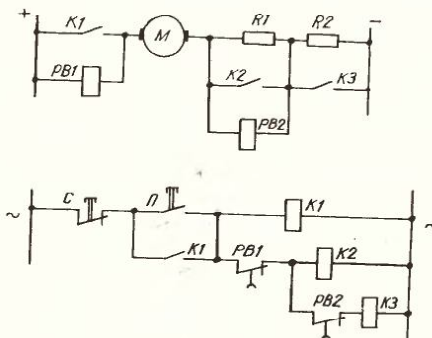
На фиг. 2.10 е показана една по-сложна схема за автоматично пускане на двигателя за постоянен ток във функция от времето. При включване се задействува релето  $PB1$ , което се захранва през котвата на двигателя  $M$  и резисторите  $R1$  и  $R2$ . Из-



Фиг. 2.9. Динамично спиране на асинхронен двигател



Фиг. 2.8. Автоматично пускане на асинхронен двигател чрез превключване „звезда-триъгълник“

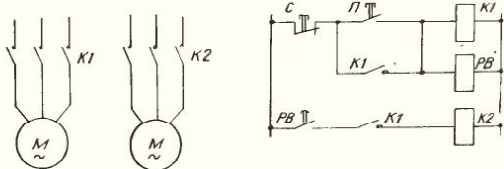


Фиг. 2.10. Автоматично пускане на двигател за постоянен ток във функция от времето



ключващият му контакт прекъсва веригата за управление на контакторите  $K2$  и  $K3$ . Протичащият през намотката на  $PB1$  ток е много малък, затова практически двигателят не се задействува. При натискане на бутона  $\Pi$  се включва контакторът  $K1$ , а с това и двигателят. Силовият контакт  $K1$  съединява накъсо намотката на  $PB1$  и то започва да изключва. Едновременно протичащият пусков ток задействува релето за време  $PB2$ , което е включено към напрежителния пад върху първата степен на пусковия резистор  $R1$ . След определеното при настройката време се затваря изключващият контакт на релето  $PB1$  и се включва контакторът  $K2$ , който шунтира първата степен на пусковия резистор, а заедно с нея и намотката на  $PB2$ . Неговият н. з. контакт се затваря с необходимото закъснение и включва  $K3$ , който съединява накъсо и втората пускова степен  $R2$ . С това процесът на пускане на двигателя завършва.

Автоматизацията във функция от времето се прилага широко и при пускане на комплектни технологични съоръжения, задвижвани от няколко двигателя, за осигуряване на определен ред на пускането и задвижването на отделните механизми. Напр. при пускане на крупни агрегати (топкови мелници, тежки металорежещи машини) най-напред трябва да се включи двигателят на маслената помпа и едва след определено време, необходимо за постигане на нормална циркулация на смазващата течност, може да се включи двигателят на главното задвижване. Проста схема за включване на два двигателя в определен ред с необходимото закъснение е показана на фиг. 2.11. При натискане на бутона  $\Pi$  се включват контакторът  $K1$ , който пуска двигателя  $M1$ , и релето за време  $PB$ . То затваря н. о. си контакт във веригата на контактора  $K2$  с необходимото закъснение и дава сигнал за включване на втория двигател.

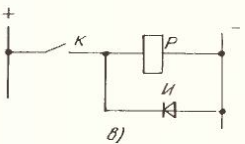
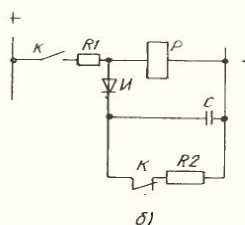
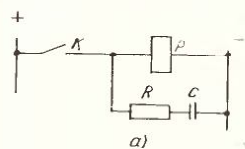


Фиг. 2.11. Последователно включване на два двигателя със закъснение

Малки закъснения при включване и изключване (от порядъка на  $1 \div 2$  s) могат да се получат и без използването на специални релета за време. Схемата на фиг. 2.12 а осъществява закъснение при изключване, което се определя от времето за разрежда-

не на кондензатора през намотката на релето и резистора  $R$ . Времето на закъснение може да се регулира в известни граници чрез изменение на стойността на  $R$ .

Ако е необходимо закъснение само при включване, може да се използва схемата на фиг. 2.12 б.

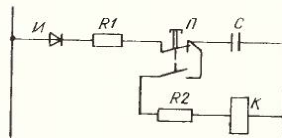


Фиг. 2.12. Увеличаване на закъснението при включване или изключване на обикновено релe

Тук релето  $P$  включва, когато кондензаторът  $C$  се зареди до напрежението на включване. Полупроводниковият изправител  $\text{И}$  не позволява на кондензатора да се разрежда през намотката на релето, затова при изключване няма закъснение. Кондензаторът се разрежда при изключено състояние през веригата на разрядния резистор  $R2$  и н. з. контакт  $K$  на включващия апарат.

Схемата на фиг. 2.12 в осъществява закъснение само при изключване поради протичането на ток във веригата реле—изправител, дължащ се на запасената електромагнитна енергия в намотката на релето.

На фиг. 2.3 са показани схеми за импулсно включване на електрически двигател. Техен недостатък е, че времето, през което двигателят е включен, зависи от оператора. Схемата на фиг. 2.13 осъществява импулсно включване с точно определена продължителност независимо от времето, през което операторът натиска бутона. Продължителността на импулса се определя от параметрите на разрядната верига на кондензатора и може да се регулира с резистора  $R2$ . Резисторът  $R1$  ограничава тока при зареждане през изправителя  $\text{И}$ .



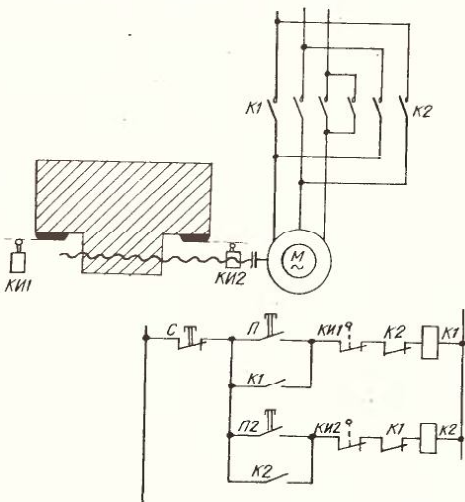
Фиг. 2.13. Импулсно включване с определена продължителност

### Въпроси и задачи

1. Посочете примери на производствени механизми, при чиято автоматизация трябва да се осигури закъснение по време.
2. Съставете схема за управление на два двигателя, която да изключва втория определено време след изключването на първия (редът на пускане е без значение).
3. Съставете схема за последователно пускане на три двигателя със закъснение по време.

### 2.3. АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ ВЪВ ФУНКЦИЯ ОТ ПЪТЯ

За автоматично изпълнение на един производствен цикъл трябва да се осъществи определена последователност и съгласу-

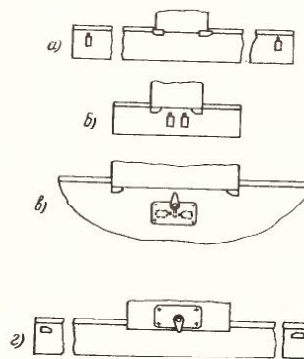


Фиг. 2.14. Ограничаване на преместването на подвижните органи

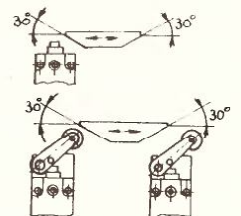
ваност на движенията на работните органи на машината. Един от най-разпространените и лесноосъществими начини е контролирането на траекторията на движение о на работните органи, т. е. чрез *управление във функция от пътя*.

Основен елемент в схемите за управление, построени на този принцип, е пътният превключвател, чието устройство и начин на действие са разгледани в курса по електрически апарати. Напоследък често се използват и т. нар. *микроревключватели*, които се характеризират с малки размери, малки необходими за задействане сили и моментно (скокообразно) действие на контактния си механизъм. Последните две характеристики определят голямата им точност на задействане.

Във всички случаи, когато преместването на подвижните органи извън определени граници може да доведе до повреда или до нарушаване на правилната работа на цялата машина, то се ограничава. На фиг. 2.14 е показано схематично задвижването на подвижен орган на машина от реверсивен асинхронен двигател с винтово предаване. При достигане на съответните крайни точки от пътя специални опори задействуват пътните изключватели *KI1* и *KI2* (в тези случаи те се наричат крайни), които н. з. контакти прекъсват захранващата верига на съответните контактори.



Фиг. 2.15. Монтиране на крайни превключватели за ограничаване на хода на масата на фрезова машина

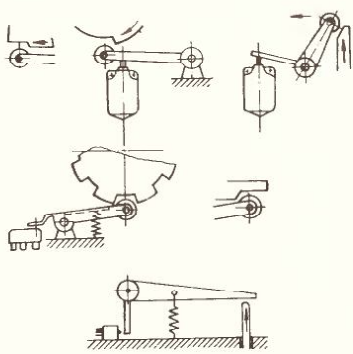


Фиг. 2.16. Превключваща опора

Пътните превключватели обикновено се монтират неподвижно върху работната машина и се задействуват от подвижната част, чието преместване се контролира (фиг. 2.15). Понякога превключвателят е монтиран върху подвижната част, а опората е неподвижна.



Формата на превключващите опори е показана на фиг. 2.16. Ъгълът на превключване не трябва да надминава  $30^\circ$ , защото при по-голям ъгъл големите механически удари рязко намаляват срока на работа на пътните превключватели. Оптималната стойност на ъгъла на превключващата опора е около  $10-15^\circ$ . По нататъшното му увеличаване е свързано с намаляване на максимално допустимата скорост на подвижната част.



Фиг. 2.17. Механически предавки за задействане на краен превключвател

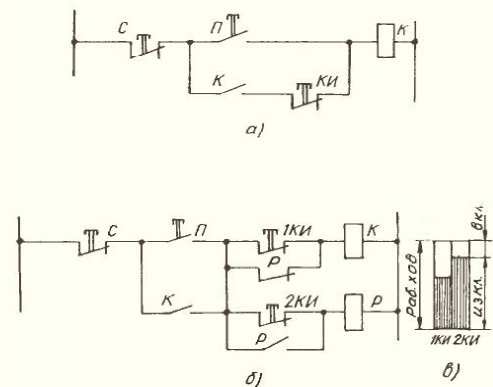
Не винаги пътният превключвател се задействува непосредствено от подвижния орган, чието преместване се контролира. В такива случаи се използват допълнителни устройства, чиято конструкция зависи от формата на подвижния орган и мястото на монтиране на превключвателя (фиг. 2.17).

Освен за ограничаване на движението на подвижните органи пътните превключватели се използват за решаване на разнообразни задачи, свързани с автоматизацията на производствения цикъл на задвижваната машина.

Сравнително проста задача е изключването на двигателя след завършване на определен работен цикъл, когато подвижният орган се върне в изходното си положение. В изходно положение крайният изключвател *КИ* е включен в самоблокиращата верига на контактора *К* (фиг. 2.18 а). Захранващата верига на *К* през гусковия бутон е прекъсната, при пускане се натиска по-продължително бутонът *П*, докато подвижният орган се премести и престане да задействува крайния изключвател. Това не е много удобно, особено при малки скорости на движение, когато е необходимо бутонът *П* да се натиска в продължение на няколко секунди.

По-удобна за работа е схемата, показана на фиг. 2.18 б. В нея се използва краен изключвател с два н. з. контакта — *1КИ* и *2КИ*, който в изходно положение е задействуван от подвижния орган. При натискане на бутона *П* контакторът *К* се включва, като се самоблокира през н. з. контакт на междинното реле *Р*. След като подвижният орган прекрати въздействието си върху крайните превключватели, н. з. им контакти се затварят. Ре-

лето *Р* се включва и контакторът *К* се захранва вече през н. з. контакт *1КИ*. За правилната работа на схемата е необходимо контактът *1КИ* да се затвори преди *2КИ*, т. е. преди да се задействува реле *Р*. Диаграмата на включване на двата кон-



Фиг. 2.18. Автоматизиране на работния цикъл във функция от пътя

такта е показана на фиг. 2.18 в. След връщане на работния орган в изходно положение крайният превключвател отново се задействува и двигателят изключва.

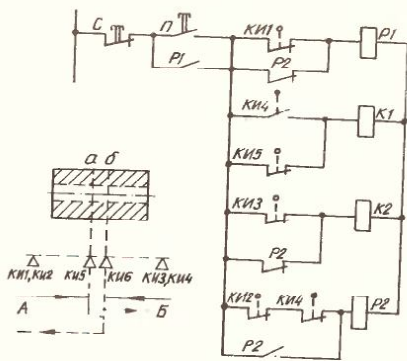
За осъществяване на някои схеми за управление във функция от пътя контактите на един и същ пътен превключвател трябва да задействуват в определен ред. Затова пътните превключватели се произвеждат с различни диаграми на включване на контактите им.

На фиг. 2.19 е показана по-сложна схема за автоматизиране на работния цикъл на две агрегатни силови глави при едновременно насрещно пробиване на проходен отвор. Този режим на работа е характерен с наличие на опасна зона (а—б), в която е възможно срещане на свредлата. За да се избегне това, осъществява се следният работен цикъл: главата *А* спира след достигането на т. *а* и продължава работата си, когато главата *Б* след достигане на т. *б* се върне в изходно положение.

Агрегатните глави се задвижват с хидропомпи, които от своя страна се задвижват от асинхронни двигатели, включвани от контакторите *К1* и *К2*. В изходно положение са задействувани край-

ните изключватели *КИ1* и *КИ2* (от главата *А*), *КИ3* и *КИ4* (от главата *Б*).

При натискане на пусковия бутон *П* се включва релето *Р1*, което с н. о. си контакт се самоблокира и включва контактори-



Фиг. 2.19. Автоматично управление на работния цикл на агрегатни силови глави

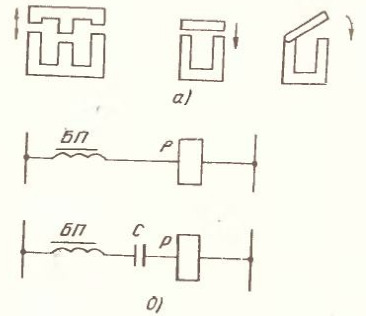
те *К1* и *К2*. Те включват двигателите на хидропомпите и двете глави тръгват от изходно положение напред. Крайните изключватели *КИ1*, *КИ2*, *КИ3* и *КИ4* се освобождават. Включва се релето *Р2*, което се самоблокира.

Когато върхът на свредела на главата *А* достигне т. *а*, се задействува крайният изключвател *КИ5*, който изключва контактора *К1* и главата *А* спира.

Когато върхът на свредела на главата *Б* достигне т. *б*, се задействува *КИ6*, който чрез хидравличен разпределител (непоказан на схемата) реверсира посоката на подаване на маслото и главата *Б* тръгва в обратна посока. При достигане на изходното си положение тя задействува крайните изключватели *КИ3* и *КИ4*. *КИ3* изключва контактора *К2* и движението на главата *Б* се преустановява. Н. о. контакт на *КИ4* включва *К1* и главата *А* продължава отново движението си напред до достигане на т. *б*, при което отворът е пробит окончателно. В т. *б* се задействува *КИ6*, който реверсира посоката на движението и главата *А* се връща обратно до достигане на изходното си положение, при което се задействуват *КИ1* и *КИ2*. Н. з. контакт на *КИ1* изключва релето *Р1*, което изключва и захранването на останалата част от

схемата. За повтаряне на цикъла трябва отново да се натисне бутон *П*.

При голям брой включвания наличието на контактна система твърде често е източник на неизправности. Напоследък се използват **безконтактни пътни превключватели**, построени на различни принципи. Засега най-широко разпространени са феромагнитните индуктивни пътни превключватели с различни конструкции, чийто принцип на действие се основава на изменение на индуктивното съпротивление на бобина със стоманена сърцевина (а оттам и на протичащия през нея ток) при изменение на въздушната междина на магнитопровода. На фиг. 2.20 а са показани някои от най-често срещаните магнитни системи на безконтактни превключватели.



Фиг. 2.20. Магнитни системи на безконтактни пътни превключватели и схеми на свързването им

Магнитният шунт на всяка от тях се задействува от съответна опора, монтирана на подвижната част, чието движение се контролира аналогично на контактните превключватели. За да се намали до минимум наличието на подвижни части, са конструирани **безконтактни пътни превключватели от т. нар. проходен тип**. Те са с отворена магнитна система, като магнитният шунт е монтиран върху контролирания подвижен орган.

Най-просто е последователното свързване на превключвателя в захранващата верига на реле (фиг. 2.20 б). Обаче тази схема почти не се прилага, тъй като отношението на токовете, протичащи при отворен и затворен магнитопровод на превключвателя, е около 1,5 и е недостатъчно за правилното действие на релето. Кратността на тока може да се повиши чрез включване на кондензатор във веригата (фиг. 2.20 б) поради последователния резонанс, който се получава при затваряне на магнитната система.

Безконтактните индуктивни превключватели са много надеждни, но отстъпват по точност на микропревключвателите. Затова приложението им е ограничавано в механизми, които не изискват много голяма точност.

За безконтактен контрол на преместванията могат да се използват и светлочувствителни уреди с фотоеlementи или фото-



съпротивления. Те обаче се влияят твърде много от замърсяването на околната среда, поради което се използват сравнително рядко.

#### Повишаване на точността на спиране на работните органи

Автоматизацията на подемно-транспортните, металорежещите машини и др. поставя на преден план въпроса за точността на преместванията на подвижните органи, тъй като в много случаи от това зависи точността на обработването на детайлите. Затова ще разгледаме този въпрос по-подробно.

Крайният превключвател се задействува, когато контролираният орган на машината достигне определена точка от пътя си. В действителност той няма да спре в тази точка, а ще измине до окончателното си спиране пътя

$$S_{\text{сп}} = S'_{\text{сп}} + S''_{\text{сп}} + S'''_{\text{сп}} \quad (2.1)$$

Първото събираемо  $S'_{\text{сп}}$  се определя от неточността при задействането на превключвателя и е от  $\pm 0,05$  mm за микропревключвателите до  $\pm 5$  mm за обикновените крайни превключватели. Втората компонента  $S''_{\text{сп}}$  се определя от времето, необходимо за задействане на апаратурата, която спира двигателя и може да се изрази като

$$S''_{\text{сп}} = v_0 \cdot t \quad (2.2)$$

където  $v_0$  е скоростта на подвижния орган в началото на спирането;  $t$  — времето на задействане, различно за различните типове и габарити релейно-контактни апарати. За големите постояннотоккови контактори то е около 0,1 s. Промениливотоковите контактори са по-бързодействащи — това време за тях е около 0,05–0,07 s. Третата компонента  $S'''_{\text{сп}}$  е пътят, който задвижваният орган изминава по инерция след изключване на двигателя. Тя е пропорционална на квадрата на началната скорост.

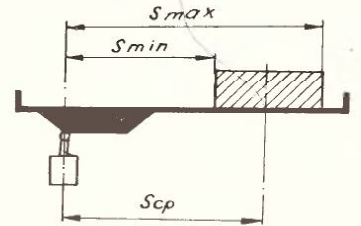
Пътят  $S'''_{\text{сп}}$  е винаги някаква средна стойност, тъй като компонентите му се изменят в широки граници във функция от различни параметри. Например времето за превключване на електрическите апарати  $t$  зависи от големината на захранващото напрежение и околната температура; времето, през което продължава движението по инерция, се изменя с изменението на съпротивителния момент (състоянието на триещите се повърхности), с изменението на скоростта на двигателя, която от своя страна също зависи от изменението на съпротивителния момент и колебанията на захранващото напрежение и т. н. Затова във всички случаи не можем да говорим за точно определен път  $S'''_{\text{сп}}$ , изминаван от подвижен орган в процеса на спиране, а за някаква зона на не-

точност, в границите на която ще бъде крайната точка на движението (фиг. 2.21).

Зоната на неточност може да се изчисли приблизително в ъгъл на завъртане на вала на двигателя  $\Delta\varphi_{\text{max}}$  по формулата

$$\Delta\varphi_{\text{max}} = \frac{J_{\text{max}} \omega_{\text{нач}}}{223 (M_{\text{ст max}} + M_{\text{сп}})} \quad (2.3)$$

където  $J_{\text{max}}$  е максималният инерционен момент, приведен към вала на двигателя,  $\text{kgm}^2$ ;  $M_{\text{ст max}}$  и  $M_{\text{сп}}$  — максималният статически и спирачния момент,  $\text{Nm}$ ;  $\omega_{\text{нач}}$  — скоростта на двигателя в момента на изключването му.



Фиг. 2.21. Зона на неточност при спиране

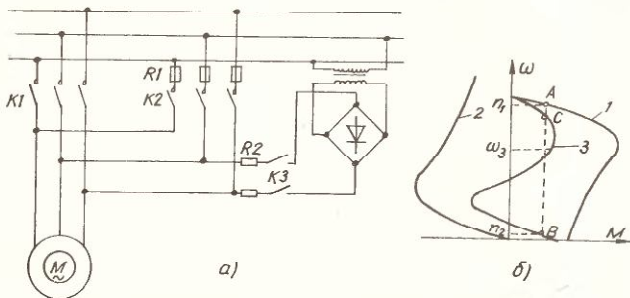
Анализът на зависимостта (2.3) показва, че основните фактори, чрез които може да се повиши точността, са: спирачния момент  $M_{\text{сп}}$  и началната скорост на двигателя  $\omega_{\text{нач}}$ .

Прекомерното увеличаване на спирачния момент не е желано. За това основно внимание се обръща на понижаването на скоростта на двигателя. Но тъй като виската скорост намалява и производителността на механизма, обикновено се прилага кратковременно понижаване на скоростта преди спиране. Необходимата начална скорост при зададена максимално-допустима неточност може лесно да се определи по формула (2.3).

Най-простият начин за понижаване на скоростта се състои в използването на двускоростен асинхронен двигател с превключване от голяма на малка скорост. Полученото двукратно или четирикратно намаляване на скоростта често е недостатъчно. Затова са разработени разнообразни схеми за понижаване на скоростта на асинхронните двигатели чрез едновременно захранване на двигателя с постоянен и променлив ток, т. е. чрез наслагване на механичните характеристики при двигателен и спирачен режим. Такава схема е показана на фиг. 2.22 а.

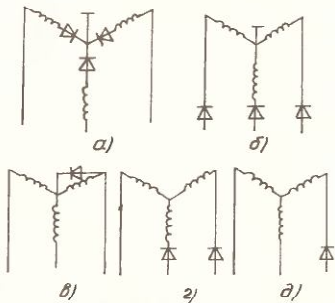
При нормална работа двигателят се захранва от контактора  $K1$ . За получаването на понижена скорост  $K1$  се изключва, а се включват  $K2$  и  $K3$ . В резултат от наслагването на двата режима двигателят работи в т. В от характеристиката 3 (фиг. 2.22 б). Тя се получава чрез просто сумиране на изкуствената механична характеристика 1 и механичната характеристика на динамично спиране 2. За да се избегне работата на двигателя в т. С от характеристиката 3, която е също точка на устойчива работа, контакторите  $K2$  и  $K3$  трябва да се включат с известно закъснение след изключването на  $K1$ , през време на което скоростта на въртене да е станала по-малка от  $\omega_3$ .

Този режим на работа е твърде тежък за двигателя, тъй като токът значително надвишава номиналния, затова той трябва да се осъществява само твърде кратко време. За известно ограничаване на тока служат включените в статорната верига резистори.



Фиг. 2.22. Понижаване на скорост на асинхронен двигател

Понижаването на скоростта чрез наслагване на постоянен и променлив ток в статора на двигателя може да се осъществи и по различни схеми на включване на намотките му с низползуване и изправители (фиг. 2.23). Недостатък на простите несиметрични схеми (фиг. 2.23 в, г, д) е вибрацията на ротора поради несиметрията на магнитния ток. Затова по-широко се прилагат симетричните схеми на включване (фиг. 2.23 а и б).

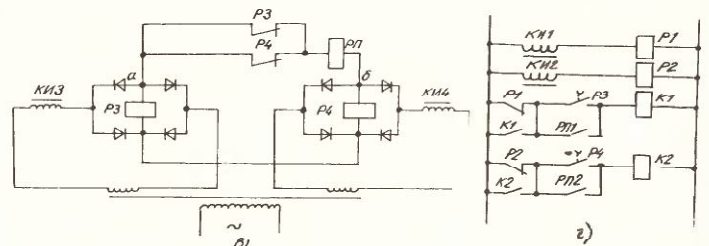
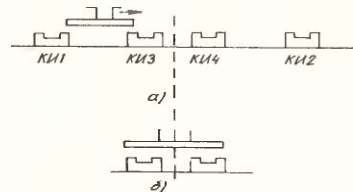


Фиг. 2.23. Включване на намотките на асинхронни двигатели за получаване на понижена скорост

да се осъществи с безконтактни пътни превключватели от преходен тип. На фиг. 2.24 е показана схема за точно спиране в определено положение при движението на задвижвания механизъм в две посоки. Тя намира приложение при бързоходните пътни ес-

ки и асансьори. Два безконтактни превключвателя  $KI1$  и  $KI2$  служат за предварително понижаване на скоростта, а  $KI3$  и  $KI4$  — за точно спиране в нулево положение.

Ще разгледаме работата на схемата в случай на движение отляво надясно, както е показано на фиг. 2.24.



Фиг. 2.24. Система за точно спиране

В изходно положение, когато механизъмът е далеч от зоната на спиране, магнитните вериги на всички безконтактни превключватели ( $KI1$  —  $KI4$ ) са отворени, индуктивното им съпротивление е минимално и релетата  $P1$  —  $P4$ , свързани последователно с тях, са включени. Поради симетричността на схемата (фиг. 2.24 в) потенциалът на точките а и б е равен, т. е. между тях, където е включено поляризованото реле  $PPI$ , няма напрежение.

Когато магнитният шунт премине над  $KI1$ , свързаното последователно с него реле  $P1$  изключва и с н. з. си контакт включва контактора за понижена скорост  $KI$  (фиг. 2.24 г).

Преминвайки след това над  $KI3$ , магнитният шунт предизвиква изключване на релето  $P3$ . Симетрията на схемата (фиг. 2.24 в) се нарушава и между точките а и б се появява напрежение, в резултат на което се включва поляризованото реле  $PPI$  и се затваря единият от н. о. му контакт  $PPII$  във веригата на контакто-

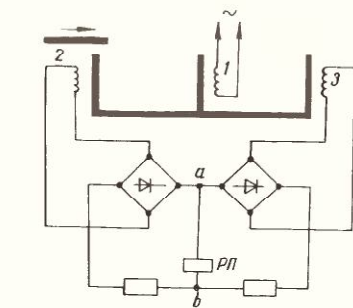


ра *KI* (паралелно свързаният с него контакт на *P3* се отваря със закъснител, достатъчно, за да се включи най-напред *РП1*).

В нулево положение на задвижвания механизъм (фиг. 2.24 б) магнитният шунт затваря едновременно магнитопроводите на *KИЗ* и *KИД*. Релето *Р1*

се изключва, симетрията на схемата (фиг. 2.24 в) се възстановява и напрежението между точките *a* и *v* става нула. Поляризованото реле също се изключва и н. о. мунконтант *РП1* изключва контактора *KI*. Движението на подвижния орган се преустановява.

Ако механизмът по инерция измине по-голям път надясно, магнитопроводът на *KИЗ* не отваря и включва релето *Р3*. Между точките *a* и *b* се появява напрежение с обратна полярност, поради което



Фиг. 2.25. Точно спиране с един безконтактен превключвател

сега се затваря контакта *РП2* на поляризованото реле, който включва контактора за движение с понижена скорост в обратна посока *K2*. След това процесът на спиране се повтаря.

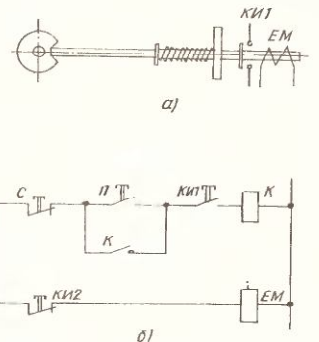
Точно спиране може да се осъществи и само с един безконтактен превключвател с Ш-образна магнитна система (фиг. 2.25). И тук при движението си надясно магнитният шунт затваря най-напред магнитната верига на намотката 2. Между точките *a* и *v* се появява напрежение. Включва се поляризованото реле *РП*, което дава сигнал за превключване на понижена скорост. В симетрично положение на магнитния шунт индуктираните е. д. н. в двете намотки са равни по големина, поради което напрежението между точките *a* и *v* става равно на нула, поляризованото реле изключва и движението се преустановява. Ако задвижваният орган по инерция отмине нулевото положение, между *a* и *v* се появява напрежение с обратна полярност, поради което се затваря другият контакт на поляризованото реле и механизмът се задвижва с понижена скорост в обратна посока.

В някои случаи се изисква точно спиране на работния орган в строго определена позиция спрямо останалите. В такъв случай се използват специални електромеханични устройства, наречени фиксатори

На фиг. 2.26 е показана част от схемата за точно спиране с

електромеханичен фиксатор. За увеличаване на точността на обработваните отвори шангата с режещия инструмент (борцанга) има допълнителни опорни втулки от двете страни на обработваните изделия. В опорните втулки има специални изрези за преминаване на режещия инструмент. За целта борцангата трябва да бъде спряна в точно определено положение.

Електромагнитният фиксатор се състои от диск, свързан с вретеното на машината, и специален щифт, който попада в изреза на диска. С щифта е свързан крайният превключвател *KИ1*. През време на работа електромагнитът *ЕМ* привлича вдясно фиксиращия щифт и вретеното може да се върти свободно. При това контактът на *KИ1* е затворен. След завършването на работната операция вретеното се връща в изходно положение, при което от специална опора



Фиг. 2.26. Точно спиране с механичен фиксатор

задействува пътният превключвател *KИ2*. Веригата на електромагнитна *ЕМ* се прекъсва и щифтът на фиксатора попада в изреза на диска, щом той се окаже срещу него. Контактите на *KИ1* се отварят и двигателят се изключва от мрежата.

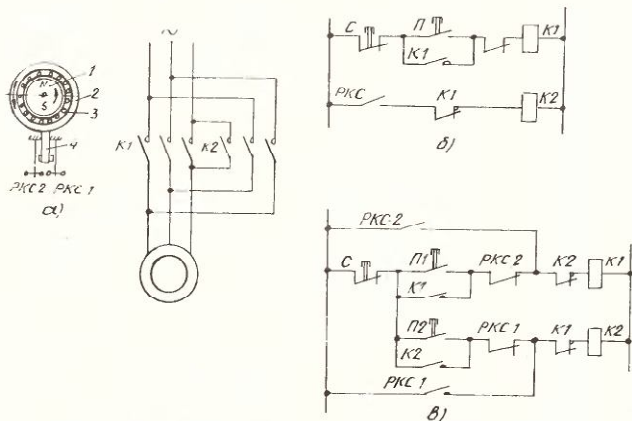
Пътните превключватели често се използват и за контролиране на други функции, свързани с някакво механично преместване — затягането и отпускането на някои работни органи, правилното зацепване на зъбните блокове в предавателните механизми, липсата или наличието на допълнителни приспособления и много други. Те са едни от най-универсалните и широко използвани елементи в релейно-контактните схеми за автоматизация.

#### Въпроси и задачи

1. Посочете механизми, чиято автоматизация е свързана с контролиране на преместванията на подвижните им органи.
2. Можете ли да предложите други методи и устройства (електрически, хидравлични, механични и т. н.) за контрол на преместванията на подвижните органи.
3. Защо точността на безконтактните индуктивни превключватели е по-малка от тази на контактните?
4. Съставте схемата за управление на понижаването на скоростта на асинхронен двигател по схемата на фиг. 2.22.
5. От какво зависи големината на грешката при спиране?
6. Каква е ролята на електромеханичните фиксатори в схемите за точно спиране?

## 2.4. АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ ВЪВ ФУНКЦИЯ ОТ СКОРОСТТА, НАТОВАРВАНЕТО И ДРУГИ ПАРАМЕТРИ

Автоматизацията на пускането и спирането на двигателите може да се осъществи и чрез контролиране на тяхната скорост. Най-често използваният команден апарат в този случай е т. нар.



Фиг. 2.27. Използване на реле за контрол на скоростта (а) в схема за управление с противовключване на неперверсивен (б) и реверсивен (в) двигател

реле за контрол на скоростта, показано схематично на фиг. 2.27 а. Върху оста на релето, която се свързва с вала на двигателя, е поставен постоянен магнит с цилиндрична форма 1. Във външния пръстел 2, закрепен подвижно на лагерни опори, се намира късосъединена намотка 3. При въртене на магнита в намотката се индуцира е. д. н. и протича ток. Пръстенът под влияние на магнитните сили се завърта в същата посока и с палеца си 4 отваря и затваря съответните контакти.

Най-разпространено у нас е съветското индуктивно реле за контрол на скоростта от тип РКС. То може да работи и в двете посоки на въртене с номинална скорост  $300 \div 3000 \text{ min}^{-1}$ , като допуска до 30 включвания в минута. Това реле намира широко приложение в схемите за спиране с противовключване на асинхронни двигатели. Такава схема за неперверсивен двигател е показана на фиг. 2.27 б. При натискане на бутона „стоп“ се включва контакторът К2, който превключва двигателя за обратна по-

сока на въртене. При спадане на скоростта под определена стойност ( $50 \div 100 \text{ min}^{-1}$ ) контактът на РКС се отваря и захранването на К2 се прекъсва — процесът на спиране е завършил. Основното предназначение на релето за контрол на скоростта е да не допусне завъртането на двигателя в обратна посока.

По-сложна е схемата за управление на спирането на реверсивен двигател (фиг. 2.27 в). При пускане на двигателя в едната посока на въртене (контактор К1) се затваря н. о. контакт РКС-1, а н. з. контакт РКС-1 се отваря (вж. фиг. 2.27 в). При това К2 не може да включи, тъй като веригата му е прекъсната от н. з. контакт на К1.

При натискане на бутона С се изключва К1 и н. з. му контакт затваря веригата на К2, който осъществява спиране с противовключване, докато скоростта спадне под определена минимална величина и н. о. контакт РКС-1 се отвори.

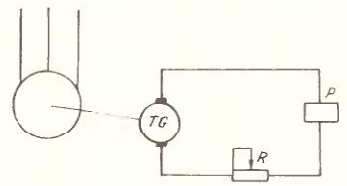
При въртене на двигателя в обратна посока схемата работи аналогично, само че сега спирането се осъществява от контактора К1 и се контролира от контактите РКС-2 на релето.

За контролиране на скоростта на електрическите двигатели в схемите за автоматично регулиране на скоростта често се използва тахогенератор. Ако към изводите му се включи реле (Р на фиг. 2.28), то се задейства при определено напрежение и следователно при определена скорост на въртене. Тази скорост може да се регулира чрез резистора R.

При автоматизацията на различните затягащи устройства в металорежещите машини и на подемните механизми трябва да се контролират силите, които възникват в тях, като тези задвижвания се изключват, след като силите достигнат определена стойност.

На фиг. 2.29 а е показана кинематичната схема на затягане на механизми с постъпателно движение. Масата 1 се затяга към тялото на машината 2. Затягането се контролира по преместването на някои от детайлите на механизма: червячното колело 3 или дръжката 4. Този начин на контролиране на затягащата сила не е много удобен, тъй като е трудно да се определи точната зависимост между силата и големината на преместването на подвижния орган. Освен това тази зависимост се изменя с течение на времето поради износване, остатъчни деформации и др.

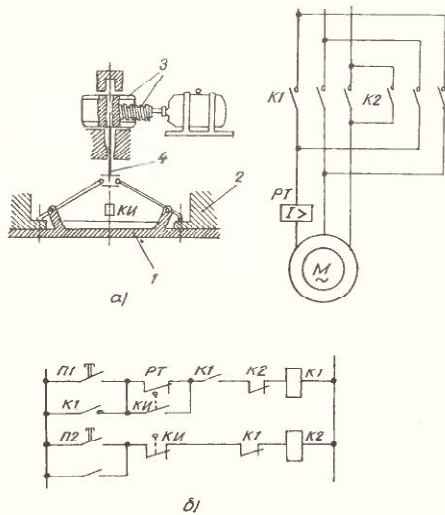
Затягащата сила може да се контролира по-точно с помощта



Фиг. 2.28. Контрол на скоростта с тахогенератор



на токово реле, включено последователно в една от фазите на задвижващия двигател. С увеличаване на силата нараства съпротивителният момент, а оттам и токът на двигателя. Затягането се прекратява при определена стойност на тока, съответстваща на желаната стойност на силата на затягане.



Фиг. 2.29. Автоматично управление на затягащ механизъм

Схемата за автоматизация на затягащо устройство на този принцип е показана на фиг. 2.29 б. За затягане се натиска бутонът П1, който включва контактора К1. В изходно положение на масата крайният изключвател КИ е задействуван, т. е. н. о. му контакт е затворен и шунтира контакта PT на токовото реле, за да не се прекъсне захранването на К1 при задействването на релето PT от пусковия ток на двигателя. При движението на затягащия орган КИ се освобождава и контакторът К1 се захранва през н. о. контакт на релето PT. В процеса на затягане токът на двигателя постепенно нараства и при определена стойност, съответстваща на необходимата сила на затягане, задей-

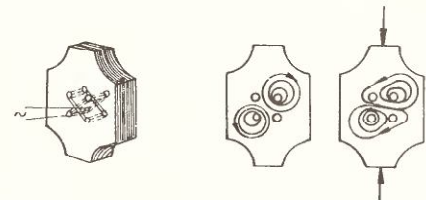
ствува релето PT, което прекъсва захранването на контактора К1. Двигателят се изключва от мрежата.

За отпускане трябва да се натиска бутонът П2, който включва контактора К2, а оттам и двигателя за въртене в обратна посока. Движението се прекратява при връщане на затварящия механизъм в изходно положение, където се задействуват крайният изключвател КИ.

Контролирането на тока широко се използва за ограничаване на максималното натоварване на двигателя в различни металорежещи и дървообработващи машини, където увеличаването на натоварването над допустимите граници води обикновено до счупване на режещия инструмент.

Обаче мощността и моментът на асинхронния двигател не са точно пропорционални на тока в статора, тъй като с изменението на натоварването  $\cos \varphi$  се изменя в твърде широки граници. Затова, когато се контролира натоварването на двигателя или силата в някои механични елементи с по-голяма точност, се използват специални преобразуватели, които позволяват директно измерване на интересувашите ни сили. Едни от най-разпространените са магнитострикционните датчици (фиг. 2.30).

Датчикът се състои от шихтован магнитопровод, в който са поставени две взаимно перпендикулярни намотки, едната от които се захранва с променливо напрежение. В нормално състояние създаваният от нея магнитен поток не обхваща втората намотка, на чийто изход няма никакво напрежение. С прилагане на сила в показаната посока (фиг. 2.30) магнитното поле се деформира (магнитострикционен ефект) и част от него обхваща втората намотка, на чийто изход се появява индуктирано напрежение. Го-



Фиг. 2.30. Магнитострикционен преобразувател (датчик) на сили

лемината на напрежението е пропорционална на приложената сила.

Принципът на управление във функция от тока може да се използва за автоматизация на пускането на двигателите. Подоб-

ни схеми обаче се срещат сравнително рядко, тъй като изискват използването на скъпи релета (особено за големи токове), докато същите процеси се автоматизират много по-удобно във функция от времето с използването на универсални релейно-контактни апарати.

Освен по разгледаните дотук методи работният цикъл на машините и механизмите може да се автоматизира и във функция от други параметри—ускорение, въртящ момент и др. Съвременните сложни системи за управление се съставят най-често във функция от няколко различни параметри, за да се използват най-пълно качествата на участващите в тях елементи и да се удовлетворят изискванията на технологичния процес.

#### Въпроси и задачи

1. Посочете производствените механизми, които изискват контролиране на силите.

2. Двигател за постоянен ток с независимо възбудяване работи е постоянно натоварван и скоростта му се изменя чрез напрежението на котвата. Как можем да получим сигнал, пропорционален на скоростта на въртене на двигателя (освен чрез тахогенератор)?

3. Постройте схема за управление на пускането на асинхронен двигател с фазов ротор чрез пусков резистор и две степени в роторната верига във функция от скоростта, която се задава от тахогенератор. Има ли тази схема някакви предимства в сравнение със схемата, построена във функция от времето? А недостатъци?

### 2.5. ЗАЩИТНИ ФУНКЦИИ В СХЕМИТЕ ЗА АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИТЕ ДВИГАТЕЛИ

Всяка система за управление и автоматизация трябва да осигури защита на включените в нея елементи срещу ненормални режими на работа, които могат да доведат до сериозни смущения в работата на задвижването или да представляват опасност за обслужващия персонал. Нормалната и безаварийна работа се осигурява още в процеса на проектирането чрез подходящ избор на машините и апаратите, съответстващ на гъвкавостта и характера на натоварването и на условията на работа, като се спазват определени изисквания при проектирането и монтажа на участващите в тях елементи.

Независимо от това трябва да се предвидят и средства, които да изключат защитявания участък при възникване на ненормални условия на работа, като предпазят включените машини и апарати от по-големи повреди и осигуряват нормалната работа на останалите участъци от системата.

Най-често са подложени на аварийни режими електрическите

двигатели. Затова и средствата за защита в системите за управление са най-често за тях. Основните видове защиты, задължителни за всяка схема, са максималнотокова, термична и нулева.

#### 2.5.1. МАКСИМАЛНОТОВОКА ЗАЩИТА

Основното ѝ предназначение е да предпази двигателя и захранващата мрежа от протичане на прекомерно големи токове, които възникват най-често при къси съединения. Тя реагира на вече възникнала повреда, като изключва повредения участък (най-често двигателя).

Най-простите и същевременно най-масово използваните апарати за тази цел са стопяемите предпазители. За постоянноотоккови двигатели и асинхронни двигатели с навит ротор, които се пускат плавно с помощта на пускови резистори, номиналният ток на предпазителя се избира равен или малко по-голям от номиналният ток на двигателя:

$$I_{пр} = (1 \div 1,2) I_{ном}. \quad (2.4)$$

За късо съединени асинхронни двигатели този начин на избор е неподходящ, защото предпазителят би се разтопил през време на пускане, тъй като пусковият ток превишава 5÷6 пъти номиналният. В този случай предпазителят се избира по някаква средна стойност между номиналният и пусковият ток на двигателя по формулата

$$I_{пр} = \frac{I_n}{\alpha}, \quad (2.5)$$

където  $I_n$  е пусковият ток на двигателя;  $\alpha$  — коефициент, зависещ от условията на пускане. При нормално пускане  $\alpha = 2,5$ . При тежки условия на пускане и голям брой включвания в час  $\alpha = 1,6 \div 2,0$ .

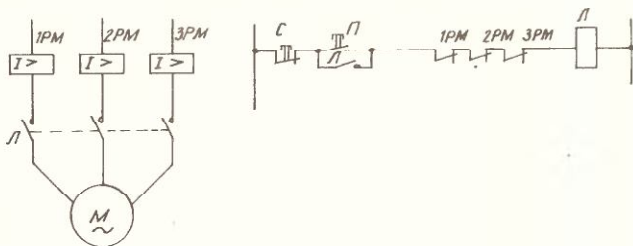
Избраният по този начин предпазител не може да се разтопи за краткото време на пускането, но затова пък е нечувствителен даже и към значителни претоварвания. Избягването на този недостатък чрез шунтиране на предпазителите в периода на пускане на двигателя е абсолютно недопустимо.

Основните предимства на предпазители, които спомагат да определят широкото им приложение за защита, са простата конструкция и ниската цена. Основните им недостатъци са малката точност на изключване и възможността за оставане на трифазните асинхронни двигатели да работят на две фази при изгаряне на предпазител в една от фазите.

Защита на двигателите от токове на късо съединение може да се осъществи и чрез т. нар. *максималнотокови релета*, които



се включват в силовите вериги и се задействуват, когато токът на двигателя стане по-голям от тока на задействване на релето. Токът на задействване се регулира в зависимост от типа на двигателя и условията на пускане. На фиг. 2.31 е показана защита



Фиг. 2.31. Защита на двигател с максималнотокови релета

на асинхронен двигател с максималнотокови релета. Тази защита може да се построи по-прецизно, но е значително по-сложна и по-скъпа в сравнение със стопяемите предпазители.

## 2.5.2. ТЕРМИЧНА ЗАЩИТА

Тя има за цел да предпази двигателят от недопустимо прегряване при продължителни, не много големи претоварвания, към които максималнотоковата защита е нечувствителна.

Основен елемент на термичната защита е *термичното (топлинното) реле*. То може да се настройва в сравнително широк обхват, като токът на настройка се определя от условието

$$I_T = (1,1 \div 1,25) I_{ном} \quad (2.6)$$

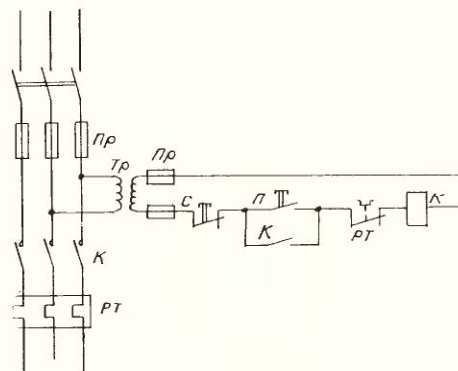
където  $I_{ном}$  е номиналният ток на двигателя.

Препоръчва се термичното реле да се избира така, че настройката му да бъде приблизително в средата на работния обхват.

За надеждна термична защита кривите на нагряване и охлаждане на термичното реле и двигателя трябва да са приблизително еднакви. Това условие не може да се осъществи при повторно-кратковременен режим на работа на двигателя. Затова в такъв случай обикновено термични релета не се използват, а термичната защита може да се осъществи с максималнотокови релета.

Особено отговорни двигатели се защитяват от претоварване със специални термочувствителни елементи — *позитрони*, които

се поставят в каналите на двигателя. При превишаване на температурата, за която са настроени, тяхното съпротивление рязко се повишава. Това се използва за включване или изключване на съответните защитни релета, които изключват двигателя от мрежата.



Фиг. 2.32. Схема за защита и управление на асинхронен двигател

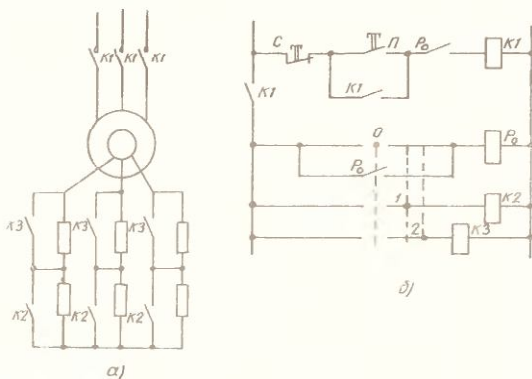
На фиг. 2.32 е показана пълната схема за управление на асинхронен двигател с максималнотокова и термична защита. Напоследък тези две функции се обединяват конструктивно в т. нар. *автоматични прекъсвачи* (автомати), които освен това служат и за включване и изключване на двигателите, т. е. изпълняват всички функции на схемата на фиг. 2.32.

## 2.5.3. НУЛЕВА ЗАЩИТА

Тази защита предпазва двигателя от самопроизволно повторно включване при възстановяване на мрежовото напрежение след аварийното му прекъсване.

Ако двигателят е включен в мрежата чрез апарат с ръчно управление — прекъсвач, пакетен превключвател и др., при аварийно прекъсване на захранването схемата на включване не се изменя и след възстановяване на напрежението двигателят отново ще се задвижи. Такова произволно пускане може да стане причина за авария или за тежка трудова злополука.

В схемата за управление на асинхронен двигател (фиг. 2.32) защитата от подобно включване се осигурява автоматично поради наличието на самоблокиращ контакт в управляващата верига, който я прекъсва при изчезване на захранващото напрежение. За



Фиг. 2.33. Нулева защита при управление с командоконтролер

включване на двигателя при поява на напрежение е необходимо отново да се натисне пусковият бутон.

На фиг. 2.33 е показана нулева защита при управление на асинхронен двигател с навит ротор с помощта на командоконтролер. В тази схема двигателят се пуска, както в досега разгледаните случаи — от контактора  $K1$ . Чрез командоконтролера последователно се изключват двете степенни на резистора в роторната верига. За избягване на пускането на двигателя при изключен пусков резистор или част от него (т. е. при положение 1 или 2 на контролера) служи релето  $P_0$ . За включване на двигателя контролерът трябва да се върне в нулево положение, тъй като в противен случай захранващата верига на контактора  $K1$  е прекъсната от нормално отворения контакт  $P_0$ .

#### 2.5.4. ДОПЪЛНИТЕЛНИ ЗАЩИТНИ ФУНКЦИИ

Разгледаните защитни функции са основни и задължителни за всеки двигател. Освен тях в зависимост от конкретните условия на работа и вида на електрическия двигател се осъществяват и други видове защита.

#### Защита на трифазните двигатели от работа на две фази

Този режим може да възникне често по различни причини (механично прекъсване на някои от фазовите проводници, изгаряне на един от предпазителите и др.), а обикновените термични релета реагират на него бавно и неточно, особено ако натоварването на двигателя е под номиналното. Защитата от работа на две фази може да се осъществи чрез включване на токови релета във всяка от фазите на двигателя или на реле за напрежение между земя и нулевата точка на свързаната в звезда статорна намотка.

#### Защита на двигателите за постоянен ток от прекъсване на възбудяването

Осъществява се чрез реле (за напрежение или токово), свързано последователно във възбудителната верига.

#### Защита на синхронните двигатели от изпадане от синхронизъм

Осъществява се от реле, включено към захранващото напрежение. При намаляване на  $U_{\text{зап}}$  с повече от 15–20%, релето се задейства и предизвиква повишаване на възбудящото напрежение, а оттам и на претоварващата способност на двигателя.

#### 2.5.5. ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАЩИТНИ БЛОКИРОВКИ

Разгледаните дотук защитни схеми имат за цел да изключат двигателя и свързаният с него участък от схемата при възникване на аварийни режими, свързани с работата на двигателя и системата за регулиране на скоростта му.

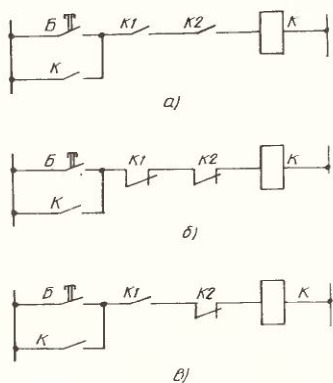
За разлика от тях електрическите защитни блокировки имат за задача да предпазят производствените механизми от аварийни ситуации, които възникват извън системата за управление на двигателя. Тези ситуации са свързани с работата на задвижвания механизъм и взаимоотношенията му с околната среда и биха могли да доведат до механически повреди или да създадат опасност за обслужващия персонал.

Същевременно защитните блокировки се използват и за създаване на определена зависимост в задействането на някои апарати от системата за управление, ако нарушаването на такава зависимост може да доведе до аварийни ситуации (най-често до късо съединение в силовата верига) или до неправилно функциониране на системата.

В разгледаните досега принципно схеми за автоматично управление има примери на блокировки между отделни комутационни апарати в схемата. Напр. в схемата за реверсивно пускане на

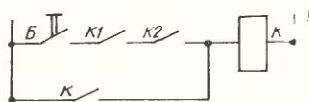


двигател (фиг. 2.4) такава блокировка е осъществена между силните контактори  $K1$  и  $K2$ , тъй като едновременното им включване води до късо съединение в захранващата мрежа. Подобни блокировки са осъществени и в схемите за едновременно управление



Фиг. 2.31. Защитна блокировка при включване и изключване на контактора

на два асинхронни двигателя (фиг. 2.5): в първия случай (фиг. 2.5 а), а във втория (фиг. 2.5 б)—вторият двигател се включва само ако първият не работи. Всички такива блокировки се свеждат до осъществяване на два основни вида зависимости при включване на определен апарат (реле, контактор):



Фиг. 2.35. Защитна блокировка само при включване на контактор

а. Възможност за включването му само след включване на други (един или повече) апарати. Осъществява се чрез свързване на н. о. (включващи) контакти на тези апарати последователно на захранващата верига на апарата  $K$  (фиг. 2.34 а). Контактът  $K$  може да бъде включен при натискане на бутона  $B$  само ако контакторите  $K1$  и  $K2$  (непоказани в схемата) са вече включени и н. о. им контакти в захранващата верига на  $K$  са затворени.

б. Възможност за включването му само при изключени други (един или повече) апарати. Осъществява се чрез свързване на нормално затворени (изключващи) контакти на тези апарати последователно в захранващата верига на  $K$  (фиг. 2.34 б).

На фиг. 2.34 в е показан пример за осъществяване на комбинирана зависимост. Контактът  $K$  може да се включи само при условие, че  $K1$  е включен (н. о. контакт на  $K1$  в захранващата верига на  $K$ ) и  $K2$  е изключен.

В разгледаните на фиг. 2.34 схеми условието за включване на контактора  $K$  се съблюдава през цялото време на работа, т. е. ако напр. някой от контакторите  $K1$  или  $K2$  изключи, след като  $K$  е вече включил (фиг. 2.34 а), то  $K$  също изключва. В ред случаи обаче трябва да се осъществи определена блокировка само в

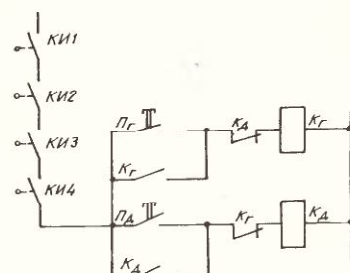
началния момент на включване. Тогава паралелно на блокиращата верига се включва н. о. контакт на включващия апарат. На фиг. 2.35 за включване на контактора  $K$  трябва да са включени  $K1$  и  $K2$ , но след включването му това не е необходимо, тъй като

намотката на  $K$  ще се захранва през н. о. контакт  $K$ . Такова свързване на н. о. контакти на апарата  $K$  — паралелно на захранващата го верига, се нарича *самоблокиране*. Най-типичен и често срещан пример на самоблокиране е свързването на н. о. контакт на включващия апарат паралелно на контактите на пусковия бутон. Той може да се види в почти всички от разгледаните досега схеми.

Защитните блокировки, които предпазват електрическото задвижване от възникване на аварийни ситуации извън системата за управление, също могат да се сведат до два основни вида, аналогични в известен смисъл на горните.

Първият вид включва блокировки, които не разрешават включването на определен механизъм, ако не са изпълнени някои предварителни условия. Напр. не трябва да се разрешава задвижването на кабината на всички видове асансьори, ако е отворен някой от шахтовите врати на етажните, тъй като това може да стане причина за сериозни злополуки. В някои видове маталорежещи машини не се разрешава включване на подавателното движение, ако главното не е включено, тъй като това може да доведе до счупване на инструмента. Включването на задвижването на много машини и механизми не се разрешава, ако не са затворени съответни предпазни ограждения и не са затворени вратите на всички шкафови с електрически съоръжения под напрежение, тъй като това е свързано с опасност за обслужващия персонал.

Изпълнението на горните изисквания се контролира най-често с крайни превключватели, които се задействуват от съответните подвижни органи на шахтови врати, предпазни прегради, блокове от зъбни колела (контролира се правилното им взаимно разположение, тъй като в противен случай може да се изронят зъбите) и т. н. В тези случаи н. о. контакти на крайните превключватели се свързват последователно в захранващата вери-



Фиг. 2.36. Защитна блокировка с крайни изключватели

га на контактора, управляващ включването на главното движение. На фиг. 2.36 е показана част от схемата за управление на асансьор, обслужващ четири етажа. Включването на главния двигател в двете посоки се управлява от контакторите  $K_1$  и  $K_2$ . Последователно в захранващата им верига са включени н. о. контакти на крайните преклювачатели  $K_{11}—K_{14}$ , които са монтирани на съответните етажи и се задействуват при затваряне на шахтовите врати. Задвижването на кабината, която и да е посока, може да стане само ако всички контакти  $K_{11}—K_{14}$  са затворени, т. е. затворени са всички врати.

Вторият вид блокировка служи за изключване на задвижването на някой орган, ако при работа се появяват опасни за функционирането му ситуации, напр. достигане до крайна точка от траекторията му, поява на прекомерно големи сили, механични повреди на някои от елементите (скъсване на лентата в транспортните устройства или на въжето в асансьорните уреди) на много високи скорости и т. н.

Типичен представител на този вид защита е крайната защита, която ограничава пътя, изминаван от работния орган на машината. Границите се определят от конструктивните размери на машината (подавателните органи на металорежещите машини) или от размерите на работните помещения (кранове, асансьори). Тази защита се осъществява с крайни преклювачатели, монтирани в крайните участъци от траекторията, които се задействуват от подвижните органи на машините (вж. фиг. 2.15).

За защита от големи претоварвания, недопустимо големи скорости и т. н. се използват различни преобразуватели на съответните механични величини (сила, скорост) чийто сигнал се използва за включване на съответни междинни релета. Техните н. з. контакти се включват последователно в захранващата верига на апарата, който управлява включването на контролирания орган.

#### Въпроси и задачи

1. Кои са основните видове защиты в схемите за управление на електрическото задвижване?
2. Защо термичните релета не се използват и за защита от къси съединения?
3. Защо не се използват термични релета за защита на двигатели, работещи в повторно-кратковремен режим на работа? Как може да се осигури термична защита в този случай?
4. Може ли да се осигури защита на трифазен двигател чрез еднофазни термични и максималнотокови релета, включени само в една от фазите му? Обяснете защо?
5. Съставете схема за управление на асинхронен двигател, осигуряващ термична, максималнотокова и защита от работа на две фази.

## 2.6. ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ПРИ СЪСТАВЯНЕ НА РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНИТЕ СХЕМИ. ИЗБОР НА ЕЛЕМЕНТИТЕ НА СХЕМАТА

### 2.6.1. ВИДОВЕ СХЕМИ

Системите за управление включват най-различни електрически машини, апарати, елементи, устройства и т. н., свързани по определен начин в зависимост от функциите на системата. Чертежите, на които са показани с помощта на условни означения различните елементи на системата заедно с връзките между тях, се наричат *схеми*. В зависимост от предназначението и начина на изобразяването им те се делят на три основни типа.

а. Блокни схеми. Предназначени са за най-общо запознаване със съдържанието на функциите на системата за управление. В тях обикновено се изобразяват условно (напр. с четириъгълник) само отделни функционални групи или устройства (напр. генератор, усилвател и т. н.), а не отделни елементи. Подобни схеми ще бъдат разгледани в следващата глава.

б. Принципни схеми. Те дават пълна представа за работата на системата и участващите в нея елементи, означени с помощта на условни графични изображения, които се регламентират от БДС 2755—78 и са задължителни за използване при проектиране и чертане на схеми за управление (приложение 1). Вече се запознахме с един от основните принципи при съставянето на такива схеми: отделните елементи и апарати се чертаят не според пространственото им разположение, а там, където това е най-целесъобразно с оглед схемата да се получи най-проста и прегледна.

Когато в схемата за управление участват няколко еднотипни апарата, техните буквени означения се допълват с цифра след тях (напр.  $K1$ ,  $K2$ ,  $K3$ ). Контактите на релейно-контактните апарати имат същите буквени означения с цифри отпред ( $1K$ ,  $2K$  и др.).

в. Монтажни схеми. Монтажната схема е основа за практическото изпълнение на системата за управление и затова всеки елемент и устройство се изобразяват в съответствие с действителното им разположение върху машината или в шкафа за управление. Тя съдържа допълнителни указания за вида и сечението на свързващите проводници, означения на клемните съединения и др.



## 2.6.2 ОСНОВНИ ИЗИСКВАНИЯ ПРИ СЪСТАВЯНЕ НА ПРИНЦИПНИ СХЕМИ ЗА РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНО УПРАВЛЕНИЕ

Отделните елементи в системата за управление се свързват с електрически вериги, които могат да се разделят на две основни групи.

**а. Силови (главни, първични).** Това са веригите, по които се захранват силовите елементи на задвижването. В тях участват обикновено силовите контакти на комутационните апарати (контактори, преключватели), защитната апаратура на двигателите и свързващите ги проводници.

**б. Управляващи (вторични, оперативни, спомагателни).** Всички останали вериги, които в зависимост от основните им функции могат да бъдат:

вериги за управление, по които се предават управляващите команди за извършване на всички преключвания в силовите вериги;

вериги за блокировка, които осъществяват определени зависимости (блокировки) между управляващите елементи в схемата;

вериги за сигнализация (звукова или светлинна) — за определени режими на работа на задвижванията;

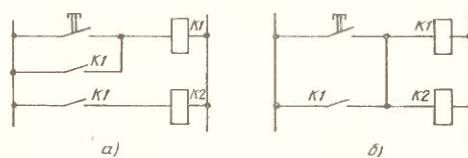
вериги за защита на схемата или отделни елементи от нея при аварийни режими.

Тази класификация е твърде условна. Често една верига изпълнява няколко функции. Затова по-нататък ще се разглеждат само два основни вида вериги — силови и оперативни (управляващи). В принципните схеми силовите вериги се чертаят с дебели, а управляващите вериги — с по-тънки линии. Отделните елементи на един и същ апарат могат да участват в различни вериги, напр. силовите контакти на контактора участват в силовата верига, докато захранващата намотка и блокиращите му контакти участват в управляващите вериги на схемите.

Всяка схема за управление на електрическото задвижване трябва да осъществява определени функции, съответстващи на изискванията на задвижваната машина или механизъм. Затова съставянето на схеми за управление изисква основно познаване на характера, особеностите и условията на работа на задвижваната машина. За ефективна работа на електрическите задвижвания в промишлени условия от схемите се изисква сигурност, удобство за монтаж, удобство за ремонт и експлоатация и т. н. Затова независимо от характера на функционирането при съставянето на релейно-контактни схеми за управление трябва да се спазват някои общи правила, които осигуряват до голяма степен изпълнението на горните изисквания:

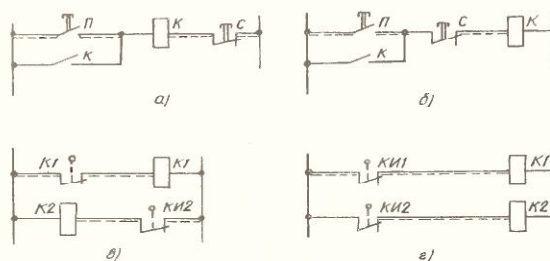
1. При съставянето на схемата да се използват минимално количество контакти и апарати. Това увеличава сигурността, прави я по-евтина и по-удобна за монтаж. В схемата на фиг. 2.37 а кон-

такторът К2 се включва едновременно с К1 чрез п. о. контакт на К1, включен в захранващата верига на К2. Същата функция може да се осъществи и без този контакт (фиг. 2.37 б). Съставянето на схемите с използване на минимален брой контакти не винаги е така очевидно и изисква известен опит в това отношение.



Фиг. 2.37. Намаление на броя на контактите в схемите за управление

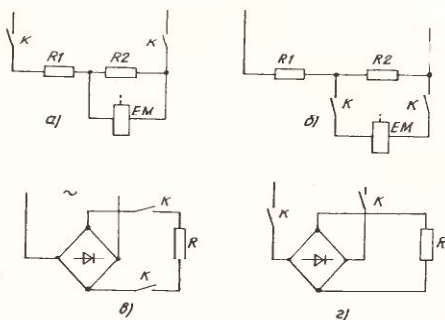
2. Принципната схема е основа за съставяне на монтажната схема, а оттам и за практическото осъществяване на монтажа. Правилното разположение на елементите в управляващите вериги е важно условие за рационален монтаж. Напр. разположението на елементите в управляващата верига на фиг. 2.38 а е неправилно. Двата бутона за управление обикновено се монтират върху задвижваната машина, а контакторът и захранването са в шкафа за



Фиг. 2.38. Разполагане на елементите в принципните схеми: неправилно (а, в), правилно (б, г)

управление. При показаното на фиг. 2.38 а разположение на елементите между бутоните и шкафа за управление трябва да се прокарат 4 проводника (означени с пунктир на фигурата), докато при разположението на фиг. 2.38 б те са три. Аналогично при

разположението на елементите, показано на фиг. 2.38 в, между крайните изключватели и шкафа за управление са необходими 4 проводника, които също могат да се съкратят на 3 при правилно построяване на схемата (фиг. 2.38 г). По правило в оперативните



Фиг. 2.39. Превключвания в управляващите вериги неправилно (а, в), правилно (б, г)

вериги контактите на всички апарати трябва да се разполагат от едната страна на захранващата намотка на съответното реле или контактор. При изпълнение на това правило единият край на всички намотки на електромагнитните апарати е с един и същ потенциал, броят на необходимите проводници намалява и се улеснява откриването на неизправности в схемата.

3. За повишаване на сигурността на схемите за управление се спазват следните основни правила:

а. Комутацията се осъществява в онези вериги, където прекъснатата мощност е минимална. От тази гледна точка електромагнитът  $E$ , захранван от делител на напрежението, трябва да се включва така, както е показано на фиг. 2.39 б, а полупроводниковите изправители трябва да се превключват от страната на променливия ток (фиг. 2.39 г), тъй като комутационните условия там са по-леки. Това има и още едно предимство — при изключване на товара изправителят не е под напрежение.

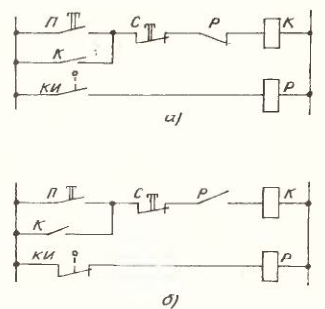
б. За защитни функции се използват по възможност само н.з. контакти на апаратите. При използване на н. о. контакти осъществяването на защитните функции зависи от изправността на веригата, в която са включени, което намалява общата надеждност на схемата. На фиг. 2.40 са показани два примера за защита при достигане на крайно положение на задвижвания орган

чрез крайния изключвател  $KИ$  и междинно реле. Изключването на двигателя зависи от изправността на захранващата верига на релето  $P$  (фиг. 2.40 а), което е недопустимо. Правилното изпълнение на схемата е показано на фиг. 2.40 б.

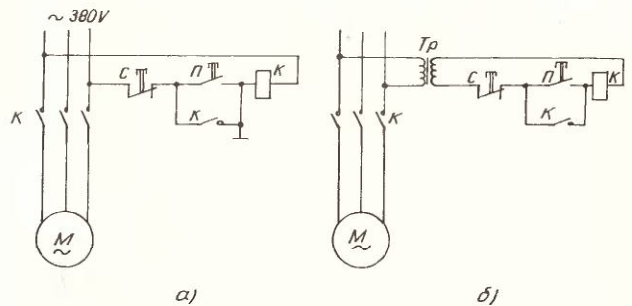
Във всички други случаи се предпочита използването на н.о. контакти на апаратите, които са по-сигурни при работа.

4. За захранване на управляващите вериги могат да се използват различни напрежения — 24, 42, 60, 110, 220, 380 V. Ниските напрежения са за предпочитане от гледна точка на безопасността на обслужващия персонал. Те обаче намаляват сигурността на схемата, тъй като при ниски напрежения замърсяванията по контактите на апаратите често водят до нарушаване на правилната им работа.

Непосредственото захранване на управляващите вериги с напрежение 380 V (фиг. 2.2) също не се препоръчва. Това повишава опасността от поражение от електрически ток, а при аварийни заземлявания в силовите и оперативните вериги се получават паразитни вериги, които могат да доведат до самопроизволно включване на двигателите и до тежки аварии или злополуки



Фиг. 2.40. Защита с помощта на краен изключвател: неправилно (а), правилно (б)



Фиг. 2.41. Захранване на схемите за управление: непосредствено (а), чрез трансформатор за управление (б)



(фиг. 2.41 а). За това подобно захранване на оперативните вериги се допуска само при много прости схеми за управление, в които участват не повече от 4–5 апарата, тъй като в този случай вероятността за възникване на аварийни заземления е сравнително малка.

На практика оперативните вериги най-често се захранват с напрежение 220 V чрез трансформатор за управление (фиг. 2.41 б). Така оперативната и силовата верига се разделят галванически, което повишава безопасността при работа и премахва възможността за произволни включвания на апаратите при аварийни заземления в оперативната верига. За това за захранване на оперативните вериги не се допуска използването на автотрансформатори или напрежение 220 V между коя да е от фазите и нулевия проводник на мрежата.

С напрежение 24 и 42 V обикновено се захранват електромагнитните съединители, тъй като те са монтирани в работните машини и използването на по-високи напрежения е опасно за обслужващия персонал.

### 2.6.3. ИЗБОР НА ЕЛЕМЕНТИТЕ НА СХЕМАТА

Важно условие за правилната и надеждна работа на схемите е правилният избор на елементите им. Комутационните апарати обикновено се избират от каталог по два основни параметъра: комутационни възможности на контактната система; брой и вид на контактите.

Основен параметър при избор на контактори е номиналният ток на силовите им контакти. За повишаване на надеждността се препоръчва те да се натоварват с не повече от 80 % от тази стойност. Всички силови елементи на задвижването — двигатели, електромагнити, електромагнитни съединители и др., трябва да се управляват само с помощта на силови контактори, дори ако понякога номиналният им ток е много по-малък от този на най-малкия контактор. Използването на релетата в такива случаи не се допуска.

Броят и видът на блокиращите контакти на силовите контактори е различен. Твърде често контактор от един типоразмер се изготвя с различни комбинации на блокиращите контакти (2 н. о. и 2 н. з.; 3 н. о. и 1 н. з. и др.). Изборът на едно от тези изпълнения зависи от изискванията на конкретната схема за управление.

Релетата се избират предимно въз основа на броя и вида на контактите им, като се имат предвид и комутационните им възможности.

При избор на управляващи апарати — бутони, крайни и пътни изключватели, пакетни превключватели, се изхожда от броя,

вида и комутационните възможности на контактите им, а ако е необходимо — и от диаграмата на превключването. Често от значение е конструктивното оформление на съответния апарат, което осигурява удобното му и сигурно задействане от оператора или задвижваните механизми.

Някои съображения при избор на оперативно напрежение бяха изложени по-горе. Мощността на трансформатора за управление се определя от мощността на едновременно включените към него намотки на релейно-контактните апарати. При това не трябва да се забравя, че в момент на включването магнитната система на релейно-контактните апарати е отворена и през намотките им протича много по-голям ток. Това затруднява точното определяне на необходимата мощност на трансформатора  $S_{\text{тр}}$ . На практика обикновено се използват някои емпирични формули, напр.

$$S_{\text{тр}} = \Sigma S_A + S_{\text{вкл. max}}, \quad (2.7)$$

където  $\Sigma S_A$  е сумата от мощностите, консумирани от намотките на едновременно включените релейно-контактни апарати, а  $S_{\text{вкл. max}}$  — необходимата мощност за включване на най-големия от тях. Тези стойности се дават в съответните каталози.

### Въпроси и задачи

1. Какви видове електрически схеми познавате? Главно по какво се различават принципните и монтажните схеми?
2. Какви видове електрически вериги съществуват в схемите за управление?
3. Защо за изпълнение на защитни функции трябва да се използват само н. о. контакти на електрическите апарати?
4. За какво служат управляващите трансформатори?
5. Изберете по каталог необходимите елементи за системи за прикюпване на късо съединен асинхронен двигател с мощност 10 kW.

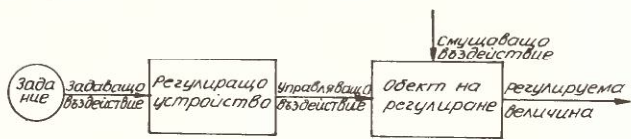
## 2.7. АВТОМАТИЧНО БЕЗСТЕПЕННО РЕГУЛИРАНЕ НА СКОРОСТТА

### 2.7.1. ОТВОРЕНИ И ЗАТВОРЕНИ СИСТЕМИ ЗА РЕГУЛИРАНЕ

От гледна точка на процесите на управление всички разгледани системи имат обща структура, показана на фиг. 2.42. Тази структура включва два основни елемента: регулиращо устройство и обект на регулиране.

Обект на регулиране във всички разгледани системи е електрическият двигател. Върху него се прилагат определени въздействия, наречени *регулирущи* или *управляващи*, които да предизвикат някакво изменение на *регулируемата величина* — скоростта (честотата на въртене) на двигателя. В зависимост от кон-

кретния метод на регулиране управляващото въздействие може да има различен характер (съпротивлението в роторната или старторната верига при реостатните методи на регулиране, захранващото напрежение, напрежението на възбудителната намотка и т. н.).



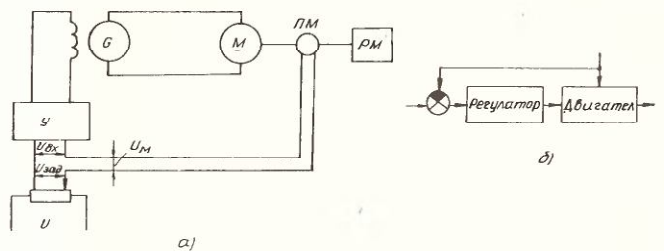
Фиг. 2.42. Структура на отворена система за управление

Регулиращото устройство има за цел да формира необходимите управляващи въздействия и в зависимост от техния характер може да има най-различна физическа реализация (контролер или релейно-контактна схема в системата за реостатно регулиране, генератор в системата Г—Д, магнитен усилвател в системата МУ—Д и др.). Регулиращото устройство формира управляващи въздействия в резултат на постъпващи на входа му задаващи въздействия, които могат да се формират от оператора (ръчно управление) или автоматично.

Системи за регулиране с такава структура са отворени, с управление само по заданието. Характерно за тях е, че на входа на регулиращото (управляващото) устройство постъпва само задание, свързано с определена стойност на регулируемата величина. Управляващото устройство няма никаква информация как това задание е изпълнено практически, т. е. информация за действителната стойност на регулируемата величина. Действителната стойност може твърде много да се отклони от зададената под влияние на смущаващи въздействия от най-различен характер. За електрическите двигатели основно смущаващо въздействие е изменението на съпротивителния момент на задвижваните от тях механизми. Други въздействия, които предизвикват значително отклонения от установената скорост на въртене, са измененията на захранващото напрежение, на околната температура, на переходното съпротивление на четковия контакт (и на други подвижни контакти в схемата за управление) и др.

Поради това тези системи за управление се характеризират с твърде ниска точност на поддържане на регулируемата величина, а оттам и с малък обхват на регулиране, който рядко надминава 1:10 (при регулиране на електродвигател за постоянен ток с независимо възбуждане по система Г—Д, БМУ—Д и др.). Оптималното протичане на технологичните процеси обаче в ред слу-

чай изисква регулиране на скоростта на двигателите в много по-широки граници, достигащи до 1:(2000÷5000) и голяма точност на поддържане на зададената скорост (допустимото отклонение в някои случаи е под 0,1%).



Фиг. 2.43. САР на скоростта на двигател за постоянен ток с управление по смущението

Затова в много системи управлението се извършва в зависимост и от смущенията и (или) регулируемата величина.

При изграждане на системи за автоматично регулиране (САР) на скоростта на двигателите се използват същите основни принципи както при всяка затворена САР. Тук ще разгледаме по-подробно конкретната им реализация.

Тъй като отклоненията на скоростта на въртене на електродвигателя се предизвикват от смущаващите въздействия, основното от които е съпротивителният момент на задвижвания механизъм, един от начините за повишаване на точността на регулирането се състои в използване на информация за измененията на съпротивителния момент, която да се подава в управляващото устройство, т. е. реализира се връзка по смущаващото въздействие.

На фиг. 2.43 а е показана принципната схема за регулиране на скоростта по система Г—Д, в която е реализирана такава връзка чрез преобразувател за момент ПМ.

Нека предположим, че системата е пусната в ход и двигателят се върти с някаква скорост  $\omega_{\text{уср}}$ . Ако в процеса на работа съпротивителният момент на работния механизъм РМ се увеличи, това ще намали скоростта на въртене в съответствие с механичната характеристика на двигателя. Същевременно ще се повиши напрежението  $U_M$  на изхода на преобразувателя на момент ПМ, а оттам и входното напрежение на усилвателя:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{зад}} + U_M \quad (2.8)$$



Това ще предизвика увеличаване на изходното напрежение на усилвателя, което е възбудително напрежение за генератора. Следователно ще се повиши и изходното напрежение на генератора, което води до компенсиращо увеличаване на честотата на въртене на двигателя.

При подходяща настройка на коефициента на усилване на системата може увеличението на скоростта на двигателя при увеличението на напрежението на генератора да се изравни с намалението, което би се получило под действие на увеличавания съпротивителен момент. Или в резултат скоростта изобщо няма да се измени.

Системи от този тип, които също са отворени и осъществяват автоматично поддържане на зададената скорост в зависимост от изменението на смущаващото въздействие, се наричат *инвариантни* (ако е осъществена независимост на скоростта от смущаващото въздействие), а самият принцип на регулиране — *регулиране по смущение*. Чрез тях регулираната величина се поддържа значително по-точно в сравнение с отворените системи без автоматично регулиране. Следователно в тях скоростта се регулира в по-широк обхват. Но техните възможности са практически доста ограничени поради ред причини.

а. Разглежданата система компенсира само едно от смущаващите въздействия (обикновено основното), докато регулируемата величина е подложена на влиянието на ред други. Наистина аналогично би се компенсирало и влиянието на останалите смущаващи въздействия, но системата би се получила много сложна, а измерването и компенсирането на някои смущения (напр. изменението на преходното съпротивление на четките, околната температура и др.) е много сложно и даже практически неосъществимо.

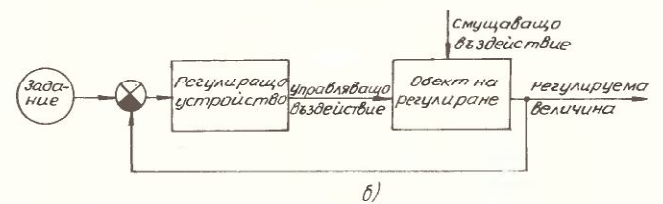
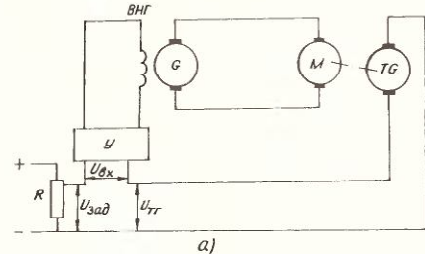
б. Зависимостта между входните и изходните величини на много от участващите в системата елементи е нелинейна (напр. зависимостта между скоростта и момента на двигателя, между изходното и възбудителното напрежение на генератора). Поради това системата може да се настрои да компенсира точно измененията на смущаващото въздействие само в сравнително тесни граници, ако не се използват сложни нелинейни преобразуватели в регулиращото устройство.

Затова при изграждане на САР много по-често се използва друг принцип — регулиране по отклонението на регулируемата величина чрез затворена САР. На 244 са показани принципната и структурната схема на затворена система за регулиране Г—Д, построена на този принцип. За разлика от разглежданата система тук в управляващото устройство се подава информация за изменението на регулируемата величина — осъществена е обратна връзка по скоростта на двигателя с помощта на тахогенератора ТГ.

Действието на системата при работа с някаква установена скорост на двигателя се осъществява по следния начин:

Ако поради някаква причина (напр. увеличение на натоварването) честотата на въртене на двигателя се намали, ще се намали и напрежението на тахогенератора. Това ще доведе до увеличаване на входното напрежение на усилвателя, което е

$$U_{вх} = U_{зад} - U_{тг}, \quad (2.9)$$



Фиг. 2.44. Затворена САР на скоростта на двигателя за постоянен ток с управление по отклонението на регулируемата величина

а оттам и на изходното му напрежение, което възбужда генератора. Следователно ще се повиши и изходното напрежение на генератора, което от своя страна ще предизвика увеличаване на честотата на въртене до приближаване към зададената и стойност. Действието на системата при увеличаване на ъгловата скорост над зададената е аналогично.

В този случай управляващото устройство реагира на отклонението на регулируемата величина от зададената и стойност независимо от причината, която е предизвикала това отклонение. Следователно принципът на регулиране по отклонението е много по-универсален и ефективен в сравнение с регулирането по смущаващото въздействие и позволява изграждане на системи с много високи статически и динамични показатели. Тези систе-

ми се прилагат във всички случаи, когато е необходимо регулиране на скоростта в широк обхват, голяма точност на поддържане на зададената скорост, оптимизация на процесите на пускане и спиране, управление по сложни задачи. Затова по-нататък се разглеждат конкретни примери само на затворени системи, изградени предимно на този принцип.

Наред с предимствата си тези системи имат и някои недостатъци в сравнение със системите, работещи по отклонението на смущаващите въздействия:

а. Те са сравнително по-бавнодействащи, тъй като всяко смущение трябва да се отрази най-напред върху изходната величина, след което системата започва да реагира. Сигналът, който се подава на входа на системата за компенсиране на настъпилото отклонение, преминава последователно през всички нейни звена, някои от които са със значителна времеконстанта.

б. Нормалната работа на системата винаги е свързана с наличие на грешка, т. е. с отклонение на регулируемата величина от зададената ѝ стойност. Това произтича от факта, че в установен режим за работата на двигателя е необходимо наличие на напречно напрежение на входа на усилвателя (фиг. 2.44 а), за което напрежението на тахогенератора трябва да бъде по-малко от задаващото. Следователно стойността на регулируемата величина също ще бъде по-малка от зададената. Системите за регулиране, построени на този принцип, за които наличието на статична грешка е необходимо условие за функционирането им, се наричат *статични*.

в. Поради наличието на затворен контур системите, построени на този принцип, са склонни към колебания и неустойчива работа.

Твърде често при изграждане на съвременните САР на скоростта на двигателите се използват едновременно и двата основни принципа на регулиране — по отклонението и по смущението. Това позволява да се обединят положителните им качества и да се получат затворени системи с много по-добри характеристики, които да задоволят и най-високите изисквания.

В зависимост от характера на изменението на задаващото въздействие, затворените системи за автоматично управление се делят на три основни вида:

а. *Системи за автоматична стабилизация*, които са предназначени за поддържане с определена точност (стабилизация) на зададената стойност на регулируемата величина. Такава е разглежданата САР на скоростта на двигателя по системата Г—Д (фиг. 2.40).

б. *Системи за програмно управление*, в които задаващото въздействие и регулируемата величина се изменят по предварително зададена програма, напр. системите за програмно управление на металорежещите машини.

в. *Следящи системи*, в които регулируемата величина се изменя в съответствие с някаква предварително неизвестна функция, определена чрез задаващото въздействие.

### 2.7.2. ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗАТВОРЕНИТЕ СИСТЕМИ

Статичната характеристика на затворена САР представлява изменението на установената стойност на регулираната величина във функция от установената стойност на основното смущаващо въздействие. Тъй като в разглежданите от нас системи регулирана величина е скоростта на двигателя, а основното смущаващо въздействие е съпротивителният момент на задвижвания механизъм, статичната характеристика на затворената система представлява зависимостта  $\omega = f(M)$ , идентична с механичната характеристика на двигателя.

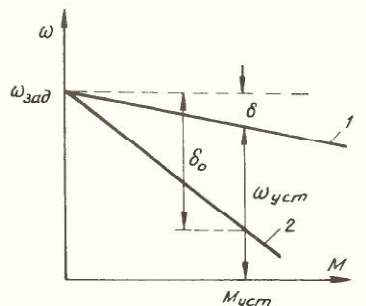
На фиг. 2.45 са показани статичната характеристика на затворената САР на скоростта на двигателя по система Г—Д (фиг. 2.44) и механичната характеристика на двигателя с отчитане на котвеното съпротивление на генератора, която може да се разглежда като статична характеристика на отворената система за регулиране.

В установен режим на работа, характеризиращ се с определена стойност на съпротивителния момент ( $M_{уст}$ ), скоростта на въртене на двигателя  $\omega_{уст}$  се различава от зададената, като величината

$$\delta = \frac{\omega_{зад} - \omega_{уст}}{\omega_{зад}} \quad (2.10)$$

се нарича *статична грешка* или *статизъм* на системата.

Сравнението с характеристиката на отворената система показва, че въвеждането на обратна връзка по регулируемата величина позволява да намалим грешката на регулирането, което се определя от отношението



Фиг. 2.45. Статична характеристика на затворена (1) и отворена (2) САР

$$\delta = \frac{\delta_0}{1+k}, \quad (2.11)$$

където  $\delta$  и  $\delta_0$  са статичните грешки при затворена и при отворена система, а  $k$ —общият статичен коефициент на усилване на



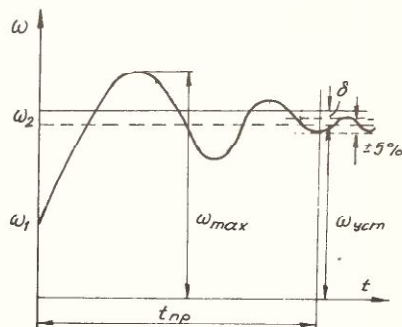
системата, който се определя от произведението на коефициентите на усилване на всички включени в нея звена.

Виждаме, че намаляването на грешката (увеличаването на точността) на разгледаната затворена система е свързано с увеличаване на общия коефициент на усилване, което в ред случаи изисква включване на допълнителни усилвателни звена в нея. Но грешката на разгледаната система не може да бъде премахната по принцип.

#### Динамични характеристики

Освен точността на поддържане на скоростта на въртене в установен режим за ред процеси са твърде важни и динамичните характеристики на системите за управление. Те отразяват поведението на системите през време на преходните процеси, свързани с пускане, спиране, изменение на зададената скорост и др.

На фиг. 2.46 е показана типичната крива на изменение на скоростта на двигател при прехода ѝ от една установена стойност  $\omega_1$  към друга  $\omega_2$ , предизвикан от скокообразно изменение на управляващото въздействие. Качествата на преходния процес се оценяват най-често с помощта на показателите *бърздействие*, *пререгулиране* и *брой на колебанията*.



Фиг. 2.46. Преходен процес в затворена САР и определяне на основните динамични характеристики

*Бърздействието на системата* се измерва с времето  $t_{пр}$  (фиг. 2.46), за което честотата на въртене достига установената си стойност с грешка  $\pm 5\%$ . Това е важен показател, особено за задвижвания, работещи в режим на чести пускания и спираня.

Прекомерното намаляване на  $t_{пр}$  се ограничава във всеки конкретен случай от претоварващата способност на двигателите и задвижващите механизми, допустимата скорост на нарастване на тока, зависеща от условията на комутацията, и др.

*Пререгулиране на системата* наричаме отношението (фиг. 2.46)

$$\sigma = \frac{\omega_{max} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} \quad (2.12)$$

Допустимата му стойност обикновено е в границите 15–30% и се определя от изискванията на технологичния процес. В някои случаи пререгулиране изобщо не трябва да се допуска.

Броят на колебанията на скоростта за времето  $t_{пр}$  определя *степената на затихване на преходния процес*. Допустимият брой също се определя от конкретните условия, но обикновено е по-малък от три. Понякога се налагат ограничения и върху честотата на колебанията, за да се избегне възникването на резонансни явления в системата на задвижването.

#### 2.7.3. ОБРАТНИ ВРЪЗКИ И КОРИГИРАЩИ ЗВЕНА

Основен елемент на затворените системи за управление е обратната връзка, чрез която на входа на системата се подава информация за състоянието на регулируемата величина. За постигане на необходимите качества в сложните системи се използват различни по характер обратни връзки, които могат да обхващат както цялата система, така и само отделните части от нея.

*Обратната връзка се нарича отрицателна*, ако при подаването ѝ на входа на системата регулируемата величина намалява стойността си. Ако всички звена имат положителни коефициенти на усилване, на входа на управляващото устройство се подава величината

$$x_{вх} = x_{зад} - x_{обв} \quad (2.13)$$

Такава е обратната връзка в разгледаната система за стабилизация на скоростта на двигатели (фиг. 2.44).

Ако включването на обратната връзка довежда до увеличаване на регулируемата величина, а при положителни коефициенти на усилване на входа на управляващото устройство се подава величината

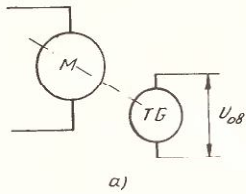
$$x_{вх} = x_{зад} + x_{обв} \quad (2.14)$$

*обратната връзка се нарича положителна*.

В зависимост от физическия характер на величините обратните връзки могат да бъдат по напрежение, по скорост, по траектория, по натоварване и т. н. В затворените системи за безсте-

пенно регулиране на скоростта най-често се използват обратни връзки по скорост, по ток и по напрежение.

Обратната връзка по скорост се използва в почти всички затворени системи и особено там, където е необходим широк обхват на регулиране. Най-често тя се осъществява с тахогенератор (фиг. 2.47 а) — електрическа микромашина за постоянен или променлив ток, свързана механично към вала на регулируемия двигател. Негова основна характеристика е зависимостта на изходното напрежение от ъгловата скорост:

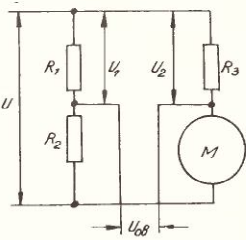


а)

$$U_{ог} \approx E_{тг} = k \cdot \omega. \quad (2.15)$$

В границите на работния обхват на тахогенератора тази зависимост трябва да бъде линейна.

Най-широко разпространение в практиката на регулираните задвижвания са получили тахогенераторите за постоянен ток с възбуждане от постоянни магнити. Използват се и променливотокови (синхронни, асинхронни) тахогенератори, като изходното им напрежение се изправя от полупроводников изправител. Поради неизбежните пулсации на изправеното изходно напрежение те не са подходящи за задвижвания с много голям обхват на регулиране на скоростта.



б)

Фиг. 2.47. Обратна връзка по скорост с тахогенератор (а) и тахометричен мост (б)

За появилите се в последно време цифрови системи за регулиране се използват честотни тахогенератори с импулсен изход, като честотата на импулсите е пропорционална на ъгловата скорост. Те обаче не са подходящи за много малки честоти на въртене от порядъка на няколко  $\text{min}^{-1}$ .

Вместо с тахогенератор обратната връзка по скорост при двигателите за постоянен ток с независимо възбуждане може да се реализира с тахометричен мост (фиг. 2.47 б). В установен режим

$$U_{ог} = U_1 - U_2. \quad (2.16)$$

Напрежението  $U_1$  е пропорционално на захранващото напреже

ние  $U$ , а  $U_2$  — на протичащия през двигателя ток. Ако пренебрегнем входното съпротивление на следващото звено, можем да напишем

$$U_{ог} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U - R_3 I_a. \quad (2.17)$$

Захранващото напрежение може да се определи от уравнението на котвената верига на двигателя

$$U = E_0 + (R_a + R_s) I_a. \quad (2.18)$$

Като заместим стойността на  $U$  от (2.18) в (2.17), след просто преобразуване получаваме

$$U_{ог} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_0 + \frac{R_1 R_a - R_2 R_s}{R_1 + R_2} I_a.$$

От последния израз се вижда, че при подходящ избор на съпротивленията на моста, така че да е изпълнено условието

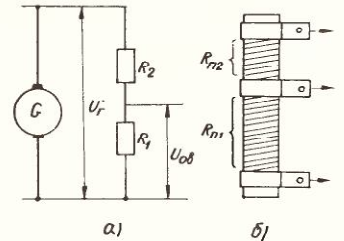
$$R_1 \cdot R_a = R_2 \cdot R_s, \quad (2.19)$$

вторият член на уравнението се анулира и напрежението на обратната връзка ще бъде пропорционално само на е. д. н., следователно при постоянно възбуждане ( $\Phi = \text{const}$ ) — само на ъгловата скорост на двигателя ( $E_0 = c \cdot \Phi \cdot \omega$ )

$$U_{ог} = \frac{c \cdot \Phi \cdot R_1}{R_1 + R_2} \omega = k \cdot \omega. \quad (2.20)$$

Тази пропорционалност обаче е точна в сравнително ограничен обхват и иастройката на тахометричния мост не е много стабилна поради нестабилността на съпротивленията на котвената верига  $R_{ар}$ , дължащо се главно на променливото съпротивление на четковия контакт. Горните недостатъци определят използването на тахометричния мост за осъществяване на обратна връзка по скорост в сравнително маломощни задвижвания с малък диапазон на регулиране (до  $(15 \div 20) : 1$ ).

Обратна връзка по напрежение. Тя се осъществява най-често с помощта на потенциометричен преобразувател, включен паралелно на захранващото напрежение (фиг. 2.48 а). Ако и тук пренебрегнем входното съ-

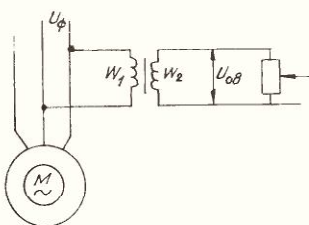


Фиг. 2.48. Обратна връзка по напрежение

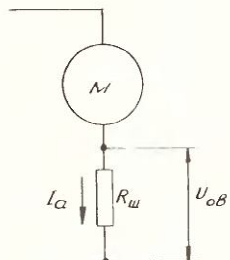


ротивление на следващото звено и съпротивлението на котвената верига на генератора ( $R_{вх} \rightarrow \infty, R_{ар} = 0$ ), можем да напишем

$$U_{об} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_r = k U_r \quad (2.21)$$



Фиг. 2.49. Променивотокова обратна връзка по напрежение с трансформатор за напрежение



Фиг. 2.50. Обратна връзка по ток с шунтов резистор

На практика обаче съпротивлението на котвената верига  $R_{ар}$  не е нула и при това е твърде нестабилно. Входното съпротивление на следващото звено, към което се подава напрежението на обратната връзка  $R_{вх}$ , също не е безкрайно голямо и в много случаи е съизмеримо с общото съпротивление на потенциометъра. Всичко това внася значителни грешки в коефициента на пропорционалност между  $U_{об}$  и  $U_r$ . Тази грешка може да се направи по-малка от 5%, ако се удовлетворят условията

$$R_1 + R_2 \geq 20 R_{ар} \text{ и } R_{вх} \geq 20 (R_1 + R_2) \quad (2.22)$$

Обикновено за потенциометричен преобразувател се използва полупроводников резистор (фиг. 2.48 б). Това позволява с помощта на плъзгач, който в установен режим се застопорява, да се изменя коефициентът на обратна връзка.

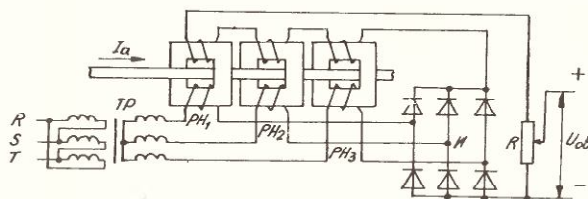
При променивотоковите задвижвания за обратна връзка по напрежение обикновено се използват трансформатори (фиг. 2.49), което позволява галванично разделяне на управляващите вериги от силовите. В този случай напрежението на обратната връзка ще бъде

$$U_{об} = \frac{w_2}{w_1} U_{\phi} = k U_{\phi} \quad (2.23)$$

Настройката на коефициента на обратна връзка чрез изменение на броя на навивките на трансформатора е твърде неудобна. За-

това във вторичната му верига почти винаги се включва потенциометричен преобразувател, както е показано на фиг. 2.49.

Обратна връзка по ток може да се реализира с помощта на специални шунтови резистори, включени последователно в котве-



Фиг. 2.51. Обратна връзка по ток с магнитен усилвател (трансформатор за постоянен ток)

ната верига на двигателя (фиг. 2.50). При големи мощности тези резистори трябва да са със сравнително големи размери, затова вместо тях обикновено се използват намотките на допълнителните полюси или компенсационните намотки на машините за постоянен ток.

Точността на така реализираната обратна връзка зависи твърде много от съотношението между  $R_{ш}$  и входното съпротивление на следващото звено. Може да се покаже, че грешката и в този случай ще бъде по-малка от 5%, ако е изпълнено условието

$$R_{вх} \geq 20 R_{ш} \quad (2.24)$$

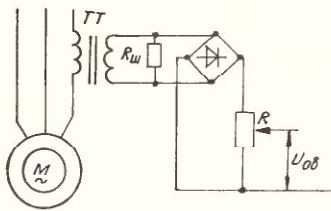
Коефициентът на обратната връзка при по-малки токове и тук може да се регулира, като  $R_{ш}$  се замени с полупроводников резистор (фиг. 2.48 б). При големи токове паралелно на  $R_{ш}$  се включва потенциометричен преобразувател както на фиг. 2.49.

Реализирането на обратни връзки по ток е много затруднено при задвижвания с много голяма мощност (над 100 kW) поради големите загуби в шунтовите резистори. В такива случаи в постояннотоковите задвижвания се използват измерителни магнитни усилватели, наричани още трансформатори за постоянен ток.

На фиг. 2.51 е показана схемата на такъв трифазен усилвател, чиито работни намотки  $PH_1, PH_2$  и  $PH_3$  се захранват от трансформатора  $TP$ , а управляваща намотка е обща за трите магнитопроводни шина, през която протича котвеният ток на двигателя  $I_a$ . С изменението на  $I_a$  се изменя подмагнитването на магнитопроводите, а оттам — и токът в работните намотки  $PH$ , който се изправя от изправителя  $I$ . С шунтовия резистор  $R$  от  $I$  се полу-

чава напрежението на обратната връзка  $U_{об}$ , пропорционално на котвения ток на двигателя.

Недостатък на така изградената обратна връзка е нелинейността на характеристиките на магнитния усилвател.



Фиг. 2.52. Обратна връзка по ток с токов трансформатор

При променливотокови задвижвания обратната връзка по ток може да се осъществи с токов трансформатор (фиг. 2.52). Същата схема може да се използва и при двигатели за постоянен ток, захранвани от променливотоков преобразувател, като се използва пропорционалността между променливия ток на преобразувателя и постоянния ток в котвата на двигателя.

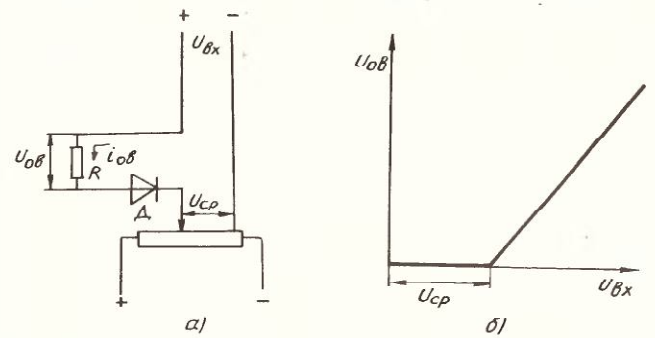
Тъй като токът на двигателите е пропорционален на натоварването, то обратната връзка по ток, ако се пренебрегне зависимостта на тока от управляващото въздействие, приблизително представлява и връзка по основното смущаващо въздействие — съпротивителния момент. Затова *въвеждането на положителна обратна връзка по ток допринася за повишаване на точността на регулиране и осъществяване на САР само с обратна връзка по ток* (регулиране по смущение на фиг. 2.43) е възможно.

**Нелинейни обратни връзки.** Постигането на някои специални форми на механичните характеристики на регулируемите задвижвания — най-често нелинейни, изискват въвеждане на съответни нелинейности във веригите на обратните връзки. Най-широко разпространение в практиката са получили т. нар. задържани обратни връзки, на изхода на които се получава сигнал, след като величината, по която се взема обратна връзка, достигне определена стойност.

На фиг. 2.53 а е показана типична схема за реализиране на задържана обратна връзка по напрежение. Изходният сигнал  $U_{об}$  ще бъде нула, докато входното напрежение  $U_{вх}$  е по-малко от напрежението на сравнение  $U_{ср}$ . Характеристиката вход—изход на така построената обратна връзка е показана на фиг. 2.53 б. Напрежението  $U_{ср}$  се нарича още *напрежение на отсечка*, а обратната връзка — *обратна връзка с отсечка*.

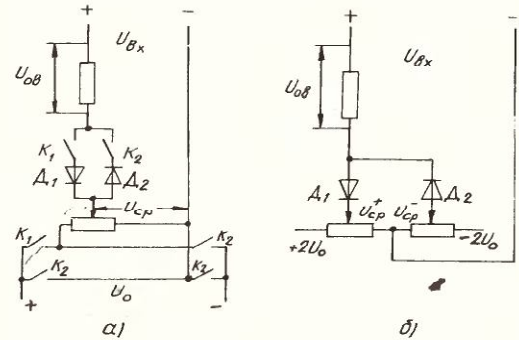
Разгледаната схема е неревърсивна. Ако входното напрежение смени полярността си, през резистора  $R$  изобщо няма да протече ток. За да се осигури аналогично действие на възела на обратна връзка, трябва да се смени полярността на напрежението на сравнение  $U_{ср}$  и посоката на тока през диода  $D$ . Това може да се извърши по два начина — с контакти или с два независими из-

точника на сравняващо напрежение. Първият начин е показан на фиг. 2.54 а. При полярности на входното напрежение, показани на фигурата, са включени контактите с индекс „1“, а при смяна на полярността се включват контактите с индекс „2“, които сме-



Фиг. 2.53. Неревърсивна задържана обратна връзка (а) и статичната ѝ характеристика (б)

нят полярността на напрежението за сравнение и включват във веригата на обратната връзка  $D_2$ . Вторият начин (фиг. 2.54 б) представлява всъщност две отделни неревърсивни схеми, всяка от кои-

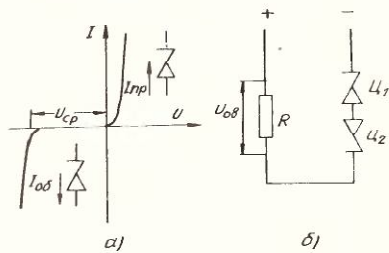


Фиг. 2.54. Контактна (а) и безконтактна (б) реализиране на задържана обратна връзка



го работи само при една полярност на входното напрежение, което лесно може да се проследи.

Първият начин е удобен за реализиране на задържани обратни връзки по скорост и напрежение в реверсивни задвижвания,



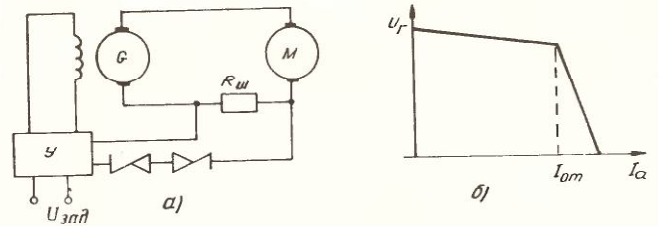
Фиг. 2.55. Задържана обратна връзка с ценеров диод

като за превключване могат да се използват блокиращите контакти на реверсивните контактори в главната верига. Той обаче е неподходящ за задържана обратна връзка по ток, тъй като в някои спиращи режими (напр. генераторно спиране) токът на двигателя сменя посоката си, без да се изменя полярността на захранващото напрежение.

За реализиране на задържани обратни връзки могат да се използват ценерови диоди (стабилитрони). Тяхната волт-амперна характеристика е показана на фиг. 2.55 а. При определена стойност на обратното напрежение  $U_{cp}$  диодът се „отпушва“ и обратното му съпротивление спада рязко от няколко МΩ до няколко десетки Ω (ценеров ефект). Това свойство на ценеровите диоди позволява да се реализират много по-просто задържани обратни връзки, тъй като не е необходим отделен източник на сравняващо напрежение. На фиг. 2.55 б е показана схема на реверсивна задържана обратна връзка с два еднакви ценерови диода  $U_1$  и  $U_2$ , всеки от които „пробива“ при една от полярностите на входното напрежение. Схемата е значително по-проста от тези на фиг. 2.54, които изпълняват аналогични функции.

Задържаните обратни връзки се използват за получаване на някои по-специални механични характеристики на регулираните задвижвания. На фиг. 2.56 а е показана схема на регулиране на скоростта на двигател по система Г—Д със задържана отрицателна обратна връзка по ток. При увеличаване на натоварването до определени граници напрежението  $I_a R_{ш}$  е по-малко от напрежението на пробив на ценеровите диоди и обратната връзка по ток

практически не действа. Механичната характеристика на двигателя в този участък се определя от параметрите на системата Г—Д (фиг. 2.56 б). Когато обаче токът на двигателя нарасне над определена стойност и напрежението  $I_a R_{ш} > U_{от}$ , ценеровият диод



Фиг. 2.56. Схема по система Г—Д (а) за получаване на ескаваторни статически характеристики (б)

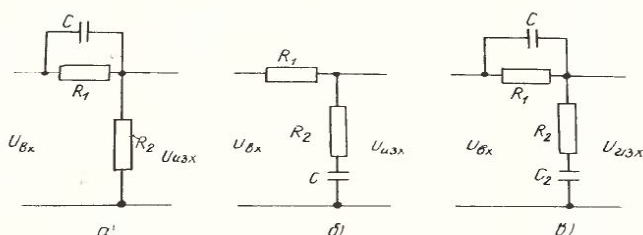
пробива, обратната връзка задейства и на входа на усилвателя който захранва възбудителната намотка на генератора, се подава напрежение  $U_{гг} = U_{заг} - U_{об}$ . С нарастването на  $I_a$  възбудяването, а оттам и напрежението на генератора бързо намаляват, което води до ограничаване на тока на двигателя, а механичната характеристика в този участък е много мека. По този начин задържаната обратна връзка ограничават прекомерното нарастване на тока на двигателя и не допуска той да надмине определени граници. Подобна характеристика е необходима за механизми, работещи с чести претоварвания (багери, ескаватори) и понякога се нарича *ескаваторна*.

#### Коригиращи звена

Сигналът от разгледаните обратни връзки, а оттам и формираното с тяхна помощ управляващо въздействие са пропорционални на отклонението на регулираната величина от нейната зададена стойност, т. е. регулиращото устройство (регулаторът) осъществява пропорционален закон на регулиране. Постигането на определени статични и динамични качества на системите е свързано с въвеждане и на други закони на регулиране — най-често диференциален и интегрален, при които управляващото въздействие е пропорционално съответно на скоростта на изменението (диференциала) или на интеграла от регулираната величина.

За въвеждане на допълнителни въздействия в закона на регулиране и извършване на корекции в общата предавателна функция на системата служат специални коригиращи звена от активен и пасивен тип.

Пасивните коригиращи звена представляват най-често RC-вериги. Те въвеждат диференциални и интегрални зависимости в закона на регулиране. На фиг. 2.57 са показани схеми на някои от най-употребяваните пасивни коригиращи звена в системите за ре-

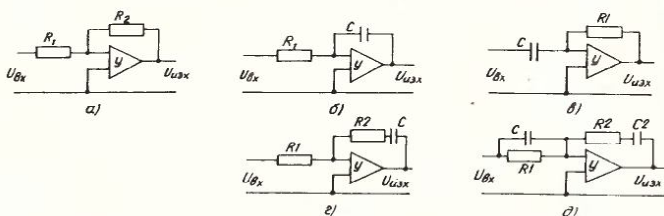


Фиг. 2.57. Пасивни коригиращи звена — диференциращо (а), интегриращо (б), интегро-диференциращо (в)

гулиране. Желаните амплитудни и честотни характеристики могат да се реализират чрез подходящ избор на параметрите на звената ( $R$  и  $C$ ).

Понякога за разлика от обикновените (твърди) обратни връзки обратните връзки, осъществени с помощта на чисто диференциращо звено, които функционират само през време на преходните процеси, се наричат гъвкави.

Активните коригиращи звена осъществяват и усилване на сигналите. Те се изграждат на основата на усилватели за постоя-



Фиг. 2.58. Схеми на активни коригиращи звена с операционни усилватели (регулатори)

нен ток, които трябва да отговарят на следните основни изисквания: малък дрейф на нулата на изходното напрежение и линейна статична (входно-изходна) характеристика.

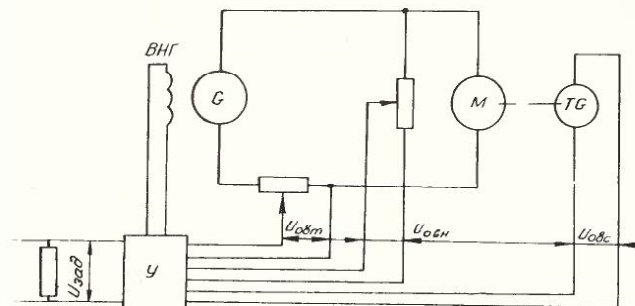
Известни са два вида усилватели за постоянен ток: с непосредствено усилване и с преобразуване на сигнала. Усилвателите с

преобразуване на сигнала са значително по-сложни (входният сигнал се модулира с висока носеща честота, усилва се и се демодулира), но имат по-малък дрейф и се използват при по-високи изисквания.

На фиг. 2.58 са показани някои от най-често срещаните схеми на свързване на постояннооточкови усилватели за реализиране на необходимите закони на регулиране. Постояннотоочковият усилвател заедно със свързаните към него допълнителни елементи, се нарича *операционен усилвател* и може да изпълнява ролята на регулатор. В зависимост от реализираната операция по отношение на входния сигнал регулаторите биват пропорционални (П, фиг. 2.58 а), диференциални (Д, фиг. 2.58 б), интегрални (И, фиг. 2.58 в), пропорционално-интегрални (ПИ, фиг. 2.58 г), пропорционално-интегрално-диференциални (ПИД, фиг. 2.58 д) и др.

#### 2.7.4. ЗАТВОРЕНИ САР НА СКОРОСТТА НА ДВИГАТЕЛЯ ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК С ОБЩ СУМИРАЩ УСИЛВАТЕЛ

Най-често затворените САР на скоростта на постояннооточковите двигатели се реализират с общ сумиращ усилвател. Характерно за тези системи е наличието на усилвател, на чийто вход се подава алгебричната сума на задаващия сигнал и сигналите на всички видове обратни връзки. В зависимост от вида на усилвателя су-



Фиг. 2.59. Затворена САР Г—Д с общ сумиращ усилвател

мирането на входните сигнали може да бъде електрическо или магнитно.

Най-общият вид на затворена система за регулиране Г—Д с отрицателни обратни връзки по напрежение и скорост и поло-



жителна обратна връзка по ток е показана на фиг. 2.59. Възбудителната намотка на генератора се захранва чрез усилване, на чийто вход се подава напрежение

$$U_{вх} = U_{зад} + U_{овт} - U_{овс} - U_{овн} \quad (2.25)$$

Действието на системата при използване само на обратна връзка по скорост беше разгледано в т. 2.7.1. Останалите две обратни връзки компенсират влиянието на основните смущаващи въздействия в системата — съпротивителният момент (пропорционален на тока в котвата) и захранващото напрежение, и по този начин повишават точността на поддържане на регулируемата величина — честотата на въртене на двигателя.

Като междинен, сумиращ усилвател в системата може да се използва електромашинен, магнитен или полупроводников усилвател.

Системата Г—Д, построена по този начин, дава възможност за регулиране на скоростта на двигателя в диапазон до 100:1 при грешка на поддържане на зададената скорост до 5%. Основните й недостатъци — големи габарити, цена и експлоатационни разходи, сравнително ниска надеждност, са следствие на участващите в нея голям брой въртящи се електрически машини.

Предимствата на системата Г—Д са в областта на големите мощности (500 kW и повече), където нейната цена става съизмерима с тази на другите статични преобразуватели (магнитни и полупроводникови), а в ред случаи представлява единственият възможен начин на регулиране.

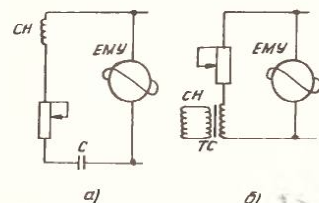
Затова тази система сега се прилага изключително за задвижвания с голяма мощност.

Система ЕМУ—Д. Системата ЕМУ—Д може да се разглежда като модификация на системата Г—Д, в която ЕМУ изпълнява ролята на генератор и на сумиращ усилвател. На фиг. 2.60 е показана принципната схема за регулиране по система ЕМУ—Д с използване на отрицателна обратна връзка по скорост.

Желаната честота на въртене на двигателя се настройва с резистора  $R$ , който изменя тока, а оттам и магнитния поток на управляващата намотка  $I$ . Общият възбудителен поток на усилвателя, който определя напрежението му, а оттам и скоростта на двигателя е

$$\Phi_0 = \Phi_1 - \Phi_2 \quad (2.26)$$

Системата работи в режим на автоматична стабилизация на скоростта по следния начин. Ако по някаква причина установената скорост се намали, ще се намали напрежението на тахогенератора, а оттам и магнитният поток  $\Phi_2$  на управляващата намотка 2. Това води до увеличаване на общия възбудителен поток на ЕМУ, в резултат на което ще се увеличи напрежението му. Това ще предизвика увеличаване скоростта на двигателя до достигане на установената й стойност. Аналогично е действието на системата при увеличаване на скоростта над зададената.



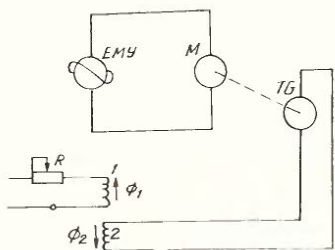
Фиг. 2.61. Стабилизация на напрежението на ЕМУ с гъвкави обратни връзки

Поради големия коефициент на усилване на ЕМУ евентуални колебания в системата, предизвикани от различни смущаващи въздействия, затихват твърде бавно. За стабилизация на работата почти във всички случаи се използва отрицателна обратна връзка по напрежението на ЕМУ с диференциращо звено (гъвкава обратна връзка). Използва се една от управляващите намотки на ЕМУ, наречена стабилизираща (CH), която се включва към изходното напрежение през кондензатор или специален стабилизиращ трансформатор (фиг. 2.61). Стабилизиращата намотка се свързва така, че магнитният й поток в преходните режимни да се противопоставя на измененията на напрежението.

Системата ЕМУ—Д позволява регулиране на скоростта на въртене в широк обхват — до (300÷400):1 при голяма твърдост на механичните характеристики. Големият брой управляващи намотки на ЕМУ позволява да реализираме просто и удобно различни по характер обратни връзки за получаване на някои специални характеристики на задвижването.

Системата ЕМУ—Д се използва при относително малки мощности — до 10 kW, тъй като ЕМУ с по-голяма мощност не се произвеждат. Недостатъците й се определят изключително от недостатъците на самия електромашинен усилвател, който изисква сложна настройка. В последно време системата ЕМУ—Д се среща все по-рядко — измества се от полупроводниковите преобразуватели.

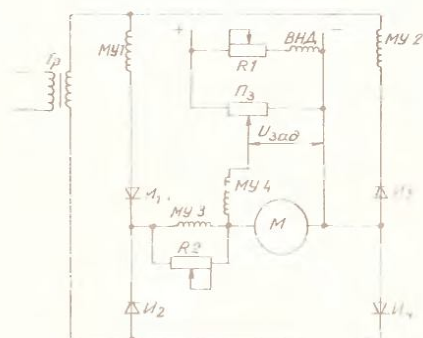
Система МУ—Д. Стремехът да се избягнат недостатъците на системите с въртящи се преобразуватели на енергия — генератор или ЕМУ, доведе до създаването на системи за регулиране със



Фиг. 2.60. Автоматично регулиране на честотата на въртене по система ЕМУ—Д с обратна връзка по скорост

статични преобразуватели. Един от тях е магнитният усилвател.

На фиг. 2.62 е показана принципната схема на система МУ—Д, захранвана от еднофазно променливо напрежение. Схемата е разработена от Експериментален научноизследователски институт по



Фиг. 2.62. Автоматично регулиране на скоростта на двигател за постоянен ток с еднофазен магнитен усилвател

металорежещи машини (ЕНИМС) в СССР и е предназначена за серия електрозадвижвания с мощност от 0,1 до 4,5 kW и диапазон на регулиране 10:1. В нея са използвани две обратни връзки — положителна по ток, която се осъществява от управляващата намотка МУ3, включена последователно на котвената верига на двигателя, и отрицателна по напрежение, която се осъществява от управляващата намотка МУ4 (едновременно и задаваща). През нея протича ток, обусловен от разликата между задаващото напрежение  $U_{зад}$  и напрежението на котвата на двигателя.

Едновременното използване на отрицателна обратна връзка по напрежение и положителна по ток може да се разглежда като еквивалентно на обратна връзка по скорост, тъй като е. д. н. на двигателя за постоянен ток е

$$E = U - I_a \cdot r_d$$

Затова при насрещното включване на двете управляващи намотки (МУ3) и (МУ4) може да се получи резултатен магнитен поток, който да е пропорционален на е. д. н., а оттам и на честотата на въртене на двигателя.

Ако по някаква причина скоростта се намали, ще се увеличи общото подмагнитване на усилвателя, т. е. постоянният магнитен поток, който се определя от разликата между магнитния поток на задаващата намотка и този на обратните връзки. С нарастване на подмагнитването магнитната система на усилвателя се насища и индуктивното съпротивление на намотките за променлив ток МУ1 и МУ2 намалява. Това води до увеличаване на напрежението на двигателя, при което скоростта му се увеличава до зададената.

Аналогично е действието на схемата при увеличаване на зададената скорост. Общото подмагнитване намалява, което води до увеличаване на индуктивното съпротивление на намотките за променлив ток и до намаляване на приложеното към двигателя напрежение.

Особеност на разглежданата схема е наличието на още една положителна обратна връзка по ток. Тя се осъществява за сметка на това, че през намотките МУ1 и МУ2 преминава ток само през единия полупериод на захранващото напрежение и следователно протичащият през тях ток има постоянна съставка. Тази обратна връзка се нарича вътрешна.

Диапазонът на регулиране на разглежданата система е 1:20 при точност на поддържане на зададената скорост 8:10 %.

По-нататъшно разширение на диапазона на регулиране до 100:1 може да бъде постигнато с използване на обратна връзка по скорост и допълнителен междинен усилвател. Такава схема, разработена също от ЕНИМС (фиг. 2.63), е предназначена за задвижвания до 2 kW. В нея е използван трифазен магнитен усилвател, който захранва двигателя чрез нерегулируемия трифазен изправител И1. В схемата се използва една управляваща намотка на усилвателя, на която се подава разликата между задаващото напрежение и обратната връзка по скорост, осъществена от тахогенератора ТГ. Тази разлика се усилва от тристъпален полупроводников усилвател (1Т, 2Т и 4Т), в който транзисторите са включени по схема с общ емитер. Входът на усилвателя е шунтиран с диодите 1Д и 2Д, които го предпазват от пренапрежения в преходните режими и не влияят върху работата му в установен режим.

Освен основната обратна връзка по скорост в системата са използвани още:

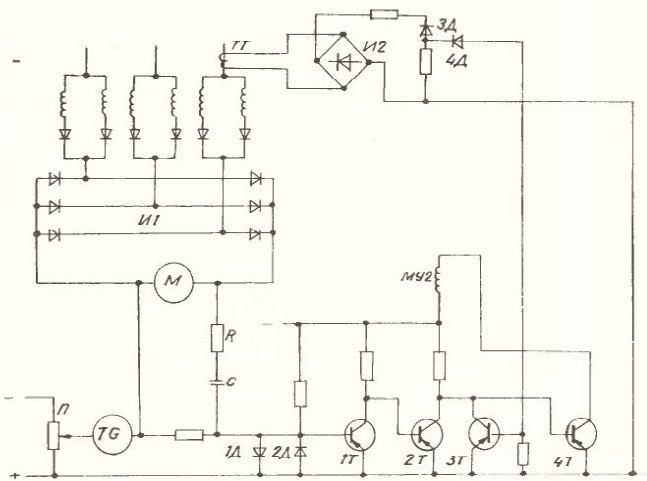
- *гъвкава отрицателна обратна връзка по напрежение* (диференциращото звено RC), предназначена за успокояване на възникнали колебания в системата;

- *задържана отрицателна обратна връзка по ток* (с токов трансформатор ТТ), предназначена да ограничава тока на двигателя при пускане и в някои аварийни режими. Тя действа по следния начин.

- В нормален режим на работа стабилизаторите 3Д и 4Д са за-



пушени и на базата на транзистора  $3T$  не се подава напрежение. Когато токът надмине определена стойност, изходното напрежение на изправителя  $I12$  става достатъчно за отпушването на  $3D$  и  $4D$ , в резултат на което на базата на триода  $3T$  се подава на-



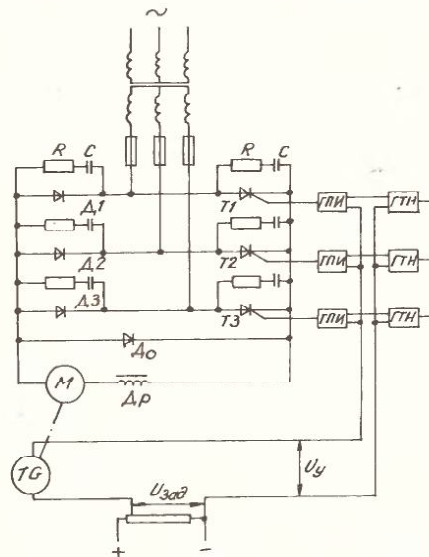
Фиг. 2.63. Автоматично регулиране на скоростта на двигателя за постоянен ток с трифазен магнитен усилвател

прежение и той се отпушва и запушва крайното стъпало на усилвателя ( $4T$ ). Токът в управляващата намотка  $M92$  рязко намалява, а оттам намалява и захранващото напрежение на двигателя.

Системата МУ—Д позволява регулиране на скоростта в сравнително широк обхват (100:1) при голяма твърдост на механичните характеристики. Магнитният усилвател има висока надеждност, не изисква никакви грижи при експлоатация и понася големи претоварвания. С увеличаване на мощността обаче габаритите на МУ нарастват твърде много, затова практически задвижванията по система МУ—Д рядко надминават 10 kW. Към недостатъците на системата трябва да споменем и голямата ѝ инертност, която я прави неприложима, когато се изисква бързодействие.

Система ПП—Д. На фиг. 2.64 е показана опростената принципна схема на САР на скоростта с използването на трифазна полууправляема мостова схема с полупроводникови изправители, управлявани по „вертикален“ принцип.

Характерно за протичащия през двигателя изправен ток е наличието на пулсации, чиято стойност нараства значително при увеличаване на ъгъла на отпушване на тиристорите, т. е. при намаляване на стойността на изправеното напрежение. Пулсациите



Фиг. 2.64. Автоматично регулиране на скоростта на въртене на двигателя за постоянен ток с управляем полупроводников изправител

на котвения ток предизвикват допълнителни загуби в котвената намотка, намаляват коефициента на използване на двигателя и влошават условията на комутация. За намаляване на стойността на пулсациите в котвената верига на двигателя се включва последователно изглаждащият дросел  $Dp$ , чиято индуктивност се определя в зависимост от схемата на преобразувателя. Използването на еднофазни изправителни схеми (с по-голяма стойност на пулсациите) изисква съответно по-голяма индуктивност на изглаждащия дросел.

В силовата верига на системата ПП—Д е включен шунтиращият диод  $D_0$ , наречен още нулев или разряден. Той осигурява разреждането на индуктивността на котвената верига, като по-

този начин подобрява условията на комутация на тиристорите и осигурява занушването им при изчезване на управляващите импулси — важно условие за правилната работа на полууправляемите изправителни схеми.

Основните елементи от схемата за управление на преобразувателя по „вертикалния“ метод са генераторът за трифазнообразно напрежение (ГТН) и генераторът на пускови импулси (ГПИ).

Работата на схемата при автоматично поддържане на зададената скорост принципно не се различава от разглежданите досега системи. Големината на постоянното управляващо напрежение, която при „вертикалния“ метод на управление определя ъгъла на отпушване на тиристорите, зависи от разликата на задаващото напрежение  $U_{зад}$  и напрежението на тахогенератора, осъществяващ обратна връзка по скорост. При отклонение на скоростта в една или друга посока от зададената се изменя стойността на управляващото напрежение, а еттам и ъгълът на отпушване на тиристорите. По този начин се предизвиква съответно изменение на изправеното напрежение, насочено към ликвидиране на възникналото отклонение на скоростта.

Полупроводниковите елементи са твърде чувствителни към претоварвания, което се дължи на много малката им топлинна инертност. Загоя в системите ПП—Д се обръща особено внимание на гяхната защита. Максималнотоковата защита в тези системи се осъществява често от специални бързодействащи предпазители, които прекъсват захранващата верига, преди температурата на полупроводниковия елемент да е достигнала критичната си стойност. Разрядните вериги  $RC$ , включени паралелно на диодите, предпазват елементите от пренапрежения, които възникват при комутацията на тока.

Системите ПП—Д успяха за период от около 20 години да се наложат убедително във всички области на регулируемите електрически задвижвания. Основните им *предимства*, които доведоха до това, са:

- липса на въртящи се части (статични преобразуватели);
- минимално тегло и размери в сравнение с всички останали преобразуватели (Г, ЕМУ, МУ);

- пригодност за всички режими на работа на задвижванията;
- най-високи енергетични показатели в сравнение с останалите системи за регулиране;

- много широк диапазон на регулиране, достигащ до 10 000:1;
- голяма мощност, която в отделни случаи надминава 1000 kW (в това отношение възможностите им почти достигнаха тези на системите Г—Д);

- голямо бързодействие.
- Недостатъците* на системата, които все още ограничават приложението ѝ, са:

- ограничената мощност на отделните елементи, което налага

при мощни задвижвания паралелно свързване на голям брой от тях, усложнява схемите за управление и намалява надеждността им;

голямата чувствителност към претоварвания, което изисква специални мерки за защита.

Съвременните постижения на полупроводниковата техника все повече ограничават горните недостатъци. В близките 10—15 години системите ПП—Д навярно ще изместят другите системи във всички области на регулирането на електрическите задвижвания.

#### 2.7.5. ЗАТВОРЕНИ САР НА СКОРОСТТА НА ДВИГАТЕЛИ И ЗА ПОСТОЯНЕН ТОК С ПОДЧИНЕНО РЕГУЛИРАНЕ

Разглежданите затворени САР с общ сумиращ усилвател са сравнително прости за реализиране, но имат някои недостатъци, най-съществени от които са следните:

а. Изходният сигнал на усилвателя е функция на няколко променливи, което прави практически невъзможно регулирането на всяка от тях независимо от останалите.

б. Постигането на определени динамични качества е свързано с използване на сложни коригиращи звена. При това не може да се осъществи независима настройка на качеството на регулиране на отделните променливи.

Тези недостатъци не позволяват постигането на много високи или оптимални качества на системата като цяло. Поради това по този принцип се строят САР, към които няма много високи изисквания по отношение на качеството на преходните процеси и не е необходимо да се настройва поотделно качеството на регулиране на всяка от регулируемите величини.

Появата на малогабаритни и сравнително евтини операционни усилватели (фиг. 2.58), изградени с интегрални схеми, даде възможност за широко използване на принципа на подчинено регулиране с последователна корекция.

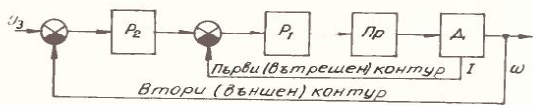
*Системите с подчинено регулиране* (фиг. 2.65) се състоят от няколко регулиращи контура (броят им е равен на броя на регулираните променливи), като всеки вътрешен контур е подчинен на следващия по ред външен. Задаваща величина на входа на всеки вътрешен контур е изходният сигнал на регулатора от външния му по ред контур. Всеки контур е построен на принципа на регулиране по отклонението с отрицателна обратна връзка и собствен регулатор (обикновено операционен усилвател).

На фиг. 2.65 е показана типовата структура на САР на скоростта с две обратни връзки (регулиране на две величини) — скоростта и тока на двигателя. Системата има два регулиращи контура. Първият (вътрешният) служи за регулиране на тока на



двигателя, а вторият (външният) — за регулиране на скоростта на двигателя. Изходът на регулатора на външния контур е задаващ сигнал за регулатора на вътрешния контур.

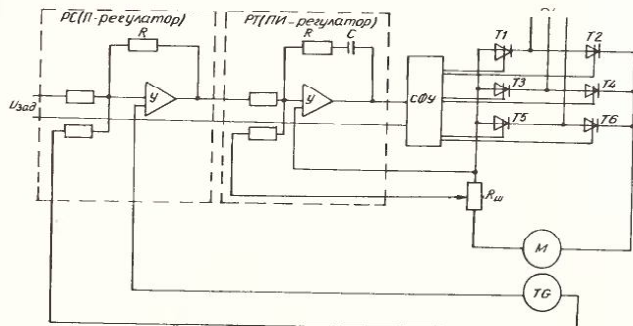
Основното предимство на изградените по този принцип систе-



Фиг. 2.65. Структурна схема на подчинено регулиране

ми е възможността за самостоятелно регулиране на всяка от променливите, което значително облекчава проектирането и настройката на системата и позволява да се постигне много по-високо качество на преходните процеси.

На фиг. 2.66 е показана принципната схема на система за подчинено регулиране на скоростта на двигател с иререверсивен тиристорен преобразувател. Показаната схема с двуконтурна — с външен контур за регулиране на скоростта (отрицателна обрат-



Фиг. 2.66. Система за подчинено регулиране на постояннотоков двигател

на връзка по скорост с тахогенератора ТГ) и вътрешен (подчинен) контур за регулиране на тока (отрицателна обратна връзка по ток чрез шунтовото съпротивление  $R_{ш}$  в котвената верига на двигателя).

Управляващият сигнал на изхода на регулатора на тока се подава в системата за фазово управление на тиристорите (СФУ).

Схемата позволява да се получи диапазон на регулиране до 200:1 при високо качество на преходните процеси.

### 2.7.6. СИСТЕМИ ЗА БЕЗСТЕПЕННО РЕГУЛИРАНЕ НА АСИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ

Двигателите за постоянен ток притежават най-добри регулировъчни качества, поради което засега регулираните постоянно-токови задвижвания намират най-широко приложение и се използват почти навсякъде, където се изисква широк диапазон на регулиране и високи статични и динамични показатели на системата за регулиране. Но по ред икономически и експлоатационни показатели те отстъпват пред променливотоковите задвижвания. Напр. сравнението на технико-икономическите показатели на двигателите за постоянен ток с общо предназначение със съответните асинхронни двигатели показва, че при еднаква мощност и номинална честота на въртене двигателите за постоянен ток са 1,5÷2 пъти по-тежки, около 3 пъти по-скъпи, маховият момент на ротора им е 1,5÷2 пъти по-голям. Двигателите за постоянен ток имат значително по-сложна конструкция, изискват много по-голям разход на дефицитни материали (цветни метали) и труд при производството им. Наличието на колектор значително усложнява експлоатацията, намалява сигурността на работата им и ги прави непригодни за работа в среди с повишена влажност, загазованост, пожаро- и взривоопасност.

Затова се разработват методи за безстепенно регулиране на скоростта в широк обхват на двигателите за променлив ток (асинхронните двигатели).

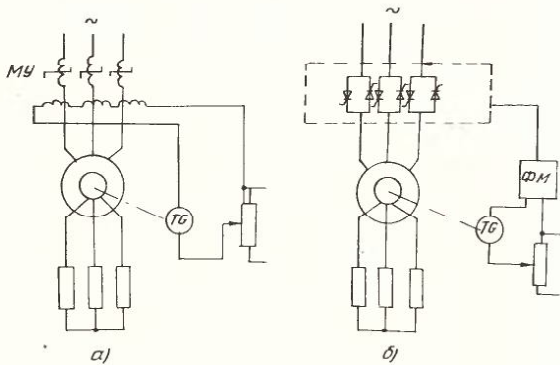
Почти всички от разглежданите в предния раздел методи за регулиране на скоростта на асинхронните двигатели (с изключение на честотния) са основани на изкуствено изменение на хлъзгането на двигателя и се обединяват с едно общо наименование — *параметрични методи*. От тях в затворените САР сравнително най-голямо разпространение са получили методите, основани на изменение на захранващото напрежение с помощта на магнитен усилвател или полупроводников преобразувател.

На фиг. 2.67 а е показана принципната схема на затворена САР на скоростта на асинхронен двигател с помощта на магнитен усилвател (дросел с насищане). Работата на системата е аналогична на работата на различните системи от т. 2.7.4 и за повишаване на статичните и динамичните качества могат да се използват допълнителни обратни връзки по напрежение и ток на двигателя.

Аналогична е и работата на схемата на фиг. 2.67 б, в която

вместо магнитен усилвател е използван тиристорен преобразувател на напрежение, управляван с фазов модулатор.

При параметрично регулиране на скоростта енергетичните показатели на задвижването твърде много се влошават. Стойността



Фиг. 2.67. Параметрично управление на скоростта на асинхронен двигател с магнитен усилвател (а) и полупроводников преобразувател (б); ФМ — фазов модулатор

на к. п. д. намалява обратно пропорционално на диапазона на регулиране в съответствие с израза

$$\eta = 1 - s_m \approx \frac{1}{D}, \quad (2.27)$$

където  $s_m$  е максималното хлъзгане на двигателя, а  $D$  — диапазонът на регулиране.

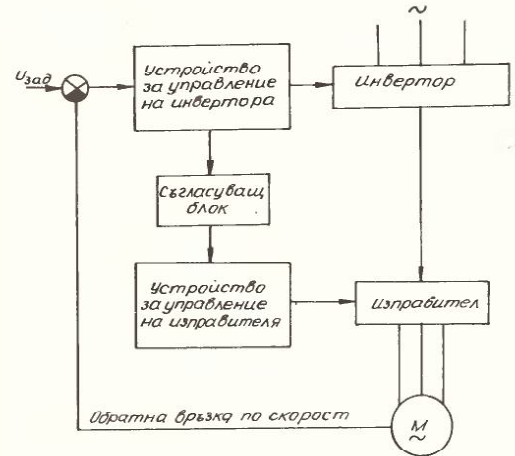
Затова въпреки сравнително простите схемни решения параметричните методи за регулиране се използват само в задвижвания, които изискват сравнително кратковременно изменение на скоростта (напр. някои механизми на подемно-транспортните машини).

Значително по-перспективен е *честотният метод на регулиране*, който обаче изисква сравнително сложни преобразуватели на честота. Развитието на полупроводниковата техника позволи в последните години създаването на сравнително евтини и надеждни преобразувателни устройства. Това от своя страна разшири значително възможностите за създаване на надеждни и икономични системи за регулиране на променливотокови двигатели.

Използуваните сега честотни преобразуватели могат да се разделят на две големи групи.

а) преобразуватели с непосредствено преобразуване на променливото напрежение на захранващата мрежа в напрежение с регулируеми параметри (честота и амплитуда);

б) преобразуватели със звено за постоянен ток, в който про-



Фиг. 2.68. Блокова схема на затворена система за честотно регулиране на асинхронен двигател

менливото напрежение на мрежата най-напред се изправя и след това се трансформира отново в променливо напрежение с регулируеми параметри.

Преобразувателите от втората група са сравнително по-сложни и с по-малък к.п.д. поради двукратното преобразуване на енергията. Тяхно основно предимство е възможността за регулиране на честотата на изходното напрежение в много широки граници — от няколко Hz до  $2 \div 3$  kHz.

На фиг. 2.68 е показана блоковата схема на затворена система за честотно регулиране на асинхронен двигател, в която е използван тиристорен преобразувател на честота с междинно звено за постоянен ток. Тя има две управляващи устройства — на тиристорния изправител и на тиристорния инвертор, на входа на които се подават задаващото напрежение и напрежението на обратната връзка по скорост.

Системите за честотно управление осигуряват широк диапазон на регулиране на скоростта при високи енергетични показатели. Техен основен недостатък е голямата им сложност, която намалява надеждността и затруднява експлоатацията им.



### Въпроси и задачи

1. Каква е разликата между отворените и затворени системи за регулиране?
2. Каква е ролята на различните обратни връзки в системите за регулиране?
3. Каква е ролята на координиращите звена в затворените системи?
4. Направете кратко сравнение на предимствата и недостатъците на затворените САР за постояннотокови задвижвания.

### 2.8. АВТОМАТИЧНО РЕЛЕЙНО БЕЗКОНТАКТНО УПРАВЛЕНИЕ

С помощта на релейно-контактните апарати могат да се осъществят всички функции, необходими за автоматизирането и на най-сложните работни цикли на машините и механизмите. Но наред със своята простота и универсалност, която позволява използването им в най-разнообразни схеми за автоматизация, релейно-контактните апарати имат и съществени недостатъци. Наличието на движещи се части и на контакти е постоянен източник на неизправности от най-различен характер изисква и постоянен надзор. Срокът на служба на релейно-контактните апарати зависи от механичното и електрическото износване на детайлите им. Съвременното състояние на техниката и технологията позволява създаването на апарати с голямо износоустойчивост — средно около  $1 \cdot 10^6$  цикъла за контактите при номинален товар (електрическа износоустойчивост) и  $10 \cdot 10^6$  цикъла за движещите се механични части (механична износоустойчивост). Но и това не е достатъчно за схеми с интензивна работа. Типичен пример са схемите за управление на автоматичните поточни линии в машиностроенето с голям брой релейно-контактни апарати и интензивен режим на работа. Таблица 2.1 се отнася за автоматична линия за обработка на цилиндрични блокове в Московския автомобилен завод.

При такъв интензивен режим на работа срокът на служба на релейно-контактните апарати се оказва твърде малък. От данните в таблицата може да се определи, че при двусменен режим на работа всеки десет дни трябва да се прави подмяна или поне основно почистване на контактите. По статистически данни на всеки един милион включения контактите не задействуват правилно 10 пъти по най-различни причини със случаен характер, т. е. през време на всяка смяна може да възникне неизправност в системата за управление.

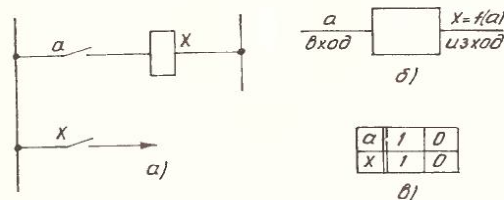
Ето защо в много системи за автоматизация широко се прилагат релейни апарати с безконтактно действие, наричани *безконтактни логически елементи*. Те са много по-надеждни и срокът на службата им е практически неограничен.

Таблица 2.1

Наименование на контактните апарати	Брой	Брой на контактите		Общ брой на включения на контактите за един час
		в силови вериги	в оперативни вериги	
Контактори	34	93	176	5635
Термични релета	27	—	37	—
Релета за време	9	—	15	313
Междинни релета	29	—	111	2009
Релета за налягане	31	—	31	444
Пътни превключватели	104	—	162	4226
Командоапарати	3	—	62	930
Общо	237	93	594	14557

По изграждането на елементите и схемите с тях се използва специален математически апарат, наречен *булева алгебра* или *алгебра на логиката*. Тази алгебрична система се характеризира с това, че участващите в нея променливи величини могат да приемат само две стойности — 1 или 0. Тя е подходяща за анализ на схеми с дискретно действие, където всички участващи елементи имат само две състояния: включено и изключено.

За да разберем принципа на изграждане на безконтактните логически елементи, ще разгледаме част от релейно-контактна схема, показана на фиг. 2.69. При затваряне на контакта *a* релето *X* включва и затваря н.о. си контакт *X*, който дава сигнал за включване на други елементи. Разглежданата част от схемата може условно да се обедини в един елемент (фиг. 2.69 б). Вход е сигналът, подаван на релето от контакта *a*, а изход — сигнала

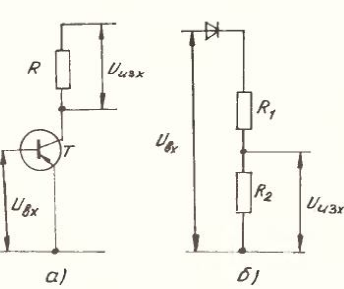


Фиг. 2.69. Релейно-контактна схема като логичен елемент

лът от контакта *X* на същото реле. Изходният сигнал зависи по определен начин от входния — в случая разглежданата част от схемата изпълнява определена логическа функция, наречена *повторение*, тъй като състоянието на изхода ѝ повтаря състоя-

нието на входа. Това условно се изразява с диаграмата на сигналите (фиг. 2.69 в), в която наличието на сигнал се отбелязва с 1, а липсата — с 0.

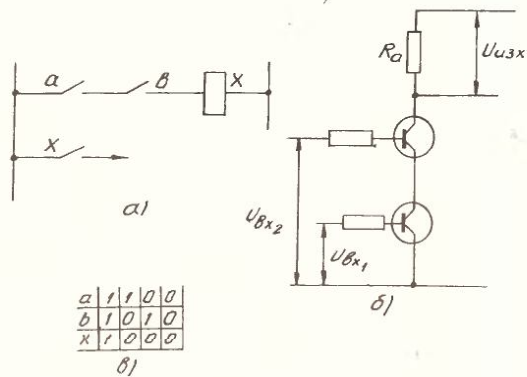
Може да се построи безконтактна схема, която да осъществява същата логическа функция. Варианти на такава схема с транзистор и полупроводников изправител са показани на фиг. 2.70. И в двете схеми изходен сигнал се получава само при наличие на сигнал на входа, т. е. те осъществяват функцията повторение. В първата от тях (фиг. 2.70 а) при липса на входен сигнал транзисторът  $T$  е запущен. Протичащият през него ток е минимален и изходното напрежение, равно на пада на напрежението върху резистора  $R$ , е практически равно на нула. При подаване на входно напрежение транзисторът се отпушва, през него протича ток и изходното напрежение нараства до определена стойност.



Фиг. 2.70. Безконтактни логически елементи

В схемата с полупроводников изправител (фиг. 2.70 б) при подаване на напрежение на входа във веригата  $R_1-R_2$  протича ток и на изхода се появява напрежение, равно на пада върху резистора  $R_2$ .

В схемата с полупроводников изправител (фиг. 2.70 б) при



Фиг. 2.71. Релейно-контактна и безконтактна логическа схема, осъществяваща операция И

Таблица 2.2

Наименование на функцията (елемента)	Условно означение	Релейно-контактен вариант	Диаграма на сигналите															
И	$\begin{array}{ c } \hline X1 \\ \hline \& \\ \hline X2 \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	$\begin{array}{ c } \hline X1 \\ \hline X2 \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	<table border="1"><tr><td>X1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>X2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>y</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	X1	1	1	0	0	X2	1	0	1	1	y	1	0	0	0
X1	1	1	0	0														
X2	1	0	1	1														
y	1	0	0	0														
ИЛИ	$\begin{array}{ c } \hline X1 \\ \hline \vee \\ \hline X2 \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	$\begin{array}{ c } \hline X1 \\ \hline X2 \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	<table border="1"><tr><td>X1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>X2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>y</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	X1	1	1	0	0	X2	1	0	1	0	y	1	1	1	0
X1	1	1	0	0														
X2	1	0	1	0														
y	1	1	1	0														
НЕ	$X \rightarrow y$	$\begin{array}{ c } \hline X \\ \hline \neg \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	<table border="1"><tr><td>X</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>y</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	X	1	0	y	0	1									
X	1	0																
y	0	1																
ИЛИ-НЕ	$\begin{array}{ c } \hline X1 \\ \hline \vee \\ \hline X2 \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	$\begin{array}{ c } \hline X1 \\ \hline X2 \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	<table border="1"><tr><td>X1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>X2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>y</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	X1	1	1	0	0	X2	1	0	1	0	y	0	0	0	1
X1	1	1	0	0														
X2	1	0	1	0														
y	0	0	0	1														
И-НЕ	$\begin{array}{ c } \hline X1 \\ \hline \& \\ \hline X2 \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	$\begin{array}{ c } \hline X1 \\ \hline X2 \\ \hline \end{array} \rightarrow y$	<table border="1"><tr><td>X1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>X2</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>y</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	X1	1	1	0	0	X2	1	0	1	0	y	0	1	1	1
X1	1	1	0	0														
X2	1	0	1	0														
y	0	1	1	1														

подаване на напрежение на входа във веригата  $R_1-R_2$  протича ток и на изхода се появява напрежение, равно на пада върху резистора  $R_2$ .

Нека разгледаме една по-сложна релейно-контактна схема (фиг. 2.71 а). Задействването на релето  $X$  в случая зависи от състоянието на два входа — контактите  $a$  и  $b$ . То включва само тогава, когато са включени и двата едновременно, т. е. и на единия, и на другия вход има сигнал. Релейната схема в случая осъществява логическата операция И — логическо умножение. На фиг. 2.71 б е показан безконтактен вариант на схема, която изпълнява същата логическа функция. За появата на изходно напрежение трябва да се отпушат и двата транзистора, т. е. да има напрежение и на двата входа на схемата.

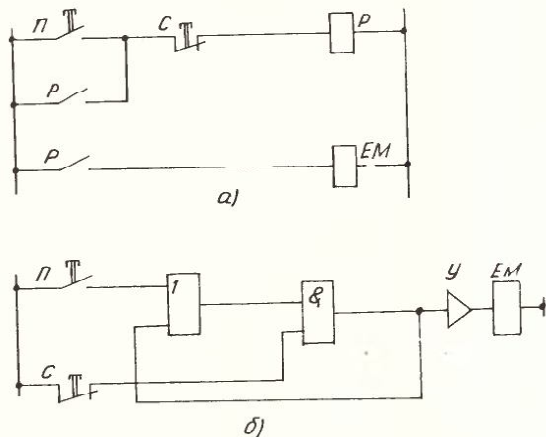
В табл. 2.2 са показани основните логически функции и условните означения на безконтактните елементи, които ги реализират.



Освен разгледаните вече функции „Повторение“ и „И“ към основните логически елементи се отнасят още „ИЛИ“ и „НЕ“. От таблицата се вижда, че изходен сигнал при елемента ИЛИ (логическо събиране) се появява при наличие на сигнала на единия или на другия му вход. Елементът „НЕ“ (логическо отрицание) е обратен на „Повторение“.

Може да се покаже, че всяка логическа функция може да се представи като комбинация от трите основни функции И, ИЛИ и НЕ и следователно с помощта на тези три логически елемента може да се изгради всяка релейна схема. От своя страна всяка от горните функции може да се построи само с помощта на елемента И—НЕ или на елемента ИЛИ—НЕ.

Съществуват два вида безконтактни логически елемента — потенциални и импулсни.



Фиг. 2.72. Схема за управление на електромагнит с релейно-контактни (а) и безконтактни (б, в) логически елементи

При потенциалните елементи входните и изходните сигнали се изразяват чрез изменения на нивото на съответните напрежения (потенциали). Ниското ниво съответствува на нулев сигнал (0), а по-високото на единичен сигнал (1).

При импулсните елементи единичният сигнал съответствува на наличие на импулс в определен момент от времето, а нулевият — на липсата му.

Потенциалните елементи имат най-голямо приложение в релейните безконтактни схеми за управление, а импулсните — в цифровите изчислителни устройства.

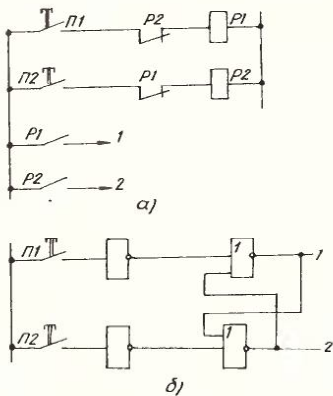
Съществуващите сега безконтактни логически елементи са изградени най-често на основата на интегрални схеми, но се срещат и изградени от дискретни полупроводникови и магнитни елементи. Те се различават по някои от основните си показатели (габарити, тегло, захранващо напрежение, ниво на входните и изходните сигнали), но всички изпълняват определени логически функции и дават възможност за изграждане на необходимите дискретни системи за управление. Като командни органи се използват обикновени бутони за управление, контактни или безконтактни пътни превключватели.

На фиг. 2.72 е показана схема за релейно-контактно (а) и безконтактно (б, в) управление на електромагнит с логически елементи. Бутонът П подава входен сигнал чрез елемента ИЛИ на елемента И, който захранва намотката на електромагнита чрез усилвателя У, тъй като логическите елементи са с малка мощност (не повече от 0,15 W). При отпускане на пусковия бутон схемата се самоблокира, като на втория вход на елемента ИЛИ се подава сигнал от изхода на елемента И. При натискане на бутона С се прекъсва единият от входните сигнали на елемента И, в резултат на което изходното му напрежение става равно на нула и електромагнитът се изключва.

На следващата фиг. 2.73 е показан аналогичен пример за контактното и безконтактно управление на включването на два механизма, които са взаимно блокирани (единият не може да се включи, когато е включен другият). В нормално състояние на схемата, изпълнена с безконтактни логически елементи от типа ИЛИ—НЕ (фиг. 2.73 б) на изходите на елементите П1 и П2 има сигнал и следователно на изходите 1 и 2 сигналът е 0. При натискане на П1 се подава сигнал на единия от входовете на елемента П1 и следователно изходният му сигнал става 0. Тогава се появява сигнал на изхода 1, тъй като и двата входа на П3 са в състояние 0. Този сигнал се подава и към единия от входовете на П4 и по този начин осигурява нулев сигнал на изхода 2, който не може да се промени при никакъв сигнал на другия вход на П4. Аналогична е работата на схемата при натискане на бутона П2.

Разгледаните елементарни примери показват, че броят на елементите в схемите за безконтактно управление е обикновено по-голям, отколкото в съответните релейно-контактни схеми. В ня-

кои сложни схеми техният брой може да надвиши неколкостранно броя на необходимите за същата цел релейно-контактни апарати, което не увеличава габаритите, тъй като интегралните схеми съдържат по няколко логически елемента в един чип, а и са много по-малки. Това обаче прави схемите за безконтактно логическо управление много по-сложни от релейно-контактните схеми. Голямата им сложност се компенсира с тяхната висока надеждност, минимални експлоатационни разходи и практически неограничен срок на работа. Тези качества са особено важни за сложни системи за управление, които работят при тежки и интензивни режими на работа. Затова безконтактните логически елементи се използват именно в тези случаи.



Фиг. 2.73. Схема за включване и взаимна блокировка на две релета с контактни (а) и безконтактни (б) елементи

изпълнителни органи да се използват междинни усилватели на мощност.

### Въпроси и задачи

1. Защо безконтактните логически елементи се наричат „релейни“? Кое налага тяхното използване в системите за управление?
2. Съставете логически схеми с помощта на транзистори, които да реализират логическите функции НЕ и ИЛИ.
3. Какви видове логически схеми съществуват?
4. Съставете с помощта на логически елементи схема за непосредствено пускане и реверсиране на асинхронен двигател с кафезен ротор.

## 2.9. ПРОГРАМИРУЕМИ АВТОМАТИ

### 2.9.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Използването на разгледаните в предната глава безконтактни логически елементи повишава в значителна степен надеждността на релейните (дискретни) системи за управление. Но тези

системи имат още ред недостатъци, които се проявяват все по-силно с нарастване на нивото на автоматизация на работните машини и усложняване на законите на тяхното управление. Между по-съществените недостатъци на системите за управление, изградени с релейни (дискретни) контактни или безконтактни елементи могат да се посочат:

- голям обем и тегло;
- сложност на монтажа, който изисква твърде големи разходи на квалифициран труд и време;

сложност при откриване и отстраняване на повреди;

твърде ограничени възможности за развитие на вече изградената система (разширяване на обхвата, въвеждане на нови функции).

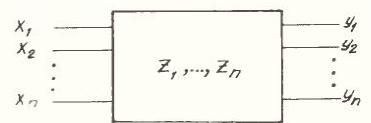
Стремещът към отстраняване на тези недостатъци, както и успехите на изчислителната техника доведоха до създаването на ново техническо средство за управление — *програмируемия автомат (програмируем контролер)*.

Първите програмируеми автомати се появиха през 1970 г. Само десет години по-късно — през 1980 г., се наброяваха повече от 160 различни модела, произвеждани в над 20 страни, в това число и у нас. Причината за това бързо развитие трябва да се търси безспорно в техните значително по-високи качества и технически възможности на системите за управление, построени на тяхна основа.

Понятието „автомат“ се използва широко в техниката и във всекидневния живот за означение на машини или устройство, което изпълнява определени функции автоматично, без участие на човека.

В теорията на автоматичното управление терминът „автомат“ има по-абстрактен смисъл и означава устройство с произволна природа, което се означава схематично така, както е показано на фиг. 2.74, и има следните свойства:

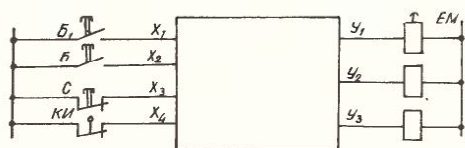
1. Определен брой входове  $X_i$  и изходи  $Y_i$ .
2. На всеки от входовете може да се прилага определен набор от въздействия, т. е. всяка от входните величини  $x_1, x_2, \dots, x_n$  може да приема определен брой стойности (входна азбука).
3. Във всеки момент автоматът може да се намира в едно от състоянията  $z_1, z_2, \dots, z_n$ , което се определя в зависимост от комбинацията на входните величини.
4. Всеки от изходите  $y_1, y_2, \dots, y_n$  може да приема определен брой стойности (изходна азбука), като стойността на всеки изход се определя едновременно от състоянието на входните величини и вътрешното състояние на автомата.



Фиг. 2.74. Схема на автомат



Разгледаният абстрактен модел се нарича *дискретен автомат* и може да служи като модел на много реални технически устройства. Системите за релейно (дискретно) управление се представят като дискретни автомати (фиг. 2.75).



Фиг. 2.75. Представяне на релейна схема за управление във вид на автомат

*Входовете* на така получения модел на системата са свързани към управляващите органи — бутони, превключватели, крайни изключватели и др. Ясно е, че всеки от входовете може да приема само две състояния. Тези състояния съответствуват на двете възможни положения на командните органи — включено и изключено, и се изразяват в наличие или отсъствие на напрежение към съответния вход.

*Изходите* на автоматa са свързани към силовите елементи (контактори, електромагнити), които реализират съответните управляващи въздействия. Всеки от изходите може също така да приема само две състояния — наличие и отсъствие на напрежение, което от своя страна да предизвика включване или изключване на съответния изпълнителен орган. Състоянието на всеки от изходите се определя еднозначно от състоянието на входните величини.

Всяко от *вътрешните състояния* на автоматa представлява комбинация от състоянията на включените в структурата му релейни елементи и се определя също така от състоянията на входните величини.

Всяка система за релейно управление може да се представи във вид на автомат, входовете и изходите на които могат да приемат само две стойности, които ще означим условно с 0 и 1. В зависимост от конкретната схема автоматът извършва логически функции, които определят еднозначно зависимостта между входните и изходните величини.

*Автомат, чиито входове и изходи могат да приемат само две различни стойности, се нарича логически.*

## 2.9.2. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ НА БУЛЕВАТА АЛГЕБРА

Елементите, участващи в дискретните системи за управление, могат да заемат само две устойчиви състояния (включено — изключено). Следователно те могат да се представят математически с помощта на променлива величина, която може да приема само две стойности 0 и 1. Такива *променливи* се наричат *логически* или *булеви*. Тези променливи могат да се използват и като модел на логически изказвания, всяко от които също така може да има две значения — истинно и неистинно.

Функциите на *логически променливи*, които също така могат да приемат само стойностите 0 и 1, се наричат *логически* или *булеви функции*. Математическият апарат, който установява основните правила за опериране с логически променливи, се нарича *логическа* или *булева алгебра* по името на нейния създател — английският математик Дж. Бул (1843 г.).

По-нататък ние ще използваме три основни логически функции, които бяха споменати в предната глава:

а) *логическо отрицание*  $\bar{x}$  ( $\bar{x}$ ) — чете се „не  $x$ “ и означава, че  $\bar{x}=0$ , ако  $x=1$ , и обратно:  $\bar{x}=1$ , ако  $x=0$ ;

б) *логическо умножение* ( $x_1 \cdot x_2$ ) или *конюнкция*. Нейната стойност е равна на 1 само когато  $x_1=1$  и  $x_2=1$ ;

в) *логическо събиране* ( $x_1+x_2$ ) или *дизюнкция*. Стойността ѝ е равна на единица, ако  $x_1=1$  или  $x_2=1$ .

*Основните твърдения (аксиоми) на булевата алгебра са следните:*

$$\begin{aligned} x \cdot \bar{x} &= 0, & x \cdot 0 &= 0, \\ x + \bar{x} &= 1, & x + 0 &= x, \\ x \cdot 1 &= x, & x \cdot x &= x, \\ x + 1 &= 1, & x + x &= x. \end{aligned} \quad (2.28)$$

В булевата алгебра са валидни и четири основни закона:

а) *комутативен (разместителен):*

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1; \quad (2.29)$$

$$x_1 \cdot x_2 = x_2 \cdot x_1; \quad (2.30)$$

б) *асоциативен (съдружителен):*

$$(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3) = x_1 + x_2 + x_3; \quad (2.31)$$

$$(x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3; \quad (2.32)$$

в) *дистрибутивен (разпределителен):*

$$x_1(x_2 + x_3) = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3; \quad (2.33)$$

$$x_1 \cdot x_2 + x_3 = (x_1 + x_3)(x_2 + x_3). \quad (2.34)$$

г) закон на инверсията

$$\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}; \quad (2.35)$$

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1} + \overline{x_2}. \quad (2.36)$$

Чрез тези тъждества и закони всяка релейно-контактна схема може да се запише с логически уравнения, които да преобразуваме в подходяща форма.

### 2.9.3. ПРИЛОЖЕНИЕ НА БУЛЕВАТА АЛГЕБРА ЗА АНАЛИЗ НА РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНИ СХЕМИ

За да опишем една релейно-контактна схема с булева функция, трябва да имаме предвид следните основни правила:

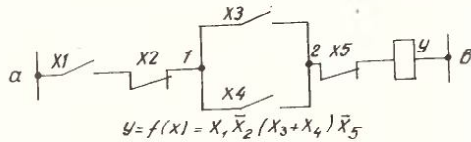
1. Всеки контакт от релейно-контактната схема съответствува на булева променлива и се записва като  $x$  — при н. о. контакт,  $\overline{x}$  — при н. з. контакт.

Проводимостта на верига с произволен брой контакти се разглежда при условие, че апаратите, на които принадлежат тези контакти, са включени. Следователно можем да запишем:  $x=1$  и  $x=0$ .

2. Операцията ИЛИ (дизюнкция) съответствува на паралелно свързване на контакти или участъци от схемата.

3. Операцията И (конюнкция) съответствува на последователно свързване на контакти или участъци от схемата.

4. Всяка булева функция съответствува на проводимостта между двата полюса (+ и — или фаза и 0) на релейно-контактната схема, което е равностойно на състоянието на намотката на релейно-контактния апарат, включен между тях. Когато функцията приеме стойност 1, намотката е възбудена и съответният апарат е включен.



Фиг. 2.76. Контактна схема и съответната ѝ булева функция

Да разгледаме съставянето на булевата функция на схемата на фиг. 2.76. За удобство ще я разделим на участъци, в които се реализират основните логически функции. Такива са участъците между точките а и 1, 1 и 2, 2 и б.

В първия участък (а—1) е реализирана операцията И с един н. о. ( $x_1$ ) и един н. з. ( $\overline{x_2}$ ) контакт. Булевата функция, съответстваща на този участък, ще бъде

$$x_1 \cdot \overline{x_2}.$$

Във втория участък е реализирана операцията ИЛИ с двата н. о. контакта  $x_3$  и  $x_4$ . Съответната булева функция е

$$x_3 + x_4.$$

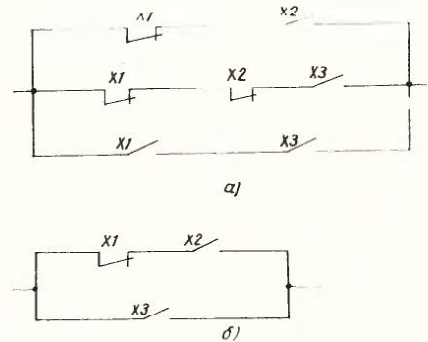
Третият участък се състои от н. з. контакт  $\overline{x_5}$ .

Трите участъка са свързани последователно, което съответствува на логическо умножение (И). Булевата функция на разглежданата схема окончателно ще има вида

$$y = f(x) = (x_1 \cdot \overline{x_2}) (x_3 + x_4) \overline{x_5}. \quad (2.37)$$

Използването на основните тъждества и закони на булевата алгебра позволява преобразуване на получените функции за опростяването им, т. е. намаляване на броя участващи контакти. Булевата функция на схемата на фиг. 2.77 а има вида

$$y = \overline{x_1} \cdot x_2 + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 + x_1 \cdot x_3, \quad (2.38)$$



Фиг. 2.77. Опростяване на контактни схеми с помощта на булева алгебра  
а) първоначална схема; б) опростена схема

който може да се запише:

$$y = \overline{x_1}(x_2 + \overline{x_2}x_3) + x_1 \cdot x_3. \quad (2.39)$$

Ще преобразуваме най-напред израза в скобите, като използваме равенството

$$x_2 + \overline{x_2} \cdot x_3 = x_2(1 + x_3) = x_2 \cdot 1 = x_2, \quad (2.40)$$



получено в съответствие с аксиомите (2.28).

Тогава в скобите на (2.39) ще заместим  $x_2$  с еквивалентния му израз  $x_2 + x_2 \cdot x_3$ .

Получаваме

$$y = \overline{x_1}(x_2 + x_2 \cdot x_3 + \overline{x_2}x_3) + x_1x_3, \quad (2.41)$$

което по-нататък може да се преобразува във вида

$$y = \overline{x_1}[x_2 + x_3(x_2 + \overline{x_2})] + x_1x_3. \quad (2.42)$$

Тъй като съгласно (2.28)  $x_2 + \overline{x_2} = 1$ ,

$$y = \overline{x_1}x_2 + \overline{x_1}x_3 + x_1x_3 = \overline{x_1}x_2 + x_3(\overline{x_1} + x_1) = x_1 \cdot x_2 + x_3. \quad (2.43)$$

На последния израз отговаря схемата на фиг. 2.77 б, която съдържа само 3 контакта вместо 7 в първоначалната схема.

#### 2.9.4. ОБЩА СТРУКТУРА НА ПРОГРАМИРУЕМИЯ АВТОМАТ

В разгледаните досега релейни схеми функциите се задават и решават чрез реализиране на електрически съединения (твърди връзки) между елементите на системата (апарати и контакти). Изменението на тези функции изисква съответно изменение на съществуващите връзки. Затова системите за автоматизация, изградени на този принцип, се наричат системи с твърда или апаратна логика.

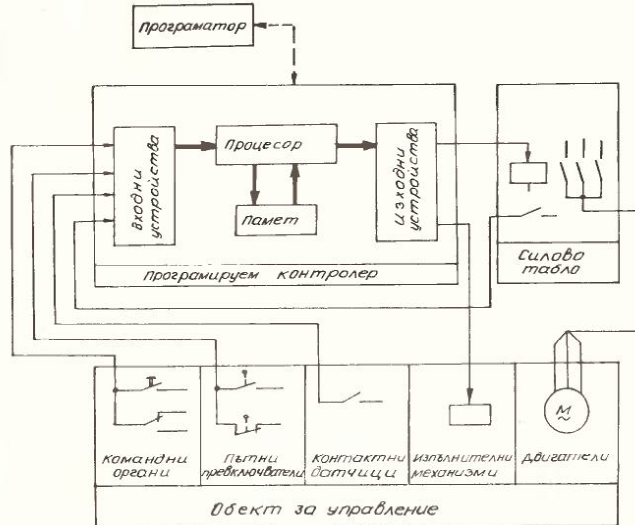
В програмируемия автомат булевите уравнения се решават от електронноизчислителна машина (ЕИМ) в съответствие със заложената в оперативната ѝ памет програма. В този случай изменението на функциите на системата се свежда до съответно изменение на програмата на ЕИМ. Такива системи се наричат системи с гъвкава (програмируема) логика.

Може да се приеме, че програмируемият автомат се получава в резултат на замяната на твърдата логическа схема в релейните системи за управление с ЕИМ. При това конструкцията на машината може да бъде значително опростена, тъй като тя трябва да извършва ограничен брой операции, свързани с решаването само на булеви функции.

Общата структура на програмируемия автомат е показана на фиг. 2.78. Основни негови части са *централният процесор*, който извършва необходимите аритметични операции, *памет*, в която се записват състоянията на входните величини, както и съответните инструкции за обработката им във вид на булеви функции, *входни и изходни устройства*, свързани чрез датчици и изпълнителни механизми с обекта за управление. Съществен елемент е и устройството за програмиране — *програмактор*, което може да обслужва произволен брой еднотипни автомати.

Използването на електронноизчислително устройство внася една съществена особеност в работата на програмируемия авто-

мат. В системите с твърда логика решаването на отделните булеви уравнения се извършва паралелно и независимо едно от друго, т. е. всички сигнали се обработват в момента на постъпването им. ЕИМ обаче във всеки момент може да извършва само една



Фиг. 2.78. Структура на система за управление с програмируем автомат

единствена операция. Това налага циклична работа на автомата, който последователно „обхожда“ всички входове и изходи и изпълнява свързаните с тях инструкции, които са записани в паметта. Това изисква входните въздействия (сигнали) също да се записват в специално отделена за това част от паметта, тъй като не могат да се обработват в момента на постъпването им.

В съществуващите програмируеми автомати се осъществяват няколко различни *вида цикли*, които зависят от конкретния модел:

а. Всички входни сигнали се прочитат в началото на цикъла, а изходните се управляват, след като се решат всички булеви уравнения, определящи работата на автомата.

б. Всички входни сигнали се прочитат в началото на цикъла, а всеки изходен сигнал се формира след решаване на съответната функция.

в. За всяка отделна функция се прочитат необходимите входове и се формират съответните изходи.

Времетраенето на един цикъл на автомата е няколко  $\mu\text{s}$  (отделните операции се изпълняват за около  $1 \mu\text{s}$ ) и това реално създава впечатление за едновременно решаване на всички булеви функции, така както това се извършва в схемите с твърда логика.

Първите модели на програмируеми автомати (програмируеми контролери) бяха предназначени само за изпълнение на функциите на релейните (дискретни) системи за управление. Развитие на микропроцесорната техника позволи значително разширяване на тези функции, към които се добавиха:

регистрация и обработка на данни за състоянието на управляемия обект

диагностика на състоянието на системата за управление,

връзка с други програмируеми автомати и ЕИМ.

Всичко това разшири областта на приложение на програмируемите автомати и ги превърна в едно модерно техническо средство за управление на технологични машини, агрегати и линии във всички отрасли на промишлеността.

### 2.9.5. ПРОГРАМИРАНЕ

Програмирането на логическите функции на автомата се осъществява с помощта на специално устройство за въвеждане на програмата (програматор, програмна конзола). Програмата първоначално се записва в паметта на програматора и след проверка с помощта на специално входно-изходно устройство се предава в паметта на автомата във вид на изпълними машинни инструкции за централния процесор.

Наред с това програматорът може да осъществява контрол по изпълнението на програмата и изменение във връзка с желано изменение или разширение на функциите на системата.

По сложност програматорът е съизмерим с програмируемия автомат. По някога дори е по-скъп, но един програматор може да обслужва няколко автомата.

На фиг. 2.79 е показан външният вид на командното табло на програматора на произведения у нас програмируем автомат „Програма 700“, което служи за записване и въвеждане на програмата.

Всяка програма се състои от последователни команди и оператори, към които трябва да се приложат. Използуваните команди са от вида:

ЗПМ — запомняне (начало на програмата),

ВВД — въвеждане,

ИЗТР — изтриване,

ИЗХ — изход (край на програмата),

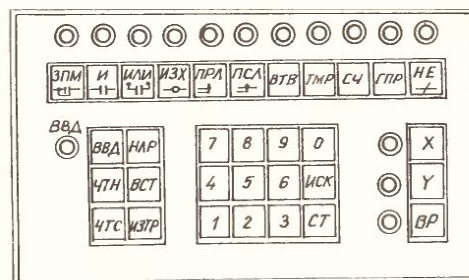
НЕ — логическа функция НЕ,

И — логическо умножение,

ИЛИ — логическо сумиране,

ПРЛ — паралелно свързване на вериги,

ПСЛ — последователно свързване на вериги,

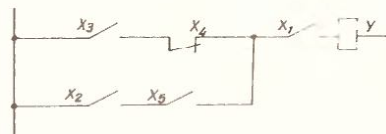


Фиг. 2.79. Командно табло на програматор

СТ-(стъпка) — завършване на програмна команда, и се реализират чрез натискане на съответния бутон на командното табло (фиг. 2.79).

Бутоните с означение X и Y и цифрите от 0 до 9 служат за въвеждане на операторите, с което се изпълняват съответните команди. Тези оператори съответствуват на контактите и апаратите от контактната схема.

Програмата се въвежда на отделни последователни стъпки (команди), всяка от които съответствува на една елементарна логическа операция от типа НЕ, И, ИЛИ.



Фиг. 2.80. Релейно-контактна схема за програмата от табл. 2.3

Ще разгледаме съставянето на програма за реализиране на функциите на схемата на фиг. 2.80. Булевото ѝ уравнение има вида

$$Y = (x_3 \cdot x_4 + x_2 \cdot x_6) x_5 \quad (2.44)$$



Таблица 2.3

№ на програмната стъпка	Команди за извършваните логически операции	Оператор
0	ЗПМ	$x_3$
1	И+НЕ	$x_4$
2	ЗПМ	$x_2$
3	И	$x_5$
4	ПРЛ	
5	И	$x_1$
6	ИЗХ	

Командата ЗПМ се използва за въвеждане на първата вход-на променлива за всеки клон от схемата (табл. 2.3). В края на всяка междинна стъпка след въвеждане на оператора се въвеждат и командите ВВД и СТ, с които междинният резултат се записва в специално отделената памет на автомата и се подготвя за програмиране следващата стъпка.

Езикът, на който се записват програмите, е свързан непосредствено със съответните логически уравнения на релейните схеми и използването му не изисква никаква специална подготовка.

## 2.9.6. ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ. ОБЛАСТ НА ПРИЛОЖЕНИЕ

Основните предимства на програмируемите автомати са:

малки размери и тегло,  
намаляване на времето за реализиране на системата за управление — до 15% в сравнение с времето за монтиране на аналогични релейни схеми,

бързо и удобно изменение на обхвата и функциите на системата, възможност за автодиагностика, което значително намалява времето за търсене и отстраняване на повреди и повишава надеждността на системата,

възможност за въвеждане на допълнителни функции за обработка и регистриране на данни за състоянието на обекта за управление.

Тези предимства определят непрекъснатото разширяване на областите на приложение на програмируемите автомати за управление на дискретни технологични процеси във всички отрасли на промишлеността. Основен недостатък си остава сравнително високата цена, което прави използването им икономически оправдано само за замяна на сравнително сложни релейни схеми.

## Въпроси и задачи

1. Какво означава понятието „автомат“ в теорията на автоматичното управление? Дайте примери за технически устройства, които могат да се разглеждат като „автомат“.

2. Съставете няколко произволни комбинации от п. о. и н. з. контакти и напишете съответстващите им булеви функции.

3. Опростете следните булеви уравнения, като начертаете и релейните схеми, съответстващи на първоначалните и на опростените уравнения:

а)  $x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_1 \cdot x_5$ ;

б)  $\bar{x}_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$ .

4. По какво се различава програмируемият автомат от съответстващата му релейна система за управление?

## 2.10. АВТОМАТИЧНО ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

### 2.10.1. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ

За осъществяване на определен технологичен процес, работните органи на машините трябва да извършат комплекс от движения (операции) в определен ред, т. е. по определена програма. В най-общ смисъл всяка машина, която изпълнява автоматично определен работен цикъл (напр. във функция от времето или пътя) може да се разглежда като машина с програмно управление. На практика понятието *програмно управление* се употребява в значително по-тесен смисъл, като обхваща само онези системи за управление, които позволяват бързо и удобно изменение на програмата в сравнително широки граници.

В зависимост от начина на задаване на програмата съществуват две основни системи за програмно управление: системи с циклово програмно управление и системи с цифрово програмно управление.

В системите с *циклово програмно управление* програмата се задава с помощта на електромеханични устройства: превключватели, командопарати, щепселни комутатори и др. В тях се програмира редът на преместванията на работните органи, а размерът на преместванията се установява чрез изменение на положението на съответните крайни превключватели или на превключващите ги ограничители.

За системите с *цифрово програмно управление* е характерно задаването на програмата в числов вид с перфокарта, перфолената или магнитна лента. В зависимост от характера на програмируемите величини тези системи се разделят на:

*позиционни системи*, в които се програмират само отделните позиции на работните органи, без да се интересуваме от точната траектория на преместването им от една позиция в друга;

контурни системи, наречени още непрекъснати, в които се програмира цялата траектория на преместване на работните органи.

Както позиционните, така и контурните системи могат да бъдат отворени и затворени. В отворените системи липсва обратна връзка. Подвижните органи се задвижват с устройства за дискретни премествания (стъпкови двигатели, спирачни механизми и др.). В затворените системи непрекъснато се следи траекторията на работните органи с помощта на обратна връзка.

Като частен случай на системите за програмно управление могат да се разглеждат копирните системи, в които програмата се задава във вид на плоски или пространствени шаблони (копири), чиито очертания точно съответствуват на необходимата траектория на преместване на работния орган на машината.

## 2.10.2. ЦИКЛОВО ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Системите с циклово управление са най-простите системи за програмно управление. Те задават определен ред в движенията на работните органи на машината, посоката и скоростта на тези движения. Големината на преместванията не се програмира чрез програмното устройство, а се задава чрез преместване на пътни превключватели или задействащите ги опори, които контролират съответните премествания.

На фиг. 2.81 е показан опростено външния вид на командоапарат за циклово програмно управление. Върху въртящия се барабан 2 от изолационен материал са монтирани контактните пластини 3, захранвани с напрежение чрез контактният пръстен 1. Успоредно на барабана върху изолационната рейка 8 са монтирани контактите 7, всеки от които е свързан с намотката на едно от релетата  $P$ . Барабанът се върти чрез стъпков механизъм 4, 5, задвижван от електромагнита 6.

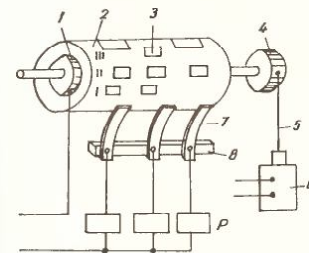
На всяка позиция на барабана в зависимост от разположението на контактните пластини 3 се подава напрежение към съответните междинни релета  $P$ , които изпълняват необходимите превключвания в силовите вериги на изпълнителните (контактори, двигатели). След завършване на всеки участък от технологичния цикъл се дава команда на електромагнита 6, който завърта барабана на следващата позиция. Програмата се изменя чрез разместване на контактните пластини 3 върху барабана.

По-често програмата се задава с щекерни превключватели и стъпкови избирачи.

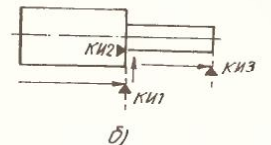
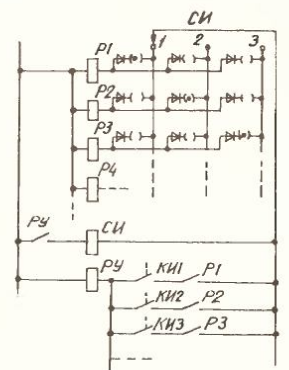
На фиг. 2.82 а е показана принципната схема на такава система за циклово програмно управление. Характерни елементи са щекерното устройство и стъпковият избирач СИ, който при пода-

ване на импулс премества подвижната си контактна система с една стъпка и така включва различни електрически вериги.

След настройването на машината и включването ѝ стъпковият избирач е в позиция 1. Захранват се всички релета, в чиито вериги е поставен щекер. Така се задава необходимата посока и скорост на преместване, с които започва движението на съответния работен орган. След извършване на необходимото преместване се задействува крайният превключвател КИ1 (фиг. 2.82 б), който включва релето за управление РУ. То захранва стъпковия избирач, който премества подвижната си контактна система в позиция 2 и с това прекъсва захранването на релето  $P1$  и движението на работния ор-



Фиг. 2.81. Командоапарат за циклово програмно управление



Фиг. 2.82. Система за циклово програмно управление с щекерно табло

ган. На тази позиция отговаря друга комбинация на включване на релетата, а следователно и друга посока и скорост на движение. Същевременно захранващата верига на управляващото реле чрез н. о. контакт на релето  $P2$  се прехвърля към втория краен превключвател КИ2. При достигане на КИ2 стъпковият избирач се превключва на трета позиция. Това води до друга комбинация на включване на релетата според поставените щекери и следователно до нова промяна на посоката и скоростта на преместването. Сега захранващата верига на РУ е включена към крайния превключвател КИ3 и следователно движението в новата посока ще продължи до достигането му.



Циклограмата на преместванията на подвижния орган в границите на един работен цикъл при тези системи е обикновено правоъгълна. Големината на преместванията във всяка от необходимите посоки се задава чрез преместване на съответния краен изключвател  $KИ1$ ,  $KИ2$  и т. н. или на превключващата го опора. Обикновено крайните изключватели се монтират неподвижно и се оформят в специален блок, а задействащите го опори се монтират в специални канали върху подвижния орган на машините.

Съвременните щекерни полета са с твърде големи размери (до  $40 \times 40$  и повече), което в съчетание с  $8 \div 10$  крайни превключвания позволява програмирането на много сложни цикли на обработка.

Цикловите системи за програмно управление са много по-прости в сравнение с цифровите, но изискват много време за пренастройка, затова са по-подходящи за машини, които не изискват честа смяна на работния цикъл.

### 2.10.3. ЦИФРОВО ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Задаване на програмата. В системите за цифрово програмно управление (ЦПУ) за разлика от цикловите се програмира не само редът, но и големината на преместванията. При това всички данни на програмата (посока, големина и скорост на движението) се задават в цифров вид.

Траекторията на работния орган на машината се записва в програмата чрез координатите на определен брой точки от нея в предварително определена координатна система. Ако траекторията на работния орган се състои само от правоъгълни участъци, в програмата се записват само координатите на крайните точки, като между тях се задава посоката и скоростта на движението (фиг. 2.83 а). Ако обаче траекторията включва и криволинейни участъци, в програмата трябва да се запишат координатите на по-голям брой точки, които да определят траекторията с достатъчна точност (фиг. 2.83 б). Движението между две съседни точки от криволинейния участък се управлява от специални интерполиращи устройства.

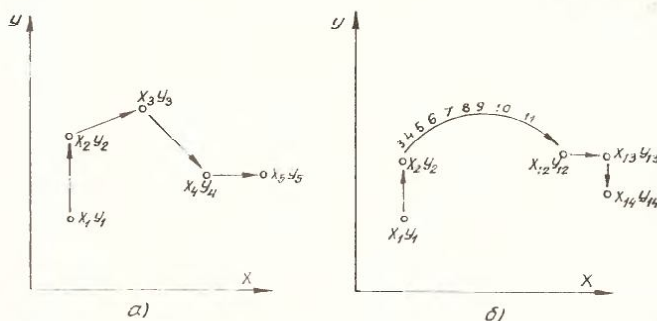
В обикновената десетична система всяко число се представя като сума от отделните му цифри, умножени с числото 10 на степен, зависеща от мястото на цифрата. Напр. числата 236 и 5,72 могат да се запишат така:

$$2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 6 \cdot 10^0,$$

$$5 \cdot 10^0 + 7 \cdot 10^{-1} + 2 \cdot 10^{-2}.$$

За да запишем едно число в десетична система върху някакъв физически програмоносител, всеки от използваните елемен-

ти трябва да има по 10 фиксирани положения. Броят на елементите зависи от максималното число, което трябва да се запише. Напр. за записване на всички числа от 0 до 999 са необходими три елемента с по 10 фиксирани положения. Могат да се използ-



Фиг. 2.83 Програмане на траекторията на работния орган

зват декадни превключватели, стъпкови броячи и др. Обаче основните контактни и безконтактни елементи, участващи в схемите за управление, имат само две фиксирани състояния: включено и изключено (релста), запушено и отпушено (транзистори), наситено и ненаситено (феритни елементи). Затова е много по-удобно числата от програмата да се записват в двоична система в която всяко число се изразява с комбинация от 2 цифри — 0 и 1, умножени по две на определена степен. Напр. числото 13 в двоична система може да бъде представено във вида

$$1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

и ще се запише като 1101.

Аналогично двоичното число 10011 може да бъде дешифрирано като

$$1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 19$$

в десетична система.

В табл. 2.4 са записани в двоична система първите 10 числа от десетичната.

Таблица 2.4

Десетична система	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Двоична система	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010

Едно десетично число се записва в двоична система по следното правило. Делим последователно числото на 2; при всяко деление записваме 0, ако числото се е разделило без остатък, и 1, ако има остатък 1; всяко следващо деление извършваме, като премахнем остатъка от предното. Получените от горе на долу цифри 0 и 1 записваме от дясно на ляво. Например десетичното число 12 може да се преведе в двоична система по следната схема:

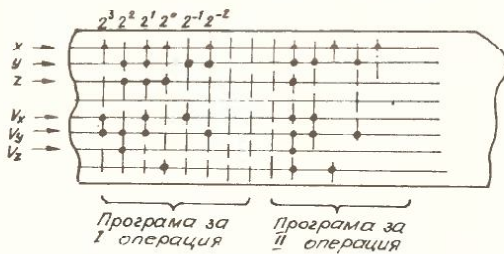
12:2=6	остатък 0
6:2=3	0
3:2=1	1
1:2=0	1

и се записва като 1100. Дясната колона от 0 и 1 представлява остатъците от делението на 2.

От казаното дотук се вижда, че за записване на едно число в двоична система са необходими много повече елементи, отколкото при десетичната (около 3 пъти повече), но затова всяк елемент трябва да има само две фиксирани състояния. Записването на числата чрез релейни схеми от безконтактни елементи е бързо и удобно.

Съществуват и други форми на записване. Често се използва двоично-десетичен код, в който всяка цифра от десетичното число се кодира поотделно в двоичен код.

Носители на програмата в системите за цифрово програмно управление най-често са перфоленти, перфокарти или магнитни ленти. Перфолентите се изработват от хартия или целулоид и имат обикновено 5 или 8 пътечки. На фиг. 2.84 е показан един от възможните начини за записване на програмата, като върху



Фиг. 2.84. Записване на програмата на перфолента

всяка пътечка се записват определени команди — размерът на преместването по трите координатни оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , скоростта на преместването по трите координатни оси  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ . Средната пътечка, перфорирана непрекъснато с друг размер на отверстията,

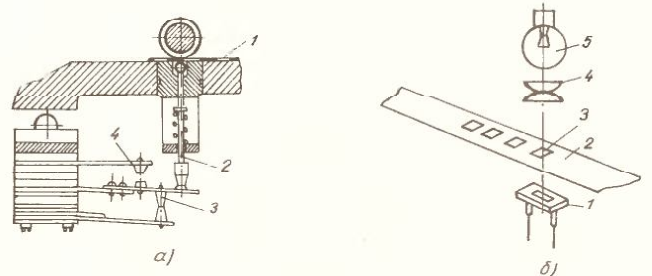
е водеща. Размерът на преместванията се записва в двоичен код, като пробитият отвор отговаря на 1, а липсата му — на 0. За записване на програмата за всеки преход са отделени определен брой редове, зависещ от размерността на записваните числа. Напр. в първите три пътечки на перфолентата (фиг. 2.84) са записани големините на преместванията по трите координатни оси, представляващи съответно

$$\begin{aligned} X &= 101101, \\ Y &= 011011, \\ Z &= 011100. \end{aligned}$$

При приетите степени на 2 за всеки ред не е трудно да се определи, че горните координати в десетична система са равни съответно на 19,25; 6,75 и 7,00. Програмата се записва от специални перфориращи устройства и се прочита от електромеханични (контактни или безконтактни) устройства. На фиг. 2.85 а е показано *контактно четящо устройство*. При наличие на перфорация върху лентата 1 цифърът 2 се премества нагоре, при което се отваря контактът 3 и се затваря контакт 4, в резултат на което се извършват и съответните превключвания в схемата на записващото устройство.

Броят на контактните цифрове е равен на броя на пътечките на перфолентата.

Контактните четящи устройства са сравнително прости, но имат недостатъци — малка скорост (до 20 реда в секунда) и из-



Фиг. 2.85. Прочитачи устройства — контактно (а) и фотоелектрическо (б)

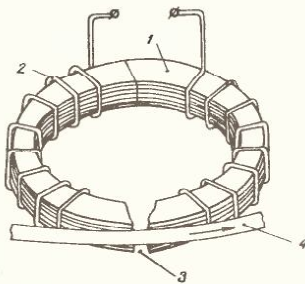
новане на програмоносителя, което налага заменянето му след определен брой прочитания.

Значително по-съвършени са *фотоелектрическите четящи устройства* (фиг. 2.85 б), при които лентата 2 се осветява от

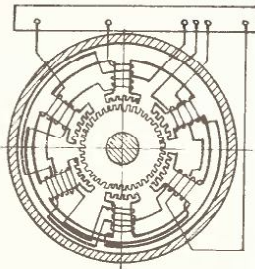


оптическо устройство 4 и 5, а разположеният под всяка пътечка фотоелемент 1 изпраща сигнал в зависимост от това, дали съответният отвор 3 е перфориран или не.

Програмата може да се запише и на магнитна лента във вид



Фиг. 2.86. Електромагнитна глава за четене и запис



Фиг. 2.87. Стълков двигател

на последователност от намагнитени и ненамагнитени участъци, отговарящи на 1 и 0. Записът се прочита от магнитни глави (фиг. 2.86) с кръгла форма на магнитопровода 1. При подаване на импулс в намотката 2 във въздушната междина 3 се създава магнитно поле и съответният участък на лентата 4 се намагнитва. За прочитане на записа намотката 2 се свързва към усилвателно устройство. При движение на магнитната лента се индуцира импулс всеки път, когато покрай въздушната междина премине намагнитен участък.

Магнитната лента позволява записване и многократно прочитане на програмата с голяма скорост. Могат да се записват различни програми. Недостатък е невъзможността за визуален контрол на записаната програма.

**Изпълнителни електрически двигатели.** За задвижване на подвижните органи на машините с програмно управление обикновено се използват двигатели за постоянен ток, чиито честота на въртене се регулира в широк обхват. Обаче системите за програмно управление често поставят по-високи изисквания към двигателите по отношение на динамичните им качества (бързодействие, малък инерционен момент, значителна претоварваща способност).

Тези изисквания не могат да се удовлетворят от двигателите с нормално изпълнение и налагат създаването на специални ти-

пове двигатели. Между тях можем да споменем двигателите с печатни намотки, нанесени върху ротор с формата на диск. За създаването на магнитен поток се използват постоянни магнити. Тези двигатели имат много малка електромеханична времеконстанта, но и малка претоварваща способност.

В последно време твърде широко разпространение получава т. нар. *високомоментни двигатели*. Големият динамичен момент се създава главно чрез специална магнитна система (и тук възбуждането е от постоянни магнити) и подобрени условия на комутация.

Характерни за задвижването на машините с програмно управление са *стълковите двигатели*, които представляват разновидност на синхронните двигатели с явно изразени полюси. На фиг. 2.87 е показано устройството на стълков двигател. Двигателят е трифазен. На всяка фаза съответства двойка диаметрално разположени полюси. Повърхността на полюсите е назъбена (по 5 зъба на всеки полюсен крайник). Роторът е назъбен по същия начин, като съдържа 32 зъба.

Поради различния брой зъби роторът може във всеки момент да бъде симетричен само спрямо една от фазите на статора.

Статорната намотка се захранва с напрежение с импулсна форма, като импулсите се подават последователно на трите фази на намотката. След като е бил симетричен спрямо една от фазите, при подаване на импулс на съседната фаза роторът се завърта на една стъпка, стремейки се да заеме симетрично положение спрямо нея. Големината на стъпката зависи от съотношението на броя на зъбите на статора и ротора и от броя на чифтовете полюси. Сумарният ъгъл на завъртане на ротора е пропорционален на броя на импулсите, а ъгловата скорост — на честотата им.

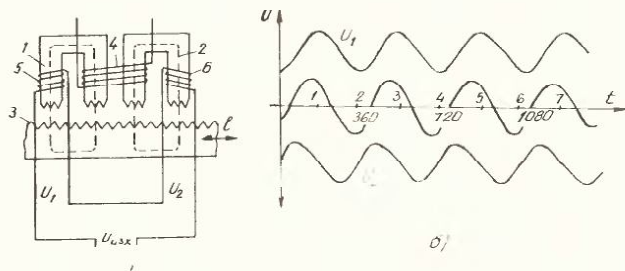
Стъпката на съвременните стълков двигатели е от порядъка на  $1 \pm 2^\circ$ , а максималната честота на захранващите импулси достига  $10 \div 15$  kHz.

**Преобразуватели за обратна връзка.** Важен момент от изобретените системи за цифрово програмно управление е преобразувателят (датчикът) за преместване, който осъществява обратната връзка по програмирания параметър. В системите за програмно управление от преобразувателя се изисква голяма точност и обхват на измерване до два и повече п. Механичните премествания се преобразуват в пропорционален електрически сигнал от различни преобразуватели. Според вида на изходния си сигнал те се делят на две големи групи: аналогови и дискретни.

*Преобразувателите от аналогов тип* преобразуват механичното преместване в пропорционална на него електрическа величина — най-често напрежение. Тъй като запазването на строго линейна зависимост между входната и изходната величина в широк обхват е много трудно, тези преобразуватели се използват сравнително рядко.

Дискретните преобразуватели преобразуват механичното преместване в пропорционален брой импулси или в определен код.

В зависимост от начина на преобразуването преобразувателите могат да бъдат индуктивни, кондензаторни, оптични и др.



Фиг. 2.88. Индуктивен преобразувател (датчик) на преместване

На фиг. 2.88 а е показана една характерна конструкция на индуктивен дискретен преобразувател на преместване. Неподвижната му част се състои от магнитопроводите 1 и 2, на които са поставени захранващата намотка 4 и изходните намотки 5 и 6. Подвижната част на преобразувателя 3 е назъбен гребен. Намотката 4 се захранва от променливо напрежение с повишена честота.

При движението си успоредно на магнитопроводите зъбният гребен преминава последователно през две крайни положения. Първото съответствува на разположение на зъбите на магнитопровода с намотките и зъбния гребен точно един срещу друг и следователно на максимална магнитна проводимост за магнитния поток, създаван от захранващата намотка. Второто съответствува на разположение на зъбите на рейката точно срещу междините на зъбите на магнитопровода и определя минимална магнитна проводимост за магнитния поток. При първото положение индуктираното е. д. н. в намотките 5 и 6 ще бъде максимално, а при второто положение — минимално. Или при движението на зъбния гребен амплитудата на е. д. н. ще се изменя непрекъснато между минималната и максималната стойност, като стъпката на изменение е равна на ширината на един зъб на магнитопровода.

На фиг. 2.88 б е показано условно изменението на изходното напрежение  $U_1$  на намотката 5 във функция от преместването. Магнитопроводът 2 е изместен спрямо него на половин стъпка, поради което е. д. н.  $U_2$  на намотката 6 е изместено спрямо  $U_1$  на

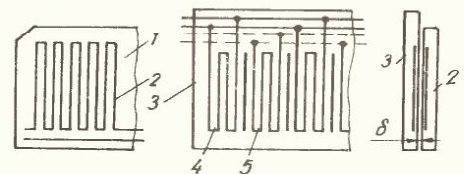
90 електрически градуса (две стъпки преместване съответствуват на 360 електрически градуса). Двете намотки са свързани противоположно и затова  $U_2$  е представено като „отрицателно“ — изместено с фаза 180° спрямо възбуждащото напрежение на намотката 4. Сумарното напрежение  $U_{изх}$  вече има нулеви стойности във всяка стъпка.

Използването на два магнитопровода прави изходния сигнал на преобразувателя чувствителен към посоката на преместване, тъй като в зависимост от нея фазовата разлика между е. д. н. в изходните намотки и възбуждащото напрежение на намотка 4 се изменя с 90°.

Изходът на преобразувателя обикновено се свързва към формирова тел на импулси, който формира импулс при преминаване на изходното напрежение през минимална или максимална стойност.

Широко разпространен измерителен преобразувател от индуктивен тип е т. нар. индуктосин. В него се използва изменението на взаимното разположение на две намотки, едната от които се захранва с променливо напрежение. Индуктираното е. д. н. в другата се изменя във функция от разположението им.

В линейния индуктосин, чиято конструкция е показана схематично на фиг. 2.89, двете намотки са с печатно изпълнение върху плоски изолационни пластини, едната от които е неподвижна, а другата е закрепена към подвижния орган на машината, чиято траектория се контролира. Обикновено намотката 2, разположена върху подвижната част 1, се захранва с напрежение с повишена честота. Индуктираните е. д. н. в намотките 4 и 5, разположени върху неподвижната част 3, се изменят периодично между минималната и максималната стойност в зависимост от взаимното им разположение със захранващата намотка 2 (е. д. н. е максимално, когато са точно една срещу друга). Както в разглеждания преди това индуктивен преобразувател и тук се използват



Фиг. 2.89. Индуктосин

зват две намотки, чито напрежения са дефазирани на 90° за определяне на посоката на преместване.

Структура на системите за ЦПУ. Системите за ЦПУ биват два основни вида — отворени и затворени.



В отворените системи за управление подвижните органи се задвижват най-често от стъпкови двигатели с точно определен ъгъл на завъртане на ротора си, пропорционален на постъпния в захранващата му намотка брой импулси. Затова в този случай не

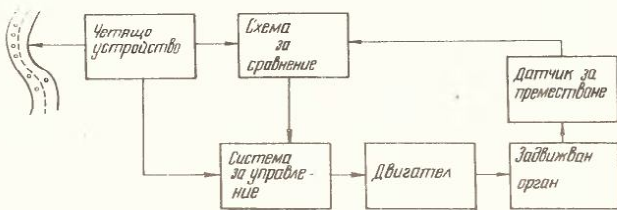


Фиг. 2.90. Структура на отворена система за програмно управление

е необходима обратна връзка по положението на задвижвания орган, която да следи за изпълнението на програмираното му преместване.

Структурната схема на отворена система за програмно управление е показана на фиг. 2.90. Преобразователното устройство преобразува програмирания размер на преместването в съответен брой импулси, с които се захранва стъпковият двигател, осъществяващ преместването непосредствено или чрез хидравличен усилвател. Движението по всяка координата се осъществява от отделен стъпков двигател.

На фиг. 2.91 е показана блоковата схема на затворена система за цифрово програмно управление на подвижния орган по една от координатите. Програмата, записана на програмоносителя, се прочита от подходящо четящо устройство. Към системата за управление на задвижвания двигател се подават необходимите команди за посоката и честотата на въртене, а програ-



Фиг. 2.91. Структура на затворена система за програмно управление

мираният размер на преместването се записва в т. нар. схема за сравнение. Когато задвижваният орган измени разстояние, равно на програмираното (контролирано чрез датчика за преместване), схемата за сравнение дава команда за спиране на движението.

Аналогично се управлява движението и по другите координатни осци.

Затворените системи за програмно управление са по-сложни, но осигуряват по-голяма точност и имат по-добри динамични качества.

### Въпроси и задачи

1. Какво наричаме система за програмно управление? По какво се различава тя от обикновените системи за управление?
2. Посочете работни машини, които според вас биха могли да се автоматизират с помощта на системи за програмно управление.
3. Защо в системите за ЦПУ програмата се записва в двоичен код?

## 2.11. МОНТАЖ И НАСТРОЙКА НА СИСТЕМИТЕ ЗА УПРАВЛЕНИЕ

### 2.11.1. ОБЩИ ИЗИСКВАНИЯ

Въвеждането на все по-сложни във функционално и структурно отношение системи за автоматизация е свързано със значително увеличаване на електрическата част на металорежещите машини — от 10% до около 25% от стойността им, а за някои сложни машини с програмно управление и до 50%.

Част от участващите в системата за управление електрически апарати е концентрирана в предназначени за целта шкафове, пултове, ниши и др., а друга част е разположена на различни места в машината. Това изисква разклонена мрежа от електрически проводници, които да свързват всички елементи в единна система, осъществяваща определени функции.

Въпросите за рационалния монтаж на елементите за управление и свързващите ги проводници придобиват все по-голямо значение. Правилният монтаж е важно условие за надеждността и правилната работа на елементите за управление и на машината като цяло. Той определя до голяма степен условията на обслужване на електрическото задвижване, които включват откриването на неизправности, ремонт и замяна на отделни елементи и др.

Най-добър начин за монтаж на електроконтактната апаратура (релеа, контактори) представлява вграждането ѝ в специални ниши, разположени в корпуса на машината, което е възможно само в някои случаи. Когато това е невъзможно или нецелесъобразно, апаратите за управление се монтират в специално конструиран електрошкаф или шкаф за управление. Апаратите за управление са монтирани вертикално върху табло, мстално или от изолационен материал. Достъпът до апаратите е през врата, уплътнена с гумени или дунапренови ленти, за да се намали до минимум проникването на прах. Вратите на шкафа се заключват

или се предвижда блокировка, която прекъсва захранващото напрежение при отварянето им.

Апаратите за управление се монтират върху таблото така, че дължината на свързващите проводници да бъде минимална. Апаратите, чиито функции са свързани (реверсивни контактори, контактор и термично реле), се разполагат един до друг. В горната част на таблото се монтират елементите, които отделят по-голямо количество топлина — селенови изправители, мощни съпротивления и др. Най-отдолу почти винаги са монтирани съединителните клеми. Препоръчва се обособените възли от електронни елементи да бъдат отделени по подходящ начин (чрез специални обвивки, кутии и др.) от мощните силови елементи, през които протичат големи токове.

Електрическите съединения между апаратите в шкафа се осъществяват по различен начин, най-разпространени от които са следните:

а. Използване на твърд едножилен проводник, чието форма се определя от работника, извършващ монтажа. За увеличаване на механичната здравина проводниците, отиващи в една посока, се свързват в снопове с помощта на металически или пластмасови ленти. Този начин на монтаж позволява бързо откриване на грешно изпълнени съединения и други неизправности на схемата. Серioзен недостатък е голямата му трудопоглъщаемост и необходимостта от по-висока квалификация на монтажника. Поради това той все повече се измества от останалите начини.

б. Монтаж на проводниците с пластмасови канали, които се монтират хоризонтално и вертикално върху монтажното табло. Страничните стени на канала са перфорирани за извеждане на проводниците към изходите на съответните апарати. За монтаж се употребява гъвкав многожилен проводник.

Използването на пластмасови канали позволява значително по-бързо осъществяване на необходимите съединения. Този начин обаче изисква по-голяма до 30÷40% монтажна площ, което увеличава размерите на електрошкафа.

в. X-монтаж. При него съединителните проводници се прокарват от задната страна на монтажното табло по най-късото разстояние между апаратите. За присъединяването им към клемите на апаратите в таблото се правят съответни отвори. В този случай също се употребява гъвкав многожилен проводник. Този начин на монтаж е много бърз и икономичен, но изисква достъп до обратната страна на монтажното табло, което не винаги е лесно осъществимо.

Друг основен елемент от системите за управление е *пултът за управление*, върху който са монтирани апаратите за ръчно управление — бутони и преключватели, сигналните лампи и измервателните уреди. Чрез него се осъществява непосредствена връзка между автоматизираната машина и обслужващия я работник.

Затова правилният избор на мястото му, разположението на командните органи и конструктивното му изпълнение се определят от формата и характера на работното място. Обикновено той се разполага отпред или отлясно на работника, за да може удобно да се управлява машината, като при това се следи нейната работа. При избор на място за пулта трябва да се има предвид, че разстоянието между него и работника не трябва да е по-голямо от 0,6 m (средна дължина на протегнатата ръка).

Според конструктивното си изпълнение пултовете за управление биват *неподвижни* (стационарни) и *подвижни*. Неподвижните представляват самостоятелен възел, който се прикрепва неподвижно към работната машина, така че да се осигури най-удобно обслужване. Подвижните пултове се конструират в две основни изпълнения: *висещ* и *преносим*. Висящите се използват при тежките метало-режещи машини, където работната зона е твърде голяма. Пултът е свързан чрез метален или пластмасов гъвкав маркуч, през който преминават съединителните проводници, към подвижно рамо, което може да се върти свободно около оста си. За придвижване има отделен двигател.

Преносимите пултове се монтирани на стойка и са свързани с гъвкав кабел с останалата част на задвижването.

Разполагането на командните апарати върху пултовете за управление трябва да бъде такова, че да отвлича минимално вниманието на работника от наблюдаването на хода на производствения процес и да му дава възможност за бързо реагиране, особено в аварийни положения.

Обикновено в горната част на пулта се монтират измервателните уреди и сигналните лампи. При това разположението им се закриват с ръка през време на управление и могат непрекъснато и удобно да се наблюдават. В средната част на пулта се поставят командните органи, които се използват по-рядко (различни преключватели за промяна на скоростите и режимите на работа, задаващи потенциометри и др.). В долната част се монтират управляващите органи, които се използват най-често — командни гускови и стопови бутони. Бутонът за общо (аварийно) спиране се поставя най-отдолу, а понякога се монтира и на някоя от страничните стени на пулта. Използува се бутон със специална гъбообразна форма, което улеснява бързото му задействане.

Тъй като често върху пулта са монтирани голям брой еднотипни органи за улесняване на управлението, особено при първоначално запознаване с машината, те се означават с *надписи или символи*. Използуването на надписи трябва да са кратки, като същевременно ясно означават същността на операцията, например „Пускане“, „Стоп“, „Охлаждане“, „Затягане“, „Настройка“ и т. н. За предпочитане е вместо надписи да се използват специални символи при условие, че те достатъчно ясно и нагледно изразяват съответните операции. Някои от често срещаните се графично означения са показани в табл. 2.5.



Таблица 2.5

Предназначение на органа за управление	Графично означение
Въртливо движение на задвижвания орган в дадената посока а) продължително б) само при въздействие на командния орган	
Постъпателно движение в съответната посока а) продължително б) само при въздействие на командния орган	
Скорост на движението а) голяма б) малка	
Увеличаване на скоростта	
Затягане и отпускане на подвижния орган	
Охлаждане	

За увеличаване на нагледността графичните символи често се комбинират с условно символично означение на задвижвания орган, който се управлява от съответния команден апарат. Командните бутони се оцветяват в различни цветове. Най-употребявани са черен или зелен за команда „включено“ и червен за „изключено“.

Електрическите съединения се изпълняват външно или скрито (вътрешно).

**Външният монтаж** на електрическите проводници се извършва в стоманени тръби, които ги защитават сигурно от вредното въздействие на околната среда и от механични повреди. Тръбите се закрепват към корпуса на машината. Това опростява монтажните работи и облекчава обслужването и ремонта на задвижването, но влошава външния вид на машината.

**Скритият монтаж** на проводниците може също да бъде изпълнен в метални тръби, но се допуска използването на обикновени пластмасови маркучи и дори монтирането на проводника без специална защитна обвивка. Скритият монтаж усложнява проектирането, тъй като предварително в корпуса на машината трябва да се предвидят канали, отвори и др. за проводниците. Трасето на проводниците трябва да се избере много внимателно, така че да осигури защита от механични повреди, достъпност, удобен монтаж, възможност за електрическо разединяване при демонтаж на отделни възли на машината.

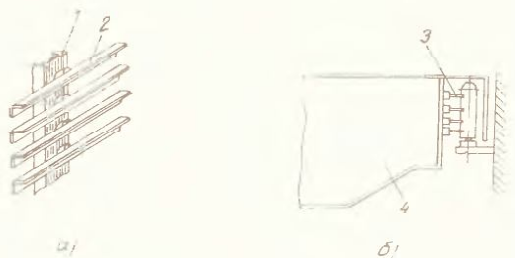
На практика обаче е трудно и нецелесъобразно да се осъществи само външен или скрит монтаж. Обикновено тези две форми на изпълнение се съчетават така, че максимално да се използват предимствата им. Така се постига сравнително проста конструкция, без да се влошава външният вид на машината.

Електрическите съединения между подвижните и неподвижните части на задвижваните машини биват контактни и безконтактни.

**Контактните електрически съединения** се състоят от тролейни проводници 2, закрепени неподвижно по пътя на подвижния орган с изолатори към специални носачи 1 (фиг. 2.92 а). Върху подвижния орган 4 са монтирани подвижни токовземачи устройства (четки) 3 за непрекъснат контакт с тролейните проводници (фиг. 2.92 б). Тези устройства обаче са опасни — може да настъпи късо съединение при попадане на метални предмети върху тях или поражение при случайни докосвания на работещите. Затова те се използват само там, където случайният достъп до тях е практически невъзможен. Засега те намират най-голямо приложение при електрозадвижването на кранови механизми.

Безконтактните съединения са по-разпространени, защото са безопасни за обслужващия персонал. Най-простите представляват свободно висящ гъвкав кабел, окачен в две точки: върху подвижната и върху неподвижната част на машината. Точките на окачване и дължината на кабела се избират така, че при максимално отклонение проводникът да остане в свободно неопънато състояние.

ние, а при минимално отклонение — да не достига до пода или до други подвижни части на машината. Това условие често е неизпълнимо, особено при голямо преместване на подвижната част. Тогава за поддържане на проводника (за да се избегне допира-

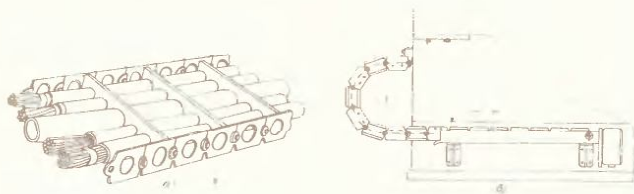


Фиг. 2.92. Контактни електрически съединения.

а) троейни проводници, б) токозахранване на подвижни органи

нето му до пода или попадането му между движещите се части на машината) се използват намотаваци барабани или кабелни колички.

Интересно и ефективно конструктивно решение е използването на специална гъсенична верига (фиг. 2.93), която осигурява необходимата механична опора и може да се използва при произволна траектория на подвижния орган.



Фиг. 2.93. Токозахранване на подвижни органи чрез кабелна верига  
а) конструкция; б) пример за приложение

За да се осигури достатъчна механична якост, всички електрически съединения независимо от това, дали са в шкафа, пулта за управление или между отделни елементи върху машината, се изпълняват с проводник с минимално сечение  $1,5 \text{ mm}^2$ . Минимално

допустимото сечение за проводниците от силовите вериги е  $2,5 \text{ mm}^2$ . Използването на проводници с по-малко сечение се допуска само в отделно обособени блокове с електронна и слабопотокова апаратура, ако са добре защитени от външни въздействия.

Общите изисквания към монтажа на системите за управление се регламентират от държавни стандарти или от други нормативни документи (нормали, технически изисквания) на производителите на автоматизирано обзавеждане.

### 2.11.2. ПРИНЦИПНИ И МОНТАЖНИ СХЕМИ

В т. 2.6 бяха подробно разгледани някои основни принципи при съставяне на релейно-контактни схеми и начините за означаване на елементите от схемата.

Допълнително изискване към принципните и монтажните схеми е всички контакти на релейно-контактните апарати и присъединителните изводи на всички апарати да се означават в схемата с онези цифри, с които са означени в съответния апарат. Напр. контактите на произвежданите у нас (АЕЗ—Пловдив) силови контактори са означени, както следва: силовите 1—2, 3—4, 5—6, н. о. блокиращи контакти — 21—22 и 23—24, н. з. 11—12 и 13—14. В някои апарати се използват буквени означения: а—б, с—д и т. н.)<sup>3</sup> Тези означения се нанасят върху принципната схема, както е показано на фиг. 2.94.

За да се улесни разчитането и работата с принципните схеми, всички вериги в тях се номерират последователно и до всяко реле или контактор се нанасят в таблица номерата на веригите, в които участвуват негови контакти.

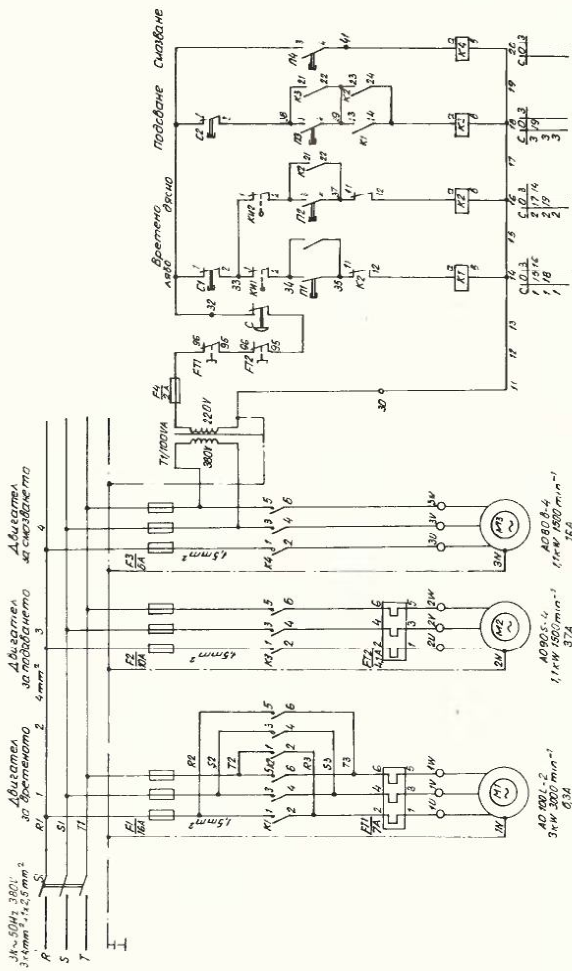
Върху принципната схема понякога се поставят и означения за вида и мощността на двигателите, за номинален ток на предпазителите и други данни, които биха улеснили практическото ѝ използване.

Тъй като всички принципни схеми влизат в състава на съответните ръководства за експлоатация на машината, те се изпълняват на дължина (широчината е равна на формат 11—288 mm), което позволява удобното им съгъване и работа с тях.

За разлика от принципните, монтажните схеми показват действителното разположение на елементите на задвижването и електрическите съединения между тях. Принципната схема допуска много варианти на монтаж, докато монтажната установява само един от тях, което е необходимо условие за практическото реализиране на задвижването.

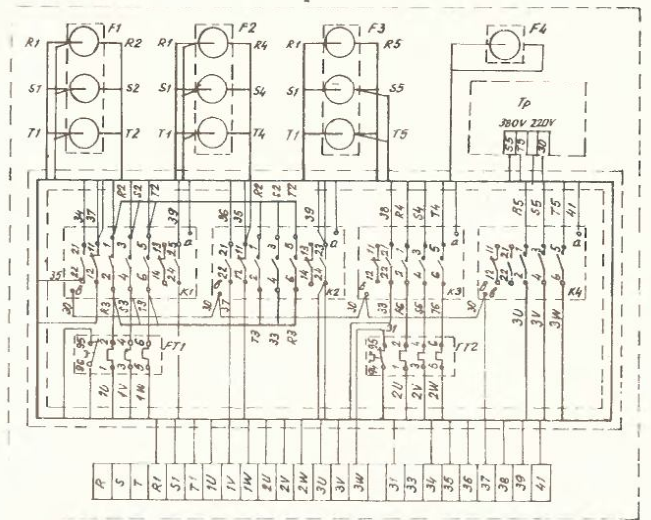
Увеличаването на обхвата и функциите на автоматизираното електрическо задвижване доведе до значително увеличаване на обема на монтажните схеми. Това налага секционирането им. За сложните системи на автоматизирано задвижване се изготвя ком-





Фиг. 2.94. Пълна принципна схема на металорежеща машина

плект от монтажни схеми, който обхваща монтажните схеми на отделни възли и общата монтажна схема. Най-често се оформят отделно монтажните схеми на електрошкафа и пулта за управление.



Фиг. 2.95. Монтажна схема на шкаф за управление на металорежеща машина

Контактните апарати, разположени върху табло в електрошкафа, се чертаят в монтажната схема условно като правоъгълник, който съответствува в определен мащаб на реалните им размери и разположение. В рамките му се чертаят управляващата намотка и контактите с приетите условни означения, като се означават със съответстващото на действителния апарат цифрово или буквено означение (фиг. 2.95).

Безконтактните апарати и електронните елементи и възли също се чертаят условно като правоъгълник с означение на изходите им в съответствие с действителните.

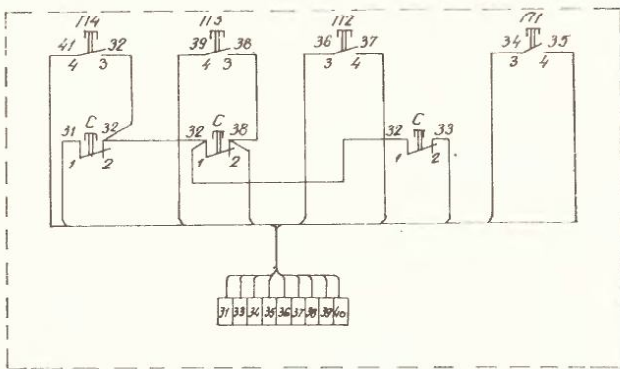
Условните буквени означения на апаратите съвпадат с тези от принципната схема. Съединителните проводници се означават с различни по дебелина линии за силовите и оперативни вериги. Об-

щите снопове от проводници също се означават с една по-дебела линия.

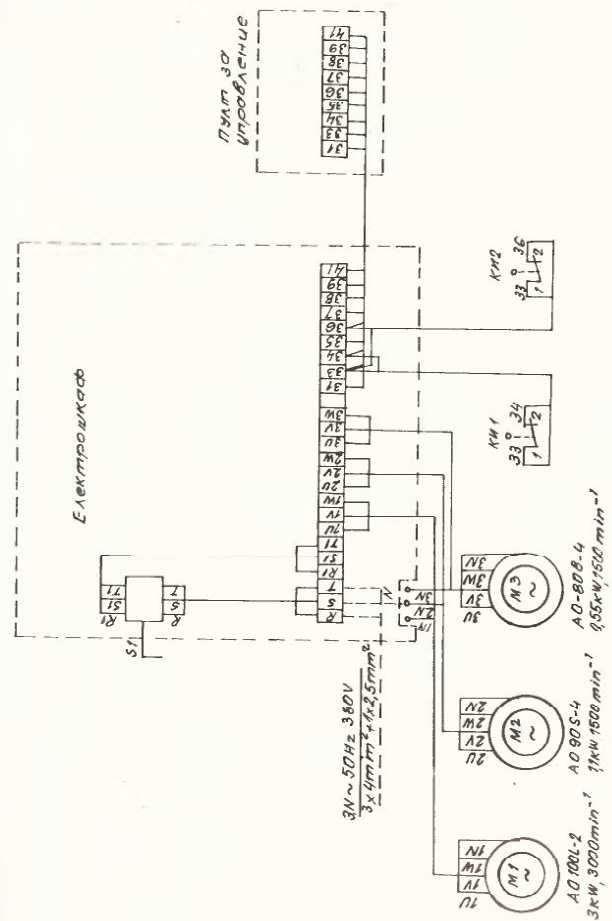
Съединителните проводници се чертаят в общ сноп след излизането им от съединителните клеми на апаратите, като всеки край на проводника се означава с условното означение на апарата и номера на клемата, към която е свързан другият му край. Например означението *КЗ-11* показва, че другият край на проводника трябва да се присъедини към клемата *11* (единият край на н. з. контакт) на контактора *КЗ*. Аналогично се чертаят монтажните схеми на пуловете за управление (фиг. 2.96).

Общата монтажна схема (фиг. 2.97) показва съединенията между отделните възли. По нея се изпълнява монтажът между съединителните клеми на шкафове и пуловете за управление. Всеки обособен сноп от проводници се означава с отделен номер, като в отделен чертеж се дават подробни указания за неговото оформление. Общата монтажна схема дава представа за пространственото разположение на елементите на електрозадвижването. За точното им разположение върху работната машина се изготвят специални конструктивни чертежи на закрепването на елементите и електрическите съединения между тях.

Монтажните схеми се използват изключително за първоначалния монтаж. При всички по-нататъшни проверки, настройки и други дейности си служим предимно с принципните схеми, по които може по-добре да проследим взаимните връзки между елементите и да се ориентираме по-точно за евентуалния характер на появилата се неизправност.



фиг. 2.96. Монтажна схема на пулт за управление на металорежеща машина



Фиг. 2.97. Обща монтажна схема на металорежеща машина



### 2.11.3. КОНТРОЛ И НАСТРОЙКА

Проверката и настройката на вече монтираната система за управление включват комплекс от дейности, които имат за цел да проверят правилното ѝ функциониране във всички възможни режими на работа и отстраняването на евентуални неизправности. Те могат да се дължат както на наличието на неизправни елементи, така и на грешки в изпълнението на схемата за управление. Подборът и настройката на съответните елементи (резистори, потенциометри и др.) в безконтактните схеми за управление е също част от тези дейности.

Възможността за бърза и лесна проверка и настройка трябва да се предвижда още в първоначалните етапи на проектиране на системите за управление. За това спомага изпълнението на сложните схеми в отделни секции или блокове, свободният достъп до всички елементи на схемата, ясните означения на всички апарати с прясъединителни клеми, различните цветове на съединителните проводници и др.

Необходим инструмент при проверка и настройка на електрозадвижването е универсалният комбиниран измервателен уред, който позволява измерването на напрежения, токове и съпротивления в сравнително широк обхват. Ако е необходимо само да се провери наличието на напрежение, може да се използва пробна лампа. За проверка на целостта на веригите (при изключено напрежение) може да се използва пробно устройство от милиамперметър и батерия. При липса на милиамперметър може да се използва обикновена крушка, съответстваща на напрежението на батерията.

При проверка и настройка на електрическите задвижвания се използват изключително принципните им схеми, а монтажните схеми се използват при проверка на съединенията между електрошкафа, пулта за управление и управляващите органи, разположени върху работната машина.

Тъй като голяма част от работите по проверката и настройката на схемите за управление могат да се извършват само под напрежение, при осъществяването им трябва да се вземат всички мерки за безопасност на персонала и строго да се спазват всички изисквания по охраната на труда.

Преди започване на проверката на функционирането и настройката на схемата за управление се прави внимателен външен оглед, като трябва да се обърне внимание на правилния монтаж на отделните елементи. Всички оголени, несвързани краища на проводниците (и на резервните) трябва непременно да се изолират, тъй като могат да предизвикат грешни свързвания.

Проверката и настройката на задвижването зависи от характера на схемата, от квалификацията на персонала и от конкретния му опит в настройка на подобни схеми, но съществуват някои

общи принципи, чието спазване може да улесни и значително да съкрати времето за проверка и настройка.

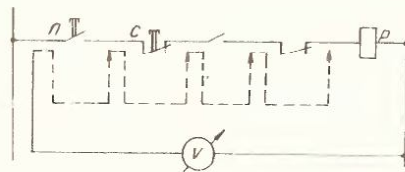
Най-простият и разпространен метод за работа се състои в последователното задействане на различните командни апарати (бутони, крайни превключватели и др.) и наблюдение за правилното действие на съответните участъци от схемата, които включват обикновено не повече от 3-4 апарата. След като схемата и нейното функциониране се познават добре, може да се установят съществуващи неизправности и да се ограничи участъкът, в който трябва да се търсят причините за тях.

За да се избягнат механични повреди в задвижваната машина при евентуално погрешно включване на двигателите, те се изолират чрез изваждане на предпазителите им. За режима на работа и посоката на въртене на двигателите в такъв случай се съди по включването на съответните релейно-контактни апарати.

Когато някои от командните апарати са монтирани на трудно достъпни места в машината, тяхното задействане се имитира чрез свързване на съответните клеми от клеморедата в шкафа за управление.

Проверката и откриването на неизправности в сложни схеми се улеснява чрез проверката на отделни участъци, които се изолират от останалата част чрез прекъсване на съответните проводни връзки. При откриване на неизправния участък изключването може да бъде продължено до откриване на неизправния елемент.

Методът на изключване на отделни участъци може да се използва и без електрическо изолиране от останалите части на схемата. Тогава се проверява входът и изходът на последователно свързаните функционални елементи. На фиг. 2.98 е показано търсенето на неизправност в една от веригите на схема за управление, в която е констатирано, че при натискане на бутона *П* релето *Р* не се задейства.



Фиг. 2.98. Последователна проверка на участък от схемата за управление

Когато някои възли и елементи са оформени в отделни блокове с възможност за бърза замяна, методът на изключването може да се приложи чрез замяна на съответния възел с предварително проверен.

Изложеното дотук не изчерпва разнообразните методи и средства, използвани за проверка и настройка на автоматизираните задвижвания. В системите за автоматично безстепенно регулиране на скоростта на електрическите двигатели е необходима внимателна настройка на параметрите и характеристиките на основните им елементи (ЕМУ, МУ, ПУ и др.). Тази дейност изисква по-специални уреди и средства.

#### Въпроси и задачи

1. Кой начин за осъществяване на електрическите съединения между елементите в шкафа за управление осигурява най-бърз монтаж?
2. Как се осъществяват електрически съединения между подвижни и неподвижни части на машините? Посочете примери, където са осъществени такива връзки. От какъв тип са те?
3. Съставте принципиална схема за директно пускане на реверсивен асинхронен двигател с късосъединен ротор от два различни пункта за управление. Начертайте монтажната схема.
4. Разгледайте схемата за реверсиране на асинхронен електродвигател (фиг. 2.4 в). На какви причини могат да се дължат следните неизправности:
  - а) двигателят не включва при натискане на *PII* и *PI2*;
  - б) двигателят включва при натискане на *PII*, но не включва при натискане на *PI2*;
  - в) двигателят не изключва при натискане на *C*;
  - г) при включване на *K1* и *K2* двигателят се върти в една и съща посока.

## ЧАСТ 3

### ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ МАШИНИ И МЕХАНИЗМИ

#### 3.1. ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА КРАНОВЕ

##### 3.1.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Електрическите кранове са един от най-разпространените промишлени механизми, които намират широко приложение във всички отрасли на народното стопанство. Тези подемно-транспортни машини с различни конструкции служат за извършване на прости и разпространени операции, свързани с издигане и преместване на товари в складови помещения, строителни площадки, цехове и др.

Най-разпространени са крановете от мостов тип или *мостовите кранове*. Тяхната основа е във вид на мост, който може да се премества по релси, монтирани върху носещи колони до стените на помещенията. Когато кранът е предназначен за работа на открито, релсите се монтират на земята, а конструкцията на моста се допълва с опорни крака. Такива кранове се наричат *портални*. Съществуват и специални кранове за извършване на определени работи, високите *кулокранове*, използвани предимно на строежите, *кабелните кранове*, използвани в големи складови помещения и открити рудници, *претоварващите кранове*, предназначени за мините и металургичните предприятия, и др.

Освен изброените видове стационарни кранове, които обслужват определена ограничена територия, разпространени са и различните *подвижни кранове*: автомобилни, гъсенични, железопътни и плаващи.

В зависимост от вида на транспортираните товари в крановете се използват различни захващащи устройства. Най-разпространени са различните видове куки, електромагнити, клеци и др. В зависимост от това на крана се дават съответните наименования — *обикновен, грайферен, магнитен, клецови* и др.

Механизмите на крановете, а оттам и задвижващите ги двигатели и останалите елементи на схемата за управление работят в повторно-кратковременен режим на работа, който в зависимост от характера на товара и условията на работа се дели на четири групи: *лек, среден, тежък и много тежък*.



*Лек режим* е този, при който продължителността на включване (ПВ) е от порядъка на 15 %, броят на включенията е не повече от 60 в час, рядко се работи с максимален товар, а температурата на околната среда е 25–30°C. В лек режим работят механизмите на ремонтните кранове в машинните зали, придвижвателните механизми на строителните кранове и кулокранове и др.

*Средният режим* се характеризира с ПВ=25 %, средно 120 включения в час и различни по големина товари. В такъв режим работят крановете в механичните и монтажните цехове със средносерино производство.

Характерно за *тежкия режим* е работата с максимални натоварвания. Средната продължителност на включване е около 40 %, а броят на включенията в час достига до 240. Този режим е характерен за работата на крановете в механичните и монтажните цехове на заводи с едросерино производство, подземните механизми на строителните кранове и др.

*Много тежкия режим* на работа се характеризира също с максимални натоварвания, продължителност на включване до 60 %, над 240 включения в час и повишена температура на околната среда (до 45°C). В много тежък режим работят крановете в технологичните цехове и складове на металургичните заводи.

Определянето на режима на работа на съответните кранови механизми може да се използва за опростено определяне на необходимата мощност на задвижващия двигател.

Условията, при които работят елементите от задвижването на крановете (електрически двигатели, апарати за управление), са твърде тежки. Това се дължи както на повторно-кратковременния режим на работа, така и на условията на околната среда, която често е влажна, силно запрашена, с резки колебания на температурата. Много от елементите на задвижването са монтирани поради специфичните условия на места, където са трудно достъпни за ремонт. Всичко това изисква използването на елементи с повишена надеждност, съобразени с условията на работа на съответните кранови механизми.

### 3.1.2. ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА КРАНОВИТЕ ЗАДВИЖВАНИЯ

1. Електрически двигатели. Крановите механизми работят в повторно-кратковременен режим с голям брой включения в час с чести реверсирания и претоварвания. Тези изисквания, както и неблагоприятните условия на околната среда са довели до създаване на специални серии двигатели, наречени *кранови*. Характерно за тях е намаленият махов момент за сметка на намаляване на диаметъра и увеличаване на дължината на двигателя. Поради това те имат по-малко време за развъртане от обикновените двигатели. Те имат по-голяма възможност за претоварване, което

се постига чрез използване на изолация от по-висок клас — В и F, и повишена кратност на пусковия момент в сравнение с универсалните двигатели.

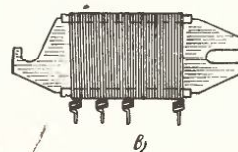
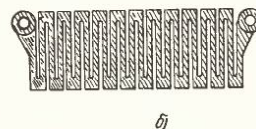
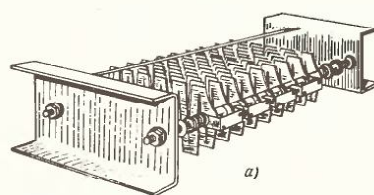
Крановите двигатели са изпълнени най-често като защитени или закрити със самовентилация и са предназначени обикновено за хоризонтален монтаж с помощта на лапи.

Най-голямо приложение за задвижване на крановите механизми намират асинхронните двигатели с навит ротор. При тях регулирането на скоростта в необходимия обхват (който обикновено не е много голям), както и получаване на ниски устойчиви скорости, необходими при някои монтажни операции, е сравнително лесно.

Двигателите за постоянен ток се използват рядко — за някои специални типове кранове, които изискват регулиране в широк обхват или са предназначени за работа с автономни източници на захранване (автомобили, плаващи и др.).

Мощността на двигателите, които работят най-често в кратковременен режим на работа с променливо натоварване, се определя в съответствие с изложените в част 1 методи. Те обаче изискват построяване на товарни диаграми на задвижваните механизми, което е много трудно и в някои случаи практически невъзможно поради разнообразните операции, които те изпълняват. Затова за избор на мощността на двигателите се прилагат опростени методи, които използват класификацията на механизмите по разгледаните режими на работа. Например мощността на двигателите може да се определи по формулата

$$P_{25} = K_1 \cdot K_2 \cdot P_{\max} \quad (3.1)$$



Фиг. 3.1. Общ вид на кранов пусково-регулаторен резистор (а) и на отделни негови елементи: чугуnenи (б) и жици (в)

където  $P_{25}$  е номиналната мощност на двигателя при  $PВ=25\%$ ;  $P_{max}$  — необходимата мощност за издигане или пренасяне на максималния товар;  $K_1$  — коефициент, зависещ от режима на работа на крановия механизъм: 0,5 — за лек, 0,75 — за среден, 1,0 — за тежък, и 1,5 за много тежък режим;  $K_2$  — коефициент, зависещ от отношението на времето за пускане на двигателя  $t_n$  към продължителността на работната операция  $t_p$ .

Стойността на  $K_2$  се определя по специални графици и се изменя приблизително от 1,0 до 1,5 при изменение на  $t_n/t_p$  от 0,2 до 0,8 за асинхронни двигатели с навит ротор и двигатели за постоянен ток.

**2. Пусково-регулирущи резистори.** Това са резистори, предназначени за пускане, спиране и регулиране на скоростта на крановите двигатели. При мощните двигатели, където токът в роторната верига достига няколко десетки А, резисторите се конструират от леки чугунени елементи (фиг. 3.1 б), от които се съставят отделни съпротивителни касетки (фиг. 3.1 а). За по-малки токове отделните съпротивителни елементи се изготвят от константан, фехрал или друга сплав с голямо специфично съпротивление. Проводник от тази сплав се навива върху метална пластинка с порцеланова изолация (фиг. 3.1 в). Тези елементи се обединяват като чугунците в отделни касетки.

Регулиращите резистори се подбират по необходимата стойност на съпротивлението им и максимално допустим ток.

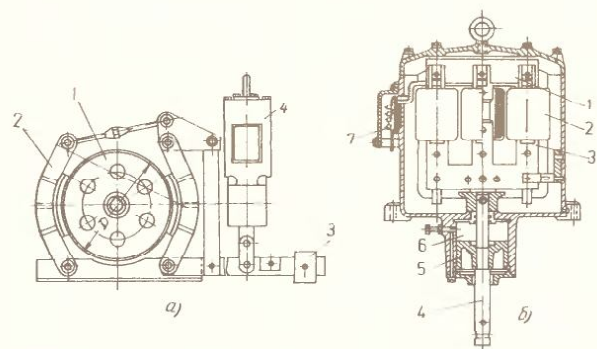
**3. Електромагнитни спирачки.** Важен елемент от електрозадвижването на крановете са електромагнитните спирачни механизми (електромагнитни спирачки), които трябва да осигурят сигурно спиране (на механизмите за придвижване на крана) и задържане на товара (за повдигащите механизми) при изключване на съответните двигатели или аварийно прекъсване на захранването.

На фиг. 3.2 а е показан най-разпространеният конструктивен вариант на електромагнитна спирачка, състояща се от спирачен барабан 1, монтиран на вала на задвижващия двигател, спирачни челюсти 2, чугунена тежест 3, електромагнит 4 и свързваща ги лостова система. В нормално състояние, когато електромагнитът е изключен, спирачните челюсти се притискат към барабана под действието на тежестта 3 и осигуряват сигурното му спиране. При включване на електромагнита, което се извършва едновременно с двигателя, котвата му се премества нагоре и чрез лостовата система освобождава барабана от притискането на спирачните челюсти.

Конструкцията на електромагнита е показана на фиг. 3.2 б. Той има Ш-образна магнитна система, състояща се от неподвижна част 1 и подвижна 3, към която е закрепен лостът 4. Намотките 2 са свързани обикновено в звезда и се захранват с трифазно променливо напрежение чрез клемната кутия 7. Цилиндърът 6

и буталото 5 служат за смекчаване на механичните удари при включване и изключване.

Разгледаните променливотокови електромагнити имат сравнително най-просто устройство, но и твърде съществен недоста-



Фиг. 3.2. Кранова електромагнитна спирачка (а) и спирачен електромагнит (б)

тък — много голям ток на включване (в началния момент при отворена магнитна система той е 10 ÷ 30 пъти по-голям от тока при затворена). Това изисква добра настройка на подвижната система на спирачката, която да осигури плътно затваряне на магнитната система на електромагнита. В противен случай при работа през намотките протича силен ток и те често изгарят.

При постояннотокови задвижвания се използват електромагнити за постоянен ток, включвани последователно или паралелно на котвената верига на двигателя.

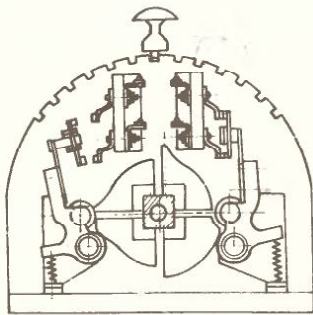
**4. Апаратура за ръчно управление.** Крановикът управлява крановите механизми най-често с помощта на контролери. Контролерът е многопозиционен превключвателен апарат, предназначен за ръчно превключване на електрически вериги. По своето устройство и предназначение контролерите биват два вида: силови и командни.

**Силовите контролери** са предназначени за непосредствено превключване на силовите вериги на двигателите. В зависимост от конструкцията на превключващия механизъм те биват *баранни* и *пацеви*.

**Командоконтролерите** (фиг. 3.3) извършват превключвания в оперативните вериги на схемите за управление, като превключванията в силовите вериги се осъществяват с контактори.



Използването на силови контролери значително опростява схемите за управление, но те са с големи размери и изискват значителни физически усилия при работа с тях. Затова се използват обикновено за управление на кранови двигатели с малка мощност и не много тежък режим на работа. Във всички други случаи се предпочитат командоконтролерите, които са по-удобни и по-надеждни. И двата вида контролери се произвеждат с различни диаграми на превключване в зависимост от необходимите механични характеристики на управлявания двигател.



Фиг. 3.3. Общ вид на командоконтролер

предпазители или максималнотокови релета;

б) нулева защита, която не позволява самопроизволно включване на двигателите при възстановяване на мрежовото напрежение;

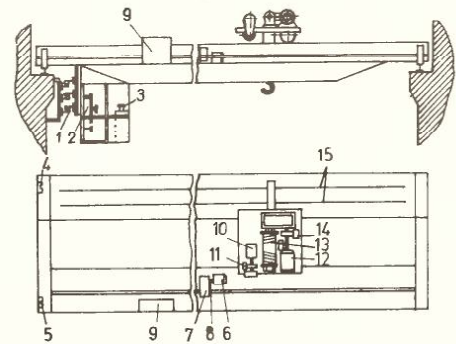
в) крайна защита, която осигурява движението на работните органи в съответствие с конструктивните особености и монтажа на крана (най-често крайни превключватели, монтирани неподвижно в крайните участъци на пътя);

г) технологични защиты, които да не позволят включването на някои механизми, когато това може да бъде опасно за работата на други механизми или за обслужващия персонал — най-често различните блокировки, които не позволяват включването на крана, ако вратата на кабината или капакът на горния люк не са затворени (също с пътни превключватели).

Главният превключвател, апаратите за защита (максималнотокови релета, предпазители) и част от защитните и сигнални вериги се обединяват конструктивно в един елемент, наречен *защитно табло*. Това, освен че улеснява търсенето и отстраняването на повреди, допринася и за стандартизация и унификация на системите за управление. В зависимост от типа на двигателите защитните табла биват за променлив и за постоянен ток.

### 3.1.3. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МОСТОВИ КРАНОВЕ

Обикновеният мостов кран с кука (фиг. 3.4), най-широко разпространен във всички промишлени предприятия, се състои от



Фиг. 3.4. Общ вид на мостов кран

мост, количка с подемен механизъм и кабината, в които са монтирани апаратите за управление.

Мостът на крана се състои от две стоманени греди. Върху тях са монтирани релсите, по които се премества количката с подемния механизъм. Двигателят за придвижване на моста 6 е монтиран заедно с редуктора 7 и електромагнитната спирачка 8 върху една от гредите. Двете водещи козела на моста се задвижват чрез трансмисионен вал.

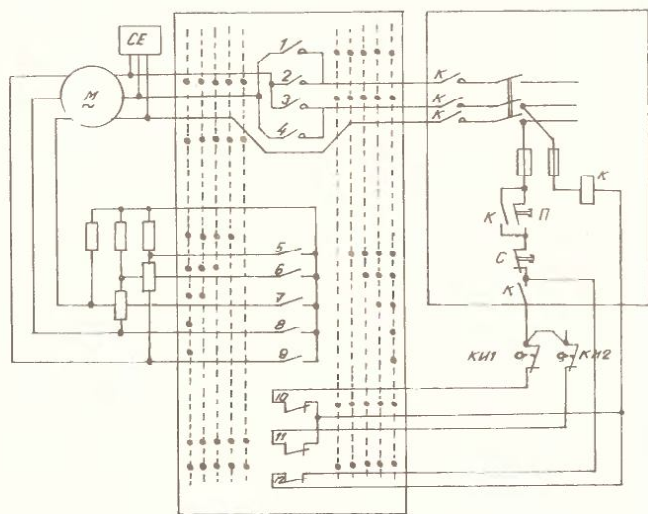
Количката с подемния механизъм се придвижва от отделен двигател 10, монтиран върху нея. Подемният механизъм, монтиран върху количката, се състои от двигател 12, барабан полиспасти 13, електромагнитна спирачка 14 и редуктор 11.

За ограничаване на движението на моста служат монтираните върху него крайни превключватели 4 и 5. Останалите апарати за управление са монтирани в шкафа за управление 2, разположен в кабината. Двигателите се управляват обикновено от контролери 3, също разположени в кабината. Пусково-регулациите резистори 9 се монтират на моста.

Кранът се захранва с електрическа енергия по контактни проводници (тролеи) 1 — обикновено стоманен прокат с различна форма (плоска, ъглова, релсова). Тролеите се разполагат по дължината на крановия път, не по-ниско от 3,5 м от пода. За свърз-

ване на елементите от задвижването, монтирани върху количката служат допълнителните контактни проводници 15, монтирани на моста.

Крановите механизми на обикновените универсални мостови



Фиг. 3.5. Управление на асинхронен двигател с навит ротор с помощта на контролер NT-51

кранове не изискват регулиране на скоростта в широк обхват, нито особена твърдост на механичните характеристики. Поради това за задвижването им най-често се използват асинхронни двигатели с навит ротор.

На фиг. 3.5 е показана принципната схема за управление на асинхронен двигател с навит ротор чрез или със силовия контролер NT-51 със симетрична схема на включване, който управлява двигателите на всички механизми.

Двигателят  $M$  се захранва през контактите на контактора  $K$  за нулева защита и автоматично изключване при задействане на някои от крайните изключватели за двете посоки на движение —  $KИ1$  и  $KИ2$ . Контактът се включва с натискане на бутон  $\Pi$  при условие, че контролерът е в нулево положение и контактът му  $12$  е затворен. При това към мрежата се включва само

една от фазите на двигателя. Веригите на останалите две са прекъснати от контактите на контролера.

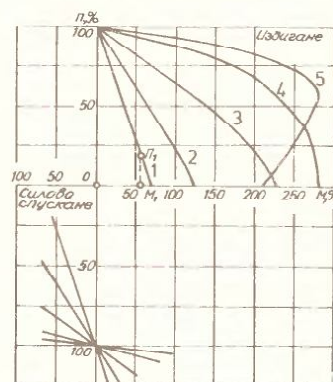
При завъртане на контролера на първа степен в желаната посока на движение се захранва статорната верига и двигателят се развърта при максимална стойност на съпротивлението на пусково-регулация резистор в роторната му верига. Получената механична характеристика 1 (фиг. 3.6) е с малка твърдост. При завъртане на контролера на следващите позиции се изключват съответните степени от пусково-регулация резистор, при което скоростта се изменя. Механичните характеристики при петте позиции на контролера са показани на фиг. 3.6.

Контакторът  $K$  се захранва през един от крайните преклювачатели ( $KИ1$  за „нагоре“ или  $KИ2$  за „надолу“ и „назад“) и се прекъсва при задействането му. Намотката на спирания електромагнит  $CE$  е включена паралелно на двигателя и се захранва заедно с него.

На фиг. 3.7 е показана схемата за управление на асинхронен двигател с навит ротор на един от крановите механизми с използване на командоконтролер от тип  $KС$ , симетричен, с по четири фиксирани положения за двете посоки на въртене.

При включване на прекъсвача  $\Pi$  се захранва релето за напрежение  $РН$ , което с н. о. си контакт включва контактора  $K$ , ако контролерът е в нулево положение (нулева защита). Двигателят се включва към мрежата на първата позиция на контролера чрез контактора  $K$  и един от реверсивните контактори  $K_1$  или  $K_2$  в зависимост от желаната посока на въртене. На следващите позиции на контролера се включват последователно контакторите  $K3-K6$ , които изключват съответните степени на регулирания резистор. В крайната позиция на контролера в роторната верига остава включена последната степен на резистора, което е необходимо за получаване на по-малка механична характеристика.

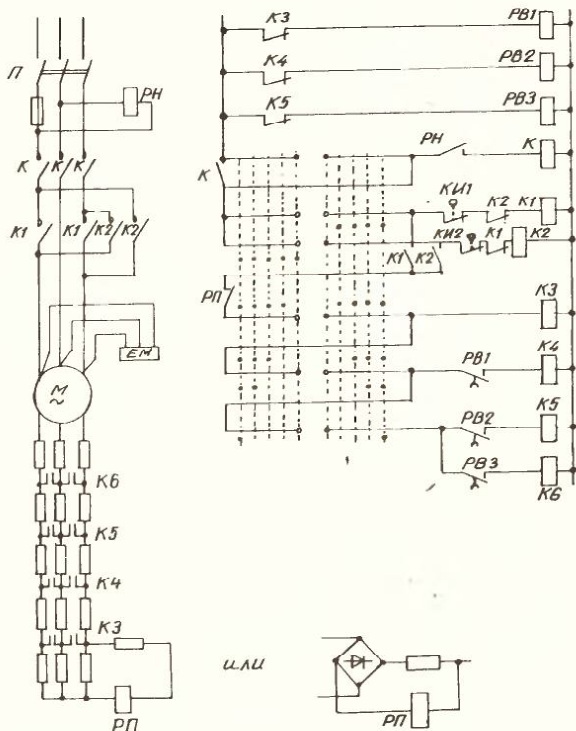
Пусковият процес на двигателя е автоматизиран във функция от времето с трите релета за време  $PВ1-PВ3$ . Да предположим,



Фиг. 3.6. Механична характеристика на асинхронен двигател, управляван с контролер NT-51



че контролерът е поставен направо на крайната си четвърта позиция. В такъв случай най-напред ще включат само контактите  $K1$  (или  $K2$ ) и  $K3$ . Останалите контактори  $K4—K6$  ще се включат със съответно закъснение, определено от релетата за време

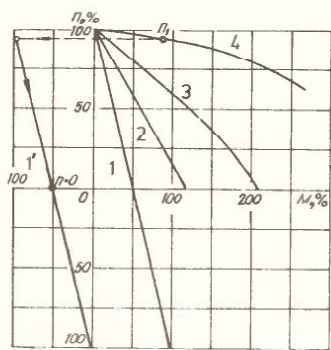


Фиг. 3.7. Управление на асинхронен двигател с навит ротор с командоконтролер от тип КС

$PВ1$  и  $PВ3$ . Механичните характеристики на двигателя са показани на фиг. 3.8.

За намаляване на времето за спиране в разглежданата схема се използва режим на противовключване, управляван от релето

$PП$ . Нека двигателят е включен в посока „нагоре“ и работи на механичната си характеристика 4. За да се осъществи режим на противовключване, командоконтролерът бързо се превключва на една от позициите „надолу“. В тази позиция най-напред включва контакторът  $K2$  и превключва двигателя за обратната посока на въртене. При това на изводите на релето  $PП$  възниква достатъчно високо напрежение и то се задейства, като с и. з. си контакт прекъсва веригите на контакторите  $K3—K6$ . Поради това двигателят работи в режим на противовключване с напълно включен резистор в роторната верига на механичната си характеристика 1 (фиг. 3.8). Ако при намаляване на скоростта до нула контролерът не се поставя в нулево положение, релето  $PП$  изключва и двигателят автоматично се развърта в обратната посока до скорост, зависеща от положението на командоконтролера.



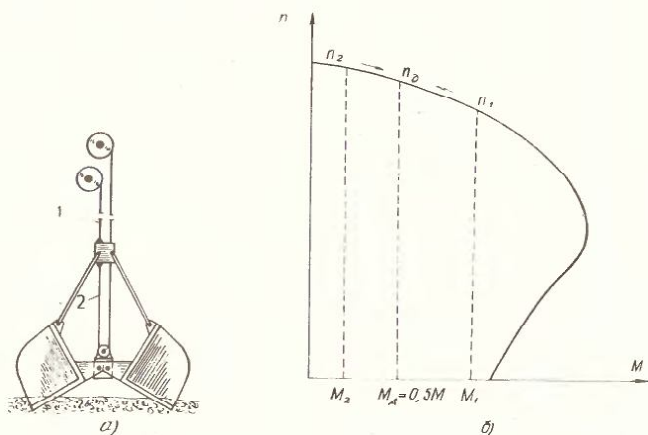
Фиг. 3.8. Механични характеристики на асинхронен двигател, управляван с командоконтролер от тип КС

### 3.1.4. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ГРАЙФЕРНИ КРАНОВЕ

Грайферните кранове се различават от обикновените мостови кранове по това, че имат специално захранващо устройство, предназначено за издигане и пренасяне на насипни товари (пясък, въглища и др.), наречено *грайфер*. Най-разпространен е грайферът, чиято кинематична схема е показана на фиг. 3.9а. Управява се с две въжета — издигащо 1 и затварящо 2, на отделен барабан. При издигане или спускане на отворен или затворен грайфер двата двигателя се въртят еднопосочно с една и съща скорост. За отваряне на грайфера при движение надолу се спира двигателят на издигащото въже. Затварящото въже продължава да отпуска грайфера, при което челюстите му се отварят под действието на тежестта си. Грайферът се затваря със затварящия барабан, докато другият е неподвижен.

От описанието на работата на грайфера се вижда, че при из-

дигане или спускане на затворен грайфер скоростта и опъванияра на двете въжета трябва да са еднакви, тъй като евентуална разлика може да доведе до отварянето му и изсипване на товара. Това изискване се осъществява при задвижването им от един



Фиг. 3.9. Грайферен механизъм. Общ вид (а), изравняване на скоростите на двата барабана (б)

двигател, но най-често се прилага разделеното задвижване на двата барабана от два отделни двигателя, като механичната връзка между барабаните (чрез въжетата) е напълно достатъчна, за да осигури изравняването на скоростите и натоварванията на двата двигателя (фиг. 3.9 б).

Нека в определен момент двигателите работят в една и съща точка от механичната си характеристика със скорост на въртене  $n_d$  и момент  $M_d$ , равен на половината от общия съпротивителен момент  $M_c$ . Ако по някаква причина опъването на едно от въжетата се намали, а на другото се увеличи, двигателят на барабана с по-натовареното въже ще започне да се върти по-бавно — със скорост  $n_1$ , а другият двигател ще се разтовари и ще увеличи скоростта си до  $n_2$ . Тъй като  $n_2 > n_1$ , натоварването на втория двигател нараства, а скоростта му намалява. Това ще намали натоварването и увеличава скоростта на първия двигател. В крайна сметка както натоварването (опъванията на двете въжета), така и скоростите на двигателите ще се изравнят отново. Този процес е показан на фиг. 3.9 б със стрелки.

За да може процесът на изравняване на скоростите и опъванията да протича по-бързо, механичните характеристики на двигателите трябва да бъдат с по-голям наклон, т. е. по-меки. За целта при използване на асинхронни двигатели с навит ротор в роторните им вериги се оставят постоянно включени резистори.

Двата двигателя на грайфера най-често се управляват с командоконтролери, монтирани един до друг (за едновременно управление с една ръка).

### 3.1.5. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МАГНИТНИ КРАНОВЕ

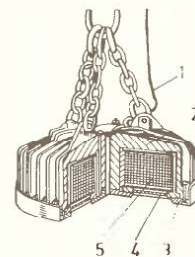
Магнитните кранове са обикновени мостови кранове, на които захващащото устройство е електромагнит.

Подемните електромагнити са обикновено кръгли или правоъгълни. Състоят се от стоманен корпус 2, в който е поставена хранващата намотка 5, залята с компаундна маса (фиг. 3.10). Полусните накрайници 3 се закрепват за корпуса с болтове. Отдолу намотката е защитена от немагнитния пръстен 4. Тя се хранва с помощта на гъвкав кабел 1.

Подемната сила на електромагнита се мени в твърде широки граници в зависимост от вида на издигнатия товар. Тя е най-голяма, когато товарът е във вид на плочи или блокове, а най-малка — при товар във вид на стружки и други дребни отпадъци. Подемната сила се изменя и в зависимост от температурата на пренасяните предмети. При температура около  $720^{\circ}\text{C}$  тя спада до нула, тъй като феромагнитните материали губят магнитните си свойства.

Характерно при използването на електромагнит като захващащо устройство е това, че за освобождаването на товара е необходимо пълното му размагнитване, което изисква хранването на намотката с напрежение с обратна полярност. Освен това при управлението му трябва да се вземат мерки за ограничаване на значителните пренапрежения, които възникват при изключване на намотката поради голямата ѝ индуктивност.

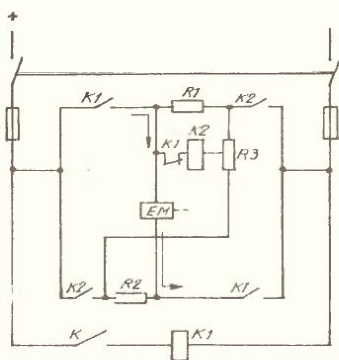
На фиг. 3.11 е показана принципната схема за управление на подемен електромагнит. За захващане на товара се завърта ключът  $K$ . Задействува се контакторът  $KI$ , който включва намотката на електромагнита към хранващото постоянно напрежение.



Фиг. 3.10. Подемен електромагнит



За да се освободи товарът, се изключва ключът  $K$ . Под действието на е. д. и. на самоиндукция през намотката на електромагнитна продължава да тече ток в същата посока през веригата, образувана от разрядните резистори  $R1$ ,  $R2$  и  $R3$ . На изходите на



Фиг. 3.11. Схема за управление на подемен електромагнит

$K2$  се управлява от реле за време.

Веригата на захранващата намотка на електромагнита е винаги затворена през разрядните резистори  $R1-R2$  за избягване на недопустимо големите пренапрежения при изключване, които могат да доведат до пробив на изолацията.

Останалата част на електрозадвижването и автоматизацията на магнитните кранове по нищо не се отличава от тази на обикновените мостови кранове.

#### Въпроси и задачи

1. С какво се характеризират условията на работа на крановите механизми?
2. Защо в крановете се използват електромагнитни спирачни устройства? Могат ли те да бъдат заменени от системи за електрическо спиране на двигателите?
3. Защо на крановите електродвигатели не се поставя термична защита?
4. Защо управлението на крановите механизми се осъществява от командо-контролер, а не от бутони за управление?

## 3.2. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА АСАНСЬОРИ

### 3.2.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Асансьорите са подедни механизми, предназначени за превоз на хора и товари в многоетажни здания. Независимо от голямото разнообразие на конструктивни варианти всички асансьори се състоят от кабина, противотежест, подемно устройство и апаратура за управление (фиг. 3.12). Подемното устройство 2, включващо двигател, електромагнитна спирачка и редуктор, е разположено в горната част. Тяговото усилие се предава на кабината и противотежестта чрез стоманени въжета 3. Противотежестта 7 обикновено се избира така, че да уравновесява масата на празната кабина и част от номиналния товар, т. е.

$$G_{пр} = G_0 + \alpha G_n, \quad (3.2)$$

където  $G_0$  е масата на празната кабина;  $G_n$  — номиналният товар на асансьора;  $\alpha$  — коефициентът на уравновесяване, обикновено  $\alpha = 0,5$ .

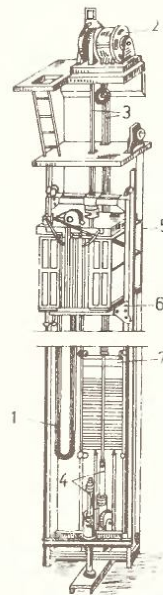
В процеса на работа кабината 5 се премества в специално обзаведена шахта по направляващи релси 6. Противотежестта 7 също се премества успоредно на кабината по направляващи релси. За предпазване от удрянето им в дъното на шахтата са предвидени специални буфери 4 — пружинни или маслени.

Таблото за управление и апаратите, монтирани в кабината, се свързват чрез гъвкавия кабел 1.

Според предназначението си асансьорите биват няколко основни вида:

а. *Пътнически асансьори.* Монтират се в жилища, административни и търговски сгради. Основното им предназначение е да превозват пътници заедно с багажите им. Обикновено управлението им се осъществява от самите пътници, но в някои случаи и от специален придружител. Основните изисквания към тях са свързани с надеждната им и безопасна работа.

б. *Товарни асансьори.* Предназначени са изключително за пренасяне на товари в промишлени предприятия, складове, магазини и други. Кабините им имат значително по-големи размери за преместване на пренасяния товар и в някои случаи за влизане на



Фиг. 3.12. Общ вид на пътнически асансьор

съответни транспортни устройства — ръчна количка, електрокар, вагонетка. Това ускорява значително товарно-разтоварните операции, но поставя повишени изисквания по отношение на точността на спиране.

Управлението на товарните асансьори може да се извършва от придружител или без придружител (от етажните площадки). При асансьори от втория вид пътуването на хора в кабината е забранено.

в. *Болнични асансьори.* Предназначени са за болнични заведения и в кабината им трябва да се помества болен (на носилка или на количка) и до четири съпровождащи го лица. При тези асансьори има повишени изисквания към плавността при тръгване и спиране, скоростта на движение и точността на спиране. Управлението се най-често от придружител.

В зависимост от скоростта на движение на асансьорите те се разделят на *бавноходни* (със скорост до 0,75 m/s), *бързоходни* (0,75 ÷ 1,5 m/s) и *високоскоростни* — над 1,5 m/s. Максималната скорост на движение на кабината не трябва да надвишава физиологично обусловената граница, над която възникват усещания за болка поради бързата промяна на барометричното налягане. Тази граница е около 10 m/s. Практически над 90 % от произвежданите асансьори са със скорост до 2,5 m/s.

Пряко свързано със скоростта на движение е ускорението при тръгване и спиране. Човешкият организъм трудно понася ускорение над 2 m/s<sup>2</sup>, което е и горна граница на допустимото ускорение. У нас обикновено ускорението на асансьорните уредби е под 1 m/s<sup>2</sup>.

Физиологичното състояние на пътуващите в асансьора е свързано и с първата производна на ускорението (така нареченото „дръпване“), което не трябва да надминава 5 m/s<sup>3</sup>.

Основните изисквания към системата за задвижване и управление на асансьорите са следните:

1. Да осигури максималната производителност на асансьорната уредба, което е особено важно при високите обществени и административни сгради.

2. Да осигури плавно потегляне и спиране на кабината, като стойностите на ускорението и „дръпването“ не надминават споменатите по-горе физиологични норми.

3. Да дава възможност за повикване на кабината от всеки етаж и за адресирането ѝ на всеки етаж от пътуващите в нея.

4. Да осигури спиране на кабината на всеки етаж с определена точност. Неточното спиране увеличава времето за слизване и качване на пътниците, а при товарните асансьори затруднява и даже прави невъзможно товаренето и разтоварването. Изобщо недостатъчната точност влошава производителността и експлоатационните качества и създава условия за трудови злополуки.

Обикновено грешката при спиране не трябва да надвишава  $\pm(40 - 50 \text{ mm})$  при едноскоростни пътнически асансьори в жилищни сгради и  $\pm(5 - 10) \text{ mm}$  при двускоростни и бързоходни пътнически асансьори. За някои специални видове товарни асансьори тази грешка не трябва да е по-голяма от  $\pm(1 - 2) \text{ mm}$ .

5. Да осигури защита от аварийни положения на пътуващите в асансьора и на хората, имащи непосредствен допир с някои от съоръженията на асансьорната уредба.

### 3.2.2. ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ЗАДВИЖВАНЕТО И СИСТЕМАТА ЗА УПРАВЛЕНИЕ

За задвижване на бавноходни пътнически асансьори в невисоки жилищни сгради (до 10 етаж) най-често се използва асинхронен двигател с късосъединен ротор. Това опростява максимално схемата за управление и нейното обслужване. Малката скорост на движение на кабината ѝ позволява да спира на желания етаж със задоволителна точност, без да са необходими някакви специални мерки за това.

За подобряване на точността на спиране при бързоходните асансьори се използват двускоростни асинхронни двигатели с преминаване на понижена скорост в процеса на спиране.

За тази цел в някои случаи се използва и задвижване с два двигателя. Основното движение е от двускоростен асинхронен двигател. Вторият двигател е обикновено маломощен асинхронен двигател, който чрез допълнителен редуктор задвижва кабината с 5—10 пъти по-малка скорост (микропривод) и осигурява точното ѝ довеждане до желания етаж след спиране на основния двигател.

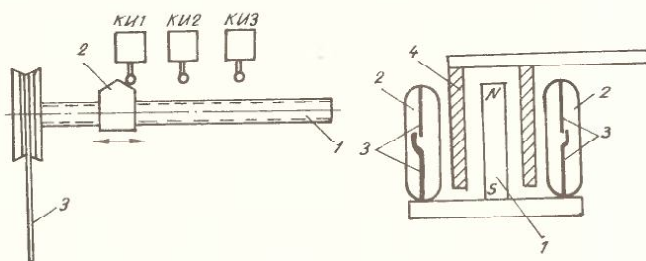
Скоростните и високоскоростни асансьори се задвижват най-често с двигатели за постоянен ток по някоя от разгледаните в предишните раздели системи, но системата за управление с значително по-сложна, за да се удовлетворят всички технически изисквания, свързани с точното спиране и оптималното изменение на скоростта и ускорението на кабината.

Режимът на работа на двигателя е повторно-кратковременен с променливо натоварване и голям брой включения в час. Мощността му се определя от товарната диаграма. Ако построяването ѝ не е възможно, мощността се избира при най-тежък режим на работа — издигане на пълен товар и спускане на празна кабината, като се проверява на допустим брой включения в час.

Асансьорите са типични производствени механизми, чиято автоматизация се осъществява във функция от пътя. Един от основните елементи в системите за управление им с пътният прекъсвач или както се нарича в този случай — етажен превключвател.



В старите конструкции асансьори такива етажни превключватели се монтираха на всеки етаж и се задействаха механично при преминаване на кабината. Поради недостатъците им бяха заменени с централен етажен превключвател, който се монтира в ма-



Фиг. 3.13. Централен етажен превключвател

Фиг. 3.14. Безконтактен магнитен етажен превключвател

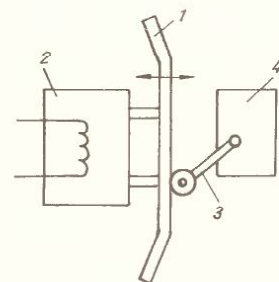
шинното помещение и се задвижва от кабината чрез стоманено въже, което преминава през цялата височина на шахтата и образува затворен кръг. На фиг. 3.13 е показана схематично една от възможните конструкции на централен етажен превключвател. При въртене на винта 1 от кабината чрез стоманено въже 3 превключващият палец 2 се премества хоризонтално и задейства последователно пътните превключватели *KI1* - *KI3*, като положението на всеки от тях съответства на положението на кабината на определен етаж. Основен недостатък на тези превключватели е малката им точност поради хлабини в кинематичните вериги, удължаване на въжето и др.

Напоследък в асансьорите широко приложение намират безконтактните магнитни превключватели от индуктивен или магнитен тип, монтирани върху кабината (фиг. 3.14). Те се състоят от постоянен магнит 1 и две ампули с магнитно-управляеми контакти 2, разположени на 15-20 mm от двете му страни и закрепени на обща основа. В нормално състояние под действието на магнитните контакти 3 и на двете ампули са затворени. При достигане на кабината до етаж превключвателят среща магнитния шунт 4 (флагче) от феромагнитен материал. Силовите линии на магнитата се затварят през него, двата контакти 3 се отварят и дават съответен сигнал в схемата за управление. Магнитният шунт се монтира на разстояние преди достигане на етаж, което зависи от скоростта на движение на кабината и схемата за управление.

За осигуряване на безопасността на пътниците в схемата за управление на асансьора се въвеждат редица блокировки, които

контролират състоянието на асансьорната уредба. Те се осигуряват най-често от пътни превключватели с подходяща конструкция. Такива блокировки се използват най-често за контролиране на затварянето и заключването на шахтовите врати на етажите, затварянето на вратата на кабината (ако има такава), наличие на хора в кабината (контакти под подвижния под) и т. н.

Отварянето на шахтовите врати при спиране на кабината на определен етаж се управлява механично от т. нар. *електрическа отбивачка*. Работната част на отбивачката (фиг. 3.15) е шината 1 с дължина около 400 mm, която се придвижва хоризонтално под действието на електромагнита 2. В отпуснато състояние шината под действието на пружина натиска лоста 3 и позволява отключване и отваряне на вратата. При движение на кабината електромагнитът 2 е захранван, шината е прибрана към него и вратите на етажите, покрай които кабината минава, без да спира, остават заключени.



Фиг. 3.15. Електрическа отбивачка

Асансьорите се управляват с бутони, монтирани на специални табла в кабината и на етажните площадки. Използува се и светлинна сигнализация за положението на кабината, посоката на движението ѝ, както и за някои аварийни режими (най-често за претоварване).

Схемите за управление на преобладаващата част от асансьорите се изграждат от релейно-контактни елементи. За произвежданите у нас асансьори се използват постояннотокови релета от клапанен тип с две намотки, свързани самостоятелно или в комбинация. Необходимите закъснения при включване и изключване се осъществяват чрез специални схеми на свързване (вж. фиг. 2.12)

### 3.2.3. СИСТЕМИ И СХЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА АСАНСЬОРИ

Съществуващите системи и схеми за управление на асансьорите са твърде разнообразни, но могат да се сведат до няколко основни групи:

1. Система с лостово управление, наречено още система за управление с придружител. Команден орган е трипозиционен лостов превключвател, чиито крайни положения съответствуват на двете посоки на движение. След връщането на лоста в не-

утрално положение кабината спира на следващия по посоката на движение етаж. Тези превключвания се осъществяват от специално лице, придружаващо кабината. Тази система за управление е най-проста, но се изпълнява твърде рядко поради необходимостта от придружител.

2. Система с обикновено бутонно управление. Тя осигурява движение на кабината до желания етаж, който може да се избере чрез натискане на съответен бутон на етаж или вътре в кабината. Системата може да приема нова команда само след изпълнение на текущата. Това също е сравнително проста система, която се използва широко за управление на бавноходни асансьори в жилищни сгради. Тя обаче има два съществени недостатъка:

а. Управлението е свързано със загуба на време, тъй като влезлите в кабината пътници трябва да изяснят предварително кой за къде пътува и да натискат бутоните за управление по реда на следване на желаните етажи.

б. Понеже системата не може да приема нови команди по време на изпълнение на текущата, кабината твърде често преминава празна или недонатоварена покрай етажи с чакащи пътници. С това увеличава времето за обслужване и намалява производителността на асансьора.

3. Система с бутонно управление и запомняне на командите. При нея всеки от влизащите в кабината пътници натиска бутона за желания от него етаж. Командите се запомнят и се изпълняват по реда на следване на етажите. Така се отстранява първият недостатък на системата с обикновено бутонно управление.

4. Система с бутонно управление и изпълнение на командите по реда на подаванията им. Тази система е по-„справедлива“ по отношение на пътниците, но и тя е свързана с твърде големи празни или ненатоварени пробези.

Поради ниската си производителност горните системи са твърде остарели и не се използват. Могат да се срещнат при някои стари конструкции, които са още в експлоатация. В съвременните асансьори се използват някои от следващите системи за управление.

5. Система със събирателно управление. Системата запомня подадените в кабината команди, като приема и текущи повиквания от етажите, покрай които преминава. Това е модерна система за управление, осигуряваща висока производителност на асансьорните уредби, която се използва широко за управление на асансьорите в големи хотели и административни сгради. По тази система се и управляват производствените у нас асансьори.

6. Система за групово управление. Това е система със събирателно управление, приложена към група от 2 или 3 асансьора. Повикванията от етажите се изпълняват от асансьора, чиято

кабина е най-близо. Това намалява до минимум времето за обслужване и празните пробези.

Системите със събирателно и групово управление са основните, които се срещат в асансьорите през последните 15–20 години. Освен тях съществуват и някои по-сложни системи като тези с програмно и адаптивно управление, които намират приложение в някои специални видове асансьори.

Ще разгледаме най-напред по-подробно схемата за бутонно управление на обикновен бавноходен пътнически асансьор, задвижван от асинхронен двигател с късосоединен ротор (фиг. 3.16).

Асансьорът обслужва 4 етажа, в съответствие с което в схемата участват съответен брой бутони за управление, контактният централния етажен превключвател ЦЕП и междинни етажни релета РЕ. В схемата за управление са предвидени блокировки за осигуряване на безопасността на пътниците: крайните изключватели КВ1–КВ4, които се задействуват от вратите на етажите и не допускат включването на задвижването, ако някоя от тях е отворена; крайните изключватели КИ1 и КИ2, монтирани върху кабината, които изключват задвижването при скъсване на въжето и задействуват механичното захващанно устройство, което задържа кабината към стените на шахтата.

В управляващата верига участвуват още крайните изключватели на вратата КВ5 и на пода на кабината — КИ1 и КИ2. КИ се задействуват и отварят контактите си, когато в кабината има пътници. Тогава двигателят може да се включи само от бутоните, разположени в кабината, ако вратата ѝ е затворена (КВ5 е включен). Изключвателят КИ1 създава паралелна верига, позволяваща да се повика кабината чрез някои от етажните бутони, когато в нея няма хора и вратата ѝ е отворена.

Състоянието на схемата за управление е показано в момент, когато кабината е спряла на втория етаж. Да предположим, че влезлият в нея пътникът иска да отиде на четвъртия и натиска съответния бутон. Ако всички врати са затворени, ще се включи етажното реле РЕ4 и чрез н. о. си контакти ще включи контактора за движение нагоре К1 през контакта на етажния превключвател ЦЕ4. Движението на кабината ще се прекрати, когато тя достигне четвъртия етаж и превключи контактите на етажния превключвател ЦЕ4 в неутрално положение (изключват етажното реле РЕ4 и К1).

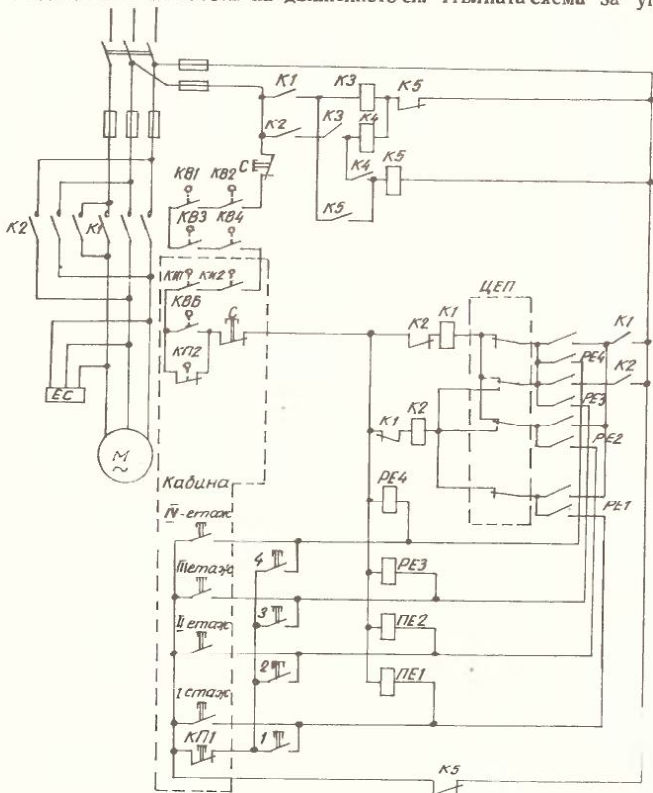
Аналогична е работата на схемата, ако пътникът иска да слезе на първия етаж. В такъв случай се задействува етажното реле РЕ1 и чрез контакта на етажния превключвател ЦЕ1 включва контактора за движение надолу К2.

Повикане на кабината от етажните площадки е възможно, когато в кабината няма пътници. Действието на схемата при натискане на някои от етажните бутони е напълно аналогично на описаното.

В схемата не са показани веригите за светлинна сигнализация на всеки от етажите, както асансьорът е в движение.



Произвежданите сега у нас асансьори са със система за събирателно управление, която приема и запомня всички подадени команди от кабината и етажните площадки и ги изпълнява последователно по посока на движението си. Пълната схема за уп-

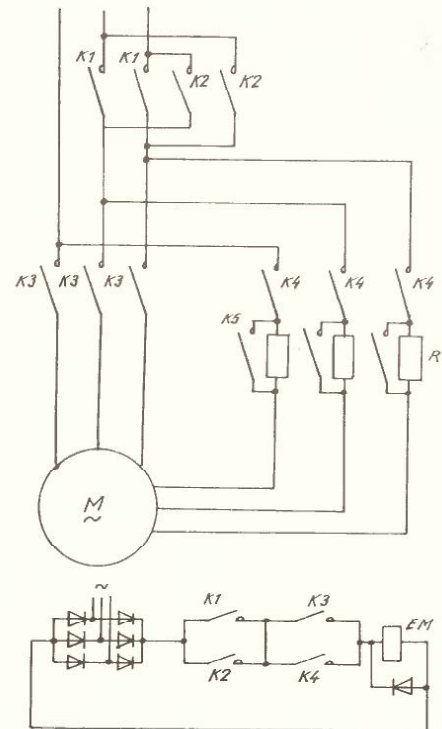


Фиг. 3.16. Схема за управление на обикновен пътнически асансьор

равление на асансьора е сложна. Ще се спрем само на някои по-характерни елементи в нея.

Асансьорът се задвижва от двускоростен асинхронен двигател с отношение на честотите на въртене 4:1 или 6:1. На фиг.3.17

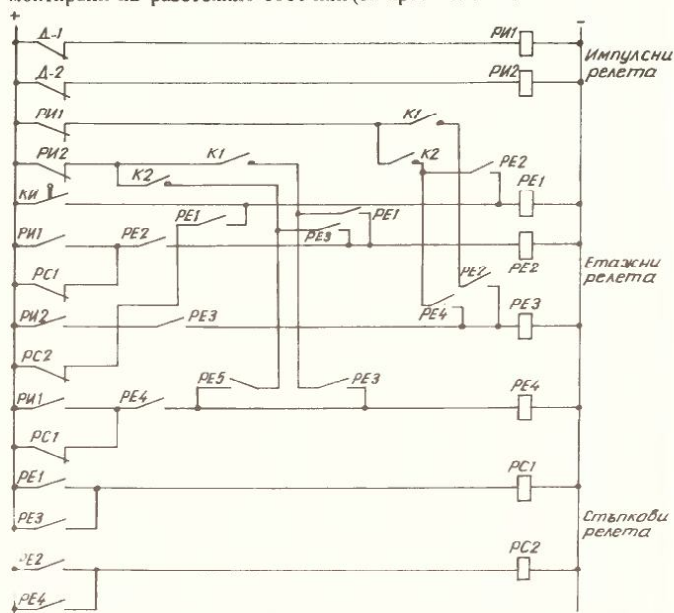
е показана силовата част от системата за управление на главното задвижване. Двигателят се реверсира от контакторите  $K1$  и  $K2$  и се включва на голяма и малка скорост от  $K3$  и  $K4$ . При малка скорост във веригата на двигателите са включени резисторите  $R$ ,



Фиг. 3.17. Схема на главното задвижване на асансьор със събирателно управление

които се шунтират от контактора  $K5$  със закъснение около 0,7 s. Първоначалното включване на резисторите осигуряват плавно преминаване от голяма към малка скорост на движение на кабината.

Превключването на скоростта и изключването на двигателя при достигане на желания етаж се управлява от магнитен етажнен превключвател (фиг. 3.14) и магнитни шунтове (флагчета), монтирани на разстояние 1100 mm (за превключване на малка ско-



Фиг. 3.16. Релейна схема за управление на движението на кабината на всички етажи със събирателно управление

рост) и 200 mm (за изключване на двигателя) преди достигане на етаж (и в двете посоки). След изключване на двигателя се включва електромагнитната спирачка *EM*, която осигурява окончателното спиране на кабината.

Положението на кабината при движението ѝ се следи от релейна схема (релеен копирепарат), показана на фиг. 3.18. С *D1* и *D2* са означени контактите на етажния превключвател (фиг. 3.14), които нормално са отворени и се затварят при достигането на магнитен шунт. Тези контакти управляват включването и изключването на импулсните релета *PI1* и *PI2*. Релетата *PE1*—*PE4*, които се включват, когато кабината стигне определен етаж, се наричат етажни. Тяхното превключване се управлява от

стъпковите релета *PC1* и *PC2*. Ще разгледаме накратко работата на схемата при условие, че кабината се намира на най-долния етаж. В това положение контактите *D1* и *D2* са отворени.

При подаване на команда за движение на кабината нагоре се задействуват контакторът *K1* и електрическата отбивачка, която заключва шахтовата врата и натиска крайния превключвател *KИ*. Той включва етажното реле *PE1*, което се самоблокира и с н. с. си контакт включва *PC1*.

След започване на движението етажният превключвател излиза от обсега на магнитния шунт, контактите *D1* и *D2* се затварят и включват импулсните релета *PI1* и *PI2*. На определено разстояние от втория етаж (около 1100 mm) етажният превключвател среща магнитен шунт, който изключва контакта *D2* и релето *PI2*. Тогава през н. з. му контакт *PI2*, блокиращия контакт на контактора за движение нагоре *K1* и н. о. контакт на *PE1* се захранва етажното реле *PE2*, което се самоблокира през н. о. контакт на *PI1*. В този момент релетата *PE1* и *PE2* са включени едновременно.

Единият от н. о. контакти на *PE2* затваря захранващата верига на стъпковото реле *PC2*. То включва и с н. з. си контакт прекъсва веригата, през която *PE1* се е самоблокирало. Остава включено само етажното реле *PE2* — кабината е достигнала до втория етаж. Остава включено и *PC2*.

При достигане на точката на забавяне на скоростта за третия етаж магнитния шунт изключва *D1* и *PI1*, което през контакта на *PE2* включва етажното реле *PE3*. То се самоблокира с контакта си. Сега в схемата са включени едновременно релетата *PE2* и *PE3*.

Същевременно н. о. контактът на *PE3* включва стъпковото реле *PC1*. С. контакта си то прекъсва самозадвижващата верига на *PE2* и то изключва, като заедно с него изключва и *PC2*. Остава включено само етажното реле *PE3* (заедно с *PC1*) — кабината е достигнала до третия етаж.

Т. е. единият от контактите на етажния превключвател (в случая *D1*) се задействува при достигане на кабината до етаж с нечетен номер (1, 3, 5 и т. н.), а вторият — *D2* — при достигане до етаж с четен номер (2, 4, 6 и т. н.).

Превключването на етажните релета при движение на кабината отгоре надолу е аналогично.

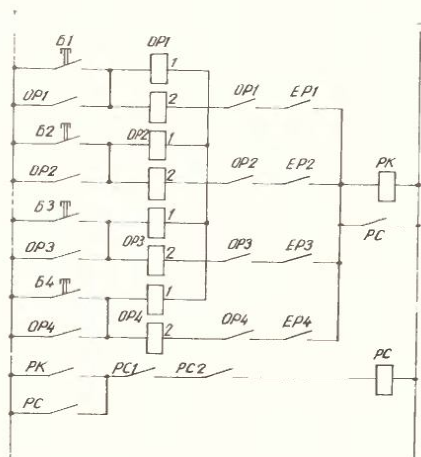
Друга част от схемата за управление (фиг. 3.19) осигурява събирането на всички получени команди и последователното им изпълнение по посока на движение на кабината.

Всички постъпили команди за движение се запомнят от т. нар. определителни релета *OP1*—*OP4*, всяко от които съответствува на определен етаж. В схемата се използват по две намотки на всяко реле, включени противоположно. При натискане на някоя от командните бутони *B1*—*B4* се захранва намотката *I* на



съответното реле *OP*, което включва и се самоблокира. С това заявката за съответния етаж е приета.

Да предположим, че кабината се намира на първия етаж и намиращите се в нея пътници са натиснали бутоните *Б2* и *Б4*. С



Фиг. 3.19. Събирателно управление от кабината на асансьор

това се подава и импулс за включване на контактора *KI* (вж. фиг. 3.17) и кабината започва да се движи нагоре. При достигане на 1100 mm преди втория етаж се включва етажното реле *EP2*, което с н. о. си контакт включва събирателното реле за заявки от кабината *PK*. В захранващата верига на *PK* е включена последователно и намотката 2 на релето *OP2* (противопосочно на намотката 1), но протичащият през нея ток е слаб и не може да изключи релето.

Релето *PK* затваря контакта си и в захранващата верига на общото събирателно реле *PC*. В момента на превключване на етажните релета двете стъпкови релета *PC1* и *PC2* са включени едновременно (вж. фиг. 3.18). В този момент общото събирателно реле включва, с н. о. си контакт шунтира намотката на *PK* и то отпада. Съпротивлението във захранващата верига на намотка 2 на *OP2* рязко намалява, токът през нея нараства, а с това и магнитният ѝ поток, който става равен и противоположен на магнитното поле, създадено от намотката 1. Поради това релето *OP2* също се отваря. С това заявката е заличена, тъй като вече е

изпълнена — с включването на общото събирателно реле *PC* дава импулс за превключване на двигателя от бърз на бавен ход и за спирането му след достигане на следващото магнитно флагче.

След слизание на пътниците на втория етаж кабината продължава движението си нагоре. При приближаване на третия етаж в схемата за управление на двигателя няма да се извършат никакви превключвания, защото съответното адресно (определително) реле *OP* не е включено. Кабината ще продължи движението си с голяма скорост нагоре до достигане на четвъртия етаж, където в схемата за събирателно управление ще се извършат аналогични превключвания, свързани с релето *OP4*.

#### Въпроси и задачи

1. Кои са основните изисквания към системите за управление на асансьорите?
2. За какво служат контактите, които се задействуват от пода на кабината (когато в нея има хора)?
3. Какви видове системи за управление на асансьори съществуват? Коя от тях е най-съвършена и защо?

### 3.3. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МЕХАНИЗМИ ЗА НЕПРЕКЪСНАТ ТРАНСПОРТ

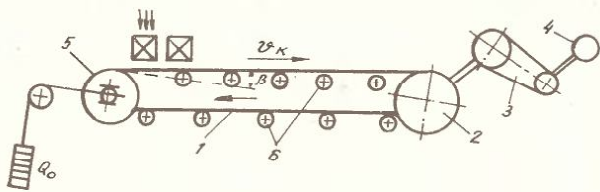
#### 3.3.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Механизмите за непрекъснат транспорт са предназначени за пренасяне на товари в насипно състояние (пясък, въглища, зърнени храни) и на отделни бройки в голямо количество (машинни детайли и заготовки, пакети, сандъци и др.). Те се използват във всички предприятия за междуоперационен и междуцехов транспорт, подаване на материали и полуфабрикати към работните места и технологичните агрегати, изнасяне на готовата продукция и отпадъците и т. н. Широкото им разпространение се дължи преди всичко на тяхното просто устройство, висока надеждност и голяма производителност.

Основен конструктивен елемент на механизмите за непрекъснат транспорт е затворен, непрекъснато движещ се тягов елемент, който може да бъде изпълнен във вид на лента, верига, властини, въже и др. В зависимост от това различаваме лентови, верижни, пластинчати и т. н. транспортъри. Сравнително най-разпространени са лентовите транспортъри.

На фиг. 3.20 е показано принципното устройство на лентов транспортъор. Основният тягов елемент е транспортната лента 1, която се движи непрекъснато между два барабана 2 и 5. Единият от барабаните (в случая 2) е свързан със задвижващия дви-

гител 4 чрез редуктор или ремъчна предавка 3 и се нарича *водещ* или *задвижаващ*. Оста на другия барабан може да се премества хоризонтално по специални направляващи елементи, което позволява с помощта на тежестите  $Q_0$  да се поддържа определе-



Фиг. 3.20. Лентов транспортър

но опъване на лентата. Този барабан се нарича *водим* или *опъващ*. За избягване на прекалено голямо провисване на лентата в горната част под действие на пренасяния товар на определено разстояние по дължината ѝ са монтирани редица опорни ролки б, които могат да се въртят свободно около оста си.

Работата на лентовите транспортни устройства, както и на другите видове устройства за непрекъснат транспорт се характеризира със следните особености, които трябва да се имат предвид при тяхното задвижване и автоматизация:

а. Режимът на работа е най-често продължителен с много редки пускания и спирания (обикновено в началото и края на смяната). Натоварването е постоянно или се изменя плавно.

б. Пренасянето на товарите е еднопосочно, т. е. не се налага реверсиране на двигателя освен в някои специални случаи при ремонт и настройка.

в. Регулиране на скоростта на движение на лентата не е необходимо. Изключение са различните монтажни конвейери, където се налага изменение на ритъма на работа, но диапазонът на регулиране е твърде ограничен и рядко достига до 2:1.

г. При пускане на транспортните ленти е възможно възникване на значителен съпротивителен момент, особено ако се пускат под товар.

д. Поради еластичността на лентата при рязко пускане тя може да се скъса или да се получат силни механични трептения във вертикална посока. За избягването на тези нежелани явления ускорението при пускане (особено за ленти с голяма дължина) се ограничава до  $0,2 \div 0,3 \text{ m/s}^2$ .

е. Работа в най-разнообразни околни условия: на открито, в запрашени влажни помещения, при много високи и много ниски температури.

### 3.3.2. ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ЗАДВИЖВАНЕТО

Посочените особености на работа на лентовите транспортни устройства изискват проста, но надеждна система на задвижване, осигуряваща повишен пусков момент и продължителна работа в разнообразни условия. Широко се използват асинхронни двигатели с късосъединен ротор и повишен пусков момент. Асинхронни двигатели с навит ротор се използват сравнително рядко — при повишени изисквания по отношение на пусковия момент и плавността на пускането.

Ако трябва да се регулира скоростта, най-често се използват многоскоростни асинхронни двигатели с превключване на броя на полюсите или чрез механични вариатори.

Ако транспортната лента е много дълга, задвижването ѝ само от един двигател е нецелесъобразно, тъй като в участъците до задвижващия барабан възникват значителни механични сили, което може да доведе до бързото ѝ износване и скъсване. В такива случаи се прибегва към многодвигателно задвижване. При еднакви механични характеристики на двигателите натоварването между тях се разпределя и поддържа автоматично от механичната връзка чрез лентата, както при двудвигателното задвижване на грайферни кранове (вж. фиг. 3.9).

Схемите за управление осигуряват най-често дистанционно пускане и спиране на транспортната лента (и регулиране на скоростта) от операторски пункт на разстояние. Затова пусковите и стоповите бутони в близост до лентата се дублират (особено необходимо при ремонтни работи или аварийни режими).

Значителното разстояние между транспортните механизми и операторския пулт и невъзможността на оператора в много случаи да наблюдава пряко тяхната работа налага въвеждането на следните вериги за сигнализация:

звукова (понякога и светлинна) сигнализация за предстоящо включване на транспортната лента, предназначена за предпазване на обслужващия персонал близо до лентата от несчастни случаи;

светлинна сигнализация върху операторския пулт за състоянието на лентата — включено или изключено;

светлинна и звукова сигнализация за някои аварийни режими, които изискват намесата на оператора — скъсване на лентата, претоварване на транспортъора, задръстване на приемната станция и др.

### 3.3.3. СХЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТНИ ЛЕНТИ

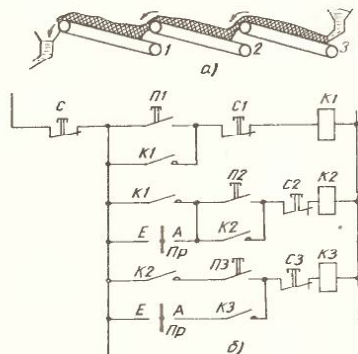
На фиг. 3.21 е показана схемата за управление на единична транспортна лента, задвижвана от асинхронен двигател с късосъединен ротор. При натискане на бутона П се включва релето



за време  $PВ$ , което с н. о. си контакт се самоблокира и включва предупредителната звукова сигнализация ( $Зв$ ). След определено закъснение (обикновено от 5 до 10 s) закъснителният контакт на  $PВ$  включва контактора  $K$ . Силовите контакти на  $K$  включват задвижващия двигател към мрежата, а н. з. му блокиращ контакт изключва релето  $PВ$ . Сигналните лампи  $Л1$  и  $Л2$  сигнализират за включването на  $K$ , а следователно и за работещо или неработещо състояние на транспортъора.

Както се вижда от посочения пример, схемите за управление на единични транспортни ленти не се различават принципино от схемите за управление на асинхронни двигатели. По-голям интерес представляват схемите за управление на няколко транспортни ленти, свързани в общ транспортен поток. Пример за такъв технологичен поток с три транспортни ленти е показан на фиг. 3.22 а. Условиата на технологичния процес изискват определен ред при пускане и спиране на трите ленти:

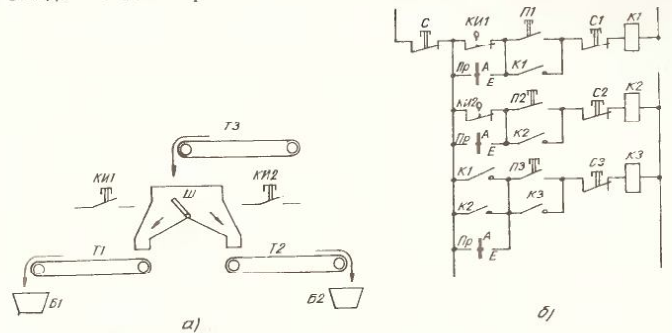
1. Пускането трябва да става в реда  $1-2-3$ , т. е. най-напред



Фиг. 3.22. Управление на три свързани в общ материален поток транспортни ленти

да се пусне последната транспортна лента (по посока на технологичния поток). В противен случай може да се създаде аварийен режим — натрупване на товари върху някоя от лентите 2 или 3 (ако пускането започне от 3).

2. Спирането трябва да се извърши в обратен ред — най-напред 3, след това 2 и 1, като между спирането на отделните ленти има интервал от време, необходимо за пълното им освобождение от товар.



Фиг. 3.23. Схема за управление на три транспортни ленти при разпределение на материала

На фиг. 3.22 б е показана принципната схема за управление на технологичния поток с три транспортни ленти, всяка задвижвана от обикновен асинхронен двигател с късосъединен ротор. Двигателите не са показани на схемата; включват се с контакторите  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ . Номерът на контакторите съответствува на мястото на лентата (чието задвижване включват в технологичната схема на фиг. 3.22 а).

Показаната схема не е напълно автоматична. Трите транспортни ленти се пускат поотделно от оператора, като са предвидени технологически блокировки, осигуряващи необходимия ред при пускане и спиране. Напр. всяка от лентите не може да бъде пусната преди пускане на следващата я в технологичния поток, което се осъществява с включването на н. о. контакти на  $K_1$  и  $K_2$  в захранващите вериги съответно на  $K_2$  и  $K_3$ . Това осигурява и спиране на лентите 2 и 3 при спиране на следващите ги в технологичния поток. При натискане на бутона  $C$  (общ стоп) се изключват едновременно и трите ленти. Превключвателят  $Пр$  осигурява единичен режим на работа на лентите 2 и 3. В положение  $E$  той шуитира блокировката от следващата лента и дава възможност за независимо включване и изключване на всяка от лентите 1, 2 и 3.

На фиг. 3.23 а е показана по-сложна транспортна система с 3 ленти, която разпределя постъпващия материал към бункерите  $B1$  и  $B2$ . Посоката на подаване на материала се определя с ши-

бъра Ш. В зависимост от положението му, което се контролира от крайните превключватели *КИ1* и *КИ2*, транспортърът 3 трябва да работи съвместно с транспортърите 1 или 2. При това 1 не трябва да се включва, докато не са включени 2 и 3, тъй като това може да доведе до задръстване на разпределителя с материал.

Схемата за управление на горната транспортно-разпределителна система е показана на фиг. 3.23 б. При положение на пакетния превключвател *Пр* за автоматичен режим на работа операторът може да включи най-напред движението на транспортните ленти 1 и 2 в зависимост от положението на шибъра (крайните изключватели *КИ1* и *КИ2*), след което може да се включи задвижването на транспортъра 3 (*К3*). В единичен режим на работа всяка лента може да се пуска и спира самостоятелно.

#### Въпроси и задачи

1. Какви изисквания има към задвижването на механизмите за непрекъснат транспорт?
2. Защо за задвижване на механизмите за непрекъснат транспорт не се използват двигатели за постоянен ток?

### 3.4. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПОМПИ, КОМПРЕСОРИ И ВЕНТИЛАТОРИ

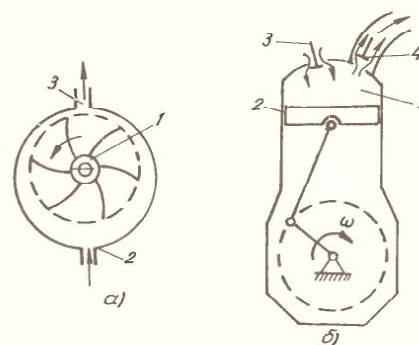
#### 3.4.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Компресорите, помпите и вентилаторите също са едни от най-разпространените производствени машини. Те имат общи конструктивни елементи, свързани с общите принципи на функционирането им, и са предназначени да преобразуват енергията на задвижващия ги двигател в енергия на някакъв флуид (течност или газ).

Помпите, работещи отделно или групово (помпен агрегат), служат най-често за транспортиране на вода, гориво (мазут), течни химикали и други, а в състава на крупните технологични машини и агрегати (тежки металорежещи машини, мелници, автоматични линии) — за подаване на смазваща и охлаждаща течност.

Вентилаторите и компресорите се използват като генератори на сгъстен въздух. Различават се основно по разликата в налягането на газовете, която създават. При вентилаторите, които служат за вентилация на производствените помещения и подаване на охлаждащ въздух в различни инсталации, тази разлика е от 0,001 до 0,01 МРа (0,01 ÷ 0,1 ат).

Компресорите създават разлика в налягането над 0,4 МРа (4 ат) и служат за получаване на сгъстен въздух, чиято енергия от своя страна се използва за задвижване на някои механизми (чукове, преси, ръчни инструменти), пневмотранспорт на различни вещества в химическата промишленост (сода, шимент) и т. н.



Фиг. 3.24. Принцип на действие на центробежните (а) и бутални (б) помпи

От конструктивна гледна точка помпите, вентилаторите и компресорите могат да се разделят на две основни групи — центробежни и бутални.

На фиг. 3.24 а е показана принципната конструктивна схема на центробежните помпи и вентилатори. При въртене на ротора 1, разположен ексцентрично в работната камера, лопатките му всмукват флуид на входния тръбопровод 2 и го изтласкват през изходния тръбопровод 3. Налягането се увеличава чрез повишаване на честотата на въртене на ротора, която достига до  $15\,000 \text{ min}^{-1}$ .

Съпротивителният момент на помпите и вентилаторите от центробежен тип е пропорционален на квадрата на ъгловата им скорост. Механичната им характеристика, наричана често вентилаторна, е характерна за широк клас механизми и беше разглеждана в част 1.

Основен елемент в конструкцията на буталните помпи и компресори (фиг. 3.24 б) е коляно-мотовилковият механизъм. При движението на буталото 2 надолу в работната камера 1 се създава вакуум и през входния клапан 3 се всмуква съответният флуид.



При движение на буталото нагоре налягането в камерата се увеличава, клапанът 3 се затваря и през клапана 4 флуидът се отправя към потребителя.

Съпротивителният момент на механизми от този тип се изменя по синусоидален закон в зависимост от ъгъла на завъртане на коляно-мотовидковия механизъм. За намаляване на неравномерността на натоварването на вала на двигателя обикновено се поставя маховик.

При компресорите от този тип флуидът се подава към потребителя също неравномерно — само при движение на буталото нагоре. Това предизвиква големи колебания на налягането в изходния тръбопровод. За намаляването им обикновено между компресора и потребителя се монтират междинни резервоари, наречени ресивери.

Условията на работа на помпите, вентилаторите и компресорите са характеризират със следните особености:

а) продължителен режим на работа с редки пускания и спирания; натоварването е постоянно или се изменя в сравнително малки граници;

б) регулиране на честотата на въртене практически не е необходимо;

в) пускането е облекчено — статическият момент при пускане е около 20÷25% от номиналния. Изключения правят буталните компресори, когато се пускат под товар;

г) някои от агрегатите, обикновено помпените, работят при утежнени условия — на открито, в запрашени и влажни помещения, в агресивна среда.

### 3.4.2. ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ЗАДВИЖВАНЕТО

Сравнително леките условия на работа на помпите и вентилаторите определят широкото използване на асинхронни двигатели с късосъединен ротор за задвижването им. В зависимост от производителността на задвижвания механизъм се използват двигатели от няколкостотин до няколко хиляди kW.

При много големи мощности — над 200÷300 kW — и малки скорости в някои случаи е изгодно използването на бавноходни синхронни двигатели — особено за задвижване на буталните компресори. Това позволява да се намалят значително размерите на предавката между двигателя и компресора и да се подобри факторът на мощността ( $\cos \varphi$ ) на предприятието.

За задвижване на някои типове бутални компресори с по-малка мощност се използват асинхронни двигатели с навит ротор поради необходимостта от значителен пусков момент.

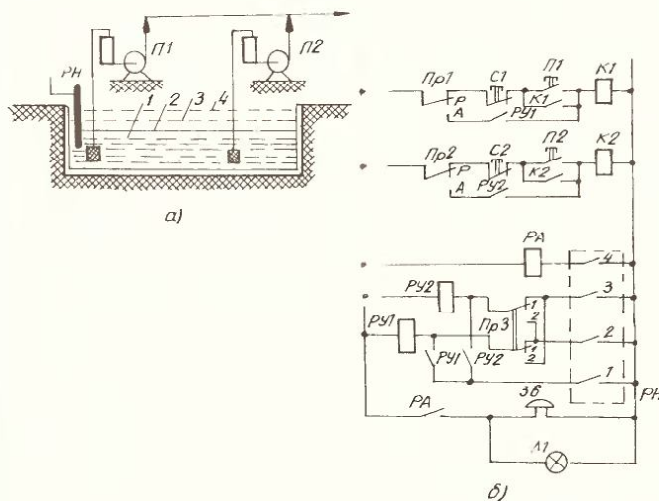
Схемите за управление на помпите и вентилаторите с малка средна мощност осигуряват пускане и спиране на двигателите

и някои технологични блокировки в зависимост от работата на други, свързани с тях механизми.

За автоматизацията на работата на помпени и компресорни агрегати се използват електроконтактни манометри (за измерване на налягането в тръбопроводите) и датчици за ниво от различен тип. Разположението на помпите и вентилаторите често не позволява пряко наблюдение на работата им от оператора, а и от другия обслужващ персонал. Затова се въвежда сигнализация за състоянието на отделните задвижвания (включено, изключено) и за състоянието на някои параметри, характеризиращи работата на агрегата като цяло — налягане в тръбопроводите, ниво на течността в резервоарите, наличие на поток от течност или газ в определени тръбопроводи и т. н.

### 3.4.3. СХЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ПОМПИ, ВЕНТИЛАТОРИ И КОМПРЕСОРИ

На фиг. 3.25 а е показан помпен агрегат, състоящ се от помпите П1 и П2, които подават водата от резервоар за отпадъчни води към общ тръбопровод. Нивото на водата в резервоара се



Фиг. 3.25. Управление на помпен агрегат

контролира от електронното реле за ниво  $PН$ , което дава импулси в схемата за управление при 4 различни нива, означени в схемата като 1, 2, 3 и 4. Включващите контакти на  $PН$  в схемата от фиг. 3.25 б са номерирани по същия начин. Помпите се задвижват от асинхронни двигатели с късосъединен ротор, включвани от контакторите  $K1$  и  $K2$ .

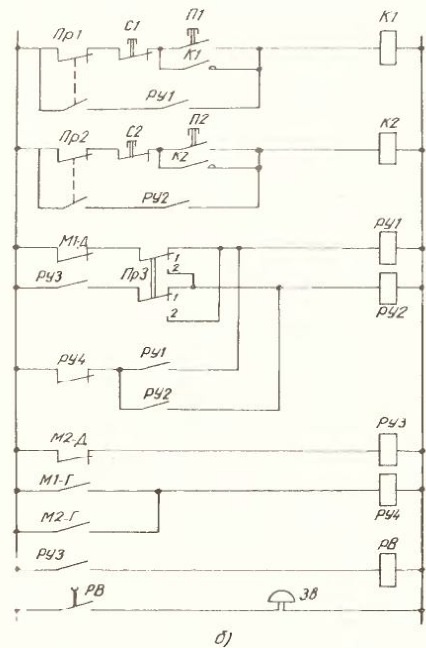
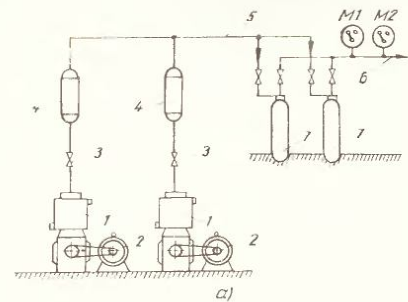
Всяка от помпите чрез превключвателите  $Пр1$  и  $Пр2$  може да работи в ръчен или в автоматичен режим. Превключвателят  $Пр3$  определя в автоматичен режим една от помпите като работна, а другата — като резервна.

Ще разгледаме работата на схемата в показаното положение на превключвателите, което съответствува на автоматичен режим на работа и избор на помпата  $П1$  за работна. Да предположим, че водата в резервоара най-напред е под ниво 1 и започва да се покачва. При достигане на ниво 1 се затваря контактът 1 на релето  $PН$ , но други превключвания в схемата за управление не се извършват. При достигане на водата до ниво 2 се затваря контактът 2 и включва релето  $PУ1$ , което включва  $K1$  и помпата  $П1$  започва да работи. В резултат на работата на помпата нивото на водата ще започне да спада. При спадане под ниво 2 контактът 2 на  $PН$  изключва, но помпата продължава да работи, тъй като релето  $PУ1$  се е самоблокирало с н. о. си контакт през контакта 1 на  $PН$ .  $П1$  ще престане да работи, след като нивото на водата в резервоара спадне под ниво 1 и контактът 1 на  $PН$  се отвори.

Ако дебитът на постъпващата в резервоара вода е по-голям, отколкото са възможностите на помпата  $П1$ , то нивото ще продължи да се качва и след нейното включване. При достигане до ниво 3 се затваря контактът 3 на  $PН$ , включва се  $PУ2$  и  $K2$  — започва да работи и втората помпа. Тя също се самоблокира през контакта 1 на  $PН$ , т. е. двете помпи ще продължат да работят заедно, докато нивото на водата в резервоара спадне под ниво 1.

Ако поради някакви причини нивото на водата продължи да се покачва и след включване на втората помпа, при достигане на ниво 4 се включва релето  $РА$ , което от своя страна включва аварийната сигнализация на пулта за управление.

Подобна по своите функции е схемата за управление на компресорния агрегат, показан на фиг. 3.26 а. Агрегатът се състои от два бутални компресора 1, задвижвани от асинхронни двигатели с късосъединен ротор 2. Състеният въздух преминава през въздухоочистващите устройства 4, където се очиства от прах, влага и масло. По въздухопровод 5 въздухът постъпва в ресиверите 7, откъдето по въздухопровода 6 се подава към потребителите. Обратните клапани 3 предпазват от обратно подаване на въздух към някои от компресорите. За автоматично управление на работата на агрегата служат контактните манометри ( $M1$



Фиг. 3.26. Управление на компресорен агрегат



и *M2*), чийто подвижни контакти се настройват на определена горна и долна граница на налягането на въздуха в ресиверите. Горните граници за двата манометра обикновено са еднакви и при достигането им се затварят контактите им *M1-Г* и *M2-Г* (фиг. 3.26 б). Н. з. контакти, съответстващи на долната граница на налягането *M1-Д* и *M2-Д*, се отварят, след като налягането превиши тази граница.

Двата компресора могат да работят в ръчен или автоматичен режим на работа, което се определя с превключвателите *Пр1* и *Пр2*, а превключвателят *Пр3* определя единия компресор за работен, а другия — за резервен.

Да предположим, че ресиверите са напълнени и налягането на въздуха съответствува на горната граница. При това положение контактите *M1-Г* и *M2-Г* са затворени, а *M1-Д* и *M2-Д* — отворени. Ако в резултат на консумацията на съгъстен въздух налягането в ресиверите спадне под горната граница и продължи да спада до достигане на първата си минимална стойност, ще се включи контактът *M1-Д* на първия контактен манометър, който ще предизвика включване на *РУ1* и *К1* — т. е. на първия компресор. Налягането ще започне да се повишава. Компресорът ще спре да работи, след като то достигне горната си граница и контактите *M1-Г* и *M2-Г* се включат.

Ако в резултат на голямата консумация налягането в ресиверите продължи да спада и след включване на първия компресор, при достигане на следващата долна граница, на която е настроен манометърът *M2*, ще се затвори контактът *M2-Д* и ще се включи и вторият компресор. Двата компресора ще продължат да работят заедно до достигане на горната граница.

Ако въпреки съвместната работа на двата компресора налягането не се покачва, известно време след включване на втория компресор (определено от релето *РВ*) се включва аварийната сигнализация.

#### Въпроси и задачи

1. Кои са изискванията към системите за управление на помпите, компресорите и вентилаторите?
2. Обяснете подробно какви предимства има използването на синхронни двигатели.

### 3.5. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

#### 3.5.1. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

Металорежещите машини са предназначени за механична обработка на метални детайли с помощта на един или няколко режещи инструмента, които снемат част от повърхностния слой

на обработвания детайл и по този начин му придават желаната форма и размери. В зависимост от вида на инструмента и на движенията в процеса на формообразуването металорежещите машини се делят на няколко основни групи: *стругови, фрезови, пробивни, шлифовъчни, стъргателни, отрезни, зъбнообработващи и резбообработващи*.

Според вида и номенклатурата на обработваните изделия металорежещите машини биват: *универсални* — за изпълнение на различни операции върху различни по форма и размери изделия; *специализирани* — за операции върху изделия със сходна форма и размери; *специални* — за обработка на едни и същи изделия. Важна част от специалните са *агрегатните металорежещи машини*, които се конструират от стандартизирани механични възли.

В зависимост от размерите и масата си металорежещите машини се делят на *машини с нормална маса* (до 10 t), *големи* (от 10 до 30 t), *тежки* (от 30 до 100 t) и *уникални* (над 100 t).

По точността на обработката различаваме металорежещи машини с *нормална* и с *повишена точност*, наречени още *прецизни*.

За обработване на изделията чрез рязане (снеман на стружка) трябва да се осъществи относително преместване на режещия инструмент спрямо обработваното изделие. Това става чрез съчетаване на движенията на изделието и инструмента, които се наричат *основни или работни движения*. Те се делят на *главно*, при което инструментът отрязва един слой от метала, и *подавателно*, при което инструментът или изделието се премества, за да се отреже нов слой. Работните движения могат да се осъществят по различен начин, в зависимост от което се определя видът на обработката и на машината. Напр. при струговата обработка има въртливо движение на изделието и постъпателно движение на инструмента; при пробивната — едновременно въртливо и постъпателно движение на инструмента при неподвижно изделие и т. н.

Освен основните органите на металорежещите машини извършват и редица *спомогателни движения*, необходими за закрепване и настройка на обработваното изделие, довеждане и отвеждане на инструмента от зоната на рязане и др.

Металорежещите машини са основната техническа база на машиностроенето. Развитието и усъвършенствването им определя техническия прогрес в много отрасли на народното стопанство. Всички постижения в автоматизираното електрозадвижване са намерили и намират приложение най-напред в металорежещите машини. В това отношение историята на развитието на металорежещите машини представлява своеобразна история на развитието на електрозадвижването — като се започне от големите трансмисии, задвижващи няколко машини, и се стигне до съвременните модерни металорежещи машини, в които доближаването

на двигателя до работния орган е максимално и се използват системи за управление с много висока степен на автоматизация. Това спомага за успешното решаване на редица задачи, свързани с комплексната автоматизация на производствените процеси, чрез създаване на автоматични линии, цехове и даже на цели заводи-автомати.

### 3.5.2. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА УНИВЕРСАЛНИ СТРУГОВЕ

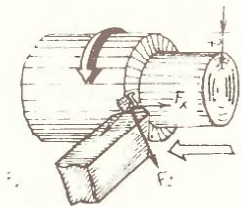
Струговете са металорежещи машини, предназначени за обработване на външни и вътрешни ротационни повърхнини. Главно-то ротационно движение се извършва от обработвания предмет, а подавателното — от режещия инструмент (фиг. 3.27).

За главното движение на универсалните стругове се използват изключително асинхронни двигатели с късосоединен ротор, като регулирането на скоростта е чисто механично — чрез превключване на зъбни колела и кинематичната верига.

Подавателното движение се осъществява от главния двигател с помощта на ходов вал (или ходов винт — при нарязване на резби, когато главното и предавателното движение трябва да бъдат строго съгласувани).

В процеса на рязане възниква сила, приложена под някакъв ъгъл към режещия ръб на инструмента, която може да бъде разложена на три компоненти (фиг. 3.27):

- тангенциална сила или сила на рязане  $F_z$ , преодолявана от вретеното на машината;
- радиална сила  $F_y$ , която се поема от упорта;
- осова или подавателна сила  $F_x$ , която се преодолява от подавателния механизъм.



Фиг. 3.27. Схема на стругова обработка

Компонентите на силата на рязане зависят от дълбочината на рязане  $t$ , скоростите на рязане и подаване, обработвания материал и вида и формата на режещия инструмент и се определят по емпирични формули. Максимално допустимите скорости на рязане и подаване също зависят от дълбочината на рязане, обработвания материал и режещия инструмент. Тъй като на големите скорости на рязане съответствуват малки подавания и дълбочини на рязане (а оттам и малки усилия), а на малките скорости — големи усилия, може да се смята, че във всички режими на работа необходимата мощност за рязане е приблизително еднаква и равна на

$$P_p = F_z \cdot V_p, \quad (3.3)$$

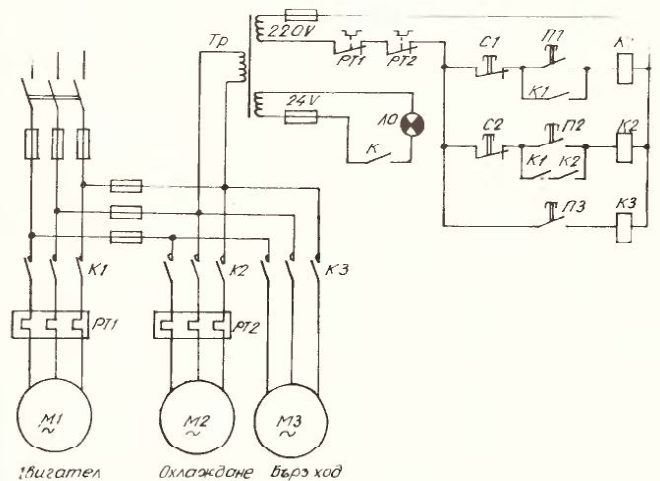
откъдето, като отчетем и к. п. д. на механичните предавки, лесно може да се определи необходимата мощност на задвижващия двигател.

При определяне на необходимата мощност за подавателния механизъм  $P_n$  трябва да се има предвид, че той трябва да преодолее не само осовата сила  $F_x$ , но и силата на триене, предизвикана от действието на останалите две компоненти. Или общото усилие, необходимо за преместване на супорта с режещия инструмент в процеса на рязане, ще бъде

$$F_6 = F_x + \mu(F_y + F_z), \quad (3.4)$$

където  $\mu$  е коефициентът на триене в направляващите повърхнини. Оттук необходимата мощност на подаване е

$$P_6 = F_6 \cdot V_6. \quad (3.5)$$



Фиг. 3.28. Схема за управление на струг

Тъй като скоростта на подаване е много по-малка от скоростта на рязане, мощността на подаване е също много по-малка от тази на рязане и представлява около 1–2% от нея.

Към спомагателните движения в струговете се отнасят бър-



зото придвижване на супорта, затягането и отпускането на обработваното изделие, преместването на задното седло и др.

Обикновено главното и подавателното движение на универсалните стругове се осъществяват от един и същ асинхронен двигател. Понякога се използват многоскоростни двигатели, което позволява да се опрости механичната скоростна кутия. Някои от спомагателните задвижвания се осъществяват от отделни двигатели. Например схемата за управление на българския универсален струг С11М, произвеждан от завода за металорежещи машини (ЗММ) — София (фиг. 3.28), включва три двигателя — за главното и подавателното движение *М1*, за помпата за охлаждаща течност *М2* и за бързо преместване на супорта *М3*. Първите два двигателя се пускат и спират с отделни бутони. Двигателят за бърз ход е включен само докато е натиснат бутонът *ПЗ*. Реверсирането на вретеното, подаването и бързият ход се осъществяват механично. Съществува блокировка между главния двигател и двигателя за охлаждането, която позволява да се включи вторият само след включване на първия. Такива са схемите за управление на почти всички универсални стругове.

### 3.5.3. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ШЛИФОВЪЧНИ МАШИНИ

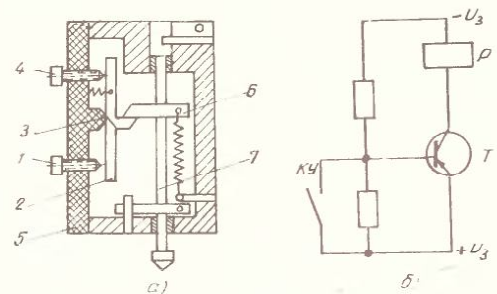
Шлифовъчните машини са металорежещи машини, при които обработката на детайла се извършва с помощта на диск от абразивен материал (шлифовъчен диск). Главното движение е въртене на шлифовъчния диск. Подавателното движение е праволинейно и може да се извършва както от диска, така и от обработвания детайл. Към спомагателните движения спадат бързите премествания на шлифовъчния диск, на масата и др.

Всички шлифовъчни машини могат да се сведат в две основни групи: *кръглошлифовъчни* и *плоскошлифовъчни* които се използват съответно за обработката на ротационни и плоски повърхности.

Шлифовъчният диск се задвижва от асинхронен двигател, като честотата на въртене не се регулира. За получаване на по-добро качество на обработваните повърхности периферната скорост на диска трябва да е не по-малка от  $30 \div 50 \text{ m/s}$ . Затова при малки диаметри на диска между него и двигателя се поставя повишаваща механична предавка. В последните години бяха разработени специални двигатели, захранвани с повишена честота. Честотата им на въртене достига до  $150\,000 \div 200\,000 \text{ min}^{-1}$ . В този случай двигателят и шлифовъчното вретено са обединени конструктивно в едно устройство.

Подавателното движение на масата се осъществява хидравлично, което позволява да се постигне по-голяма плавност на подаването и по-добро качество на обработваната повърхност.

Характерно за кръглошлифовъчните машини е, че за подобряване на качествата на обработваната повърхност на обработваното изделие също се придава въртливо движение в посока обратна на посоката на въртене на шлифовъчния диск. Обикно,



Фиг. 3.29. Електроконтактен измервателен уред

мено се налага скоростта на въртене на изделието да се регулира в обхват около 10:1, което лесно може да се осъществи с някои от разглежданите системи.

Голямо приложение на шлифовъчните машини са получили т. нар. *устройства за активен контрол*, които контролират непрекъснато размера на детайла в процеса на обработка и сигнализируют при достигане на определения размер. Основна част на подобно устройство е електроконтактният датчик (наричан още електроконтактна измервателна глава), чието устройство е показано схематично на фиг. 3.29 а.

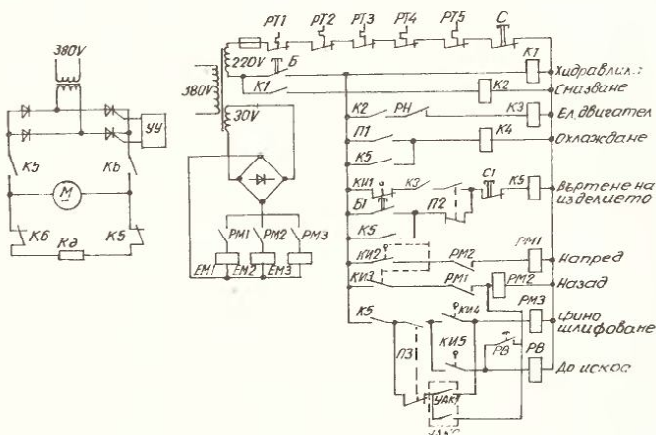
Долният край на контактният лост 7 опира непрекъснато в обработваната повърхност. Тъй като в процеса на обработка съответният размер намалява, лостът постепенно се придвижва надолу под действието на пружина. При това напречният лост 6 натиска върху опората на контактният лост 2, закрепен чрез плоската пружина 3. При завъртането на контактният лост най-напред се нарушава контактът между него и контактният винт 4, след което се затваря долният контакт между него и контактният винт 1. Контактните винтове, с помощта на които може да се регулира моментът на отваряне и затваряне, и контактният лост 2 са монтирани върху планката от изолационен материал 5.

Двата контакта, които се задействуват един след друг, осъществяват автоматично преминаване от грубо към фино шлифоване, а оттам — към спиране на обработката при достигане на желания размер.

Подобни устройства се използват широко в машиностроене-

то като основен елемент в различни видове уреди за контрол и измерване на обработените детайли.

За да се предотврати ерозионното износване на контактите, те не се използват за пряко управление на други релейно-контакт-



Фиг. 3.30. Схема за управление на кръглошлифовъчна машина

ни устройства, а се включват в маломощни управляващи вериги на електронни или полупроводникови усилвателни устройства. На фиг. 3.29 б е показан пример за включване на електроконтактно устройство в базовата верига на транзистора  $T$ , който захранва релето  $P$ .

Точността на електроконтактните измервателни уреди обикновено не надвишава 0,01 mm. За по-голяма точност се използват електропневматични измервателни устройства, които тук няма да разглеждаме.

На фиг. 3.30 е показана опростената принципа схема на кръглошлифовъчната машина ЦК 321, произвеждана от ЗММ — София. Задвижването ѝ включва четири асинхронни двигателя с късосъединен ротор, които задвижват съответно шлифовъчния диск, хидравличния агрегат за подаването, помпите за смазване и за охлаждаща течност. Изделието се върти от двигател за постоянен ток с независимо възбуждане, чиято честота на въртене се регулира по системата ПП—Д. Полупроводниковият регулатор представлява еднофазен полууправляем мостов изправи-

тел, в рамената на който са включени два диода и два тиристора. Те се управляват по вертикалния принцип. В схемата за управление са осъществени обратни връзки по напрежение и ток на двигателя, които не са показани. Чрез резистора  $R_d$  се осъществява динамично спиране на двигателя при изключването му от управляемия полупроводников изправител.

Работното подаване е хидравлично. Посоката му се изменя с хидравлични разпределители, задвижвани от електромагнитите  $EM1$  и  $EM2$ , които се включват от междинните релета  $PM1$  и  $PM2$ . Релетата се управляват ръчно от команден превключвател, който задействува крайните изключватели  $KI2$  и  $KI3$ .

Чрез включването на електромагнита  $EM3$  и съответния му разпределител се осъществява минимална скорост на подаване, при която се извършва т. нар. фино шлифване.

В схемата за управление е включено и устройство за активен контрол УАК, чиито контакти  $УАК1$  и  $УАК2$  се задействуват последователно при достигане на желанния размер.

Схемата работи по следния начин. При натискане на бутона  $B$ , който играе ролята на общ пусков бутон, се включват контакторите  $K1$  и  $K2$ . Те от своя страна включват двигателите на хидравличната помпа и помпата за смазване. Когато налягането в системата за смазване стане достатъчно голямо, задействува се релето за налягане  $PH$  и с н. о. си контакт включва контактора  $K3$  на двигателя на шлифовъчния диск. Помпата за охлаждаща течност може да се включва чрез  $K4$  независимо от превключвателя  $PI$  или автоматично след включване на двигателя за въртене на изделието.

При показаното на фиг. 3.30 положение на превключвателя  $PI2$  двигателят за въртене на изделието се включва и изключва независимо от другите бутони чрез  $B1$  и  $C1$ . При другото положение на превключвателя  $PI2$  веригата през  $B1$  е прекъсната и  $K5$  се включва автоматично при включване на главния двигател ( $K3$ ). Крайният изключвател  $KI1$  се задействува в задно положение на седлото, при което обработеното изделие се сиема и се поставя ново.

Устройството за активен контрол УАК се включва в схемата от превключвателя  $PI3$ . Когато размерът на обработваното изделие се доближи до желания, задействува се контактът на устройството  $УАК1$  и включва междинното реле  $PM3$  за по-фино окончателно шлифване на обработваната повърхност. При достигане на желанния размер, на който е настроено устройството, се задействува контактът  $УАК2$  и включва релето  $PM2$ . Бързо се отвежда шлифовъчния диск. Операциите по обработката на изделието са окончателно завършени.

Когато липсва устройство за активен контрол, тази част от процеса се автоматизира с крайните превключватели  $KI4$  и  $KI5$ .  $KI4$  задействува при доближаване на обработвания размер до



желания и включва релето *PM3*, осигуряващо режим на фино шлифоване. При окончателно достигане на желания размер подаването се спира от предварително настроен твърд ограничител. Едновременно се задействува крайният изключвател *КИ5*, който включва релето за време *PВ*. В това положение се извършва окончателната дообработка на повърхнината до изчезване на искрите, свидетелстващи за наличие на съприкосновение между шлифовъчния диск и обработваното изделие. Необходимото време се задава от релето *PВ*. След изтичането му се дава сигнал за включване на релето *PM2* за отделяне на шлифовъчния диск.

Тази автоматизация не позволява да се постигне такава точност на обработваните детайли, каквато се постига с помощта на устройството за активен контрол. Главната причина е фактът, че крайните превключватели *КИ4* и *КИ5* се задействуват при определени позиции от хода на шлифовъчната глава, а по този начин не може да се отчете неизбежното изпосване на шлифовъчния диск през време на работата му.

Задвижването на плоскошлифовъчните машини по принцип не са различава от това на кръглошлифовъчните. Главното движение — въртене на шлифовъчния кръг, и тук се осъществява от асинхронен двигател. Подаятелното движение се извършва от масата на машината, върху която неподвижно е закрепен обработваният детайл, с хидравлични системи. Характерно е използването на електромагнитни закрепващи устройства (електромагнитни маси). Електромагнитното закрепване има много предимства пред механичното с използване на различни захранващи устройства (скоби, болтове и др.). Те са: бързо и удобно закрепване и освобождаване на детайлите, особено на тези с по-големи размери;

възможност за едновременно закрепване и обработка на няколко детайла;

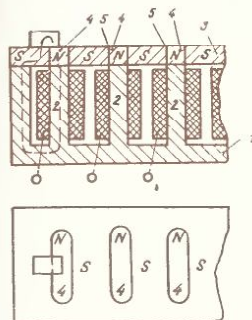
възможност за обработка от всички страни;

постигане на по-голяма точност при обработката, тъй като при загряване детайлът може да се разширява свободно.

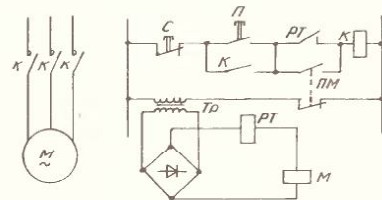
Заедно с това електромагнитното закрепване има и недостатъци, най-същественият от които е малката сила на закрепване. Това ограничава приложението му изключително при плоскошлифовъчните машини, където силите на рязане са сравнително малки. Друг недостатък е възможността за откъсване и изхвърляне на детайла встрани при прекъсване на захранването на електромагнита.

На фиг. 3.31 е показано устройството на електромагнитна маса. Тя има стоманен корпус *1* с полюсни накрайници *2*, около които са поставени захранващите намотки. Отгоре корпусът е покрит с плочата *3*, на която участъците *4*, разположени над полюсните накрайници, са отделени от останалата част с прослойка *5* от немагнитен материал (бронз, оловни сплави и др.). При за-

хранване на намотките с постоянен ток всички участъци над полюсните накрайници се намагнитват едновременно и представляват единият полюс на електромагнита, а цялата останала повърхност на плочата — другият полюс. Обработваният детайл, който



Фиг. 3.31. Електромагнитна маса



Фиг. 3.32. Схема за управление на захранването на електромагнитна маса

пресича немагнитната прослойка в кое да е място, затваря част от магнитния поток и се задържа от силите на привличане към повърхността на масата.

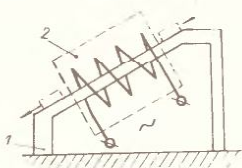
За да се запазят намотките от проникване на охлаждаща течност, вътрешността на електромагнитните маси се залива изцяло с изолационна маса (напр. битум). Намотките се захранват с постоянен ток с напрежение 24, 48, 110 и 220 V. Електромагнитните маси не се захранват с променлив ток поради вредното действие на вихровите токове. Захранването най-често става през токоизправители.

На фиг. 3.32 е показана схемата за включване на електромагнитна маса, захранвана през селенов изправител. Превключвателят *ПМ* позволява да се включва двигателят *М* на шлифовъчния кръг, без да се включва масата. Токовото реле *PT*, включено последователно на захранващата намотка, изключва двигателя на шлифовъчния диск при аварийно прекъсване на захранването на масата. За премахване на остатъчния магнетизъм, който понякога затруднява снемането на детайлите, в някои схеми е предвидена възможност за захранване на масата с понижено напрежение с обратна полярност.

За да се унищожи напълно остатъчният магнетизъм в обработените детайли, се използват устройства, наречени *демagnetизатори*. Схематично подобно устройство е показано на фиг. 3.33.

Детайлите се пускат по специален улей 1 от намагнитен материал. При това те преминават във вътрешността на намотката 2, захранвана с променлив ток. Пренамагнитвайки се, детайлите губят остатъчния магнетизъм.

Освен описаните електромагнитни маси понякога се използват такива и с постоянни магнити. Те имат известни предимства, тъй като не изискват специално захранване, но закрепващото усилие при тях е много по-малко.



Фиг. 3.33. Демагнетизатор

### 3.5.4. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА СЪРГАТЕЛНИ МАШИНИ

Съргателните машини са предназначени за обработка на плоски повърхнини с помощта на инструмент с един режещ ръб. Главното движение при тях е праволинейно преместване на инструмента спрямо обработваната повърхност, при което се сменя стружка (прав ход), след което инструментът отново се връща в изходно положение (обратен ход), т.е. *главното движение е възвратно-постъпателно*. *Подавателното движение* представлява перпендикулярно преместване на режещия инструмент, което се извършва периодично в края на всеки обратен ход.

Съргателните машини се разделят на *напречно-съргателни* (шепинги) и *надлъжно-съргателни* (хобели).

Тук ще бъдат разгледани само вторите, при които главното движение се извършва от работната маса със закрепения върху нея детайл, а подавателното движение — от ножа.

Обикновено скоростта на работния ход на съргателните машини не е много голям, тъй като режещият инструмент изпитва силни ударни натоварвания при връщането му в обработваната повърхност. На практика тя рядко надминава 100-200 m/min.

Скоростта на обратния ход обаче трябва да е значително по-голяма, за да се повиши производителността на машината. Обикновено скоростта на обратния ход е от 2 до 3 пъти по-голяма от тази на работния.

Посоката на движение на масата може да се реверсира по два начина, които по-нататък определят цялата система на задвижване и автоматизацията на машината. Първият се състои в запазване на посоката на въртене на задвижващия двигател и изме-

няне на посоката на движение на масата чрез промяна на кинематичната верига (чрез електромагнитни съединители).

Електромагнитните съединители са характерен елемент в задвижването и автоматизацията не само на металорежещите машини. В много други производствени машини и механизми те се използват за реверсиране на посоката на движение и превключване на кинематичните вериги. Ще разгледаме триещ дисков съединител, показан на фиг. 3.34а.

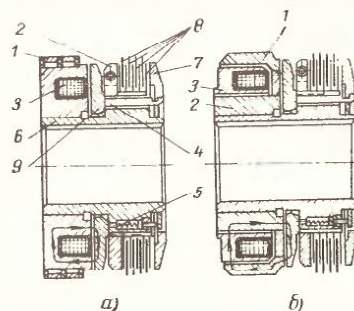
При протичане на ток през намотката 3 котвата 9 се привлича към корпуса. Дискът 7, свързан чрез лостовите 4 с котвата, притиска триещите се дискове 8 към гайката 2. Основата на съединителя 6 е от немагнитен материал. Към нея са прикрепени половината дискове. Тя се свързва с единия от валовете. Другата половина дискове са свързани с втория вал, който не е показан на фигурата.

Въртящият момент се предава от единия вал на другия за сметка на силите на триене. Поради това за увеличаване на коефициента на триене дисковете се покриват със специални покрития от металокерамични материали.

Съединителят се изключва от пружината 5, която изтласква дисковете в изходното им положение след изключване на тока в намотката. Съединителят се захранва чрез контактни пръстени 1 и четки. Обикновено се използва само един контактен пръстен, като другият край на намотката се свързва към корпуса на съединителя.

Наличието на четков контакт е един от сериозните недостатъци на тези съединители. Той е източник на твърде много неизправности, затова са разработени конструкции на съединители с неподвижна захранваща намотка (фиг. 3.34б).

Намотката 3 на този съединител е закрепена към неподвижните части на машината, като е отделена от стоманените полюсни пръстени 1 и 2 с въздушна междина. Действието по принцип не се различава от действието на описания съединител с контактни пръстени. Поради наличието на допълнителна въздушна междина този вид съединители изискват около 30 % по-голяма захранваща мощност спрямо съединителите с контактни пръстени при един и същи предаван въртящ момент.



Фиг. 3.34. Електромагнитни съединители

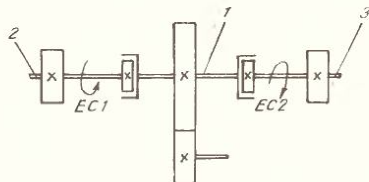


Фрикционните дискове на разглежданите електромагнитни съединители са изнесени извън магнитното поле. Затова те се изготвят от немагнитни материали с голям коефициент на триене. В по-старите конструкции се използват и дискове от магнитен материал (най-често закалена стомана), през които се затваря магнитният поток.

Електромагнитните съединители се захранват с ниско постоянно напрежение — 24 или 42 V. Паралелно на намотката им обикновено се свързва резистор, наречен разряден, които я предпазва от възникващите поради голямата ѝ индуктивност пренапрежения при изключване.

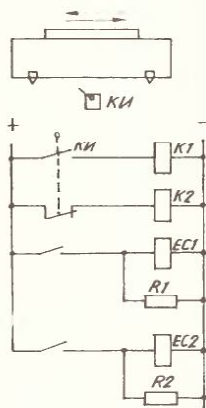
Основен параметър на триещите се електромагнитни съединители е големината на предавания въртящ момент. При избор на съединители номиналният им момент трябва да бъде по-голям от максималния момент на двигателя. В противен случай при претоварване съединителят започва да приплъзва, нагрява се до недопустимо висока температура, а триещите се дискове се износват много бързо.

На фиг. 3.35 е показано схематично използването на електромагнитни съединители за реверсиране на посоката на въртене. Двата електромагнитни съединителя *EC1* и *EC2* се задвижват от валове 2 и 3 в противоположни посоки. Двата вала може да се задвижват от отделни двигатели с различна скорост или от един



Фиг. 3.35. Реверсиране на посоката на движение с електромагнитни съединители

Фиг. 3.36. Реверсиране на масата на надлъжно-стъргателна машина



и същ двигател чрез съответни механични (зъбни или ремъчни) предавки. Вторите половици на съединителите са свързани към задвижвания вал 1, която ще се върти в една или друга посока в зависимост от това кой от двата съединителя е включен.

На фиг. 3.36 е показана схемата за управление на реверсирането на масата на надлъжно-стъргателни машини чрез пътният превключвател *KИ*. Задвижването е с асинхронен двигател. За получаване на по-голяма скорост на обратния ход може да се използва двускоростен двигател или предавателното число на предавката към двата съединителя да бъде различно.

Този начин на електрозадвижване е прост и сигурен при експлоатация, но реверсирането е свързано с големи механични удари, които водят до бързо износване на скоростната кутия. Затова се използва само при малките надлъжно-стъргателни машини, където масата на движещите се части не е много голяма.

По-съвършена система за задвижване предлага реверсирането на самия двигател. Използването на обикновен асинхронен двигател в този случай не е особено подходящо поради големия брой реверсирания в час (до 2÷3 хиляди) и необходимостта от плавно спиране и развъртане в началото и края на всеки ход. Затова най-често за задвижването на масата по тази система се използват двигатели за постоянен ток, чиято честота на въртене се регулира по някоя от известните ни вече системи.

За разлика от подавателните движения при разглежданите досега металорезещи машини, които са непрекъснати, предавателното движение при надлъжно-стъргателните машини е периодично. То се осъществява от отделен двигател. Големината му се определя от специални механични или електромеханични системи. В схемата за управление трябва да се предвиди блокировка, която да не позволява включването на работния ход, преди да е завършило периодичното подаване, защото това може да доведе до счупване на рещечия инструмент.

### 3.5. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА РЕВОЛВЕРНИ СТРУГОВЕ

Револверните стругове са предназначени за серийна обработка на ротационни детайли със сложна форма, което изисква последователно извършване на няколко операции.

Най-характерен елемент от конструкцията на струга е револверната глава, върху която се закрепват всички инструменти, необходими за обработката (обикновено до шест). В зависимост от това, кой инструмент е завъртян към закрепения на въртенето детайл, се извършва и съответната обработка. По този начин необходимите операции се извършват в целесъобразен ред при едно захващане на обработваемия детайл, като за смяна на инструмента е необходимо само завъртане на револверната глава. Това скъпява много спомагателното време и повишава производителността на машината.

Революрната глава е монтирана върху супорта и се подава по същия начин както при обикновения струг.

Революрните стругове най-често се задвижват от едноскоростни или многоскоростни асинхронни двигатели. Регулирането на скоростта на въртене на вретеното и подаването е чисто механично, което за превключване на скоростите се използват електромагнитни съединители. Тъй като за всеки вид обработка, т.е. на всеки инструмент, обикновено са необходими различни скорости на рязане и подаване, тези стругове се автоматизират с помощта на специални командоапарати, механично свързани с революрната глава. На всяко положение на главата съответствува определена комбинация от затворени и отворени контакти на командоапарата, които от своя страна включват съответни електромагнитни съединители. В резултат на това на всяко положение на главата съответствува определена скорост на въртене на вретеното и подаването, която може да се настройва предвидително.

На фиг. 3.37 е показана принципната схема за управление на революрен струг, предназначен за обработка на детайли от прътов материал.

Главното и подавателното движение се осъществяват от асинхронен двигател с късосоединен ротор. Регулирането на скоростите на вретеното и на подаването е механично, с електромагнитни съединители, включени от командоапарата КА при завъртане на революрната глава.

При натискане на бутона „затяга“ се осъществява пълен цикъл: отпускане — подаване на прътовия материал — затягане. Бутонът се натиска, докато се освободи крайният изключвател КИИ, който в изходно положение е включен. При задействването на контактора К1 се включва двигателят за затягане, а н.з. му контакт К1 изключва електромагнитния съединител ЕС9, който изпълнява ролята на спиратка на затягащия механизъм. След завършване на цикъла отново се задействува КИИ, което води до изключване на двигателя и спиране на затягащия механизъм.

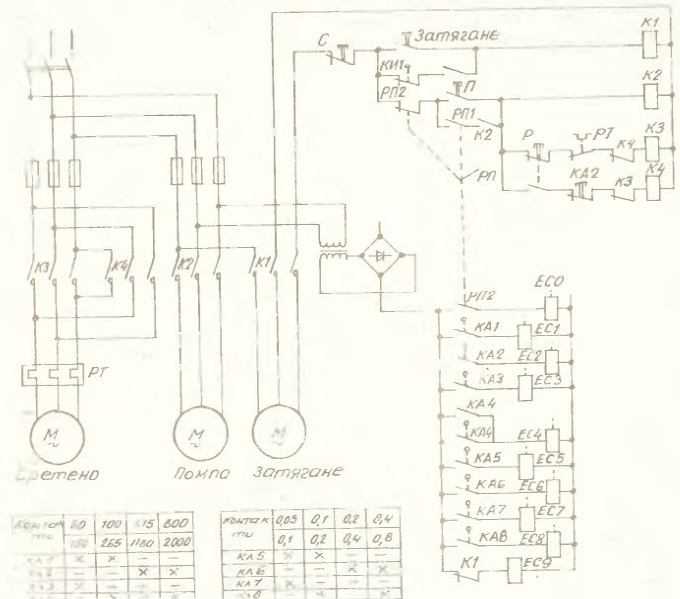
За управление на главните движения на струга освен бутоните П и С служи и ръчният превключвател РП с три фиксирани положения. Едното от тях е работно — при него са затворени контактите РП1; другото е спиращо — при него са задействувани контактите РП2, а при третото (средното) и двата контакта не са задействувани.

Двигателят на вретеното се включва с бутона П при работно положение на ръчния превключвател. При това най-напред се включва двигателят на помпата за смазване. За спиране трябва да се натисне бутонът С или РП да се постави в средно или спиращо положение.

При поставяне на РП в средно положение се отварят контактите му РП1, при което контакторите К2 и К3 изключват и вретеното спира под действие на силите на трисне. В това положение

двигателят може да се пусне само докато е натиснат пусковият бутон.

При поставяне на РП в спиращо положение заедно с изключването на двигателя се включва и електромагнитният спирател



Фиг. 3.37. Схема за управление на революрен струг

съединител ЕС9, който осъществява принудително спиране. В това положение ново пускане на двигателя е невъзможно, тъй като веригата на контакторите К2 и К3 остава прекъсната.

Реверсирането на шпиндела, което е необходимо за отвеждане на резбонарезния инструмент, се осъществява с натискане на бутона Р. При това се изключва контакторът К3 и се включва К1, което освен до реверсирането на двигателя води до изключване на електромагнитния съединител ЕС3 и включване на ЕС4. То от своя страна увеличава скоростта. Ако обаче в работната посока на въртене е бил включен ЕС1, изменението на скоростта при реверсиране няма да настъпва.



Нарязването на резби се извършва на една от двете ниски скорости на шпиндела за всеки обхват (60, 100, 150 или  $265 \text{ min}^{-1}$ , т. е. при задействуван контакт  $KAI$  (вж. диаграмата за скоростите на вретеното на фиг. 3.37). Затова при натискане на бутона  $P$  се включва обратно въртене на вретеното със скорост 100 или  $265 \text{ min}^{-1}$ . За избягване на реверсирането на вретеното при по-големи скорости служи н. з. контакт на командоапарата  $KA2$ , който прекъсва веригата на контактора  $K4$ .

### 3.5.6. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА АГРЕГАТНИ МАШИНИ

Агрегатните машини са специални металорежещи машини, които се създават от стандартни възли и агрегати: различни по видове и размери тела, колонии, въртящи се маси, силови глави и хидравлични възли.

Най-често употребяваните стандартни възли са т. нар. *самодействащи силови глави*. Вграден в корпуса им двигател осъществява въртеливо движение на вретеното. Постъпателното движение на главата се осъществява от хидроцилиндър, като помпата на хидравличната система се задвижва от същия двигател.

На агрегатните машини обикновено izdeliyata се обработват едновременно от няколко инструмента. Затова тези машини се отличават с много по-голяма производителност от обикновените универсални металорежещи машини и се използват в условията на едросерийното и масовото производство.

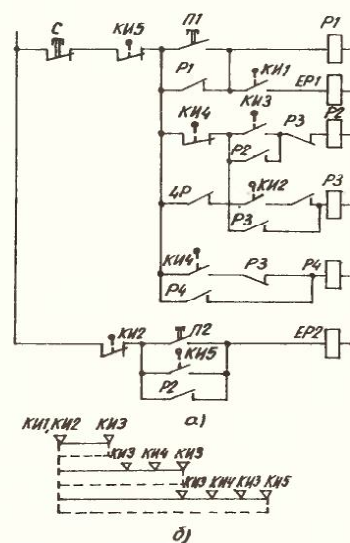
Основна задача при автоматизацията на агрегатните машини е автоматизацията на движенията на силовите глави, които в зависимост от обработката извършват различни движения. Цикълът обикновено е праволинеен и включва участъци с бърза и с работна скорост на подаване. Автоматизацията на циклите на агрегатните силови глави е типичен пример за автоматизация във функция от пътя.

На фиг. 3.38а е показана схема за управление на агрегатна силова глава при пробиване на дълбоки отвори. Пробива се на няколко прохода (в случая — три) за периодично изваждане на стружките. Циклограмата на движението (фиг. 3.38б) показва, че цикълът се контролира от пет крайни изключателя ( $KI1 - KI5$ ), като  $KI3$  се задействува два пъти от две различни опори.

Подаването на главата е хидравлично. Посоката се управлява от двата електромагнита на хидравличния разпределител  $EP1$  и  $EP2$ .

Главата се включва за работно подаване от бутона  $\Pi$ . В края на първия проход се задействува крайният превключвател  $KI3$ , който включва  $P2$ . Релето  $P2$  с единия от н. о. си контакти подготвя за включване  $P3$ , а с другия включва електромагнита  $EP2$ , който превключва посоката на подаване.

Когато агрегатната глава се върне на бърз ход в изходното си положение, превключвателите  $KI1$  и  $KI2$  се задействуват съгласно циклограмата.  $KI2$  с н. о. си контакт включва  $P3$ , а с н. з. — изключва  $EP2$ .  $KI1$  включва отново работното подаване в първоначалната посока.



Фиг. 3.38. Схема за управление на агрегатна силова глава

При втория проход най-напред се задействува  $KI3$ , но релето  $P2$ , което превключва посоката на подаването, не се задействува, защото веригата му е прекъсната от н. з. контакт на останалото включено релe  $P3$ . Затова работното подаване продължава. След  $KI3$  се задействува  $KI4$ . Той прекъсва веригата на  $P3$  и включва  $P4$ , което се самоблокира. В края на втория проход  $KI3$  се задействува отново от втора опора. Сега вече релето  $P2$  включва и реверсира подаването.

В изходно положение отново се задействува  $KI1$  и  $KI2$ , които отново включва  $P3$ . Така че при започване на третия проход са включени релетата  $P3$  и  $P4$ . В течение на прохода релето  $P2$

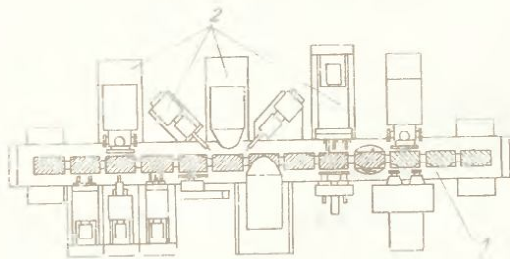
не включва при първото задействане на *KI3*, защото веригата му, както и при втория проход, отново е пръсната от *P3*. Релето *P3* обаче не изключва при задействане на *KI4*, тъй като захранването му продължава през паралелно включения на *KI4* контакт на релето *P4*. Затова и при повторното задействане на *KI3* релето *P2* не включва и подаването продължава в същата посока.

В края на последния проход се задействуват крайният изключвател *KI5*, който изключва *EP1* и включва *EP2*. Главата се връща окончателно в изходната му позиция. Релето *P1* също е изключено, така че работното подаване може да се включи отново само след натискане на бутона *П1*.

За осъществяване на някои по-сложни режими на работа автоматизацията във функция от пътя често се комбинира с автоматизация във функция от времето.

### 3.5.7 ЗАДВИЖАВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА АВТОМАТИЧНИ ЛИНИИ

Автоматичните линии в машиностроенето се създават от отделни агрегатни или други специализирани машини, които се свързват помежду си с общо автоматично действащо транспортно устройство. На автоматичните линии без участие на човек детайлът се транспортира от една машина до друга, фиксира се, затяга се в необходимото положение и се обработва. Работникът само поставя обработвания детайл в изходна позиция



Фиг. 3.39. Автоматична линия с твърда транспортна връзка

и го сваля след завършване на обработката. На фиг. 3.39 е показан схематично външният вид на една автоматична линия, в която отделните машини 2 са свързани помежду си с твърда транспортна връзка 1.

За съгласуване на работата на всички участващи в линията механизми най-често се използва принципът на автоматизация във функция от пътя. Това се определя преди всичко от необходимостта да се контролира взаимното разположение на обработваните детайли и работните органи на машините. Схемата за управление обикновено се строи така, че главата за всяко следващо действие се получава тогава, когато предишното е вече завършено.

Времето между подаването на две последователни команди се нарича *такт на линията*. През това време се извършват определени действия, необходими за обработката – транспортиране, затягане, механична обработка и др. Комплексът от няколко такта, необходими за обработката на детайли, се нарича *цикъл*. Най-често срещаният цикъл съдържа следните основни тактове: 1. Преместване на детайла от една позиция на следващата. 2. Фиксиране в необходимото положение. 3. Затягане. 4. Механична обработка. 5. Освобождаване от фиксиращите устройства. 6. Отпускане. Този цикъл се изпълнява паралелно на всички работни позиции.

Автоматичните линии работят в следните основни режими:

1. Автоматичен режим, при който описаният цикъл се повтаря непрекъснато.
2. Полуавтоматичен, при който линията спира след изпълнението на всеки цикъл и е необходима намесата на работника, за да започне следващият.
3. Настроен, при който всички машини и механизми се управляват поотделно.
4. Специални режими, при които някои агрегати се изключват от работата на линията.

Желаният режим обикновено се избира от специален превключвател на режимите.

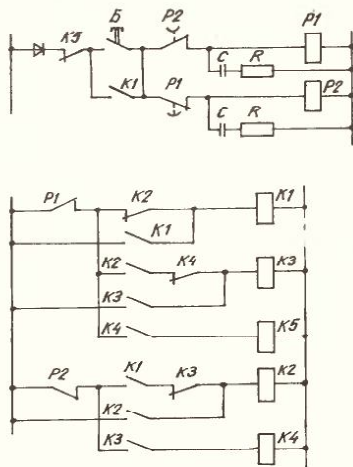
Схемата за управление за автоматичните линии трябва да осъществява и някои основни блокировки.

1. Транспортният се включва и обработваните детайли се преместват само когато всички работни органи са в изходно положение, детайлите са отпуснати и освободени от фиксиращите устройства.
2. Затяга се само след окончателното преместване на детайлите в изходно положение на силовите глави.
3. Подаването на главите се извършва след пълното затягане на детайлите.
4. Отпуска се само ако всички глави са завършили работния си цикъл и се намират в изходно положение.
5. Работата на линията се прекратява, ако се изключи кой да е от участващите в нея агрегати.

В схемата за управление обикновено има и много други блокировки и зависимости, които се определят от вида на линията, характера на обработката и т. н.



Тъй като в работата на линията участват голям брой електрически двигатели, едновременното им пускане е съпроводено с големи пускови токове. За да се избегнат, двигателите се разделят на няколко групи, чието последователно пускане се извършва последователно.



Фиг. 3.40. Схема за последователно пускане на двигателите от поточна линия

Процесът се управлява от реле за време. Подобна схема е показана на фиг. 3.40. В нея за управление на пускането на двигателите, разделени на две групи, се използват релета  $P1$  и  $P2$ , които взаимно се включват и изключват със задръжка.

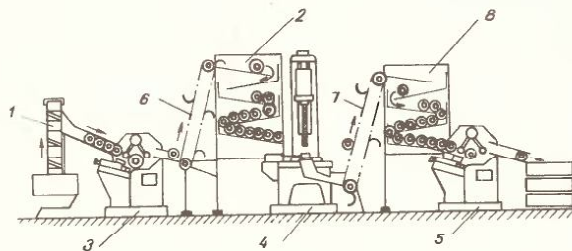
При натискане на бутон  $B$  най-напред се включва  $P2$ , което от своя страна включва релето  $P1$ , а то — контактора  $K1$  за първата група двигатели. С малко закъснение  $P1$  изключва  $P2$ , което след изтичане на времето, за което е настроено, отваря контакта си във веригата на  $P1$  и включва контактора  $K2$  за втората група. При следващото включване на  $P1$  се включва  $K3$  и т. н. до включване на последния контактор  $K5$ , който изключва схемата. Броят на контакторите, участващи в схемата, може да бъде произволно увеличен. Редът на включването им във всички случаи се осигурява от съответните им блокиращи контакти.

Недостатък на разгледаната схема на автоматична линия с твърда транспортна връзка (фиг. 3.39) е това, че работата ѝ се преустановява при излизане от строя на кой да е от участващите в нея агрегати. По-широки възможности в това отношение дава автоматичната линия с гъвкави транспортни връзки, в която между отделните машини има специални бункерни устройства (фиг. 3.41). Всяка машина от тази линия извършва свой независим цикъл. Поради големите междинни бункерни устройства линията като цяло може да продължава работата си за известно време и даже и при спиране на някоя от участващите в нея машини.

Взаимните връзки, които трябва да осигури схемата за управление, се определят преди всичко от състоянието на бункерите

и работата на междинните транспортъори. В показаната схематично линия (фиг. 3.42) такива взаимни връзки в участъка между машините 3 и 4 са:

1. Машината 3 трябва да спре, когато транспортърът 6 не работи или бункерът 2 е запълнен.



Фиг. 3.41. Автоматична линия с гъвкава транспортна връзка

2. Машината 4 трябва да спре, когато бункерът 2 се изпразни.

2. Ако машината 4 не работи, транспортърът 6 продължава работата си до напълването на бункера 2, след което се изключва.

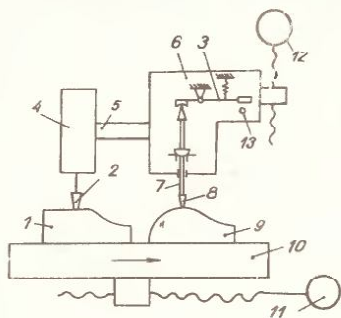
За задвижване на отделните машини и механизми в автоматичните линии се използват изключително асинхронни двигатели с късосъединен ротор.

Основните апарати, които участват в схемите за управление, са различни релета и контактори, пътни превключватели, бутони и други командоапарати. Даже в сравнително не много сложни линии броят им е голям, като силно нараства с увеличаване броя на включените в линията агрегати и увеличаване на сложността на обработката, а напоследък и с приложението на програмируемите автомати.

### 3.5.8. ЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА КОПИРНИ МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

Копирните металорежещи машини се използват за обработка на детайли със сложни повърхнини, като например различни матрици, гребни винтосе, турбинни лопатки и др. Копирането се използва и при обработка на по-прости повърхнини, тъй като води до намаляване на спомагателното време и повишаване на производителността и точността на обработката.

В зависимост от формата на детайлите обработката им чрез копиране може да се извършва на фрезови, стругови, разточни и други металорежещи машини, като най-често се използват първите от тях.



Фиг. 3.42. Принцип на копиране

фигурата е показана обработката на детайла 1 по шаблона 2 с помощта на фрезата 1. Фрезовият супорт 4 е съединен чрез твърда връзка 5 с копирното устройство 6. То се състои от копирния лост 7, завършващ с копирен палец 8. С другия си край копирният лост въздейства на контактния лост 3, като отваря и затваря контакта 13. Обработваният детайл и шаблона са закрепени върху масата 10 на копирната фреза. Двигателят 11 с ходов винт осъществява подавателното движение на масата в определената посока, което се нарича *задаващо подаване*. Вертикалното преместване на копирното устройство и фрезовата глава се нарича *следящо подаване* и се осъществява от двигателя 12.

Схемата за управление на двигателя 12 е построена така, че при отворен контакт 13 копирното устройство заедно с фрезовия супорт се премества към шаблона, а при затворен контакт се отдалечава от него.

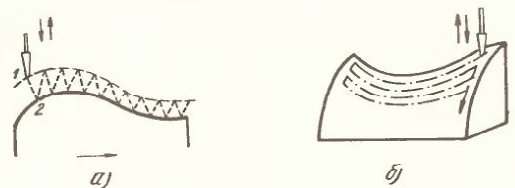
Да предположим, че в началния момент контактът 13 е отворен и копирният палец започва да се движи към шаблона. При достигането му под действието на лостовата система контактът 13 ще се затвори и копирният уред ще започне да се премества в обратна посока. Когато копирният палец се отдели от шаблона, контактът 13 отново ще се отвори и следящото подаване отново ще смени посоката си до следващото достигане на шаблона,

Обработката на детайлите с копирни металорежещи машини се извършва по предварително изработен образец, наречен *модел* или *шаблон*. В процеса на обработката по повърхността на модела се движи непрекъснато *копирен палец*, чиято форма съответствува на формата на режещия инструмент. Преместванията на копирния палец в процеса на „описване“ на шаблона се предават на режещия инструмент от системата за управление.

Принципът на копиране е представен схематично в най-прост вид на фиг. 3.42. На

което няма да бъде в същата точка поради наличието на непрекъснато задаващо подаване.

В резултат на периодичните доближения и отдърпвания на контактния палец и непрекъснатото задаващо подаване копирни-



Фиг. 3.43. Траектория на копирния палец

ят палец 1 описва триънообразна траектория, успоредна на шаблона 2 (фиг. 3.43 а). Същата траектория описва и твърдо свързаната с него фреза.

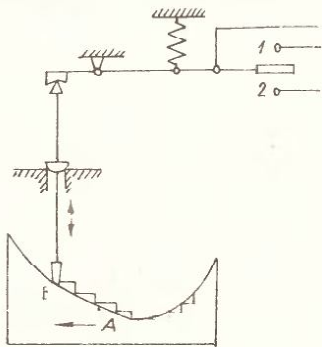
В края на шаблона задаващото подаване сменя посоката си, а фрезата и копирният палец се преместват на определено разстояние, перпендикулярно на равнината на чертежа (периодично напречно подаване). Траекториите на копирния палец и фрезата при обхождане на цялата повърхност имат вида, показан на фиг. 3.43б.

Както се вижда, копирането се получава в резултат на съместното действие на две взаимноперпендикулярни движения — задаващо и следящо. При разгледания начин на копиране се изменя само едното от тях — следящото. Такова копиране се нарича *еднокоординатно*. То е сравнително неточно, особено при детайли с рязко изменящи се повърхностни форми.

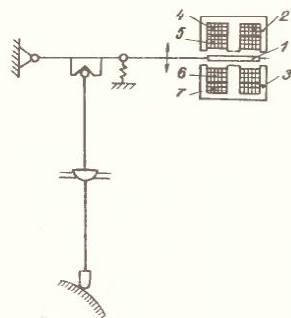
За повишаване на точността на обработване на детайла се прилага *двукоординатното копиране*, при което се управляват и двете подавания. Използува се копирен уред с два контакта, наречен трипозиционен (фиг. 3.44). В този случай посоката на следящото подаване се определя от това, кой от двата контакта — 1 или 2, е включен. Задаващото подаване е включено само тогава, когато и двата контакта са отворени. Копирането се извършва по следния начин. Когато копирният палец не допира до повърхността на шаблона, под действието на пружината се затваря контактът 1 и се включва следящото подаване в посока към шаблона. Задаващото подаване е изключено. При достигане на шаблона в т. В и натискане на палеца върху него контактът 1 се отваря, при което се изключва следящото, а се включва задаващото подаване. След известно преместване на шаблона копирният палец



ще се отдалечи от него и контактът 1 отново ще се затвори. Това ще изключи задаващото и ще включи следящото подаване в първоначална посока до ново достигане на шаблона. В т. А повърхността на шаблона сменя посоката на наклона си. В ре-



Фиг. 3.44. Трипозиционен контактен копи- рен уред



Фиг. 3.45. Безконтактен копи- рен уред

зультат на задаващото подаване копирият палец няма да се отдалечава, а ще се притиска още повече към шаблона. В такъв случай ще се затвори контактът 2, който включва задаващото подаване в обратна посока. Така шаблонът се обхожда чрез последователно редуване на надлъжни и напречни премествания. Получената траектория на режещия инструмент и в този случай се различава от идеалната, но неточностите тук са по-малки.

По-нататъшното повишаване на точността на обработваните детайли чрез копиране е свързано с използването на безконтактни копири уреди, които позволяват непрекъснато управление на задаващото и следящото подаване. Принципната схема на подобен уред е показана на фиг. 3.45. Той се състои от две самостоятелни индуктивни системи 2 и 3 с обща котва 1, която се премества вертикално при движение на копирият палец. На всяка магнитна система са поставени по две намотки — 4 и 5 на едната и 6 и 7 — на другата. Намотките 4 и 6 са съединени последователно и се захранват от източник на променливо напрежение. Другите две намотки 5 и 7 са съединени насрещно, така че изходното напрежение на копирият уред е равно на разликата от индуктираните в нея напрежения.

Когато котвата 1 е в средно положение, индуктираните напрежения в намотките 5 и 7 са равни и изходното напрежение на

уреда е равно на нула. Приближаването на котвата към един от магнитопроводите води до нарастване на индуктивното напрежение в едната намотка и намаляване в другата. Така че на изхода на копирият уред ще се появи напрежение, чиито големина и фаза зависят от големината и посоката на отклонението на копирият палец от средното му положение. Това напрежение се използва по-нататък за непрекъснато безстепенно регулиране на скоростите на задаващото и следящото подаване.

В последно време широко разпространение получиха т. нар. *фотокопирни металорежещи машини* за обработка на плоски детайли с различна форма. Те се използват най-често за разкрояване на листови материали. В тях за шаблон служи специално изработен чертеж.

### 3.5.9. ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ НА МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

Програмното управление на металорежещите машини позволява значително да се повиши производителността на обработката, особено на детайли със сложни форми в условията на единичното производство. Напр. за обработване на турбинна лопатка на универсален струг са необходими около 15 работни дни, а на фрезова машина със система за цифрово програмно управление тази обработка се извършва за няколко часа, при това с много по-голяма точност. За обработката на корабен гребен винт с универсална фрезова машина са необходими от 200 до 300 h, докато на фрезова машина с програмно управление тази обработка трае 40÷50 h.

Системите за циклово програмно управление се използват най-често за управление на обикновените и револверните стругове. Програмата обикновено се задава с щекерно табло (вж. фиг. 2.82) или с декадни превключватели. Големината на преместванията на работните органи се задава с помощта на регулируеми опори, които заедно с крайни превключватели.

В последно време релейно-контактната част на системата за управление при машините, изискващи голям брой и сложни цикли, се заменя все по-често с безконтактни логически елементи на микроелектронна основа и с програмируеми автомати, където програмата се задава с перфоленти.

Все по-широко разпространение намират *металорежещите машини с цифрово програмно управление (ЦПУ)*, които се делят на две големи групи — машини с *позиционно* и машини с *контурно управление*. Позиционните системи за ЦПУ се прилагат широко за управление на стругови и пробивни машини. Контурните системи за ЦПУ се използват за управление на стругови, фрезови, шлифовъчни и други машини, предназначени за обработка на сложни детайли, съдържащи криволинейни контури и повърхнини.



Управляващата програма на машините с ЦПУ се записва най-често на перфолента с използване на двоичен или двоично-десетичен код. Магнитни ленти се използват сравнително по-рядко.

Подготовката на управляващите програми, особено за контурните системи за ЦПУ, е процес, който изисква значителни количества висококвалифициран труд, затова се отделя голямо внимание на автоматизирането му с помощта на ЕИМ. При това технолог-програмист записва в определен ред началната информация за обработвания детайл, като използва специален език за програмиране, а електронноизчислителната машина извършва изчисленията за построяване на траекторията на режещия инструмент и съставя съответната програма за системата за ЦПУ.

За задвижване на работните органи на металорежещите машини с ЦПУ широко се използват стъпкови двигатели (най-често в отворените системи за управление) или постояннотокови двигатели с подобрени динамични качества — малкоинерционни, високомоментни и др.

За осъществяване на обратна връзка по положението на работните органи се използват датчици (преобразуватели) от различен тип, най-често индуктивни (индуктосин) и оптически.

Съвременните системи за ЦПУ дават възможност и за автоматизация на редица спомагателни процеси и операции, като смяната на инструмент, корекция на износването на режещия инструмент, цифрова индикация на положението на работните органи и др., което води до по-нататъшно повишаване на производителността и на точността на обработката.

До появата на металорежещите машини с ЦПУ автоматизацията на дискретните технологични процеси се развиваше главно по пътя на създаване на специализирани високоавтоматизирани машини и автоматични линии, предназначени за обработка на детайли с определена форма и размери, които се произвеждат в големи серии. В условията на единично и дребносериенно производство се използваха изключително универсални металорежещи машини. При тях възможностите за висока степен на автоматизация са твърде ограничени поради необходимостта от чести пренастройки, а и поради голямото разнообразие на обработваните детайли.

Създаването на металорежещи машини с ЦПУ отбеляза началото на качествено нов етап в развитието на автоматизацията на технологичните процеси с дискретен характер. Съчетаването на високата производителност на специализираните машини с възможността за бързо и удобно изменение на програмата им за работа позволи да се автоматизира до голяма степен механичната обработка в условията на единично и дребносериенно производство.

Разработването на системи с ЦПУ е тясно свързано с развитието на електрониката и изчислителната техника. Появата на

полупроводникови елементи и интегрални схеми позволи създаването на сравнително малогабаритни и надеждни системи за програмно управление, които намериха широко приложение за автоматизация на стругове, пробивни, фрезови, шлифовъчни машини и др. Относителният дял на машините с програмно управление започна бързо да нараства и сега представлява един от основните показатели за нивото на автоматизация на машиностроенето.

Класическите системи за ЦПУ независимо от вида (позиционни, контурни и т. н.) и елементната база, на която са изградени (контактни или безконтактни релейни елементи, интегрални схеми), са системи с твърда логика. По международните норми те се означават обикновено като системи NC (съкращение от английското Numerical Control). Въпреки големите им предимства по отношение на производителност, гъвкавост и т. н. те не можаха да получат много широко разпространение поради наличието на някои сериозни недостатъци:

висока цена, достигаща в някои случаи цената на машината; подготовката на програми е сложна и труднопоглъщаща; необходимост от висококвалифициран персонал за ремонт и настройка.

Преодоляването на тези недостатъци и тук, както и при другите сложни схеми за автоматизация, е свързано с преминаване от системи с твърда логика към системи с програмируема логика. За тази цел се използва самостоятелна ЕИМ (процесор), която осъществява всички функции по управлението. Тези системи се означават като системи CNC (Computer Numerical Control).

Появата на евтините и надеждни микропроцесори съдейства за бързото развитие и приложение на системите CNC, които поради предимствата си по отношение на програмирането и експлоатацията заемат преобладаващо място.

Друга тенденция в развитието на системите с ЦПУ е така нареченото директно цифрово управление — DNC (Direct Numerical Control). При тази система една ЕИМ управлява група от металорежещи машини, всяка от които има своя собствена система за програмно управление. Програмите за обработка са записани в паметта на ЕИМ, която изпраща съответните команди към локалните управляващи устройства на машините и следи за изпълнението им.

При първите системи DNC локалните системи за ЦПУ на отделните машини се правеха максимално опростени и без възможности за самостоятелно функциониране. Това намалява надеждността, тъй като всяка повреда на ЕИМ води до пълно спиране на работата на управляваните от нея машини. Затова в последно време системите DNC се изграждат на основата на самостоятелни системи за ЦПУ (сега CNC), които имат входно-изходни ус-



тройства за връзка с управляващата ЕИМ и могат да осигурят автономно управление на всяка от металорежещите машини.

Бажно предимство на системите DNC е възможността за оптимално разпределение на производствената програма между машините на основа на информация за престойте, дефектите на работа и т. н.

Основен недостатък на тези системи си остава все още високата им цена, но развитието им е твърде перспективно с оглед създаване на напълно автоматизирани участъци и цехове, управлявани от микропроцесорни системи.

### Въпроси и задачи

1. Какво е характерно за управлението на универсалните металорежещи машини (стругове, фрези, пробивни машини)? Какви основни блокировки се осъществяват в тях?
2. Защо магнитните маси се използват само в шлифовъчните машини?
3. Каква е разликата между металорежещите машини с копирно и с програмно управление? Кои от тях дават възможност за по-голяма точност при обработка на сложни детайли и защо?

## 3.6. АВТОМАТИЗАЦИЯ НА КОНТРОЛНИТЕ ОПЕРАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНЕТО

Автоматизацията на контролните (измервателните) операции в машиностроенето е твърде важен въпрос, от който до голяма степен зависи повишаването на производителността на труда, защото в много случаи за контролните операции се изразходва много повече време, отколкото за основните производствени операции. Напр. изготвянето на детайли чрез штамповане или пресоване става за части от секундата, докато за проверката на размерите им са необходими няколко секунди. Производството на винтове и гайки с автоматични стругове изисква няколко секунди за един детайл, докато проверката им е много по-продължителна. При това трябва да се има предвид, че извършването на ред контролни операции върху сложни детайли, като прецизни винтове, зъбни колела и др., изисква много висока квалификация.

Неавтоматизираното измерване на размерите може да създаде твърде големи трудности при работата на автоматичните линии в машиностроенето, тъй като затруднява своевременното сигнализиране за брак.

Всичко това наложи широкото развитие на методите за автоматизирано измерване и контрол, които наред с отстраняването на горните недостатъци дават възможност да се постигне много по-голяма точност при измерванията.

Устройствата за автоматичен контрол на размерите могат да се разделят на две големи групи.

1. *Устройства за активен контрол*, които въздействуват на работната машина в процеса на обработка, като изменят режима на работа или прекратяват обработката при достигане на желания размер. С такива устройства се запознахме при разглеждане на задвижването и схемите за автоматизация на кръглошлифовъчните машини.

2. *Устройства за пасивен контрол*, които осъществяват измерване, без да се намесват в технологичния процес. Обикновено тези устройства разделят изделията на две (годни и брак) или повече групи и се наричат съответно *бракуващи* или *сортиращи автомати*.

И двата вида устройства имат измервателен крайник, който се притиска от пружини към повърхността на контролирания детайл. Измененията в размерите на детайла са свързани със съответно преместване на измерващия крайник, което датчикът преобразува в електрически сигнал. В зависимост от преобразователния елемент различаваме 3 основни вида датчици:

1. *Електроконтактни*, в които при движението на измервателния крайник се затварят или отварят съответни контакти. Такъв датчик беше разгледан като част от устройство за активен контрол на кръглошлифовъчните машини.

2. *Индуктивни*, в които при движението на измервателния крайник, чрез свързан с него феромагнитен елемент се изменя индуктивното съпротивление на намотка.

3. *Капацитивни*, в които движението на измервателния крайник се преобразува в изменение на капацитета на кондензатор.

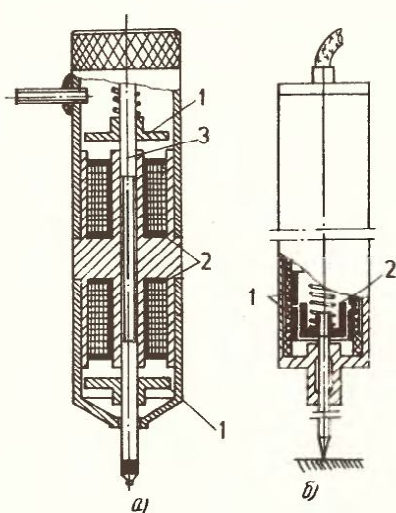
Съществуват и преобразователи, работещи на други принципи (съпротивителни, тензометрични и др.), които още не са намерили много широко приложение.

Освен преобразователите с електрическо преобразуване на сигнала се срещат и *пневматични преобразователи*, в които се използва връзката между налягането или разхода на въздух и размера на изходния отвор на дюзата, който се изменя във функцията от размера на изделията.

Устройствата за активен и пасивен контрол са контактни, когато при тях съществува непрекъснат механичен контакт между измервания детайл и измервания крайник. Съществуват и безконтактни устройства, които използват пневматични, оптически, радиационни и други чувствителни елементи. Голямо предимство на *безконтактните измервателни устройства* е липсата на износване на измервателния елемент. Освен това те се използват в производствени процеси, протичащи при високи температури и големи скорости, където контактните устройства са непригодни.

На фиг. 3.46 *а* и *б* е показано принципно устройство на два преобразователя от индуктивен и капацитивен тип, които се използват за автоматизация на контролните операции.

Индуктивният преобразувател се състои от две намотки 2, включени в мостова диференциална схема. Към измервателния крайник 3 са закрепени два метални диска 1, които са част от магнитната система. При симетрично приложение на край-



Фиг. 346. Устройства за активен контрол от индуктивен (а) и кондензаторен (б) тип

ника индуктивните съпротивления на двете намотки са равни и на изхода на мостовата схема няма сигнал. Това положение отговаря на зададения размер. При отклонение на действителния размер в една или друга посока на изхода на схемата ще се появи сигнал със съответна фаза, пропорционален на отклонението. Този сигнал би могъл да бъде използван по-нататък в схема за активен или за пасивен контрол.

Аналогична е конструкцията и на кондензаторния преобразувател, в който се използва изменението на капацитета между неподвижните месингови пръстени 1 и подвижния електрод 2. Два-та кондензатора също са включени в мостова схема, на изхода

на която няма сигнал, когато подвижният електрод е симетрично разположен спрямо неподвижните.

Значително по-сложен е въпросът за автоматизацията на контрола на размерите на детайли със сложна форма, изработвани на машини с програмно управление. В тази област напоследък също се появили много оригинални решения, които доведоха до пълната автоматизация и на най-сложните контролни операции.

Един такъв автомат представлява в най-общ случай машина с програмно управление. На подвижния ѝ орган е поставен някой от разглежданите по-горе преобразуватели на размери, а програмата за движението му съответствува на последователно обхождане (опипване) на измервания детайл. Ако действителните размери на детайла не се отклоняват от зададените, датчикът остава в неутрално положение и на изхода няма никакъв сигнал. Отклонението на действителните размери от зададените предизвиква появата на сигнал, който се регулира в измервателната схема.

Използването на такива автоматични измервателни устройства позволява значително да се намали необходимото време за измерване и да се увеличи точността на измерването. При това напълно се избягват субективните грешки, свързани с участието на човека в измервателния процес, тъй като резултатите от измерването се дават в цифров вид или се записват автоматично.

#### Въпроси и задачи

1. Какви видове устройства за автоматичен контрол съществуват? Кои от тях позволяват пълна автоматизация на механичната обработка?
2. Предложете различни конструкции на индуктивни и кондензаторни преобразуватели за осъществяване на контролни операции.
3. Какви други методи за осъществяване на контролни операции можете да предложите?



## ЛИТЕРАТУРА

1. Зимин, Э. Н., В. И. Яковлев, Автоматическое управление электропроводами, М., Высшая школа, 1979.
2. Йорданов, Св. Електрозадвижане и автоматизация на подземно-транспортни и строителни машини. С., Техника, 1978.
3. Личев, Р., Стаменов Б., К. Дийгоров. Тиристорни автоматизирани електрозадвижвания. С., Техника, 1977.
4. Минчев, Д. Автоматично управление на електрозадвижванията. С., Техника, 1980.
5. Программно управление станками, под ред. В. Л. Сосонкина. М., Машиностроение, 1981.
6. Стоянов, С., Ц. Цанев. Електрообзавеждане на производствени агрегати. С., Техника, 1981.
7. Харизоменов, И. В. Електрооборудование и електроавтоматика станков. М., Машиностроение, 1975.
8. Чиликии, М. Г., А. С. Сандлер. Общия курс електропривода, М., Эвергонздаг, 1981.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Условни графични означения в принципните електрически схеми

Асинхронен двигател с късосъединен ротор	
Асинхронен двигател с навит ротор	
Двигател за постоянен ток	
Електромашинен усилвател	
Намотка на електрическа машина	
Трансформатор	
Намотка на реле или контактор	
Нормално отворен контакт на контактор (силов)	
Нормално затворен контакт на контактор (силов)	

Продължение на приложение 1

Нормално отворен контакт на реле или блокиращ контакт на контактор	
Нормално затворен контакт на реле или блокиращ контакт на контактор	
Нормално отворен и нормално затворен контакт със задръжка при отваряне	
Нормално отворен или нормално затворен контакт със задръжка при затваряне	
Термично реле — силов елемент	
Контакт на термично реле	
Пусков бутон с нормално отворен контакт	
Пусков бутон с нормално затворен контакт (стоп)	
Краен преключател	
Предпазител	
Пакетен преключател	
Електромагнитен съединител	

СЪДЪРЖАНИЕ

Увод

Част I. Основи на електрозадвижването

1.1. Основни понятия	7
1.1.1. Електрозадвижване. Видове	7
1.1.2. Механични характеристики на електрическите двигатели и производствените механизми	8
1.1.3. Устойчива работа на двигателя в установен режим	12
1.1.4. Динамика на електрическото задвижване	15
1.1.5. Спиращи режими	18
1.1.6. Основни процеси на управление на електрическото задвижване	20
1.2. Асинхронни двигатели	24
1.2.1. Общи сведения	24
1.2.2. Механични характеристики	26
1.2.3. Пускане на асинхронните двигатели	28
1.2.4. Регулиране на скоростта	34
1.2.5. Спиращи режими	42
1.3. Двигатели за постоянен ток	45
1.3.1. Общи сведения	45
1.3.2. Механични характеристики	46
1.3.3. Пускане на двигателите за постоянен ток	47
1.3.4. Регулиране на скоростта	49
1.3.5. Спиращи режими	53
1.3.6. Безстепенно регулиране на скоростта	56
1.4. Синхронни двигатели	66
1.4.1. Общи сведения	66
1.4.2. Механични характеристики	67
1.4.3. Пускане, спиране и регулиране на скоростта	68
1.4.4. Приложение	69
1.5. Режими на работа и избор на двигатели	70
1.5.1. Нагряване и охлаждане на двигателите	70
1.5.2. Режими на работа	72
1.5.3. Избор на мощността на двигателите	74
1.5.4. Избор на конструктивното изпълнение на двигателите	79
1.5.5. Свързване на двигателя с работните машини	81

Част 2. Управление и автоматизация на работния цикъл на машини и механизми

2.1. Основни схеми на релейно-контактно управление на електрозадвижванията	82
2.1.1. Използване на контактни апарати за автоматизация на управлението	82
2.1.2. Релейно-контактно управление на асинхронни двигатели с късоъединен ротор	84
2.2. Автоматично управление във функция от времето	88
2.3. Автоматично управление във функция от пътя	94
2.4. Автоматично управление във функция от скоростта, натоварването и други параметри	106



2.5.	Защитни функции в схемите за автоматично управление на електрическите двигатели	110
2.5.1.	Максималнотокова защита	111
2.5.2.	Термична защита	112
2.5.3.	Нулева защита	113
2.5.4.	Допълнителни защитни функции	114
2.5.5.	Електрически защитни блокировки	115
2.6.	Основни принципи при съставяне на релейно-контактните схеми. Избор на елементите на схемата	119
2.6.1.	Видове схеми	119
2.6.2.	Основни изисквания при съставяне на принципни схеми за релейно-контактно управление	120
2.6.3.	Избор на елементите на схемата	124
2.7.	Автоматично безстепенно регулиране на скоростта	125
2.7.1.	Отворени и затворени системи за регулиране	125
2.7.2.	Основни характеристики на затворените системи	131
2.7.3.	Обратни връзки и коригиращи звена	133
2.7.4.	Затворени САР на скоростта на двигателя за постоянен ток с общ сумиращ усилвател	143
2.7.5.	Затворени САР на скоростта на двигатели за постоянен ток с подчинено регулиране	151
2.7.6.	Системи за безстепенно регулиране на асинхронни двигатели	153
2.8.	Автоматично релейно безконтактно управление	156
2.9.	Програмируеми автомати	162
2.9.1.	Общи положения	162
2.9.2.	Основни понятия на булевата алгебра	165
2.9.3.	Приложение на булевата алгебра за анализ на релейно-контактни схеми	166
2.9.4.	Обща структура на програмируемия автомат	168
2.9.5.	Програмиране	170
2.9.6.	Предимства и недостатъци. Област на приложение	172
2.10.	Автоматично програмно управление	173
2.10.1.	Основни понятия	173
2.10.2.	Циклово програмно управление	174
2.10.3.	Цифрово програмно управление	176
2.11.	Монтаж и настройка на системите за управление	185
2.11.1.	Общи изисквания	185
2.11.2.	Приципни и монтажни схеми	191
2.11.3.	Контрол и настройка	196

### Част 3. Електрозадвижване и автоматизация на производствени машини и механизми

3.1.	Електрозадвижване и автоматизация на кранове	199
3.1.1.	Общи положения	199
3.1.2.	Основни елементи на крановите задвижвания	200
3.1.3.	Задвижване и автоматизация на мостови кранове	205
3.1.4.	Задвижване и автоматизация на грайферни кранове	209
3.1.5.	Задвижване и автоматизация на магнитни кранове	211
3.2.	Задвижване и автоматизация на асансьори	213
3.2.1.	Общи положения	213
3.2.2.	Основни елементи на задвижването и системата за управление	215
3.2.3.	Системи и схеми за управление на асансьори	217
3.3.	Задвижване и автоматизация на механизми за непрекъснат транспорт	225
3.3.1.	Общи положения	225
3.3.2.	Основни елементи на задвижването	227
3.3.3.	Схеми за управление на транспортни ленти	227

3.4.	Задвижване и автоматизация на помпи, компресори и вентилатори	230
3.4.1.	Общи положения	230
3.4.2.	Основни елементи на задвижването	232
3.4.3.	Схеми за управление на помпи, вентилатори и компресори	233
3.5.	Задвижване и автоматизация на металорежещи машини	236
3.5.1.	Общи положения	236
3.5.2.	Задвижване и автоматизация на универсални стругове	238
3.5.3.	Задвижване и автоматизация на шлифовъчни машини	240
3.5.4.	Задвижване и автоматизация на стъргателни машини	246
3.5.5.	Задвижване и автоматизация на револверни стругове	249
3.5.6.	Задвижване и автоматизация на агрегатни машини	252
3.5.7.	Задвижване и автоматизация на автоматични линии	254
3.5.8.	Задвижване и автоматизация на копирни металорежещи машини	257
3.5.9.	Програмно управление на металорежещите машини	261
3.6.	Автоматизация на контролните операции в машиностроенето	264

Литература  
Приложение

ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА МЕХАНИЗМИ И МАШИНИ

Учебник за техникумите, специалност  
автоматизация на производството

Автор: к. и. н. инж. *Кузман Димитров Йонов*  
Рецензенти: доц. к. т. н. инж. *Светослав Йорданов Миленков*  
инж. *Стоян Тодоров Бонев*  
инж. *Невена Величкова Петрунова*

Първо издание — допечатка  
Българска  
Научен редактор доц. к. т. н. инж. *Иван Стойчев Иванов*  
Редактор на издателството инж. *Мариана Рихтер*  
Художник *Филип Малеев*  
Худ. редактор *Вихра Стоева*  
Техн. редактор *Мария Йорданова*  
Коректор *Виолета Андреева*

Дадена за набор на 14. I. 1987 г.  
Подписана за печат на 10. VII. 1987 г.  
Изпзала от печат на 30. VII. 1987 г.  
Код 03 9534323231 Изд. № 13224. Формат 60x90/16. УИК 18,16. Печ. копи 17,25.  
4785—114—87

Изд. коли 17,25. Тираж 2000 + 21. Цена 0,81 лв.

ДИ "Техника", бул. Руски 6, София  
ДП "В. Андреев", Перник