

T. POPESCU D. MIHOC E. DUMBRĂVĂ OV. SAMOILESCU

# ACTIONĂRI ȘI AUTOMATIZĂRI

Manual pentru licee industriale, ani IV și V.

Scoala de maștri și de specializare postliceală

Conf. dr. ing. STELIAN POPESCU  
Conf. dr. ing. DAN MIHOC

Ing. EDY DUMBRAVĂ  
Ing. OVIDIU SAMOILESCU

# ACTIONĂRI ȘI AUTOMATIZĂRI

Manual pentru licee Industriale cu profil de mecanică, metalurgie, prelucrarea lemnului, Industrie alimentară, textile și confecții, poligrafie, anii IV și V, școli de maîstri și de specializare postliceală.



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ  
BUCUREȘTI — 1977

**Manualul a fost revizuit conform programei școlare aprobată de  
Ministerul Educației și Învățământului.**

**Materialul a fost elaborat astfel:**

**E. Dumbravă: cap. 1,2,3,4 (A,B,C,D), 6**

**Ov. Samoilescu: cap. 4 (E,F), 5, 7, 8**

**St. Popescu: cap. 9,10,11,12,13,15,16,19,20**

**D. Mihoc: cap. 14,17,18**

**Redactor: ing. Monica Ţerbu  
Tehnorédactor: Ana Timpău  
Grafician: Victor Wegemann**

## Capitolul 1

### APARATE PENTRU ACȚIONĂRI ELECTRICE

#### A. APARATE ELECTRICE DE CONECTARE NEAUTOMATE

În instalațiile electrice de joasă tensiune\* se folosesc aparate neautomate cu acționare manuală, care servesc pentru: conectare și deconectare, protecția circuitelor și racordarea receptoarelor.

• Separatoarele închid sau deschid circuite care nu sunt parcursă de curent. Se montează între porțiunile instalațiilor electrice cu scopul separării acestora, la efectuarea unor manevre de distribuție sau la reparații.

În figura 1.1. este prezentat un separator monopolar. Cadrul 1 se leagă la pămînt. Pe izolatoarele 2 sunt fixate bornele 3. Contactul fix 4 (furca), asigură o presiune corespunzătoare pe contactul mobil 5 (cuțitul), care se poate roti în jurul axului 6.

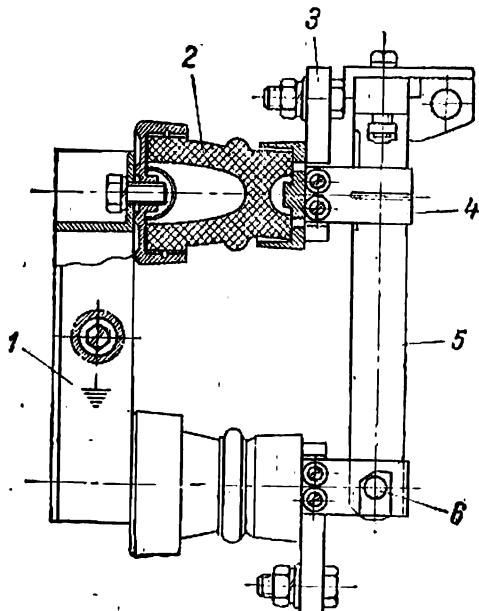


Fig. 1.1. Separator monopolar.

\* Cele mai multe acționări electrice se realizează la tensiuni sub 1 000 V, motiv pentru care în prezintarea aparatului specific nu ne vom referi decât la această categorie.

Separatoarele sunt lipsite de capacitate de rupere a curentilor; astfel se explică absența camerelor de stingeră a arcului electric. Se construiesc în țară separatoare tripolare pentru interior pentru 1 000 V și curenți nominali de 200 ... 1 000 A.

- **Intreruptoarele cu pîrghie** sunt aparate de joasă tensiune, acționate manual și dimensionate pentru comutarea (închiderea și deschiderea) curentilor de servicii. Constructiv, spre deosebire de separatoare, intreruptoarele sunt prevăzute cu dispozitive de protecție împotriva arcului electric.

Intreruptoarele cu pîrghie se construiesc în țară pînă la 100 A cu acționare directă, iar pentru curenți de 200, 350, 600 și 1 000 A — cu acționare indirectă.

- **Intreruptoarele și comutatoarele pachet și cu came**. Ansamblul aparatului se obține prin însiruirea pe același ax a unui număr variabil de elemente de construcție similară, fiecare element cuprinzînd o cale de curent. Intreruptoarele și comutatoarele pachet cuprind o serie de discuri suprapuse pe care sunt montate contactele fixe. Contactele mobile, din material conductor elastic, este unul pentru fiecare sector, sunt așezate pe un ax central și se deplasează solidar cu acesta.

Un dispozitiv realizează întreruperea bruscă, independent de viteza cu care este acționată maneta montată liber pe ax.

In figura 1.2. este prezentată diagramea unui comutator pachet.

Conform diagramei, acționarea se face în două direcții: din  $O$  în  $I$  sau din  $O$  în  $II$ . Primul disc este de sacadare, iar următoarele patru discuri sunt căile de curent. Contactele mobile au fost astfel alese, încît să realizeze în exemplul din figură închiderea căilor de curent de la  $S_1$ ,  $S_2$  la  $L_1$ ,  $L_2$  pe poziția  $I$  și de la  $S_1$ ,  $S_2$  la  $M_1$ ,  $M_2$  pe poziția  $II$ .

Se fabrică în țară intreruptoare și comutatoare pachet și cu came de 10,25 și 63 A, 380 V, 50 Hz sau 220 V c.c.

- **Siguranțele cu fuzibil** sunt aparate de protecție care întrerup circuitele electrice la trecerea unui curent mai mare decît cel prevăzut, prin topirea unui element fuzibil inseriat în circuit.

Timpul după care se topesc fuzibilele și la care se întrerupe circuitul depinde de valoarea curentului.

Caracteristicile tehnice ale siguranțelor fuzibile sunt: *curentul nominal*, *tensiunea nominală*, *caracteristica de topire* și *capacitatea de rupere*.

Curentul nominal al siguranței se marchează pe soclu.

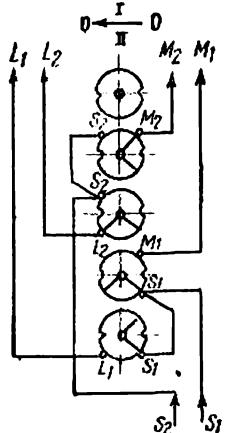


Fig. 1.2. Schema legării contactelor pentru comutatorul pachet.

Caracteristica de topire reprezintă timpul de topire în funcție de curentul care străbate fuzibilul.

Cel mai des întâlnite în instalațiile de joasă tensiune sunt *siguranțele unipolare cu filet*, având curentul nominal între 6 și 100 A. Aceste siguranțe se compun dintr-un soclu, patronul fuzibil și capacul cu filet pentru fixarea patronului în soclu.

În țară se produc siguranțe cu capacitate de rupere mică, mijlocie și cu mare putere de rupere, (MPR) cu patroane fuzibile între 0,5 și 630 A, într-o mare diversitate de forme constructive.

În acționările electrice, siguranțele realizează protecția împotriva curenților de scurtcircuit.

La alegerea fuzibilelor care protejează un motor se iau în considerație timpul și curentul de pornire, valoarea curentului de scurtcircuit al rețelei de alimentare, timpul în care trebuie separat motorul de rețea etc. Dimensionarea corectă a fuzibilului se face pe caracteristica de topire.

● **Prizele și fișele** sunt aparate folosite pentru conectarea la rețelele de joasă tensiune a consumatorilor mobili. Se produc în țară diverse tipuri de prize și fișe industriale pentru curent de 6, 10, 25 și 63 A și tensiuni pînă la 380 V, 50 Hz.

Se construiesc prize și fișe bipolare și tripolare; acestea sunt prevăzute cu un contact de protecție la care se racordează conductorul de protecție. După felul montajului, prizele se construiesc pentru montaj îngropat (în special pentru mașini unelte) sau aparent.

## B. RELEE DE PROTECȚIE

În acționările electrice se folosesc, în afara siguranțelor cu fuzibil, aparate de protecție care la o variație determinată a mărimii pentru care au fost construite, comandă instantaneu sau temporizat comutarea unui contact.

● **Releele minime și maxime de tensiune și curent.** Releele de tensiune sunt pentru curent alternativ: cele minime — pentru tensiunile 48, 120, 160 și 320 V, iar cele maxime pentru 60, 200 și 400 V; se pot regla între 0,25 și 0,5  $U_n$  pentru legarea în paralel și între 0,5 și 1  $U_n$  pentru legarea în serie a bobinelor.

Releele de curent sunt de asemenea pentru curent alternativ, pentru valori nominale între 0,05 și 200 A.

Releele maximale de curent protejează motoarele electrice la supra-intensități de scurtă durată și valori reprezentând multipli ai curentului nominal.

● Releele termobimetalice protejează motoarele împotriva unor suprasarcini de lungă durată și de valori foarte apropiate de curentul nominal al releeului.

În țară se fabrică relee termice pentru curenți nominali între 10 și 400 A în construcție tripolară, din seria TSA.

Alegerea releeului termobimetalic se face astfel: cunoscind valoarea curentului nominal al motorului se alege curentul de serviciu  $I_s$  al releeului — de valoare imediat superioară; apoi se determină valoarea de declanșare pentru  $1,1 I_n$  al motorului, care trebuie să se încadreze în domeniul de reglare a releeului, de preferință în spre limita superioară. Releele termice se construiesc cu rearmare manuală sau cu revenirea automată după declanșare (la răcirea termobimetalelor).

## C. APARATE ELECTRICE DE CONECTARE AUTOMATĂ

În categoria aparatelor electrice de conectare automată se includ aparatelor de comutare: *contactoarele și releele*, precum și *întreruptoarele automate*, care în afara comutării mai realizează de asemenea o funcție de protecție.

● **Contactoarele** execută închiderea, deschiderea sau comutarea circuitelor, la comenzi realizate prin contactul unui buton sau al unui releu. Se acționează prin comandă locală sau de la distanță.

Contactoarele au capacitate de rupere importantă și prezintă rezistență mecanică la uzură; permit un număr mare de manevre și o frecvență de conectare ridicată.

Din seria AC3, se fabrică în țară contactoare în gama curenților nominați între 10 și 400 A. Actionarea se face în curent alternativ pentru tensiuni cuprinse între 24 și 500 V, 50 Hz și între 24 și 220 V.c.c.; sunt prevăzute cu contacte auxiliare normal deschise și normal închise.

● **Contactoarele de comandă** sunt folosite în schemele de acționări electrice ca *relee intermediare* pentru multiplicarea unor semnale.

Se construiesc în țară contactoare de comandă cu opt contacte, pentru tensiuni normalizate ale bobinei de la 24 pînă la 500 V, 50 Hz și de la 24 pînă la 220 V c.c.

Contactele suportă un curent nominal termic de 6 A.

● **Releele de timp**, realizează aceeași funcție ca și releele intermediare, dar acțiunea este decalată în timp față de impulsul de comandă.

Releele de timp se deosebesc după felul temporizării: *cu temporizare la cuplare* (contactele se comută după un interval de timp de la excitarea bobinei) și *cu temporizare la decuplare* (contactele se comută după un interval de timp de ladezexcitarea bobinei).

● **Întreruptoarele automate** alcătuiesc o categorie importantă de apărate electrice combinate pentru comutarea, protecția și comanda motoarelor, transformatoarelor și liniilor electrice.

Întreruptoarele automate trebuie să rupă curentii de scurtcircuit foarte mari, de ordinul zecilor de kiloamperi și din această cauză sunt dotate cu dispozitive complexe pentru stingerea arcului.

În țară, la Întreprinderea Electroaparataj, se produc întreruptoare automate din seria ISOL de 0,4 kV, 100, 250, 500 A, precum și întreruptoare din seria OTOMAX de 1 000 și 2 500 A.

Secțiunea prin *întreruptorul OTOMAX* din figura 1.3 permite analiza construcției, cinematicii și subansamblurilor aparatului.

Barele de legătură 1 străbat cadrul fix 2 la contactele debroșabile fixe 3. Căile de curent se continuă prin contactele debroșabile mobile 4 atât la contactele principale fixe 5 și la coarnele de suflaj fixe 7, cât și la contactele principale mobile 6 și la coarnele de suflaj mobile 8. Un volum important din gabaritul aparatului îl ocupă camerele de stingere 9, cu plăcuțe de ionice. Maneta de acționare 19 acționează resortul de anclansare 15 și mecanismul de anclansare 14.

Declanșatoarele combinate termice și maximale 10 și declanșatorul de tensiune minimă 11, acționează asupra axului de declanșare 12. Dispozitivul de siguranță 13 produce de asemenea declanșarea, în cazul în care se execută o manevră greșită. Pe partea frontală se găsesc butoanele 16 de anclansare și declanșare și semnalizatoarele care indică: „resoarte armate“ sau „resoarte nearmate“ și pozițiile „închis“, „deschis“.

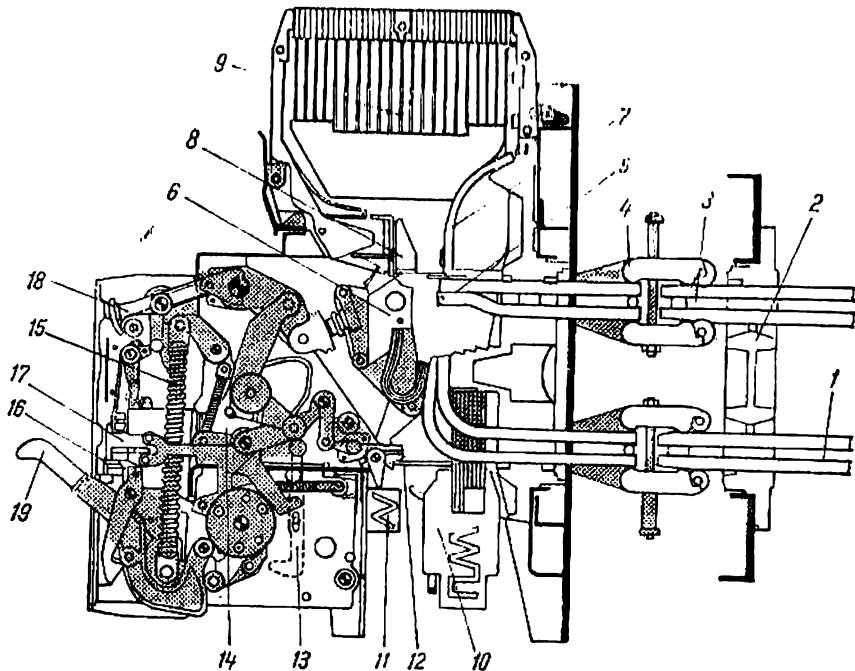


Fig. 1.3. Întreruptor automat din seria OTOMAX (secțiune).

## D. APARATE DE PORNIRE, REGLARE, FRİNARE ŞI AUTOMATIZARE

### 1. APARATE DE PORNIRE ŞI REGLARE

Aparatele de pornire și reglare se folosesc la pornirea și reglarea vitezei de rotație a motoarelor electrice.

- Comutatoarele stea-triunghi se folosesc la pornirea motoarelor electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit, pentru reducerea curentului absorbit la pornire. Trecerea din poziția stea în poziția triunghi se face manual. Comutatoarele stea-triunghi se construiesc cu contacte în aer de 25 A și 63 A, sau în ulei — de 100 A și 200 A.

În figura 1.4 este prezentată schema de legături a unui comutator stea-triunghi.

În schema de legături și pe diagramea închiderii contactelor se poate urmări succesiunea realizării funcțiunii propuse.

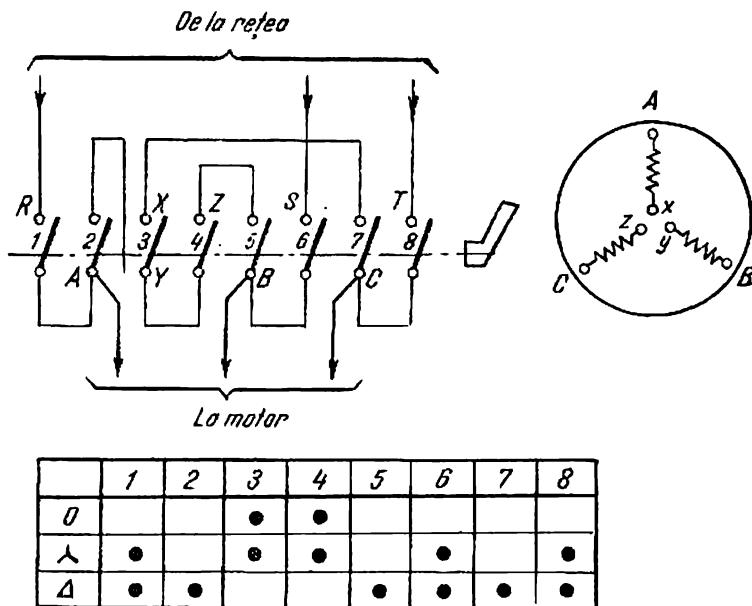


Fig. 1.4. Schema de legături a comutatorului stea-triunghi.

- Controlerile se folosesc pentru conectarea și comutarea circuitelor de forță și de comandă.

*Controlerile pentru circuitele principale* raccordate la cutii cu rezistențe se folosesc pentru pornirea și reglarea vitezei motoarelor electrice, pentru curenții pînă la 100 A. Se deosebesc două tipuri constructive: *cu tambur și cu came*.

În figura 1.5 este reprezentată diagrama contactelor cu legăturile executate pentru sănătarea unor rezistențe.

*Controlerile pentru circuite secundare* se folosesc pentru comutarea unor puteri mari, cu aparat de gabarit reduse. Contactele controlerelor pentru circuite secundare sunt dimensionate pentru curenti de 10 A și comandă circuitele de forță indirect, prin intermediul contactoarelor.

- Aparatul de comandă a cursei este o variantă a controlerului pentru circuite secundare. Acest aparat se conectează la reductorul mecanismului de execuție și în funcție de unghiul de rotire dă impulsul de comandă. Axul aparatului se poate rota continuu și pe el se asamblăză fie o serie de discuri cu un anumit profil standard și într-o anumită succesiune, fie o serie de discuri pe care se pot fixa came.

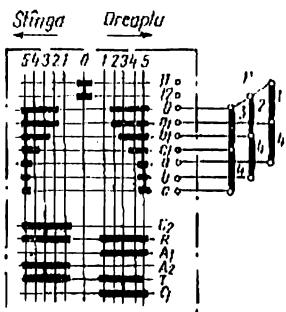


Fig. 1.5. Diagrama contactelor și racordarea unui controler la rezistență.

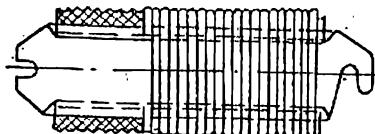


Fig. 1.6. Element de rezistență cu sîrmă.

- Reostatele sunt apărate folosite pentru pornirea și reglarea turatiei motoarelor electrice. Reostatele se compun dintr-un element de comutare și o rezistență, asamblate într-o carcăsă comună, cu răcire în aer sau ulei.

Se construiesc *reostate de pornire* și *reostate de pornire și reglare*. Reostatele de pornire se folosesc exclusiv pe durata pornirii. Reostatele de pornire și reglare se folosesc atât pe durata pornirii, cât și în timpul funcționării, pentru reglarea vitezei.

*Reostatele cu rezistoare metalice* sunt elemente pentru reglare în trepte și se construiesc pentru motoare de curent alternativ cu rotor bobinat cu puterea pînă la 160 kW și pentru circuitele de excitație ale mașinilor de curent continuu.

*Reostatele cu lichid* constituie o categorie aparte de apărate construite de asemenea, fie pentru pornirea, fie pentru pornirea și reglarea continuă a vitezei motoarelor asincrone cu rotor bobinat cu puteri de 250 kW și mai mari.

- *Rezistoarele* sunt apărate folosite pentru pornirea, reglarea și frânarea motoarelor de curent alternativ și continuu. Rezistențele tubulare servesc la pornirea motoarelor mici pînă la 2 kW. Rezistoarele tubulare se execută din material cu rezistivitate înaltă, constantan sau crom nichel.

Pentru motoare cu puteri pînă la 10 kW se folosesc cutii cu elemente din sîrmă (fig. 1.6). Fiecare element se compune dintr-o placă de oțel prevăzută cu degajări pentru ansamblarea în cutie.

Muchiile plăcii sint acoperite cu izolatoare ceramice canelate pe care se înfășoară sîrma.

Pentru motoare cu putere mai mare de 30 kW se folosesc cutii cu rezistoare din fontă sau din tablă silicioasă.

## 2. APARATE DE FRINARE

Frinele sint dispozitive pentru controlul opririi mecanismelor acționate. După curentul pe care-l folosesc, frinele sint de curent continuu și de curent alternativ, monofazat sau trifazat. După elementul de acționare, frinele pot fi *cu electromagnet* sau *cu electromotor*.

Electromagnetii de frină pot fi: cu tragere, cu impingere, cu tragere și impingere.

În figura 1.7 este reprezentat un electromagnet monofazat de curent alternativ pentru frină tip tambur. Saboții 1 sunt apăsați pe tamburul 2 de resortul 3. Sub acțiunea electromagnetului 4, pîrghia 5 acționează asupra saboților, depărându-i.

## 3. APARATE DE AUTOMATIZARE

Aparatele de automatizare folosite în acționările electrice formează o categorie cu diversitate foarte mare, din care sint menționate în cele ce urmează: *butoane, cheile de comandă, lămpile de semnalizare și limitatoarele de cursă*.

● **Butoanele** se folosesc în instalațiile electrice pentru darea impulsurilor de comandă. Pot fi prevăzute cu unul sau mai multe grupuri de contacte de tip puncte, normal deschise sau normal închise.

Ca variante constructive există: *butoane pentru montaj aparent și butoane pentru montaj îngropat*.

Seria de butoane pentru mașini unelte fabricate în țară poate comanda circuite de curent alternativ pînă la 380 V și 2 A și de curent continuu pînă la 220 V și 0,25 A.

● **Cheile de comandă** sint similare întretreruptoarelor, dar curentul nominal este sub 6 A.

● **Lămpile de semnalizare** indică situațiile normale sau de avarie, din instalația supravegheată.

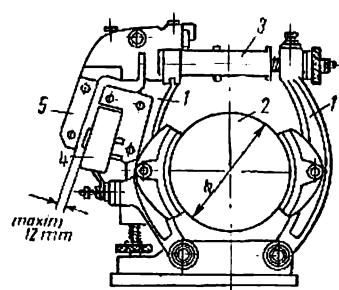


Fig. 1.7. Electromagnet de frină tip tambur.

Se execută în mai multe variante constructive: *lămpi normale, cu transformator sau casete*. Geamul poate fi dintr-o colorat.

● **Limitatoarele de cursă** sunt apărătoare cu contacte, acționate de un element aparținând organului de execuție și sunt folosite în instalațiile de automatizare.

*Limitatoarele de cursă cu buton* realizează comutarea contactelor prin apăsarea butonului sau a capătului tijei care poartă contactele mobile și care se deplasează axial.

*Limitatoarele de cursă cu pîrghie* se folosesc pentru limitarea organelor de mașini în mișcare; acționarea se face prin deplasarea unei pîrghii prevăzute cu o rolă; acționarea contactelor rezultă din cinematica transmisiei, fie prin deplasarea axială, fie prin rotație.

*Limitatoarele de cursă cu șurub* se folosesc pentru limitarea cursei organelor de mașini în mișcare de rotație. Mișcarea de rotație se transmite unui ax filetat, pe care se deplasează axial (între ghidaje) piesa care acționează contactele electrice.

Cursa axială a piesei care acționează contactele se realizează de obicei în maximum 20 rotații. Numărul de rotații necesare pentru acționarea unui contact poate fi prestatabil.

*Limitatoarele de cursă magnetice* se compun dintr-o carcăsă în formă de furcă, în ale cărei brațe sunt montate respectiv un contact „trestie” și un magnet permanent.

Contactul „trestie” este un microcontact capsulat cu vid într-un tub de sticlă. Sub acțiunea magnetului permanent contactul se găsește în mod normal acționat.

Comutarea limitatorului magnetic se produce cînd o piesă lamelară, cu rol de ecran magnetic și care este fixată pe un organ de execuție, se deplasează între brațele furcii; în acest caz acțiunea cimpului exercitată de magnet asupra contactului „trestie” incetează, iar contactul comută.

## E. APARATE CU DESTINAȚIE SPECIALĂ

În categoria aparatelor speciale, se prezintă cîteva apărătoare care se folosesc în instalațiile de acționări electrice și care indică tendința de diversificare și specializare a echipamentelor electrice industriale.

### 1. INTRERUPTOARELE DE AVARIE

Intreruptoarele de avarie cu funie se montează de-a lungul transportoarelor cu bandă pentru a permite personalului de exploatare și întreținere să comande o oprire urgentă, din toate punctele de acces la utilaj.

Aparatul este prevăzut cu un sistem de contacte acționate din exteriorul unei carcase în execuție IP42, printr-o pîrghie. Pîrghia este rotită prin tragerea unui cablu de oțel dispus de-a lungul transportorului. După o acționare, pîrghia rămîne blocată și indică personalului de intervenție localizarea opririi de avarie.

## 2. SUPRAVEGHETOARELE DE TURAȚIE

Supraveghetoarele de turăție sunt aparate folosite pentru frinarea în contracurent a mecanismelor, pentru controlul funcționării transportoarelor cu bandă, la patinare sau la ruperea benzilor.

În figura 1.8 este redată principial construcția supraveghetorului de turăție; mișcarea de rotație a mecanismului este transmisă printr-un ax pe care este montat un magnet permanent 1. Magnetul se rotește într-un cilindru 2, pe care se află o înfășurare în scurtcircuit; pîrghia 3 este solidară cu cilindrul 2. În timpul funcționării mecanismului, din interacțiunea dintre cîmpul magnetic al magnetului permanent și cîmpul induș în înfășurarea în scurtcircuit, rezultă o deplasare a cilindrului în sensul rotației. Ca rezultat, pîrghia acționează unul din contactele 4.

La frinare, cînd viteza se reduce foarte mult, interacțiunea cîmpurilor devine neglijabilă, pîrghia revine în poziția inițială și contactul se comută.

## F. ANSAMBLURI STATICE PENTRU ALIMENTAREA ACȚIONĂRILOR ELECTRICE

Elementele statice ocupă un spațiu redus, astfel încît realizarea unui ansamblu de alimentare pentru un motor se obține în gabaritul unui dulap cu aparataj.

### 1. TRANSDUCTORUL

Transductorul este o reactanță saturabilă formată dintr-un miez magnetic și o înfășurare electrică; se comportă ca un generator de tensiune variabilă sau ca un transformator cu impedanță variabilă.

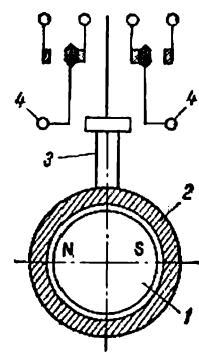


Fig. 1.8. Supraveghetor de turăție electromecanic.

## 2. AMPLIFICATORUL MAGNETIC

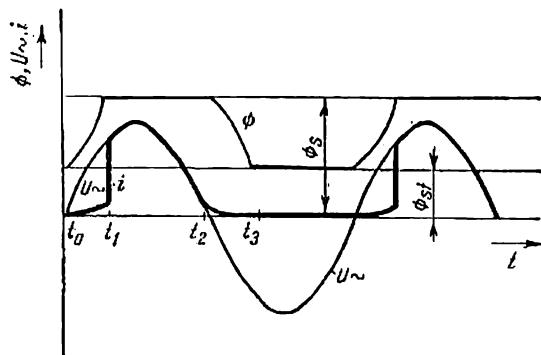


Fig. 1.9. Diagramme de  $\phi$ ,  $U_{\text{exc}}$ ,  $i = f(t)$  pour un amplificateur magnétique.

căderea de tensiune pe impedanța de sarcină și pe redresor.

Amplificatorul magnetic este prevăzut cu înfășurări suplimentare de comandă care permit deplasarea punctului la care apare saturarea, mai aproape sau mai departe de  $t_0$ , prin aplicarea unui flux suplimentar  $\Phi_{st}$  (fig. 1.9).

În țară se construiesc două tipuri de amplificatoare magnetice, AMSU și AMSI, literele simbolizând următoarele: Amplificator, Magnetic, cu miez din tablă silicioasă, cu tola în formă de U (sau I) de mărimea 1 ... 8 și cu gabarit a sau b. Puterea absorbită de rețea ajunge pînă la 90 kVA.

## 3. MUTATORUL

Mutatoarele sunt dispozitive de transformare statică a parametrilor energiei electromagnetice cu ajutorul unor elemente statice cu caracteristică neliniară.

● Mutatoarele se clasifică astfel:

- *redresorul*, care transformă energia de curent alternativ în energie de curent continuu;
- *invertorul*, care transformă energia de curent continuu în energie de curent alternativ;
- *convertorul*, care modifică curentul, tensiunea, frecvența și numărul de faze a energiei electrice;

Amplificatorul magnetic cuprinde un transductor inseriat cu redresorul care blochează unul din cele două sensuri de trecere a curentului. Tensiunea la bornele sarcinii depinde de gradul de saturare al reactanței. Tensiunea minimă depinde de curentul de magnetizare remanent, iar tensiunea maximă depinde de

- variatorul de tensiune alternativă, care reglează circulația de energie în circuite de curent alternativ;
- variatorul de tensiune continuă, care reglează circulația de energie în circuite de curent continuu.

● Dispozitive semiconductoare utilizate în construcția mutatoarelor.

**Tiratronul** este un dispozitiv realizat în tub de sticlă sau de oțel, cu vapozi de mercur, catod cald și grilă de comandă. Se folosește pentru realizarea convertizoarelor de c.c.

**Mutatorul polianodic cu vapozi de mercur** este realizat în cuve din oțel sudat, cu pompă de vid, răcire cu apă, cu excitație continuă și grile de comandă. Se folosește ca redresor sau inventoar pentru alimentarea motoarelor mari în metalurgie.

**Excitonul** este un element monoanodic realizat în cuvă sudată, etanșă, răcitată cu aer sau apă, cu excitație continuă, aprindere succesiivă și grile de comandă. Se folosește ca redresor sau convertizor.

**Ignitronul** este un element monoanodic realizat în cuvă sudată, etanșă, răcitată cu aer sau apă, cu electrod de aprindere, grilă de comandă, fără excitație continuă. Se folosește ca redresor sau invertor.

**Diodele redresoare semiconductoare necomandate** se folosesc într-o gamă foarte largă. Se fabrică diode cu seleniu, germaniu și siliciu.

**Tranzistorul** este un dispozitiv semiconductor, monocristal, din germaniu sau siliciu, cu trei straturi impurificate diferit, cu comandă continuă. În regim de comutare poate fi folosit ca element de circuit de mutator, pentru comanda motoarelor de puteri mici.

**Tiristorul** este un ventil electric cu siliciu, comandat, cu patru straturi impurificate diferit.

Structura fizică a tiristorului este ilustrată în figura 1.10. Între anodul A și catodul K sunt patru straturi  $p-n-p-n$  și jonctiunile  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ .

Sensul de conduction direct al curentului în regim de conduction  $i_F$ , este de la anod la catod, cind se aplică tensiunea  $U_a$ .

Curentul de comandă  $i_G$ , produs de tensiunea  $U_G$ , se aplică la jonctiunea  $I_3$ ; al doilea strat  $p$  este denumit grilă de comandă.

Tiristoarele au un gabarit redus, o comportare dinamică foarte bună și permit obținerea unor scheme de reglaj variante. Tehnica modernă utilizează cel mai mult semiconductoarele cu siliciu.

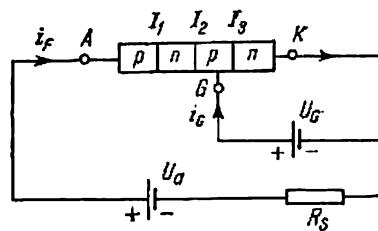
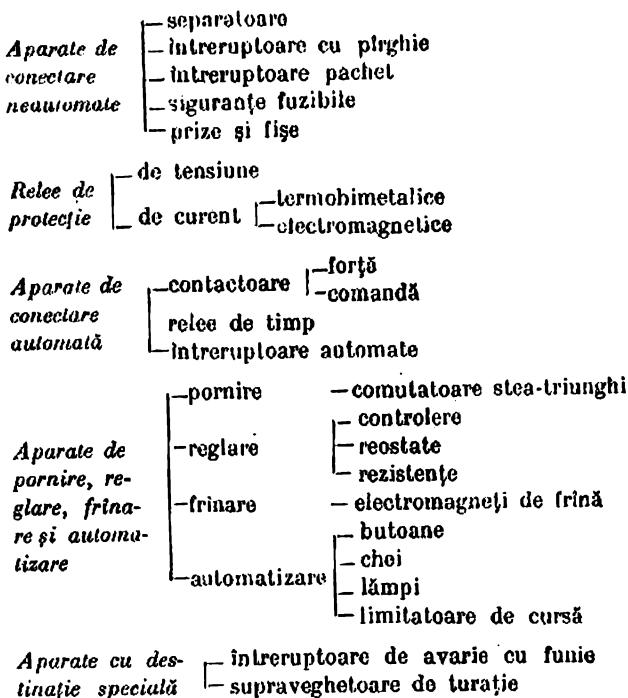


Fig. 1.10. Tiristor. Structură fizică și schemă de conectare.

## REZUMAT



## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce protecții asigură întreruptorul automat?
2. Bobina unui releu de timp este dezexcitată; contactul normal închis al releeului se închide după 4 s. Să se precizeze ce fel de releu de timp este:
  - a) cu temporizare la închidere;
  - b) cu temporizare la deschidere?
3. Prin ce se deosebește un controler de un aparat de comandă a cursei?
4. Prin ce se deosebește tiristorul de tranzistor?

## Capitolul 2

# CINEMATICA ȘI DINAMICA ACȚIONĂRILOR ELECTROMAGNETICE

### A. SCHEMA DE ACTIONARE. CUPLURI

Schema structurală a unei acționări electrice (fig. 2.1) cuprinde o sarcină  $S$ , de exemplu un strung, capabilă să producă un lucru mecanic util și care primește energia mecanică de la un motor electric  $M$ , alimentat cu energie electrică. Sistemul mecanic comportă și o masă totală de inerție  $I$ , care cuprinde atât piesele în mișcare, cit și o masă de energie suplimentară (volant), asigurând sporirea capacitații de acumulare și de cedare a energiei cinetice. În scopul înndeplinirii unui anumit program de acționare, motorul primește o comandă.

La stabilirea regimului de mișcare a sistemului de acționare intervin, în general trei cupluri, corespunzător elementelor  $M$ ,  $S$  și respectiv  $I$ , din figura 2.1: *cuplul motor=activ*, *cuplul static=de sarcină* și *cuplul dinamic de inerție*.

• **Cuplul motor** ( $M_m$ ) este un moment activ, deoarece produce mișcarea ansamblului; el este caracteristic fiecărui tip de motor (asincron, sincron etc.).

Cuplul motor produce mișcarea și se consideră pozitiv ( $+M_m$ ).

• **Cuplul static** ( $M_s$ ) este un moment rezistent, adică opus momentului motor, fiind specific fiecărui tip de sarcină și cuprinde atât momentul necesar lucrului mecanic util, cit și momentul de frecare mecanică (frecare în lagăre, frecare cu aerul etc.).

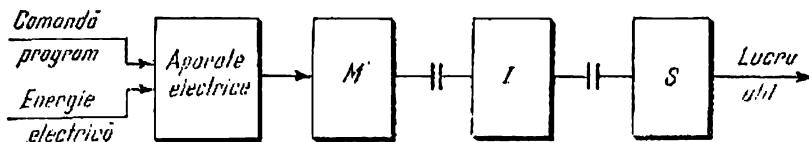


Fig. 2.1. Schema structurală a unei acționări electrice.

Cuplul static este rezistent, adică se opune mișcării și deci, în mod normal, se consideră negativ ( $-M_s$ ).

- Cuplul dinamic ( $M_d$ ) este un moment de asemenea rezistent, prin care masele în mișcare se opun variațiilor de viteză. Rezultă că în funcționare la viteză constantă, cuplul dinamic este nul.

Cuplul dinamic fiind rezistent, se opune mișcării și se consideră negativ ( $-M_d$ ) în regim de accelerare (la pornirea din repaus pînă la o anumită viteză sau în general la creșterea vitezei) și pozitiv ( $+M_d$ ) în regim de frânare (la oprirea sau în general la scăderea vitezei).

## B. ECUAȚIA FUNDAMENTALĂ A MIȘCĂRII

Suma algebrică a valorilor instantanee pentru cuplurile care acționează asupra unui sistem în mișcare este nulă:

$$M_m - M_s - M_d = 0.$$

Această relație, care stabilește echilibrul cuplului motor  $M_m$ , cuplului static  $M_s$  și cuplului dinamic  $M_d$ , se numește *ecuația fundamentală a mișcării*. Starea de echilibru se menține pe toată perioada mișcării.

Ecuația fundamentală poate fi dezvoltată într-o formă analoagă cu ecuația legii mișcării rectilinii:

$$F_m = F_s - ma,$$

în care  $F_m$  este forța echivalentă care produce mișcarea,  $F_s$  — rezultanta forțelor care se opun mișcării și  $ma$  — produsul dintre masă și acelerație.

Aplicând forța  $F_m$  (fig. 2.2) tangent unui corp cilindric  $C$  fixat în lagărele  $l_1$ ,  $l_2$  va lua naștere un cuplu  $M_m$  care produce învîrtirea cilindrului cu viteza liniară  $v$  sau cu viteza unghiulară  $\Omega$ .

Multiplicând forțele cu brațul de forță care este raza  $R$ :

$$\begin{aligned} F_m R &= F_s R + m R^2 \frac{d\Omega}{dt} = \\ &= M_m = M_s + M_d. \end{aligned}$$

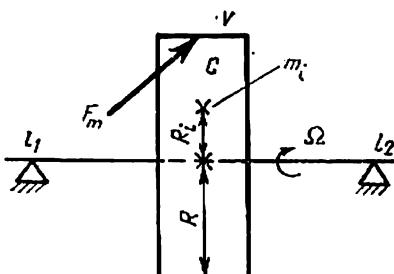


Fig. 2.2. Acțiunea unei forțe aplicate asupra unui corp care se poate rota.

Așadar, cuplul dinamic  $M_d$  al unui corp de masă  $M$  care se rotește cu viteza  $\Omega$  este proporțională cu pătratul razei de rotație  $R$ .

## C. MOMENTE DE INERȚIE, ENERGIE CINETICĂ, MOMENT DE VOLANT

● **Momentul de inerție axial J** al unui corp *C* (fig. 2.2) în mișcare de rotație, este suma produselor dintre masa punctelor  $m_i$  și pătratul distanțelor  $R_i$  față de axa de rotație:

$$J = \sum_1^n m_i R_i^2, \text{ în care } i = 1 \dots n.$$

● **Energia cinetică A** a unui solid format din *n* puncte este:

$$A = \sum_1^n \dots A_i = \sum_1^n \dots m_i \frac{\Omega^2 R_i^2}{2} = \frac{\Omega^2}{2} \sum_1^n m_i R_i^2.$$

Deoarece suma  $m_i R_i^2$  reprezintă momentul de inerție *J* al corpului, rezultă că energia cinetică a unui corp în rotație poate fi exprimată sub forma:

$$A = J \frac{\Omega^2}{2}.$$

● **Momentul de volant.** Acțiunile electrice folosesc în anumite situații mase de inerție care acumulează energie cinetică în perioadele în care cuplul rezistent este redus și cedează energia acumulată la vîrfuri de sarcină. Aceste mase de inerție cu destinație specială se numesc *volanți*.

*Masa volantului* este raportul dintre greutatea *G* și accelerația gravitației  $g(\text{m/s}^2)$ :

$$\sum_1^n m_i = m = \frac{G}{g} = \frac{G}{9,81}.$$

Raza medie a punctelor de masă  $m_i$  este *R* și se numește *raza de giroscopie a volantului*:  $\sum_1^n R_i = R$ .

Notind  $2R = D$  (diametrul de giroscopie), momentul de inerție obținut astfel este:

$$J = mR^2 = \frac{G}{g} \left( \frac{D}{2} \right)^2 = \frac{GD^2}{4g} [\text{kgm}^2] \text{ (unitate de măsură SI).}$$

Mărimea lui  $CD^2$  se numește *moment de volant* și este dată de expresia:

$$CD^2 = 4gJ \text{ [kgf m}^2\text{].}$$

$GD^2$  se dă în cataloagele de mașini electrice (exprimat în unități MKfS).

## D. REDUCEREA CUPLURILOR LA AXUL MOTORULUI

Între motorul de acționare și elementul acționat există un lanț cinematic de organe de mașini, axe, angrenaje, reductoare; fiecare dintre aceste elemente intermediare au momente de inerție proprii, care produc cupluri dinamice la accelerare și decelerare. De asemenea, fiecare element intermediar introduce frecări, care reprezintă cupluri rezistente.

Toate cuplurile care intervin în fiecare moment în ecuația fundamentală a mișcării trebuie considerate față de un ax unic; această raportare se face la axul motorului și se numește reducerea cuplurilor la axul motor.

### 1. REDUCEREA CUPLURILOR STATICHE LA AXUL MOTOR

Puterea motorului se transmite prin *cuplaje*: cu roți dințate, curele, cuplaje magnetice, hidraulice, electrice.

Intr-un angrenaj simplu (fig. 2.3) există un ax antrenat, care se rotește cu viteza  $\Omega_p$  și un alt doilea ax, motor care se rotește cu viteza  $\Omega_q$ .

Toate transmisiile au un randament propriu  $\eta_{pq}$  (de valoare subunitară), care reprezintă raportul dintre puterea de ieșire  $P_q$  (primită de axul  $q$ ) și puterea de intrare  $P_p$  (transmisă de axul  $p$ ):  $P_q = P_p \cdot \eta_{pq}$ .

Datorită vitezelor diferite, cuplurile vor fi deosebite:

$$M_q = M_p \frac{\Omega_p}{\Omega_q} \eta_{pq}.$$

Raportul de transmitere între axele  $p$  și  $q$  se notează  $i_{pq} = \frac{\Omega_p}{\Omega_q}$  și relația de mai sus devine:

$$M_p = M_q \cdot \frac{1}{i_{pq}} \cdot \frac{1}{\eta_{pq}}.$$

În cazul general al unei acționări cu angrenaj multiplu (cu  $n$  axe), puterile transmise exprimate ca produse între cuplu și viteză sunt:

$$P_i = M_i \Omega_i.$$

Fig. 2.3. Cuplarea prin angrenaj simplu.

## 2. REDUCEREA CUPLURILOR DINAMICE LA AXUL MOTOR

Asemenea cuplurilor statice și cuplurile dinamice trebuie reduse la axul motorului. În acționarea multiplă cu  $n$  axe, fiecare element din lanțul cinematic are un moment de inerție de relația:

$$A_i = J_i \frac{\Omega^2}{2}.$$

Energia cinetică redusă la axul 1 al motorului este exprimată prin relația:

$$A = J_1 \frac{\Omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\Omega_2^2}{2} + J_3 \frac{\Omega_3^2}{2} + \dots + J_n \frac{\Omega_n^2}{2} = J_r \frac{\Omega_r^2}{2},$$

în care prin  $J_r$  s-a notat *momentul de inerție redus la axul motorului*.

Înlocuind rapoartele vitezelor unghiulare prin rapoartele de transmisie  $i$ , se obține:

$$J_r = J_1 + J_2 \frac{1}{i_{12}^2} + J_3 \frac{1}{i_{13}^2} + \dots + J_n \frac{1}{i_{1n}^2}.$$

Momentul de volant  $GD^2$  corespunzător este:  $GD^2 = 4gJ_r$ .

Momentul de volant total însumează deci momentul de volant redus al elementelor lanțului cinematic cu momentul de volant al motorului.

## 3. TRANSFORMAREA MIȘCĂRII DE TRANSLAȚIE ÎN MIȘCARE DE ROTAȚIE

În lanțurile cinematice intervin elemente care se mișcă pe traiectorii liniare. În acest caz, pentru reducerea cuplurilor la axul motor se procedează la găsirea unor mărimi echivalente calculate pe principiul conservării energiei.

*Momentul de inerție redus la axul motor*, produs de masa  $m$  în mișcare liniară cu viteza  $v$  este:

$$J_r = \frac{mv^2}{\Omega^2}.$$

*Momentul de volant* introdus în masele de translacție este:

$$(GD^2)_r = \frac{4gmv^2}{\Omega^2} = \frac{4Gv^2}{\Omega^2}.$$

## REZUMAT

Regimul de mișcare al unui sistem de acționare este determinat de echilibrul cuplurilor: motor, static și dinamic.

Cuplul dinamic al corpurilor în mișcare de rotație este proporțional cu pătratul razei de rotație.

Pentru calculul cuplului motor necesar al unei acționări electrice, *totale cuplurile se reduc la axul motor*.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Momentul dinamic este pozitiv:  
a) în regim de accelerare? b) de frânare?
2. Momentul de volant  $CD^2$  variază proporțional cu:  
a) momentul de inerție axial? b) pătratul momentului de inerție axial?
3. Să se calculeze momentul de inerție al unui volant având masa de 25 kg și raza de girozie de 0,20 m.
4. Să se calculeze momentul de inerție produs de un corp de 10 kg în mișcare de translație cu viteza de 0,1 m/s, dacă viteza axului de raportare a momentelor este de 1 rad/s.

### Capitolul 3

## CARACTERISTICILE MECANICE ALE MAȘINILOR DE LUCRU

### A. TIPURI DE MAȘINI DE LUCRU

Alegerea motoarelor cu care sunt echipate mașinile de lucru pornește de la diagrama de sarcină (caracteristica mecanică) a mașinii de lucru.

Caracteristica mecanică a sarcinii reprezintă dependența dintre cuplul static și una din următoarele mărimi: viteza, unghiul de rotație, spațiul sau timpul.

Caracteristicile mecanice permit împărțirea mașinilor de lucru în cinci grupe.

● Grupa 1. Cuplul static  $M_s$  este constant, puterea  $P$  este proporțională cu viteza, iar caracteristica mecanică se prezintă ca o dreaptă paralelă cu ordonata (fig. 3.1):

$$M_s = ct; \quad P \sim n.$$

**Exemplu:** O greutate suspendată de cărligul unei macarale ridicată cu aceeași viteză de la sol pînă la înălțimea cerută, căruciorul de pe podurile rulantă care se deplasează în deschiderea unei bale, transportorul cu bandă, calea cu role de la un laninitor etc.

● Grupa 2. Cuplul static depinde de viteza.

*Grupa 2.1.* Cuplul static este proporțional cu viteza, puterea este proporțională cu pătratul vitezei, iar caracteristica mecanică este o curbă care trece prin origine (fig. 3.2):

$$M_s \sim n; \quad P \sim n^2.$$

**Exemplu:** Cilindri cu frecare datorită viscozității, frînă cu curenți turbionari.

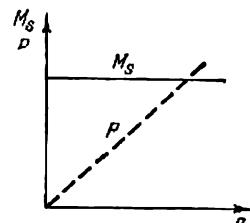


Fig. 3.1. Caracteristica mecanică pentru mașină de lucru din grupa 1.

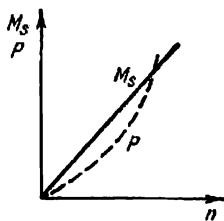


Fig. 3.2. Caracteristica mecanică pentru mașină de lucru din grupa 2.1.

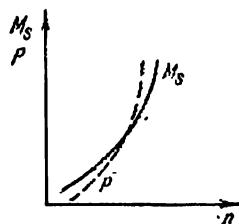


Fig. 3.3. Caracteristica mecanică pentru mașină de lucru din grupa 2.2.

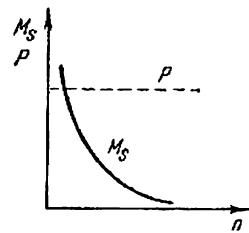


Fig. 3.4. Caracteristica mecanică pentru mașină de lucru din grupa 2.3.

**Grupa 2.2.** Cuplul static este proporțional cu pătratul vitezei, puterea este proporțională cu viteza la puterea a treia, iar caracteristica mecanică este de asemenea o curbă care trece prin origine (fig. 3.3):

$$M_s \sim n^2; \quad P \sim n^3$$

**Exemple:** pompe, ventilatoare, centrifuge.

**Grupa 2.3.** Cuplul static este invers proporțional cu viteza, puterea este constantă, iar caracteristica mecanică este o hiperbolă (fig. 3.4):

$$M_s \sim \frac{1}{n}; \quad P = ct.$$

**Exemple:** mașini de bobinat și de derulat, strunguri frontale.

Caracteristica mecanică reprezintă în practică rezultanta unor caracteristici mecanice elementare. Astfel, pentru un ascensor caracteristica mecanică rezultă din suprapunerea cuplului de frecare variabil și a unui cuplu constant (fig. 3.5).

● **Grupa 3.** Caracteristica mecanică (fig. 3.6) reprezintă cuplul pulsator care poate fi descompus prin metode matematice într-o componentă constantă  $M_{sm}$  și în oscilații sinusoidale.

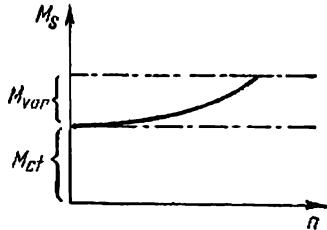


Fig. 3.5. Caracteristica mecanică rezultantă.

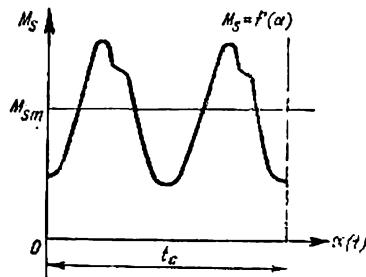


Fig. 3.6. Caracteristica mecanică pentru mașină de lucru din grupa 3.

**Exemplu:** un compresor actionat de o bielă manivelă. Cuplul rezistent variază în funcție de unghiul  $\alpha$  pe care îl face biela față de direcția curselor pistonului din cilindrul de compresiune.

- **Grupa 4.** Alura caracteristicii mecanice este determinată de înclinare.

**Exemplu:** un vagon autopropulsat pe o cale de rulare cu diferite pante.

- **Grupa 5.** Caracteristica mecanică este redată prin variația cuplului static în funcție de timp.

## B. DETERMINAREA GRAFICULUI CARACTERISTICII MECANICII DE SARCINĂ

Graficul caracteristicii mecanice de sarcină al unei mașini de lucru poate fi trasat după determinarea graficelor forțelor și vitezelor aferente.

- La funcționarea cu viteză constantă, forța rezistență  $F_r$ , care trebuie învinsă de mașină este rezultanta dintre forța utilă  $F_u$  pentru realizarea produsului și forța de frecare  $F_f$ , care apare între diferitele organe în mișcare ale mașinii de lucru:  $F_r = F_u + F_f$ .

- La funcționare în gol, forța rezistență și forța de frecare se echilibrează.

- La funcționare în regim de pornire și de oprire, cind viteza variază în timp, apare forță dinamică  $F_d$ , proporțională cu masa organelor în mișcare  $m$  și cu accelerația liniară imprimată acestora:  $F_d = ma$ .

Forța dezvoltată de motor  $F$  trebuie să compenseze forța rezistență și forța dinamică:  $F = F_r + F_d = F_r + ma$ .

Din ecuația echilibrului forțelor, se poate explicita accelerația liniară:

$$a = \frac{F - F_r}{m}$$

Accelerația fiind variația vitezei în funcție de timp  $a = \frac{\Delta v}{t}$ , prin înlocuire se obține funcția dintre variația vitezei și forței:

$$\Delta v = \frac{F - F_r}{m} \Delta t.$$

Această relație ne permite să trasăm graficele forței și vitezei. La pornire, forța  $F$  dezvoltată de motor fiind  $F_0$ , constantă, variația vitezei:

$$\Delta v = \frac{F_0 - F_r}{m} \Delta t$$

este proporțională cu variația timpului.

Pe graficul din figura 3.7 pentru intervalul de timp  $t_1$ , viteza este reprezentată printr-o dreaptă care pornește din originea axelor de coordinate pînă la viteza nominală a mașinii de lucru, iar forța  $F_1$  — printr-o dreaptă paralelă cu abscisa: forța  $F_1$  echilibrează forța rezistență  $F_r$ , și forța dinamică consumată pentru învingerea inertiei.

Pentru intervalul de timp  $t_2$ , mașina de lucru își continuă mișcarea la viteza constantă și la o forță constantă  $F_2$  consumată pentru învingerea forței rezistente  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0 = \frac{F_2 - F_r}{m}$ :

$$F_2 = F_r.$$

Viteza și forța se reprezintă pe grafic prin paralelele la abscisă.

Presupunind că și la oprire forța  $F_3$  este constantă, variația vitezei devine din nou proporțională cu variația timpului:

$$v = \frac{F_3 - F_r}{m} \cdot \Delta t$$

iar pe grafic, în intervalul  $t_3$ , viteza se reprezintă printr-o dreaptă care pornește de la viteza nominală și seade pînă la 0.

Forța dinamică acționează în același sens cu forța motorului astfel că  $F_3$  se reprezintă printr-o dreaptă paralelă cu abscisa, dar sub valoarea lui  $F_2$ .

Cunoscind relația dintre putere, forță și viteză  $P = Fv$ , pe baza graficului comun al vitezelor și forțelor se poate trece la determinarea graficului de sarcină al mașinii de lucru.

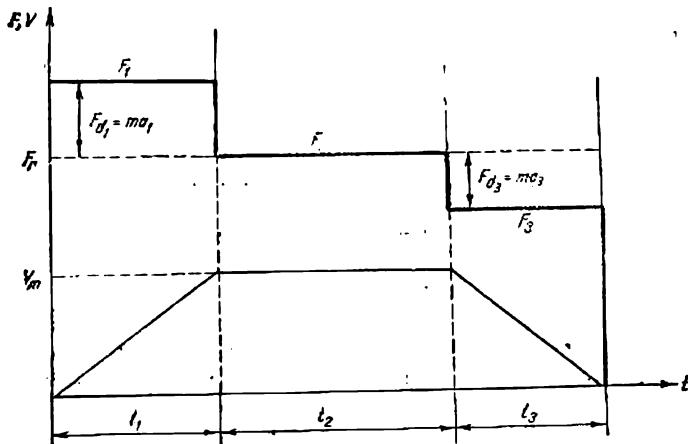


Fig. 3.7. Graficul forțelor și vitezelor unei mașini de lucru.

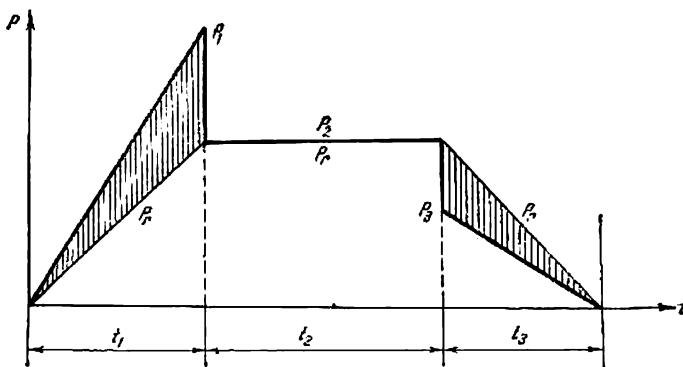


Fig. 3.8. Graficul de sarcină al unei mașini de lucru.

În acest scop, pentru diferite puncte de timp din abscisă, se determină valorile corespunzătoare ale forței și vitezei, efectuind produsele și marcindu-le pe graficul de sarcină (fig. 3.8).

Graficul de sarcină al mașinii de lucru arată că la o forță rezistentă constantă, puterea dezvoltată neceșară urmărește un grafic similar cu cel al vitezei (trapezoidal).

### R E Z U M A T

*Caracteristica mecanică a mașinilor de lucru* exprimă dependența dintre cuplul static și una din următoarele mărimi: viteză, unghiul de rotație, spațiul și timpul. În funcție de caracteristica mecanică se cunosc cinci grupe de mașini de lucru.

*Graficul caracteristicii de sarcină* a mașinilor de lucru (simplificat) se poate determina din graficele de forță și de viteză.

### VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

Un motor antrenează un generator care debitează într-o rețea având consumatori cu sarcină rezistivă.

Din ce grupă face parte caracteristica mecanică a motorului?

$$a - 2; \quad b - 3; \quad c - 4.$$

## Capitolul 4

# CARACTERISTICILE MECANICE ALE MOTOARELOR ELECTRICE

## A. CONSIDERAȚII GENERALE

### 1. CARACTERISTICILE MECANICE ALE MOTORULUI ELECTRIC

Alegerea și folosirea optimă a motoarelor electrice sunt legate de cunoașterea parametrilor și performanțelor acestora.

● În acest scop este necesară cunoașterea caracteristicilor mecanice, precum și a comportării motoarelor electrice.

Caracteristica mecanică reprezintă dependența *turației n* (vitezei de rotație) în funcție de *cuplul motorului M*:  $n = f(M)$  sau  $\Omega = f(M)$  și este construită pentru regimul staționar al motorului (fig. 4.1).

Caracteristica naturală este caracteristica mecanică corespunzătoare parametrilor nominali ai motorului.

În acțiunările electrice este necesară adesea folosirea motoarelor la parametri diferiți de cei nominali.

Caracteristicile artificiale sunt caracteristici mecanice obținute pentru condiții de funcționare diferite de cele nominale. Caracteristicile artificiale se obțin prin modificarea parametrilor motorului sau suprapunerea caracteristicilor a două motoare cuplate mecanic.

● Caracteristicile mecanice în valori relative. Parametrii unui motor electric pot fi exprimați fie în valori absolute, fie în valori relative raportate la valorile nominale (considerate procentuale).

Cu valori relative se pot trasa caracteristici valabile pentru o serie de motoare.

● Caracteristici mecanice rigide și suple. Caracteristicile mecanice la care turația se modifică foarte puțin cind cuplul variază în limite largi se numesc *caracteristici rigide* (fig. 4.1, caracteristica 1).

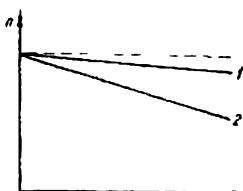


Fig. 4.1. Caracteristicile mecanice pentru două motoare de c.c.

Caracteristicile mecanice la care turația se modifică mult cînd cuplul variază în limite largi, se numesc *caracteristici suple* (fig. 4.1, caracteristica 2). Comparația între două caracteristici, una mai puțin rigidă și alta mai rigidă, se face prin măsurarea pantei acestora.

## 2. INDICI DE CALITATE PENTRU ACTIONĂRI ELECTRICE CU VARIATIE DE TURATIE

În actionările electrice este necesară posibilitatea varierii vitezei. Varierea de viteză este caracterizată printr-o serie de indici de calitate.

- **Gama de reglaj** reprezintă raportul între viteza minimă și cea maximă la care funcționază un motor electric.
- **Sensul variației vitezei** indică sensul în care se poate varia viteză, considerind ca reper viteză de mers în gol din caracteristica naturală a motorului electric. Există variație *monozonala* și *bizonala*.

Pentru motoarele asincrone se întilnesc termenii de variație de viteză *subsincronă* sau *suprasincronă*, după sensul de variație raportat la viteză de sincronism.

- **Finețea variației de viteză** este un indice care reprezintă modul în care se face trecerea prin diferențele valori ale variației de viteză. Există variație *discontinua* (în trepte) și variație *continuă* de viteză.
- **Randamentul** instalației pentru variația de turație apreciază economicitatea diferențelor metode folosite. Acest indice ține seama de pierderile de energie rezultante.
- **Raportul dintre variația turației de mers în gol și a turației de mers în sarcină** este un indice care se obține pe baza valorii rigidității caracteristicii mecanice.

## B. MOTORUL DE C.C. CU EXCITATIE SEPARATA ȘI CU EXCITATIE DERIVATIE

### 1. DATE PRINCIPALE

Se consideră o rețea de c.c. cu tensiunea  $U$ . Înșurării de excitație (statorului) li este aplicată o tensiune separată  $U_e$ , respectiv tensiunea  $U$  în conectare derivativă. Currentul de excitație este notat cu  $i_e$ . Înșurarea de excitație este distribuită pe un număr  $p$  de perechi de poli, producind un flux  $\Phi$  rezultant pe pol.

Indusul (rotorul), care se rotește cu o viteză de  $n$  rot/min, este bobinat cu un număr  $a$  de căi de curent, formate din  $N$  conductoare care au o rezistență proprie  $R_i$ .

● *Curentul prin indus*  $I_a$  întărește în calea sa alt rezistență proprie a indusului, cît și pe cea a periielor, a înșurărilor de compensație, precum și pe a polilor auxiliari; suma acestor rezistențe este notată cu  $R_a$  și se numește **rezistență indusului**.

● **Tensiunea electromotoare**  $E$ , indusă în înșurarea rotorului se exprimă prin relația:

$$E = \frac{1}{60} \cdot \frac{P}{a} N n \Phi = C_e n \Phi. \quad (4.1)$$

Mărimea  $C_e = \frac{1}{60} \cdot \frac{P}{a} N$  este specifică fiecărui electromotor și se numește **constanta electrică**.

● **Cuprul motorului**  $M$  rezultă din interacțiunea cîmpurilor indusului și de excitație și este dat de relația:

$$M = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{P}{a} N I_a \Phi = C_m I_a \Phi, \quad (4.2)$$

Mărimea  $C_m = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{P}{a} N$  este specifică fiecărui electromotor și se numește **constanta mecanică**.

● **Curentul din indusul motorului** este dat de raportul:

$$I_a = \frac{U - E}{R_a}. \quad (4.3)$$

## 2. CARACTERISTICILE MECANICE ARTIFICIALE ALE MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU EXCITAREA SEPARATĂ ȘI CU EXCITAREA DEVIATIE

Din relațiile (4.1) și (4.3), turația se poate explicita astfel:

$$n = \frac{E}{C_e \Phi} = \frac{U - R_a I_a}{C_e \Phi} = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a I_a}{C_e \Phi} = n_0 - \Delta n, \quad (4.4)$$

în care:

$$n_0 = \frac{U}{C_e \Phi} \text{ reprezintă viteza în gol } (I_a = 0 \Rightarrow n = n_0);$$

$\Delta n$  este căderea de turație.

### a. Caracteristici artificiale obținute prin variația tensiunii de alimentare

Din relația (4.4) se constată că prin modificarea tensiunii, caracteristicile artificiale obținute se deplasează paralel cu caracteristica naturală (se modifică numai  $n_0$ ). În figura 4.2 este prezentată caracteristica artificială 1 obținută prin reducerea tensiunii sub valoarea nominală  $U_n$ .

### b. Caracteristici artificiale obținute prin variația rezistenței Indusului

Viteza de rotație crește proporțional cu mărimea rezistenței din circuitul rotoric (pentru tensiune de alimentare și flux constantă) — v. relația (4.4).

Prin modificarea rezistenței Indusului, caracteristicile artificiale se rotesc în jurul punctului  $n_0$ , mărfindu-și panta odată cu creșterea rezistenței introduse suplimentar în rotor (v. fig. 4.2 — caracteristica artificială 2).

### c. Caracteristici artificiale obținute prin variația fluxului de excitație

Turația variază în raport de inversă proporționalitate cu fluxul (pentru tensiune de alimentare constantă) — v. relația (4.4).

Prin modificarea fluxului, caracteristica se deplasează și se rotește față de caracteristica naturală (fig. 4.3).

### d. Caracteristici artificiale ale motorului de c.c. cu excitație derivată obținute prin suntarea Indusului

Suntarea Indusului este o schemă de conectare reprezentată în figura 4.4. Variația turației se obține prin modificarea rezistențelor legate în serie  $R_s$  și în derivativă  $R_d$ .

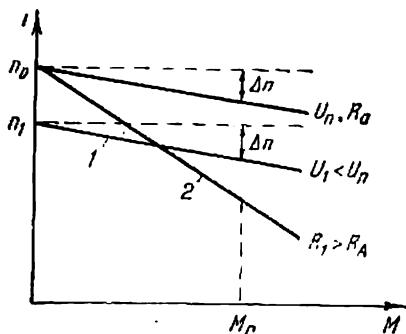


Fig. 4.2. Caracteristici artificiale obținute prin variația tensiunii (1) respectiv rezistenței Indusului (2).

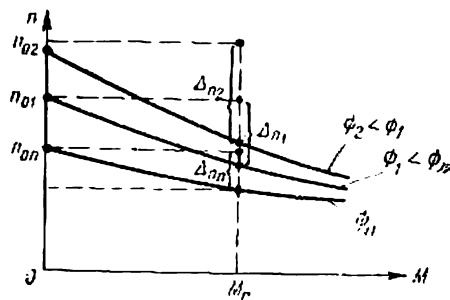


Fig. 4.3. Caracteristici artificiale obținute prin modificarea fluxului.

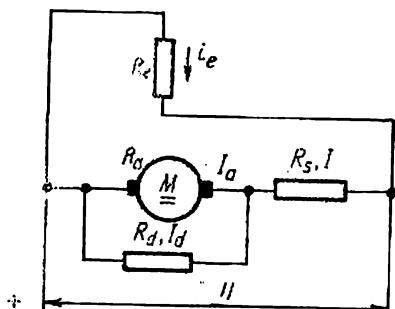


Fig. 4.4. Schemă de acționare cu sănătarea indusului.

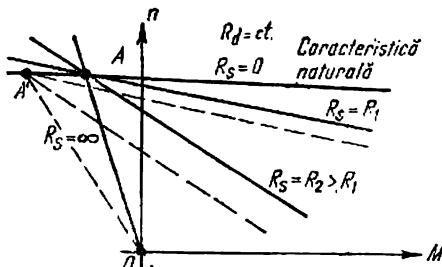


Fig. 4.5. Caracteristici artificiale pentru  $R_d$  constantă și  $R_s$  variabilă.

Caracteristicile mecanice artificiale care se pot obține sint reprezentate separat, în figura 4.5 pentru  $R_d$  constantă și  $R_s$  variabilă, iar în figura 4.6, pentru  $R_s$  constantă și  $R_d$  variabilă. Reglajul de viteza este monozonal de la viteza nominală spre viteze inferioare.

### 3. PORNIREA MOTOARELOR DE C.C. CU EXCITAREA SEPARATĂ ȘI CU EXCITARE DERIVAȚIE

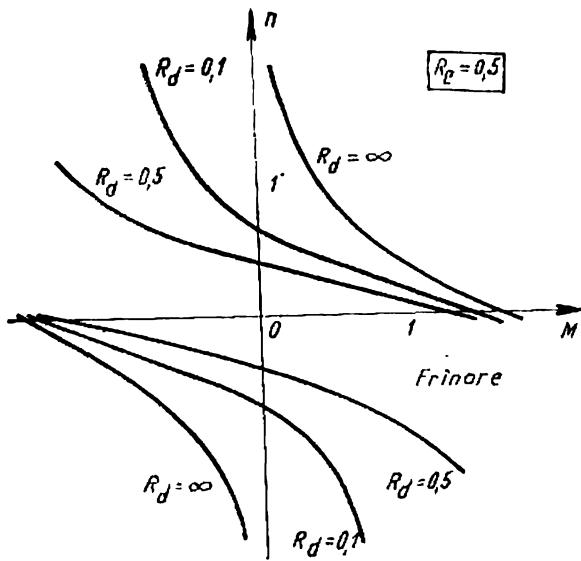


Fig. 4.6. Caracteristici artificiale pentru  $R_s$  constantă și  $R_d$  variabilă.

Motoarele de c.c. cu excitare separată și derivată se pornesc cu ajutorul reostatelor de pornire. Rezistențele reostatului limitează curentul de pornire în domeniul valorilor admisibile pentru regimul termic al motorului și pentru acoperirea cuplului rezistent.

Din ecuația echilibrului electric:

$$U = E + R_i I_a = C_e \Phi n + R_i I_a, \quad (4.5)$$

în care  $R_i$  este rezistența indusului, se observă că curentul

absorbit la pornire ( $n = 0$ ) este  $I_a = I_p = \frac{U}{R_i}$ .

Limitarea (mărimii) curentului de pornire se face prin pornirea motorului avind inseriat în circuitul indusului un reostat  $R_p$  (fig. 4.7).

Reostatul se compune din trepte de rezistențe  $r_1, r_2, r_3$  cărora le corespund valori de turătie stable pe caracteristici artificiale.

În figura 4.8 se reprezintă diagrama pornirii în trepte a unui motor cu excitare separată sau derivatie.

În momentul cuplării viteza este nulă, tensiunea electromotoare este de asemenea nulă, rezistența indusului este  $R_1 = R_a + r_1 + r_2 + r_3$ , iar cuplul motor are valoarea maximă.

Motorul pornește și funcționează pe caracteristica artificală III pînă în punctul A corespunzător vitezei  $n_1$ , și unui cuplu minim  $M_m$  (superior cuplului rezistent de sarcină  $-M_r$ ), cînd se scurtcircuitează rezistența  $r_1$ . În acest fel curentul crește din nou pînă la valoarea corespunzătoare cuplului maxim (punctul B).

Funcționarea se continuă pe caracteristica artificială II și motorul se accelerează pînă în punctul C, corespunzător vitezei  $n_2$ , cînd se scurtcircuitează rezistența  $r_2$ , curentul crescînd din nou pînă la valoarea corespunzătoare cuplului maxim (punctul D).

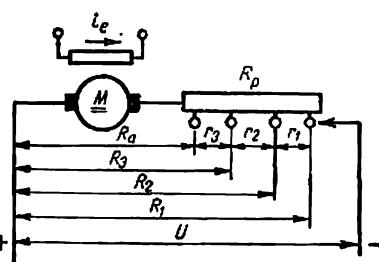


Fig. 4.7. Schema motorului cu excitație separată (derivatie) cu reostat de pornire în circuitul indușului.

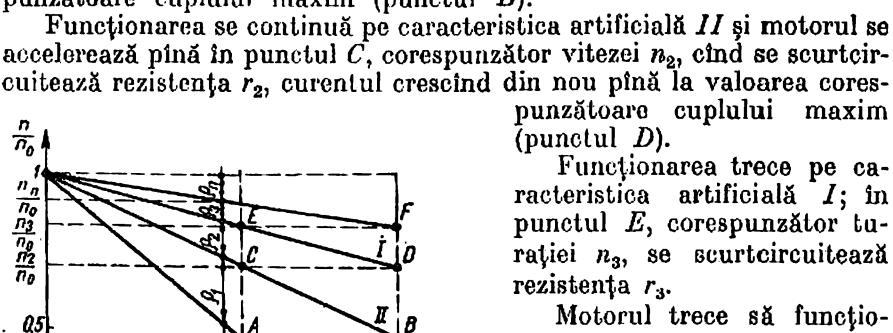


Fig. 4.8. Diagrama pentru calculul grafic al unui reostat cu trei rezistențe.

Funcționarea trece pe caracteristica artificială I; în punctul E, corespunzător turăției  $n_3$ , se scurtcircuitează rezistența  $r_3$ .

Motorul trece să funcționeze pe caracteristica naturală pînă la punctul corespunzător turăției nominale și cuplului rezistent.

Scurtcircuitarea rezistențelor de pornire se realizează cu contactoare comandate cu relee de timp, sau manual — cu controlere.

### a. Calculul rezistențelor de pornire prin metoda grafică

Se pornește de la valoarea cunoscută a parametrilor de bază ai motorului, puterea  $P_n$  și turația  $n_n$ , cu care se calculează cuplul nominal:

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} [\text{Nm}] \quad (4.6.)$$

Variatia cuplului în perioada de pornire se face între cuplul maxim  $M_M$  și cuplul minim  $M_m$ . Valorile practice ale acestor cupluri se iau astfel:  $M_M = (2 \dots 2,5) M_n$ ;  $M_m = (1,05 \dots 1,1) M_n$ .

În diagrama din figura 4.8 se fixează valorile calculate pentru  $M_M$ ,  $M_m$ ,  $M_n$  și  $n_n$ , exprimate în valori relative, adică raportate la  $M_n$ , respectiv la  $n_0$ .

Se trasează caracteristica naturală a motorului trecind prin  $n_0$  și punctul de coordonate  $n_n$ ,  $M_n$ . Se trasează caracteristica artificială III pentru rezistență maximă introdusă în circuitul indusului. Aceasta trece prin  $n_0$  și prin punctul de coordonate  $M_M$ ,  $n = 0$ . Se determină grafic viteza  $\frac{n_1}{n_0}$  de scurtcircuitare a primei trepte de rezistență (punctul A). Prin punctul B aflat la intersecția dintre  $n_1$  și  $M_M$  se trasează următoarea caracteristică artificială, II. Se determină viteza  $\frac{n_2}{n_0}$  de scurtcircuitare a celei de-a doua trepte de rezistență (punctul C). Prin punctul D aflat la intersecția dintre  $n_2$  și  $M_M$  se trasează ultima caracteristică artificială, I.

În cazul unui reostat cu trei trepte, orizontală care trece prin punctul E trebuie să intilnească caracteristica naturală în punctul F pe verticala cuplului  $M_M$ . În caz contrar, construcția se reia prin alte încercări grafice, variind domeniul  $M_M - M_m$ .

Rezistențele relative din circuitul indusului sunt proporționale cu mărimea segmentelor măsurate ale căderilor de turație  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ .

Rezistențele astfel determinate sunt relative, adică se obțin prin raportarea la rezistență nominală  $R_n = \frac{U_n}{I_n}$ .

Rezistența internă relativă a motorului fiind:

$$\rho_n = \frac{R_a}{R_n},$$

cu ajutorul valorilor  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ , măsurate în raport cu intervalul 0 ... 1 de pe axa ordonatelor, luat ca unitate de măsură, se calculează rezistențele reostatului astfel:

$$r_1 = \rho_1 R_n; \quad r_2 = \rho_2 R_n; \quad r_3 = \rho_3 R_n.$$

## 4. FRINAREA MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU CU EXCITATIE SEPARATA SI EXCITATIE DERIVATIE

Alegerea modului de oprire este impusă de condițiile procesului tehnic, protecția muncii, criterii economice și posibilități de realizare. Deosebit de importantă pentru acționările moderne este frinarea forțată, în care timpul de oprire este redus prin diferite mijloace.

### a. Frinarea prin contraconectare (contracurent)

Frinarea cu comutarea polarității tensiunii aplicate indușului (fig. 4.9). Un exemplu îl constituie acționarea unui mecanism de translație. În funcționarea normală sunt închise contactele  $C_1$  și  $C_2$ . La contraconectare  $C_1$  și  $C_2$  se deschid, iar contactele  $C_3$  și  $C_4$  se închid, introducind și rezistența de frinare  $R_c$ . Tensiunea  $U$  și cuplul electromagnetic  $M$  își schimbă sensul.  $E$  și  $n$  își mențin sensul.  $U$  și  $E$  debitează împreună pe rezistență din circuitul indușului.

Avantajul metodei îl constituie realizarea unei frinări intense. Dezavantajele constau în consumul de energie nerecupерabilă prin efect termic pe rezistențe suplimentare și necesitatea controlării punctului de oprire pentru deconectarea motorului.

### b. Frinarea cu recuperarea energiei electrice

Spre exemplu, vehiculele cu tracțiune electrică (locomotive, tramvaie, troleibuze) circulând pe pante de coborâre, trebuie frinate în modul cel mai economic. La aceasta, în regim de frinare recuperativă conectarea motorului rămîne neschimbată față de funcționarea la mers în linie dreaptă sau la urcarea pantelor.

$U$ ,  $E$  și  $n$  își păstrează sensul.

Regimul recuperativ se obține prin accelerarea peste turăția de mers în gol atât pentru valori superioare lui  $+n_0$  (conectare directă), cât și pentru valori inferioare lui  $-n_0$  (conectare inversă).

Frinarea controlată prin folosirea treptelor reostatului de pornire și reglaj este economică.

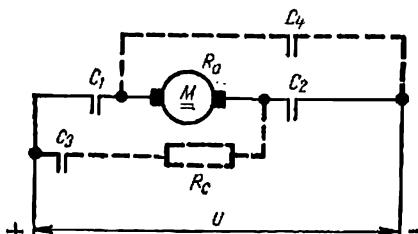


Fig. 4.9. Schemă de contraconectare cu comutarea polarității tensiunii aplicate indușului.

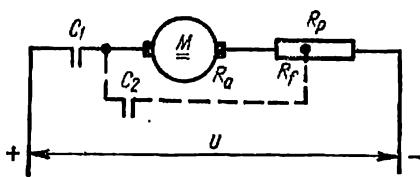


Fig. 4.10. Schema de frinare dinamică.

### c. Frinare dinamică

Frinarea dinamică constă în deconectarea motorului de la rețea și închiderea indușului pe o rezistență (fig. 4.10). Ea este utilizată la acțiunile care necesită o oprire bruscă sau de mare precizie.

În funcționarea normală este închis contactul  $C_1$  și se face o pornire directă sau cu reostatul de pornire în trepte,  $R_p$ .

La frinarea dinamică declanșează  $C_1$  și anclanșează  $C_2$ , izolându-se indușul într-un circuit închis format din rezistența proprie  $R_a$  și rezistența exteroară de frinare  $R_f$ . Ca rezistență de frinare poate fi folosită o parte din rezistența de pornire și reglaj  $R_p$ ; tensiunea electromotoare  $E$  rămîne inițial neschimbată și datorită inerției continuă să debiteze pe rezistență din circuit.

Frinarea este intensă și precisă.

## 5. COMANDA VITEZEI MOTOARELOR DE C.C. CU EXCITĂIE SEPARATĂ (DERIVATIE)

Comanda vitezei acestor tipuri de motoare se realizează prin modificarea rezistenței reostatului introdus în circuitul rotoric (v. fig. 4.7) și prin modificarea curentului de excitare (v. fig. 4.3).

Sunt folosite aceleasi scheme aplicate și în cazul pornirii.

## C. MOTORUL DE C.C. CU EXCITĂIE SERIE

### 1. DATE PRINCIPALE

În schema electrică a unui electromotor de c.c. cu excitare serie, alimentarea se face de la rețea de c.c. cu tensiune constantă  $U$ .

Însăsurarea de excitare avind rezistența  $R_e$  este legată în serie cu însăsurarea indușului. Curentul principal  $I$  străbate atât indușul, cât și însăsurarea de excitare.

Fluxul inductor  $\Phi$  produs de polii motorului de c.c. cu excitare serie este variabil și depinde de mărimea curentului principal.

Ecuatia echilibrului electric este:

$$U = E + R_a I \quad (4.7)$$

Tensiunea electromotoare:

$$E = C_s \Phi n \quad (4.8)$$

este o functie de doi parametri, atit fluxul cit si viteza fiind mărimi variabile. Înlocuind (4.8) în (4.7) se obține:

$$U = C_e \Phi n + R_a I. \quad (4.9)$$

Ecuatia echilibrului mecanic este:  $M = C_m \Phi I$ , (4.10)  $C_e$  și  $C_m$  fiind constantele electrică, respectiv mecanică, ale motorului.

## 2. CARACTERISTICA NATURALĂ A MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

Caracteristica mecanică naturală a motorului de c.c. cu excitărie serie este dată de constructorul motorului. Curba este o hiperbolă.

Ecuatia caracteristicii mecanice a motorului serie arată că mărimea cuplului este direct proporțională cu pătratul tensiunii și invers proporțională cu pătratul turației.

Constructorul motorului ridică la platforma de încercări caracteristicile reprezentate în figura 4.11. Curvele sunt date în valori relative:  $\mu$  — cuplul;  $v$  — turația;  $i$  — curentul și  $\eta$  — randamentul raportate la valorile respective nominale.

## 3. CARACTERISTICILE ARTIFICIALE ALE MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

Funcționarea motorului de c.c. cu excitărie serie pe caracteristici artificiale se obține introducind rezistențe în circuitul indușului. La un curent constant, cuplul și fluxul sunt de asemenea constante și viteza este proporțională cu rezistența:

$$n = \frac{U - IR_a}{C_s \Phi} = f(R_a).$$

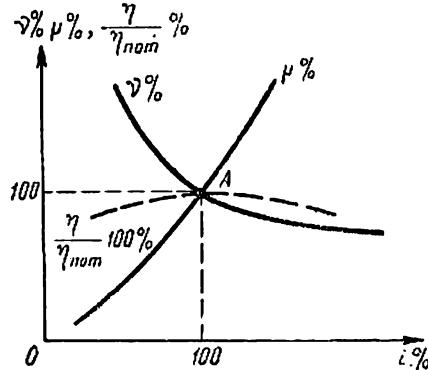


Fig. 4.11. Caracteristicile universale ale motorului de c.c. cu excitărie serie.

În figura 4.12 sunt determinate grafic caracteristici artificiale corespunzătoare introducerii unor rezistențe suplimentare în circuitul indușului. Cu cît rezistența conectată în circuitul indușului este mai mare, cu atit cădereea de viteză  $\Delta n$  este mai mare și caracteristica este mai căzătoare.

#### 4. PORNIREA MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

Motorul de c.c. cu excităție serie se pornește cu ajutorul reostatului de pornire, ca și motoarele de c.c. cu excităție derivată sau separată.

Treptele de rezistență limitează curentul de pornire și asigură un cuplu minim suficient pentru accelerare.

În toate metodele de calcul, valoarea curentului maxim  $I_M$  se limitează la  $(2 \dots 2,5) I_n$ .

Curentul minim  $I_m$  corespunzător cuplului necesar pentru accelerare se consideră  $(1,5 \dots 1,75) I_n$ .

*Calculul rezistențelor de pornire prin metoda grafică*

Se pornește de la parametrii nominali ai motorului precum și de la caracteristica naturală  $N$  (vezi fig. 4.12) pusă la dispoziție de constructor. Se fixează pe abscisă valorile limită  $I_m$  și  $I_M$  între care variază curentul din induș.

Proiecția punctului  $S$ , respectiv  $R$ , pe verticala în  $R_a$  constituie primul din cele două puncte necesare trăsării dreptelor  $I_m = ct$  și respectiv  $I_M = ct$ .

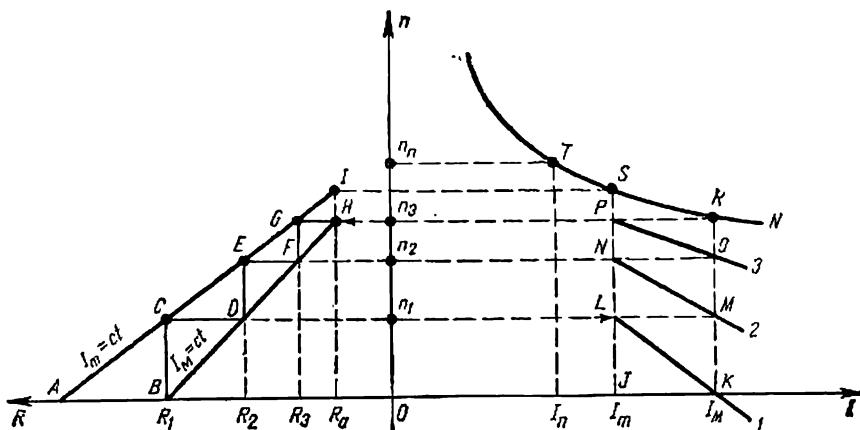


Fig. 4.12. Diagrama de calcul al reostatului prin metoda grafică.

Punctul  $A$ , respectiv  $B$ , se determină pentru condiția de viteza nulă: rezistența în punctul  $A$  este  $\frac{U}{I_m}$ , iar în punctul  $B$  este  $\frac{U}{I_M}$ .

Se trasează dreapta  $I_m = ct$  între punctele  $A$  și  $I$ , iar dreapta  $I_M = ct$  între punctele  $B$  și  $H$ .

Rezistența  $R_1$  în punctul  $B$  este și valoarea rezistenței maxime din circuitul indusului, de la care începe pornirea.

Motorul se accelerează pe caracteristica artificială  $1$  pînă în punctul  $C$  (intersecția lui  $R_1$  cu  $I_m = ct$ ), care se proiectează orizontal în  $L$  (segmentul  $KL$ ), determinînd prima treaptă, în care se scurtează o primă rezistență a reostatului.

Punctul de funcționare  $C$  se transferă în  $D$  (respectiv  $L$  se transferă în  $M$ ), la care corespunde o rezistență  $R_2$  în circuitul indusului.

Motorul se accelerează pe caracteristica artificială  $2$  (segmentul  $DE$ , respectiv  $MN$ ) pînă în punctul  $E$  (respectiv  $N$ ) în care se scurtează a doua treaptă a reostatului.

La scurtează celei de-a treia trepte din punctul  $G$ , funcționarea se transferă pe caracteristica naturală  $N$  în punctul  $H$  și mai departe pînă la  $T$  la curentul  $I_n$  și turația nominală  $n_n$ .

## 5. FRINAREA MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

### a. Frinarea prin contraconectare

Frinarea se obține prin introducerea rezistențelor în circuitul indusului pentru limitarea curentului în timpul frinării, obținîndu-se caracteristici puternic căzătoare; în acest fel, motorul trece să funcționeze din cadranul  $I$  în cadranul  $IV$  (fig. 4.13).

Prin introducerea rezistenței  $R_1$ , punctul de funcționare trece pe caracteristica  $1$  de frinare din punctul  $B$  corespunzător turației  $-n_m$ , în punctul  $C$ , punctul în care rezistența se reduce la valoarea  $R_2$ . Pe caracteristica  $2$ , frinarea se face între punctul  $D$

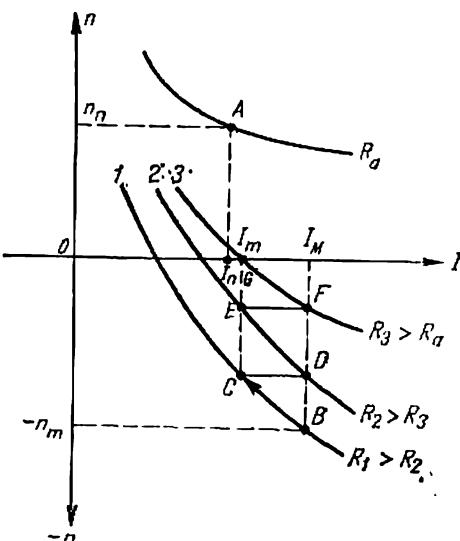


Fig. 4.13. Caracteristicile mecanice la frinare reostatică prin contraconectare a motorului serie.

și  $E$  în care se reduce din nou rezistența de la  $R_2$  la  $R_3$ . Turația devine nulă în punctul  $G$  pe caracteristica 3 de frânare, pe care motorul a decelerat din punctul  $F$ .

Frânarea prin contraconectare este intensă și se folosește la reversarea unor mase mari în mișcare de rotație.

### b. Frânarea dinamică

- **Frânarea dinamică cu autoexcitație** (fig. 4.14). În funcționare normală sunt închise contactele  $C_1$ ,  $C_3$  și  $C_5$ . La frânare contactele  $C_1$ ,  $C_3$  și  $C_5$  se deschid, închizîndu-se simultan  $C_2$ ,  $C_4$  și  $C_6$ . Motorul este deconectat de la rețeaua de alimentare și debitează ca generator în circuitul format din rezistența proprie  $R_a$ , rezistența de pornire  $R_p$  și o rezistență specială de frânare  $R_f$ . T.e.m.  $E$  rămîne neschimbată,  $I$  și  $\Phi$  își mențin sensul iar  $I_f$  își schimbă sensul.

Curentul de frânare  $I_f$  scade proporțional cu t.e.m.  $E$ , care la rîndul său scade proporțional cu micșorarea turației.

Caracteristicile mecanice ale frânării dinamice cu autoexcitație sunt situate în cadrul  $II$ .

Frânarea este intensă, dar lipsită de precizie și lentă.

- **Frânarea dinamică cu excitație independentă** (fig. 4.15). La pornire sunt anclanșate succesiv contactele  $C_1$ ,  $C_3$  și  $C_4$ , obținîndu-se accelerarea. La frânare contactele  $C_1$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  declanșează și anclanșează  $C_2$ . Motorul este deconectat de la rețea și debitează ca generator pe circuitul format numai din rezistența proprie  $R_a$  și rezistența de frânare  $R_f$ ; însăsurarea de excitație  $R_e$  este alimentată independent, printr-o rezistență de limitare a curentului  $R_L$  avind inseriată și rezistența reostatului de pornire  $R_p$ .

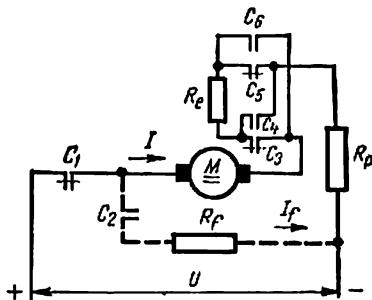


Fig. 4.14. Schema de frânare dinamică cu autoexcitație.

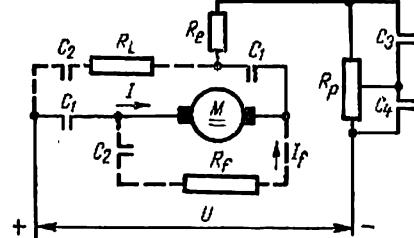


Fig. 4.15. Schemă de frânare dinamică cu excitație independentă.

La excitație constantă se obține o caracteristică de frinare dreaptă situată în cadrul *II*, identică cu caracteristica de frinare pentru motorul derivație.

Frinarea este intensă, precisă și rapidă, cu posibilitate de control reostatic.

## 6. VARIATIA TURAȚIEI MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE SERIE

Possibilitățile de variere a turației rezultă din analizarea termenilor expresiei:  $n = \frac{U - RI}{C_e \Phi}$

Variatia turației se obține prin: modificarea tensiunii de alimentare *U*, schimbarea rezistenței din circuitul indușului *R* și modificarea fluxului inductor.

## D. MOTORUL DE C.C. CU EXCITAȚIE MIXTĂ (COMPUND)

### 1. DATE PRINCIPALE

Pe polii magnetici sunt bobinate două înfășurări care se conectează astfel: *S* în serie și *D* în derivație cu indușul (fig. 4.16).

Înfășurările de excitație pot avea un efect adițional sau diferențial în producerea fluxului motorului.

### 2. CARACTERISTICA NATURALĂ ȘI CARACTERISTICILE ARTIFICIALE ALE MOTORULUI DE C.C. CU EXCITAȚIE MIXTĂ

Caracteristica naturală a motorului compund (curba 1 din figura 4.17) este rezultanta caracteristicilor motoarelor serie și derivație: o alură de hiperbolă, prelungită pe ramura abscisei cu o dreaptă.

Caracteristica naturală este mai rigidă decât o caracteristică de motor serie și mai suplă decât o caracteristică de motor derivație de aceeași putere.

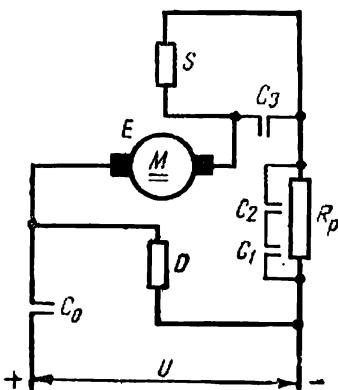


Fig. 4.16. Schema motorului de c.c. cu excitație mixtă (compund).

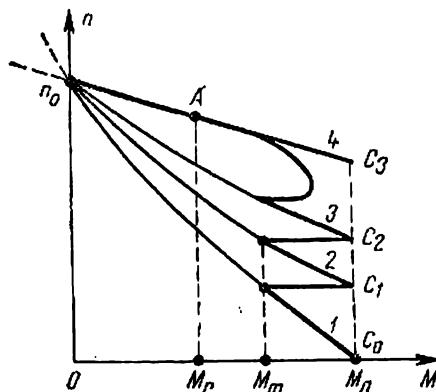


Fig. 4.17. Caracteristicile de pornire ale motorului compund.

Pornirea incepe pe caracteristica contactorului  $C_0$  (fig. 4.17).

Două caracteristici artificiale  $2, 3$  se obțin seurtcircuitind treptele de rezistență ale reostatului de pornire  $R_p$ , prin anclansarea contactoarelor  $C_1, C_2$ . Prin anclansarea contactorului  $C_3$ , înfășurarea serie este seurtcircuitată și motorul devine derivatie. Funcționarea se face pe caracteristica  $4$ . Se observă porțiunea curbă a caracteristicii de pornire între caracteristicile  $3$  și  $4$ , care se dătoarează efectului de amortizare al înfășurării serie.

La frinare, se suntează înfășurarea serie, pentru ca funcționarea să fie stabilă; astfel caracteristicile opririi sunt aceleasi ca pentru motorul derivatie.

Datorită acestor proprietăți, motorul compund asigură o schimbă de pornire cu număr redus de trepte de rezistență și poate fi folosit în funcție de diagrama de sarcină numai ca motor serie sau numai ca motor derivatie.

### 3. PORNIREA SI FRINAREA MOTORULUI CU C.C. CU EXCITARE MIXTĂ

În schema motorului de c.c. cu excitare mixtă (v. fig. 4.16) sunt reprezentate și contactoarele de pornire  $C_0, C_1, C_2, C_3$ .

naturală  $1$ , prin anclansarea con-

## E. MOTORUL ASINCRON TRIFAZAT

### 1. CARACTERISTICA MECANICĂ NATURALĂ

Expresia simplificată a caracteristicii mecanice naturale a motorului asincron este:

$$M = \frac{2M_h}{\frac{s}{s_h} + \frac{s_h}{s}} \quad M_h = K_1 \frac{U^2}{f_1^2} \quad (\text{momentul maxim-critic})$$

$$s_h = K_2 \frac{R_2^2}{f_1} \quad (\text{alunecarea critică})$$

$$s = \frac{n_0 - n}{n} \quad (\text{alunecarea})$$

în care:  $K_1$ ,  $K_2$  sunt constante ale motorului respectiv;

$U$  este tensiunea de alimentare a statorului pe fază;

$f_1$  — frecvența tensiunii de alimentare;

$R_2$  — rezistența înfășurării rotorice;

$n_0$  — turăția de sincronism;

$n$  — turăția motorului.

Pe baza acestor relații se poate trece la reprezentarea grafică (fig. 4.18) a curbelor  $M = f(s)$  și  $n = f(M)$ .

Întrucit turăția și alunecarea sint două mărimi inverse  $n = n_0(1 - s)$ , cele două caracteristici au aceeași alură.

Ramurile  $OB'C'$  ale caracteristicilor corespund funcționării în regim de generator și nu fac obiectul de studiu al acestui capitol.

Dacă cuplul rezistent la pornire este mai mic decât cuplul de pornire al motorului  $M_p$ , atunci motorul poate fi pornit prin alimentarea cu tensiune a statorului, astfel:

- în momentul inițial al pornirii motorul dezvoltă un cuplu  $M_p$ ;

- motorul pornește, turăția crește, deci alunecarea scade și punctul de funcționare al motorului se deplasează din  $C$  către  $B$ ;

- după atingerea valorilor critice în punctul  $B$ , cuplul dezvoltat de motor începe să scadă, dar motorul accelerează în continuare (punctul de funcționare se deplasează din  $B$  către  $A$ );

- în punctul  $A$  motorul funcționează la turăție și cuplu nominal.

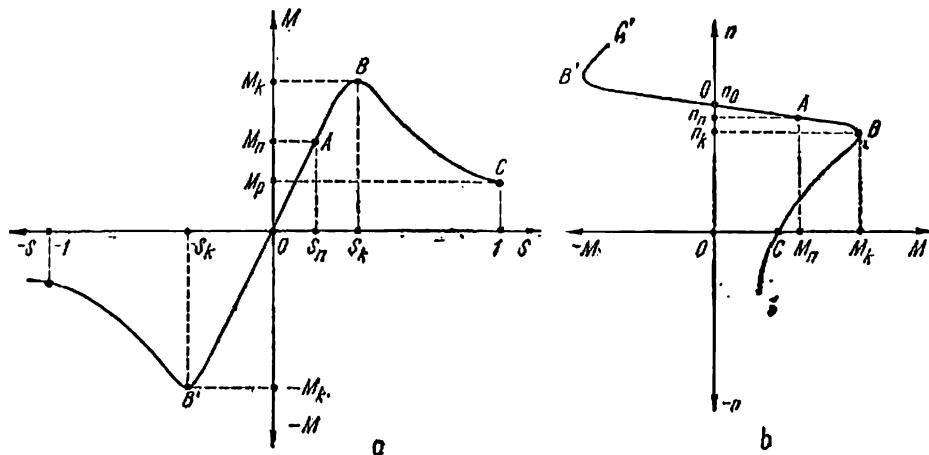


Fig. 4.18. Caracteristicile mecanice ale motorului asincron trifazat:

$$a - M = f(s); \quad b - n = f(M).$$

Dacă cuplul rezistent  $M_r$  variază în limite mici (datorită frecările neuniforme în mecanism etc.), alunecarea variază de asemenea cu valori mici, scăzând dacă a scăzut  $M_r$ , sau crescând dacă a crescut  $M_r$ . Rezultă că mașina asigură o funcționare stabilă la variațiile mici ale cuplului rezistent. Aceasta se întâmplă bineînteleas numai pe porțiunea ascendentă  $OB$  a curbei  $M = f(s)$  pe care se găsește punctul de funcționare, cealaltă porțiune fiind nestabilă. Într-adevăr, se observă că o creștere a lui  $M_r$ , pe porțiunea  $BC$ , peste valoarea  $M_k$ , duce la scăderea cuplului  $M$  și alunecarea motorului crește pînă la oprirea completă.

Dacă motorul funcționează normal pe porțiunea stabilă a caracteristicii și la un moment dat cuplul rezistent își schimbă sensul, devenind negativ, rotorul este rotit cu o viteză din ce în ce mai mare și alunecarea scade. Motorul trece prin punctul  $O$  în care  $s = 0$ ,  $M = 0$ , alunecarea începe să devină negativă, cuplul  $M$  devine de asemenea negativ și mașina începe să lucreze în regim de generator.

## 2. CARACTERISTICI MECANICE ARTIFICIALE

### a. Caracteristici mecanice artificiale obținute prin modificarea rezistențelor din circuitul rotoric

Modul cum variază caracteristica mecanică prin introducerea unor rezistențe suplimentare în circuitul rotoric al motoarelor asincrone cu rotor bobinat, rezultă din relația:

$$s_h = \frac{K_2 R_2}{f_1}.$$

Se observă că alunecarea critică crește odată cu creșterea rezistenței rotorice.

Cuplul critic  $M_k$  nu se modifică prin introducerea rezistenței suplimentare.

Familia de caracteristici  $M = f(s)$  și  $n = f(M)$  este reprezentată în figura 4.19.

Porțiunea dreaptă a caracteristicii se înclină din ce în ce mai mult, pe măsură ce crește rezistența introdusă în circuitul rotorului:  $R_2 < R_{21} < R_{22} < R_{23}$ .

Se observă că pentru punctul de funcționare corespunzător cuplului nominal  $M_n$ , pe fiecare caracteristică se obține o altă alunecare, deci o altă turăție (punctele  $A$ ,  $A'$ ,  $A''$ ,  $A'''$ ). Rezultă posibilitatea modificării turăției prin introducerea de rezistențe în circuitul rotoric, dar gama de variație a vitezei este limitată de faptul că la alunecări mari seade foarte

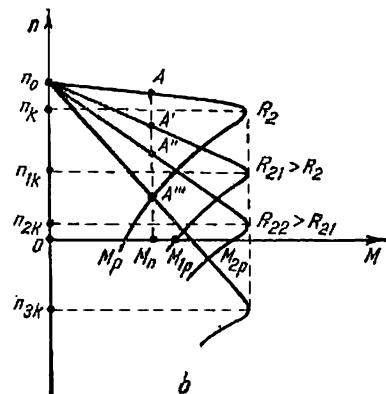
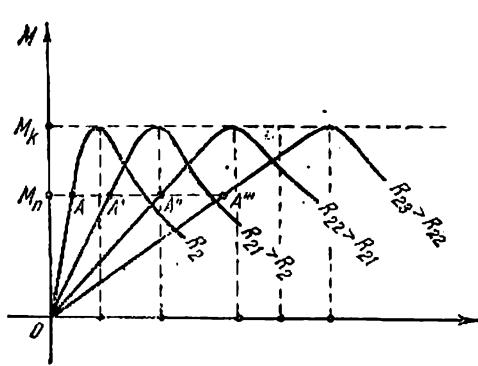


Fig. 4.19. Caracteristici mecanice artificiale ale motorului asincron trifazat, obținute prin variația rezistenței din circuitul rotoric:  
 a —  $M = f(s)$ ;      b —  $n = f(M)$ .

mult stabilitatea funcționării motorului. Într-adevăr, în punctul  $A''$ , la variații mici ale cuplului rezistent în jurul valorii nominale  $M_n$ , apar variații mari ale alunecării  $s$ .

#### b. Caracteristici mecanice artificiale obținute prin varierea tensiunii de alimentare

Modificarea caracteristicii mecanice se face practic prin scăderea tensiunii de alimentare și rezultă din relațiile:

$$M_h = K_1 \frac{U^2}{I_1^2};$$

$$s_h = K_2 \frac{R^2}{I_1}.$$

Se observă că cuplul critic scade cu scăderea tensiunii de alimentare, în timp ce alunecarea critică rămîne constantă, reprezentarea grafică a curbelor fiind cea din figura 4.20.

Punctul de funcționare corespunzător cuplului nominal  $M_n$  corespunde unor alunecări, deci unor turații diferite pe cele trei caracteristici, deci prin scăderea tensiunii de alimentare se poate varia viteza.

Gama de reglaj este mai redusă decât în cazul rezistențelor introduse în circuitul rotoric, deoarece se ajunge repede la pragul de tensiune căreia

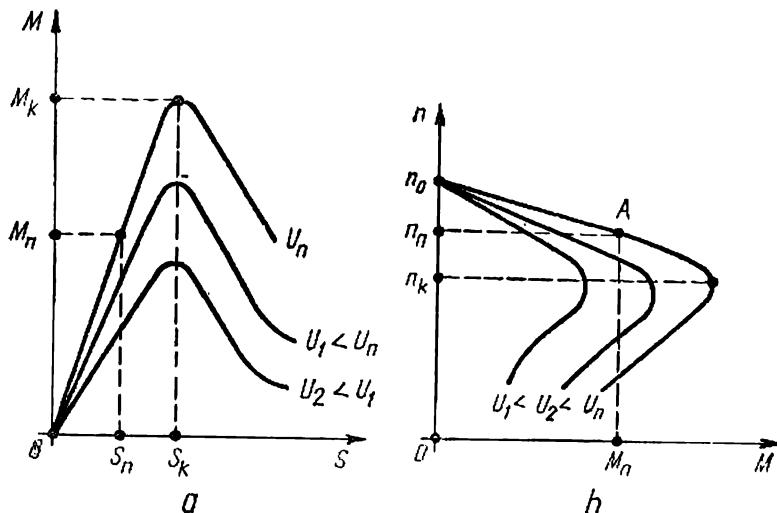


Fig. 4.20. Caracteristici mecanice artificiale ale motorului asincron trifazat, obținute prin variația tensiunii de alimentare:  
a —  $M = f(s)$ ; b —  $n = f(M)$ .

$i_1$  corespunde un cuplu maxim mai mic decit cuplul rezistent si motorul se opreste (alunecarea maxima ce se poate obtine este, teoretic,  $s_h$ ).

Stabilitatea caracteristicilor scade, de asemenea, cu scaderea tensiunii de alimentare.

### c. Caracteristici mecanice artificiale obținute prin variația frecvenței tensiunii de alimentare

Dacă se iau în considerație relațiile:

$$s_h = K_2 \frac{R_2}{f_1},$$

$$M_h = K_1 \frac{U^2}{f_1^2},$$

se observă că atit alunecarea critică, cît și cuplul critic cresc cind scade frecvența și scad cind aceasta se mărește, deosebirea fiind că alunecarea este invers proporțională cu frecvența, iar cuplul critic — cu frecvența la patrat.

În același timp, din relația cunoscută:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p_1},$$

în care  $p_1$  este numărul de perechi de poli, se observă că turația de sincronism este direct proporțională cu frecvența.

În figura 4.21 sunt reprezentate caracteristicile  $M = f(s)$  și  $n = f(M)$ , pe care se observă că, prin scăderea frecvenței nominale  $f_1$  la valoarea  $f_1' < f_1$ , cuplul maxim crește la valoarea  $M_k' > M_k$  și turația de sincronism scade la valoarea  $n_0' < n_0$ . Invers, cind  $f_1 > f_1'$ ,  $M_k' < M_k$  și  $n_0' > n_0$ .

Variatia frecvenței se poate face în ambele domenii, prin alimentarea motorului de la un convertor de frecvență, caracteristicile menținindu-și rigiditatea și funcționarea mașinii fiind la fel de stabilă pe oricare din caracteristici.

### 3. PORNIREA MOTORULUI ASINCRON

#### a. Pornirea prin introducerea rezistențelor de pornire în circuitul rotoric

Introducerea rezistențelor în circuitul rotoric al motoarelor asincrone cu rotorul bobinat permite obținerea unor caracteristici cu cuplu de pornire mare și un regim tranzitoriu lin, fără socuri electrice sau mecanice.

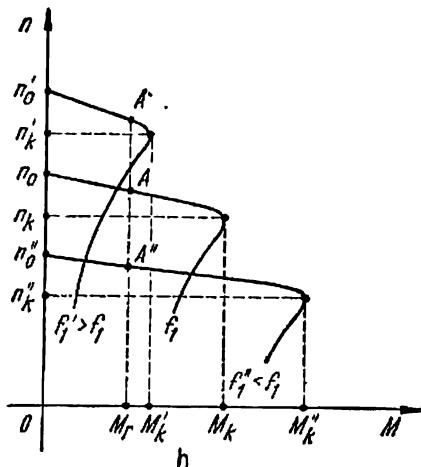
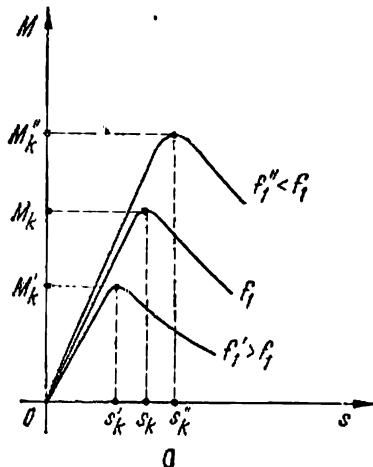


Fig. 4.21. Caracteristici mecanice artificiale ale motorului asincron trifazat, obținute prin variația frecvenței tensiunii de alimentare:  
a -  $M = f(s)$ ; b -  $n = f(M)$ .

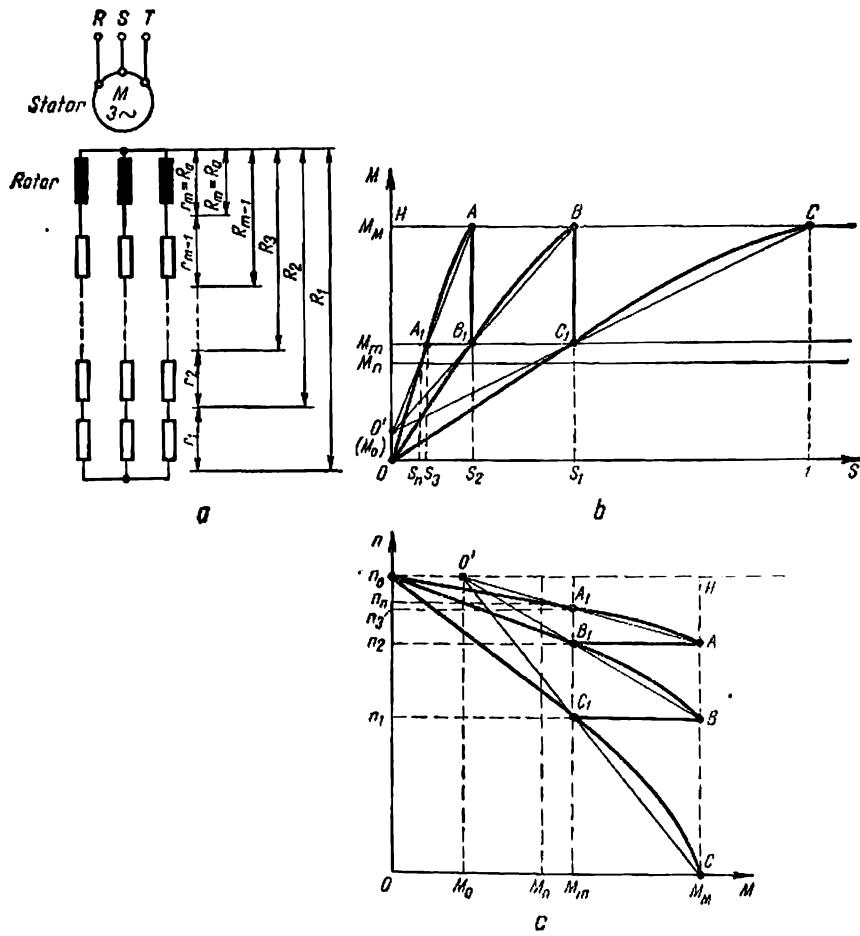


Fig. 4.22. Calculul grafic al rezistențelor rotorice de poruire pentru motorul asincron trifazat:

a — schema treptelor de rezistență introduse în circuitul rotoric pe cele trei faze;  
 b — caracteristica de pornire  $M = f(s)$ ; c — caracteristica de pornire  $n = f(M)$ .

După terminarea regimului tranzitoriu, rezistența de pornire se scoate din circuitul rotoric și motorul funcționează pe caracteristica naturală care asigură atingerea turării nominale și stabilitatea turării la modificările cuplului rezistent.

În figura 4.22, a este prezentată schema de legare a rezistenței de pornire trifazate în circuitul rotorului, a cărui rezistență pe fază este  $R_a$ .

Rezistența de pornire are, într-un caz general,  $m$  trepte (concret, s-a considerat  $m = 3$ ) ale căror valori sunt  $r_1, r_2 \dots r_m$ . Rezistența totală inserată în circuitul indușului are valorile:

$$\begin{aligned} R_1 &= r_1 + r_2 + \dots + r_{m-1} + R_a \\ R_2 &= r_2 + \dots + r_{m-1} + R_a \\ &\vdots \\ R_{m-1} &= r_{m-1} + R_a \\ R_m &= R_a \end{aligned}$$

Se trasează caracteristica mecanică naturală  $OA_1A$  (vezi fig. 4.22, b) și dreptele corespunzătoare cuplurilor  $M_m, M_M$  și  $M_n$ . Cuplul  $M_n$  determină pe caracteristica naturală punctul de funcționare nominal cu alunecarea  $s_n$ . Prin punctele  $A$  și  $A_1$ , corespunzătoare cuplurilor  $M_M$  și  $M_n$ , se duce o dreaptă care intersectează axa cuplurilor în punctul  $O'$ . Se poate demonstra că punctul  $O'$  (având coordonatele  $M = M_0, s = 0$ ) este punctul de concurență al tuturor dreptelor determinate de intersecțiile caracteristicilor artificiale cu dreptele  $M = M_m$  și  $M = M_M$ . Din punctul  $O'$  se duce deci dreapta  $O'C$  care intersectează dreapta  $M_n$  în punctul  $C_1$ . Caracteristica artificială care pleacă din punctul  $O$  intersectează dreptele  $M_M$  și  $M_n$  în punctele  $C$  și  $C_1$  corespondente rezistenței maxime  $R_1$ . Din punctul  $C_1$  se ridică un segment perpendicular pe dreapta  $M_n$ , care întilnește dreapta  $M_M$  în punctul  $B$ . Dacă prin punctele  $B$  și  $O'$  se duce o nouă dreaptă, se obține punctul  $B_1$ . Caracteristica artificială care trece prin punctele  $OB_1B$  corespunde rezistenței  $R_2$  (porțiunea  $r_2$  este scurtcircuitată). Din punctul  $B_1$  se ridică segmentul perpendicular pe dreapta  $M_n$  și acesta trbuie neapărat să intersecteze dreapta  $M_M$  în punctul  $A$  stabilit anterior, pentru ca pornirea să se facă în bune condiții, respectându-se limitele  $M_M$  și  $M_m$  alese. Dacă nu se realizează această corespondență, atunci trebuie să se modifice limitele  $M_M$  și  $M_m$  în așa fel încit construcția grafică să se închidă în punctul  $A$ .

Pe construcția grafică (fig. 4.22, b) astfel întocmită, se poate explica ușor mecanismul pornirii. Astfel, motorul pornește în punctul  $C$ , la alunecarea  $s = 1$  și cuplul  $M_M$  și alunecarea și cuplul scad pe caracteristica artificială corespunzătoare rezistenței  $R_1$  pînă la punctul  $C_1$ . În punctul  $C_1$  se scurtcircuitează porțiunea de rezistență  $r_1$  și rămîne în circuit numai rezistența  $R_2$ . Cuplul crește brusc de la valoarea  $M_m$  la  $M_M$ , alunecarea corespunzătoare fiind  $s_1$ . Se ajunge astfel în punctul  $B$  și de acolo, pe caracteristica corespunzătoare rezistenței  $R_2$  se ajunge la punctul  $B_1$ , la  $M = M_m$  și  $s = s_2$ . Se scurtcircuitează porțiunea de rezistență  $r_2$  și în circuit rămîne numai rezistența rotorului  $R_a$ . Cuplul crește brusc la  $M_M$  în punctul  $A$  și apoi scade pe caracteristica naturală, pînă cînd se ajunge la punctul stabil de funcționare  $M = M_n, s = s_n$ .

b. Pornirea prin reducerea tensiunii de alimentare a înfășurărilor statorice

● **Pornirea cu comutator stea-triunghi.** Comutatorul stea-triunghi este un comutator cu acționare manuală sau automată, care poate realiza, așa cum se vede în figura 4.23, o pornire în două trepte de tensiune a motorului asincron cu rotorul în scurtcircuit sau a celui cu rotor bobinat.

Intr-adevăr, tensiunea aplicată înfășurărilor statorului în cazul conexiunii în stea este de  $\sqrt{3}$  ori mai mică decât tensiunea de linie, iar în cazul conexiunii în triunghi este egală cu tensiunea de linie.

Acest procedeu de pornire este utilizat la motoare mici și mijlocii și este simplu și ieftin.

Caracteristicile de pornire  $M_\Delta = f(s)$  și  $M_Y = f(s)$  sunt reprezentate în figura 4.23, b. Se observă că motorul pornește pe caracteristica  $M_Y = f(s)$  și accelerează pînă în momentul comutării pe conexiunea în stea, în punctul A. În acest moment punctul de funcționare al motorului sare brusc din A în A' și motorul continuă să se accelereze pe caracteristica  $M_\Delta = f(s)$ . Punctul de funcționare se va deplasa din A' către O și se va stabili în funcție de valoarea cuplului rezistent.

● **Pornirea cu autotransformator de alimentare.** În figura 4.24 este prezentată schema de pornire prin reducerea tensiunii de alimentare cu ajutorul autotransformatorului AT. Autotransformatorul este cuplat în schemă la începutul pornirii prin contactorul A și după trecerea unui

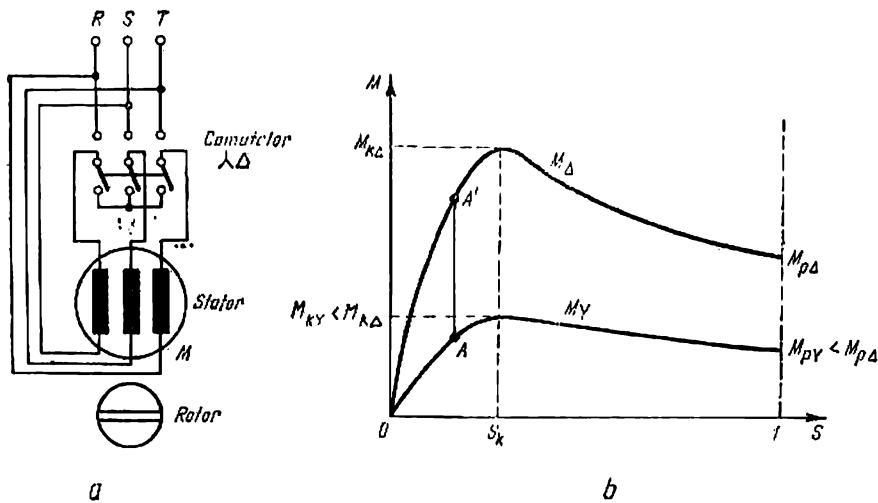


Fig. 4.23. Pornirea cu comutator stea-triunghi a motorului asincron trifazat:  
a — schema electrică de pornire; b — caracteristici de pornire.

anumit timp, motorul este conectat la rețea direct prin contactorul  $L$ . Autotransformatorul se deconectează și motorul se accelerează și funcționează la tensiunea nominală.

#### 4. FRÎNAREA MOTORULUI ASINCRON

##### a. Regimul de generator cu recuperarea energiei în rețea de alimentare

Regimul de generator cu recuperarea energiei în rețea realizează de fapt o limitare a vitezei de rotație a mecanismului și apare în mod natural în anumite situații, fără a fi necesar să se ia măsuri speciale.

Un caz tipic este acela al coborârii sarcinii la podurile rulante. Motorul lucrează în timpul ridicării în regim nominal de motor, dar în timpul coborârii trece în regim de generator și limitează viteza de coboare a sarcinii. Aceasta se întimplă datorită faptului că sarcina tinde să coboare din ce în ce mai repede și anumează rotorul motorului la viteze mai mari decât viteza nominală.

În figura 4.25 sunt reprezentate caracteristica naturală ( $R_a$ ) și caracteristica artificială ( $R_i < R_a$ ). Se vede că punctul de funcționare în regim de motor  $A$ , respectiv  $A'$ , corespunde cuplului rezistent  $M_r$ , cuplul fiind pozitiv. La trecerea în cadrul  $II$  cuplul devine negativ (de frânare) și

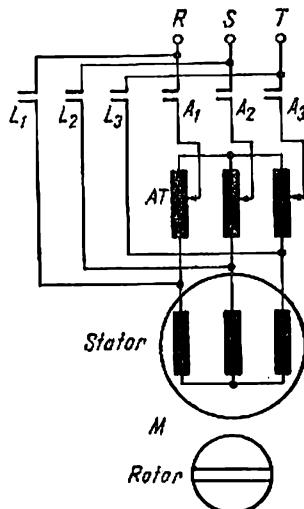


Fig. 4.24. Pornirea cu autotransformator de pornire a motorului asincron trifazat.

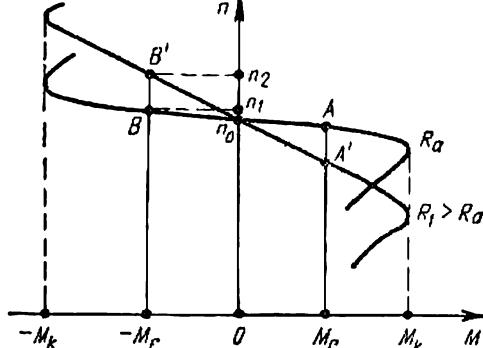


Fig. 4.25. Regimul de frânare cu recuperarea energiei în rețea, al motorului asincron trifazat.

se stabilește un punct de funcționare  $B$ , respectiv  $B'$ , corespunzător cuplului de frânare  $-M_f$ .

Se observă că prin includerea în rotor a unei rezistențe  $R_1$ , punctul de funcționare în regim de generator se stabilește la o turătie  $n_2 > n_1$ .

### b. Regimul de frânare dinamică

În figura 4.26 este reprezentată schema de frânare dinamică a motorului asincron trifazat cu rotorul bobinat.

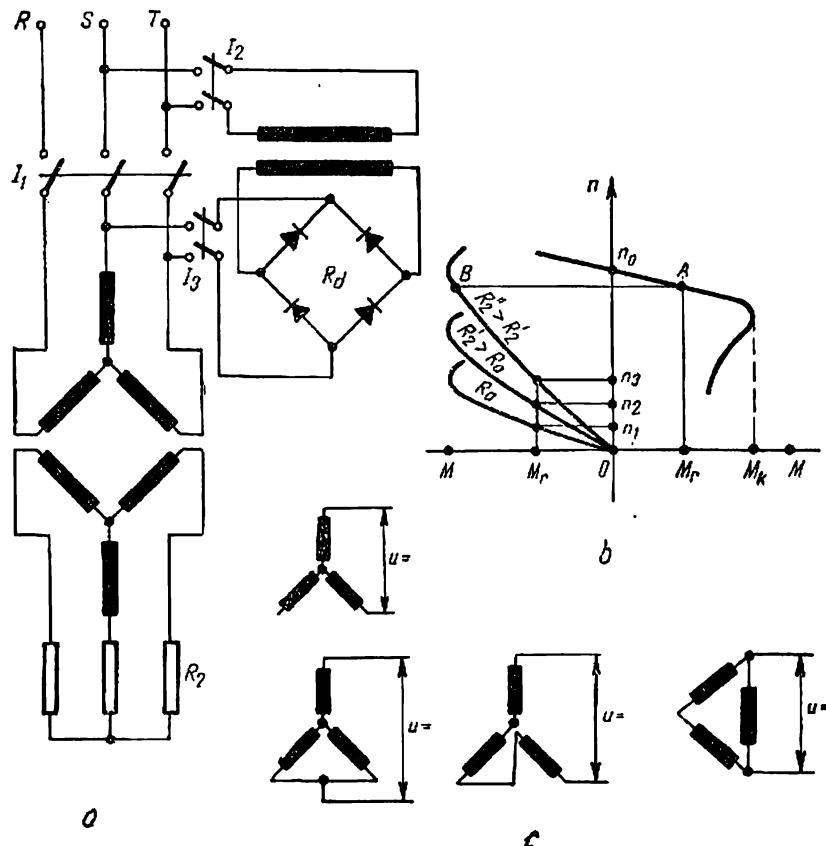


Fig. 4.26. Regimul de frânare dinamică al motorului asincron trifazat:  
a — schema electrică de conectare a înfășurărilor statorice și rotorice;  
b — caracteristicile de frânare obținute pentru diferite rezistențe conectate în rotor;  
c — scheme de conectare a înfășurărilor statorice în acest regim.

Este important de reținut că *frânarea dinamică se aplică și motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit*.

Motorul asincron se deconectează de la rețea de curenț alternativ prin deschiderea întreruptorului tripolar  $I_1$  și două faze ale sale se aliniază de la o sursă de curenț continuu care constă, în cazul acesta, dintr-un transformator  $T$ , și un redresor în punte  $R_d$  cuplate prin întreruptoarele bipolare  $I_2$  și  $I_3$ . Alimentarea cu curenț continuu a înfășurărilor statorice se poate face în patru moduri diferite, arătate în figura 4.26, c. Rotorul este conectat pe rezistență de frânare  $R_2$ .

În momentul executării acestor operații, motorul — deși a pierdut alimentarea de la rețea — continuă să se rotească datorită energiei cinetice înmagazinate de sistem. Se trece în regim de generator sincron cu inductorul fix care induce în rotor curenți de frecvență variabilă, aceștia închizindu-se pe rezistență  $R_2$ .

În figura 4.26, b se dau diferite caracteristici de frânare pentru diferite valori ale rezistenței  $R_2$  ( $R_2' > R_2$ ,  $R_2' > R_a$ ,  $R_a$ ). În momentul în care se comandă frânarea, funcționarea se mută din punctul A (cadranul I), în punctul B (cadranul II) și apare cuplul negativ de frânare —  $M_f$ . Cuplului de frânare —  $M_f$  îi corespund valori diferite ale vitezei de rotație pe cele trei curbe:

$$n_3 > n_2 > n_1.$$

Pentru ca frânarea să fie cât mai rapidă, este necesar să se includă în circuitul rotoric o asemenea rezistență ( $R_2'$ ), încât frânarea să înceapă cu un cuplu de frânare cât mai mare.

### c. Regimul de frânare prin contraconectare

- Contraconectarea prin învărtirea de către mecanism a rotorului în sens invers față de câmpul învărtitor. În cazul tipic al mecanismului de ridicare a sarcinii la podul rulant, se consideră că motorul funcționează în sensul ridicării și punctul de funcționare  $A_1$  (fig. 4.27) se află pe caracteristica mecanică naturală 1. Conectând în rotor o rezistență  $R_1 > R_a$ , punctul de funcționare corespunzător cuplului rezistent  $M_r$  se va deplasa pe caracteristica artificială 2 în punctul  $A_2$ . Viteza de rotație va fi mai mică  $n_2 < n_1$ . Dacă se introduce în circuitul rotoric o rezistență și mai mare  $R_2 > R_1$  se poate ajunge în situația în care cuplul motor corespunzător punctului  $K_3$  nu mai poate satisface cuplul rezistent  $M_r$ . Agregatul se oprește și începe să coboare, antrenând rotorul motorului în sens invers, punctul de funcționare stabilindu-se în  $A_3$ , cadranul IV. Cuplul dezvoltat de motor în acest punct egalează cuplul rezistent și astfel sarcina continuă să coboare cu viteza  $n_3$ .

● Contraconectarea prin inversarea a două faze statorice, se poate utiliza atât la motoarele asincrone în scurtcircuit, cât și la cele cu rotorul bobinat. Rezistențele pentru limitarea curentilor mari din timpul frânării se introduc în cazul motoarelor în scurtcircuit în circuitul înșâsurărilor statorice.

Considerind că motorul funcționează în punctul  $A_1$ , din cadranul I (fig. 4.27), în momentul inversării fazelor statorice punctul de funcționare se mută pe curba 4 paralelă și simetrică față de punctul  $O$  cu curba 3 (dacă în circuitul rotoric este inclusă aceeași rezistență  $R_2 > R_d$ ). Cuprul

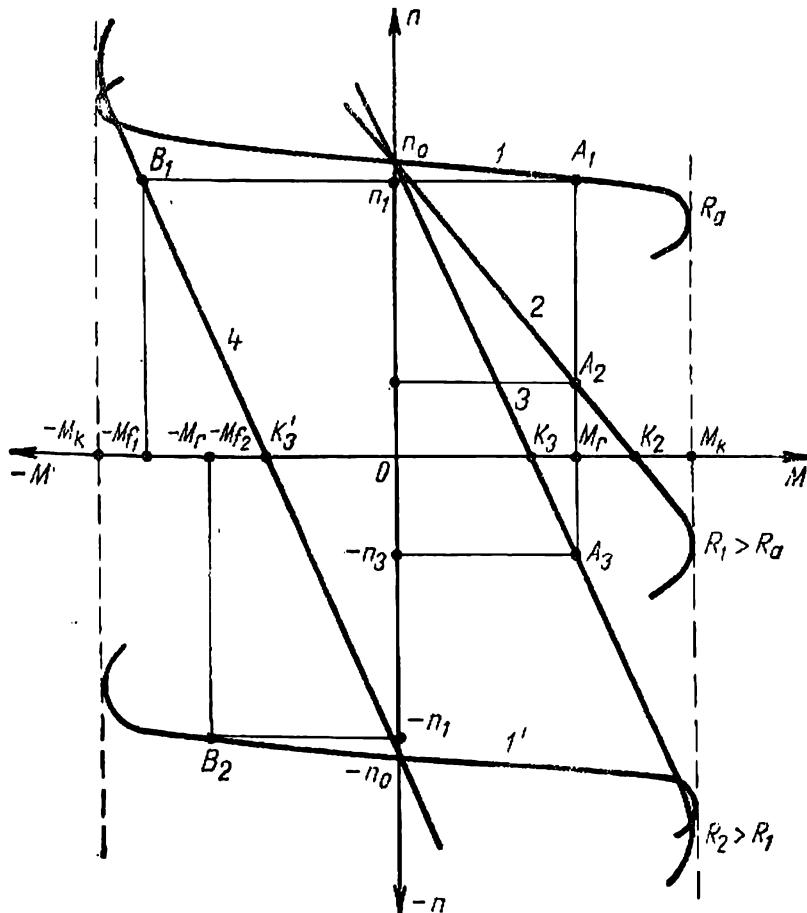


Fig. 4.27. Frânarea prin contraconectare a motorului asincron trifazat.

dezvoltat de motor devine cuplu de frânare, avind valoarea  $-M_{f_1}$  în punctul  $B_1$ , viteza de rotație scade și ajunge la valoarea zero în punctul  $K_3$ .

Se observă că, spre deosebire de frânarea dinamică la care, în momentul opririi motorului, cuplul de frânare se anulează, la frânarea prin contraconectare cuplul își menține o valoare importantă  $-M_{f_2}$ . Din această cauză, frânarea prin contraconectare este mult mai rapidă.

În momentul opririi motorului, este necesar să se facă deconectarea lui de la rețea, lucru care se realizează cu ajutorul unui releu de turăție care comandă deconectarea.

## 5. VARIEREA VITEZEI DE ROTAȚIE

### a. Varierarea prin schimbarea numărului de poli al înfășurărilii statorice

Această metodă se aplică la motoarele asincrone în scurte circuit, special construite pentru a se putea efectua modificări în modul de legare al înfășurărilor statorice.

Se știe că viteza de sincronism a motoarelor asincrone este invers proporțională cu numărul de perechi de poli  $p$ :

$$n_0 = \frac{60f_1}{p}.$$

Rezultă că este posibil ca prin modificarea conexiunilor înfășurărilor statorice din stea în dublă stea sau din triunghi în dublă stea (fig. 4.28) să se obțină viteză de sincronism diferite.

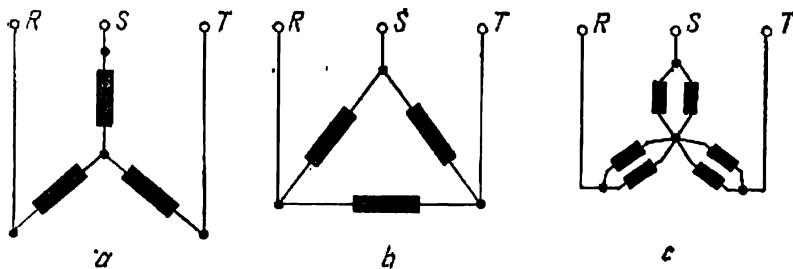


Fig. 4.28. Diferite moduri de legare a înfășurărilor statorice ale motorului asincron trifazat:

a – stea; b – triunghi; c – stea dublă.

Se construiesc motoare cu două sau chiar trei posibilități de legare a înfășurărilor, cărora le corespund două sau trei viteze diferite.

Acest mod de variere a vitezei este foarte economic și se utilizează în toate acționările care necesită numai 2—3 trepte de viteză cu trecere rapidă de la una la alta.

### b. Varierea prin modificarea tensiunii de alimentare și a frecvenței

În figurile 4.20 și 4.21 au fost prezentate grafic caracteristicile artificiale obținute prin alimentarea cu tensiune și frecvență variabilă a motorului asincron.

Varierea vitezei prin modificarea tensiunii de alimentare are dezavantajul că cuplul critic, ca și cel de pornire, scad cu pătratul tensiunii. De asemenea, rigiditatea caracteristicii scade cu scăderea tensiunii.

- Varierea vitezei prin micșorarea frecvenței are avantajul că se obțin caracteristici rigide, dar are dezavantajul creșterii cuplului critic și de pornire, care sunt invers proporționale cu pătratul frecvenței.

- Notă. Dacă se procedează la o micșorare a frecvenței, micșorind în același timp și tensiunea, se obțin caracteristicele artificiale din figura 4.29. În acest fel se menține o rigiditate suficientă a caracteristicilor, cuplul critic rămânind constant.

Gama de reglaj în domeniul vitezelor inferioare ajunge pînă la 10 : 1, varierea făcîndu-se în trepte sau continuu și fiind necesar un convertitor de frecvență corespunzător.

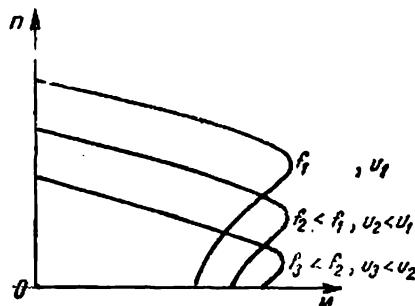


Fig. 4.29. Caracteristicile mecanice artificiale ale motorului asincron trifazat, obținute prin variația simultană a frecvenței și tensiunii de alimentare.

### c. Varierea prin modificarea rezistenței din circuitul rotoric

În figura 4.22 s-a arătat posibilitatea varierii vitezei prin introducerea rezistențelor în circuitul rotoric.

Cu cît rezistențele introduse în circuitul rotoric sunt mai mari, viteză scade, gama de reglaj fiind de 3 : 1.

Reglajul nu este continuu, la motoarele de putere mică deoarece

variația rezistenței se poate face numai în trepte. La motoare de puteri mari se folosesc reostate cu lichid, care permit realizarea unui reglaj continuu.

Un alt dezavantaj este acela al pierderii de energie în rezistențe. Sistemul de reglare a vitezei motoarelor asincrone prin introducerea rezistențelor în circuitul rotoric este recomandat în cazul mecanismelor care lucrează în regim de scurtă durată sau intermitent.

## F. MOTORUL SINCRON

Caracteristica mecanică  $n = f(M)$  este reprezentată în figura 4.30 și este o paralelă la axa cuplurilor, care trece prin punctul  $n_0$  de pe axa vitezelor și este limitată de cuplurile  $-M_{max}$  și  $M_{max}$  la care se produce ieșirea din sincronism a motorului și deci oprirea lui.

În cazul motorului sincron cu poli înecați, valoarea cuplului electromagnetic are expresia:

$$M = M_{max} \sin \theta,$$

unde  $\theta$  este decalajul între axele polilor cîmpului invîrtitor statoric și axele polilor de nume contrar ai rotorului.

Cuplul  $M_{max}$  este constant și depinde de caracteristicile rețelei și ale motorului.

Pentru a fi posibilă pornirea motorului sincron în sarcină și fără mașini auxiliare, se folosește pornirea în asincron.

Rotorul este prevăzut cu o colivie de pornire în asincron, identică cu cea de la motoarele asincrone. Pornirea se face cu înșăurarea rotorică închisă pe o rezistență și numai în momentul apropierei de viteza de sincronism este alimentată cu curent continuu.

## REZUMAT

ACTIONĂRILE ELECTRICE CU VARIAȚIE DE VITEZĂ se apreciază prin *indice de calitate*; gama de reglaj, sensul variației de viteză, finețea variației de viteză, variația cuplului admisibil în domeniul de variație a vito-

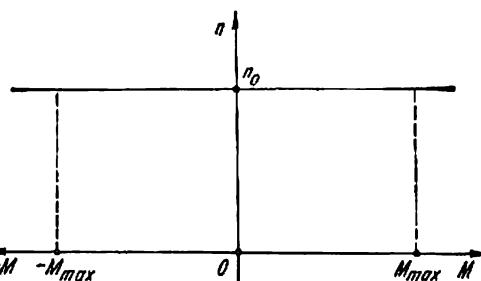


Fig. 4.30. Caracteristica mecanică  $n = I(M)$  a motorului sincron.

zei, randamentul instalației pentru variația de viteză și raportul dintre variația vitezei de mers în gol și a vitezei de mers în sarcină.

*Caracteristicile artificiale ale motoarelor de c.c. se obțin prin variația următorilor parametri: tensiunea de alimentare, rezistența indusului, fluxul de excitație.*

*Pornirea motoarelor de c.c. se face pe caracteristici artificiale, cu ajutorul reostatelor de pornire.*

*Frinarea motoarelor de c.c. se poate obține prin contraconectarea și prin recuperarea energiei.*

<i>Caracteristicile mecanice ale motorului asincron</i>	<i>naturală</i>	$M = \frac{2M_h}{\frac{s}{s_h} + \frac{s_h}{s}}$
		$s_h = K_2 \frac{R_2}{f_1}$
		$M_h = K_1 \frac{U_1^2}{f_1^2}$
	<i>artificiale</i>	Prin creșterea rezistenței $R_2$ { — crește $s_h$ — $M_h$ constant
		Prin scăderea tensiunii $U_1$ { — $s_h$ constant — scade $M_h$
		Prin variația frecvenței $f_1$ { — creșterea frecvenței { — scade $s_h$ — scăderea frecvenței { — crește $s_h$ — crește $M_h$

*Manevrarea motorului asincron:*

<i>Pornirea</i>	— rezistențe rotorice de pornire
	— reducerea tensiunii { — cu comutator stea-triunghi — cu autotransformator
	— cu recuperarea energiei în rețea
<i>Frinarea</i>	— dinamică
	— contraconectare { — prin rotirea rotorului în sens opus cimpului învărtitor — prin schimbarea sensului cimpului învărtitor.
<i>Varierea</i> <i>turației</i>	{ — prin schimbarea numărului de poli — prin variația combinată a tensiunii și frecvenței de alimentare — prin modificarea rezistenței din circuitul rotoric.

*Motorul sincron:*

- caracteristica  $n = f(M)$  rigidă între  $-M_{max}$  și  $+M_{max}$
- pornirea în asincron.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Care sunt metodele de obținere a caracteristicilor artificiale ale motoarelor?
2. Un motor de c.c. derivație are curentul de pornire limitat construtiv la 20 A. Se folosește o rezistență de pornire de 8 ohmi. Rezistența indusului este de 3 ohmi. Care este tensiunea nominală a motorului?
3. În ce mod se scurcircuită rezistențele de pornire și frânare ale unui motor de c.c.?
4. Un reostat de pornire poate fi folosit și pentru reglarea de viteză?
5. Care este relația de legătură între fluxul inductor și curentul principal la motorul serie?
6. Cum se obține inversarea sensului de rotație la motorul de c.c.?
  - a — prin inversarea conexiunilor la indus?
  - b — prin inversarea conexiunilor la înfășurarea de excitație?
7. Pentru care valoare a rezistenței indusului se obține caracteristica limită a motorului serie?
8. Care sunt cele două posibilități de a frâna dinamic un motor serie?
9. Ce sunt cuplul critic  $M_k$  și alunecarea critică  $s_k$ ?
10. Ce se întimplă cind cuplul de pornire  $M_p$  este mai mic decât cuplul rezistent?
11. Ce factori pot fi modificăți pentru obținerea caracteristicilor artificiale ale motorului asincron?
12. Care sunt avantajele și dezavantajele caracteristicilor artificiale obținute prin variația rezistențelor din circuitul rotoric?
13. Dar prin variația tensiunii de alimentare?
14. Dar prin variația frecvenței tensiunii de alimentare?
15. Care sunt metodele cele mai cunoscute de pornire a motoarelor asincrone?
16. Cum se realizează regimul de frânare cu recuperarea energiei la motoarele asincrone?
17. Cum variază cuplul de frânare la frânarea dinamică și la frânarea contracurent a motorului asincron?
18. Care sunt cele două regimuri de contraconectare la motorul asincron și în ce constau?
19. Ce metode se utilizează pentru varierea vitezei de rotație a motorului asincron?

## CAPITOLUL 5

# REGIMURI TRANZITORII ÎN ACȚIONĂRILE ELECTRICE

### A. NOȚIUNI GENERALE

● **Stările stabile.** Motorul electric se poate afla în stare de repaus, de funcționare pe o anumită treaptă de viteză  $n$  căreia îi corespund anumite valori ale cuplului  $M$  și curentului  $i$ , sau de funcționare la parametrii nominali  $n_n$ ,  $M_n$ ,  $I_n$ . În toate aceste cazuri, motorul se află într-o stare stabilă, staționară, dacă parametrii luați în considerație se mențin constanti.

● Trecerea dintr-o stare stabilă de funcționare în alta are caracter de:

— pornire (atunci cînd se trece de la o viteză inferioară (zero) la una superioară);

— frânare (atunci cînd se trece de la o viteză superioară la una inferioară).

Pornirea și frânarea motorului nu se fac instantaneu, datorită factorilor care se opun trecerii de la o stare stabilă la alta:

— inertiiile mecanice care se opun accelerării și decelerării maselor în mișcare;

— inertiiile electromagnetice care se opun variației brusete a tensiunii în circuitele electromagnetice;

— inertiiile termice care se opun cresterii brusete a cantității de căldură degajate în fierul mașinii și în înșăsurări.

Pornirea și frânarea motorului electric sunt deci caracterizate prin procese tranzitorii mecanice, electromagnetice și termice, în cadrul căroră, într-un anumit interval de timp, viteză, cuplul și curentul își modifică valorile corespunzătoare stării initiale, atingind la sfîrșitul intervalului valorile corespunzătoare stării finale.

Studiul proceselor tranzitorii este foarte important, deoarece permite ca pentru o actionare dată să se stabilească dacă procesul tranzitoriu respectiv corespunde cu cerințele acționării.

● Cerințele acționărilor sunt multiple și se amintesc aici cîteva dintre ele:

- timpul de pornire și frânare să fie cît mai scurt posibil, pentru a elimina timpuri morți în acționările cu porniri și frânări frecvente;
- variația vitezei la pornire și frânare să nu fie prea rapidă pentru a nu se atinge valori inadmisibile ale accelerărilor și decelerărilor;
- cuplul de pornire și frânare să nu atingă valori inadmisibile din punct de vedere mecanic;
- curentul de pornire și frânare să fie menținut între limite care nu pot crea șocuri dăunătoare în rețea și nu pot duce la încălzirea exagerată a motorului.

## B. PROCESE TRANZITORII ALE ACȚIONĂRILOR CU MOTOARE DE CURENT CONTINUU

În acest paragraf se va studia procesul tranzitoriu electromecanic din timpul pornirii motorului derivație de curent continuu.

Pornind de la ecuația fundamentală a mișcării:

$$M = M_d + M_r,$$

$$M = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} + M_r$$

și ținând seama că la motorul derivație de curent continuu cuplul este proporțional cu curentul tranzitoriu  $i$  prin circuitul îndusului:

$$M = C_m \Phi i = C_m i,$$

se poate scrie:

$$C_m i = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} + M_r. \quad (5.1)$$

În același timp se poate scrie ecuația echilibrului electric pentru motorul derivație de curent continuu:

$$U = E + Ri = C_e \Phi n + Ri$$

$$U = C_e n + Ri \quad (5.2)$$

Dacă se deduce expresia lui  $i$  din relația (5.1) și se introduce în relația (5.2), se obține:

$$\frac{U}{C_s} = n + \frac{GD^2 \cdot R}{375 C_s' C_m'} \cdot \frac{dn}{dt} + \frac{R}{C_s' C_m'} M_r$$

În această ecuație se introduce viteza ideală de mers în gol:

$$n_0 = \frac{U}{C_s'}$$

și se notează:

$$\begin{aligned} \frac{GD^2 \cdot R}{375 C_s' C_m'} &= T; \\ \frac{R}{C_s' C_m'} M_r &= \Delta n_r. \end{aligned} \quad (5.3)$$

Ecuația devine:

$$n_0 = n + T \frac{dn}{dt} + \Delta n_r. \quad (5.4)$$

În această ecuație diferențială de gradul întâi  $n_0$  este viteza ideală de mers în gol,  $n$  — viteza de rotație la un moment dat,  $T$  — constanta electromecanică, iar  $\Delta n_r$  — căderea de viteză datorită cuplului rezistent. Termenul  $T \frac{dn}{dt}$  reprezintă căderea de viteză datorită cuplului dinamic.

Constanta electromecanică  $T$  conține atât elemente electrice ( $C_s'$ ,  $R$ ), cât și elemente mecanice ( $C_m'$ ,  $GD^2$ ), are dimensiunile unui timp și se mai numește și *timpul specific de accelerare*.

● **De reținut:** Procesul tranzitoriu de creștere a vitezei este determinat de constanta electromecanică  $T$ . Cu cât aceasta este mai mare, căderea de viteză datorită cuplului dinamic este mai mare și pornirea se face mai greu.

Prin rezolvarea ecuației (5.4) se obține:

$$n = n_r + (n_i - n_r) e^{-\frac{t}{T}} \quad (5.5)$$

aceasta fiind legea exponentială de variație a vitezei în timpul pornirii motorului de curent continuu derivată de la viteza inițială  $n_i$ .

$$n_r = n_0 - \Delta n_r$$

reprezintă valoarea de regim a vitezei motorului, care se obține la sfîrșitul procesului tranzitoriu.

Practic, în cazul pornirii din starea de repaus, după trecerea unui timp  $t = 4T$ ;

$$n = n_r (1 - e^{-\frac{4T}{T}}) = 0,98 n_r,$$

deci viteza de rotație este foarte apropiată de valoarea de regim.

În figura 5.1 este reprezentată grafic variația vitezei în timpul pornirii.

În figura 5.2 este reprezentată grafic variația vitezei în cazul pornirii cu rezistență de pornire cu trei trepte:  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ .

Pe prima treaptă de pornire, de la timpul zero la  $t_1$ , în circuitul indușului este inclusă rezistență  $R_1$  și constanta electromecanică are valoarea maximă:

$$T_1 = \frac{GD^2 \cdot R_1}{375 C_e' C_m'}$$

Constanta electromagnetică fiind mare, atingerea vitezei de regim  $n_r$ , ar necesita un timp îndelungat, dar în momentul  $t_1$ , la valoarea  $n_1$  a vitezei, se scurtează o parte din rezistență și în circuit rămîne inclusă rezistență  $R_2$  mai mică. Constanta electromecanică  $T_2$  este și ea mai mică și viteza crește mai repede. În momentul  $t_2$  se scurtează din nou o parte din rezistență și rămîne în circuit rezistență  $R_3$ , constanta electromecanică fiind  $T_3$ . În momentul  $t_3$  se scurtează întreaga rezistență de pornire și constanta electromecanică are valoarea cea mai mică:

$$T_a = \frac{GD^2 \cdot R_a}{375 C_e' C_m'}$$

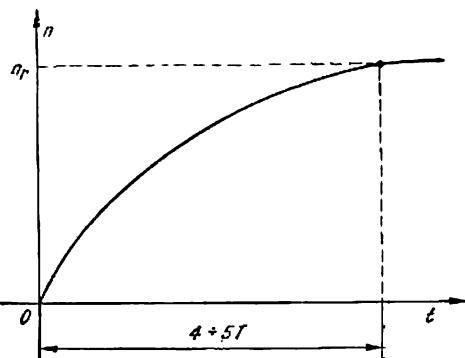


Fig. 5.1. Variația vitezei de rotație  $n$  în timpul pornirii motorului derivație de curent continuu.

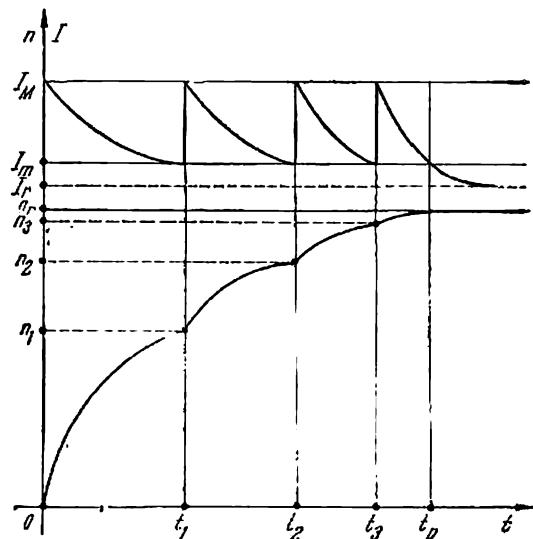


Fig. 5.2. Variația vitezei de rotație  $n$  și a curentului  $I$  în timpul pornirii cu rezistență în trei trepte, luând în considerație numai regimul tranzistorului electromecanic.

Pe curba exponențială caracterizată de această constantă electro-mecanică, viteza crește, tînzind să atingă valoarea de regim  $n_r$ .

Prin folosirea rezistențelor de pornire s-a mărit timpul de pornire total, datorită măririi constanțelor electromecanice, dar s-a asigurat o pornire lină, cu accelerări și curenți în limitele admisibile.

În figura 5.2 este arătată, de asemenea și variația curentului absorbit de indușul motorului în timpul pornirii, între limitele  $I_M$  și  $I_m$ , corespunzătoare cuplurilor  $M_M$  și  $M_m$  pe baza cărora s-au calculat rezistențele de pornire.

Variația în timp a curentului este exprimată printr-o relație similară celei determinate pentru viteza:

$$i = I_r + (I_i - I_r)e^{-\frac{t}{T}} \quad (5.7)$$

Deosebirea constă în faptul că turăția crește, iar curentul scade după niște curbe exponențiale corespunzătoare treptelor de pornire, tînzind asimptotic către valoarea de regim  $I_r$ .

### C. PROCESE TRANZITORII ALE ACTIONĂRILOR CU MOTOARE ASINCRONE

Variația în timp a vitezei de rotație, cuplului și curentului sunt mai dificil de determinat, deoarece necesită rezolvarea unor ecuații de echilibru electric și mecanic de o formă complexă.

În acest caz, este necesar ca să se apeleze și la metode grafice sau grafoanalitice.

#### VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce factori se opun trecerii motorului de la o stare stabilită la alta și care este efectul lor?
2. Ce fenomene dăunătoare se evită din studiul proceselor tranzitorii și aplicarea măsurilor corespunzătoare?
3. De la ce ecuații pornostă calculul regimului tranzitoriu din timpul pornirii motorului derivăriile de curent continuu?
4. Ce factori influențează constanțele electromecanice de timp și cum se poate acționa asupra lor?

## CAPITOLUL 6

### ALEGEREA MOTOARELOR ELECTRICE DE ACȚIONARE

#### A. CRITERII CARE STAU LA BAZA ALEGERII MOTOARELOR ELECTRICE DE ACȚIONARE

Fiecare mașină de lucru are o caracteristică mecanică determinată printr-un grafic de sarcină.

Asigurarea productivității mașinii de lucru în condiții economice și a calității produsului sunt condiționate de asigurarea unui motor de acționare cât mai potrivit condițiilor care îl sunt impuse.

Proiectantul determină tipul de motor, cu o caracteristică mecanică care satisface optim o anumită acționare.

*Regimul de funcționare* propriu mașinii de lucru constituie un factor de bază în determinarea alegerei celui mai potrivit motor de acționare. Puterea motorului ales trebuie să fie cât mai apropiată de puterea necesară. Reductoarele introduc pierderi suplimentare de a căror compensare se ține seama la dimensionarea puterii motorului.

La aceeași putere, *gabaritul și costul* motorului sunt cu atât mai scăzute cu cât viteza nominală este mai mare.

Parcurgerea integrală a tuturor criteriilor de alegere, cunoașterea tuturor cerințelor procesului tehnologic și încadrarea acestuia în ansamblul economic, permit alegerea corectă a motoarelor electrice pentru acționarea mașinilor de lucru.

#### B. REGIMURI DE FUNCȚIONARE

Funcționarea motoarelor electrice se clasifică în regimuri tip după modul în care este atins echilibrul termic.

Una dintre caracteristicile de bază inscrise pe plăcuța motorului este *regimul nominal de funcționare* pentru care a fost construit. Cele mai importante regimuri de funcționare sunt:

- **Regimul continuu** (*de lungă durată*) *RC* se caracterizează printr-o funcționare cu o durată suficientă ca echilibrul termic să fie atins. Temperatura maximă este atinsă la echilibru, după care motorul funcționează continuu fără ca temperatura să mai crească.

- **Regimul de scurtă durată RSD.** În acest regim, durata de funcționare la puterea nominală este mai mică decât durata necesară ca echilibrul termic să fie atins. La timpul  $t_h$  (fig. 6.4) motorul se oprește și urmează un repaus suficient de lung ca temperatura inițială  $\theta_0$  să fie restabilită. Se fabrică electromotoare standard pentru dureate de funcționare de 10, 30, 60 și 90 min.

- **Regimul intermitent RI** prezintă cicluri de funcționare care nu depășesc 10 min și care se repetă identic în toate fazele: încărcare, mers în gol, pornire, frânare și repaus (vezi fig. 6.5).

Raportul în procente dintre durata încărcării și durata totală a unui ciclu se numește *durată relativă de lucru* și se notează *DA*.

Se fabrică electromotoare pentru *DA* 15%, 25%, 40%, 60%.

## C. ALEGAREA ȘI VERIFICAREA MOTORULUI ÎN FUNCȚIE DE ÎNCĂLZIRE

### 1. ÎNCĂLZIREA MOTORULUI ELECTRIC

Încălzirea motoarelor electrice este determinată de pierderea de energie. Pierderile mecanice sunt produse de frecări de lagăre și de ventilație. Pierderile în fier sunt produse de variația fluxului în circuitele magnetice. Pierderile rezistive se produc în înșăurări. Pierderile se transformă în căldură și temperatura părților componente ale motorului se ridică.

La început, căldura produsă de pierderi determină încălzirea motorului. Treptat, o parte din căldură din ce în ce mai mare se transmite mediului înconjurător pînă ce se obține echilibrul termic.

Echilibrul termic se consideră atins după încălzirea motorului la valoarea admisibilă, restul căldurii produse transmitîndu-se mediului înconjurător.

În figura 6.1 este reprezentată grafic ecuația creșterii de temperatură  $\theta$  în funcție de timp,  $\theta = \theta_0(1 - e^{-\frac{t}{T}})$ . Echilibrul termic este atins

la  $\theta_{max}$ ,  $T$  se numește constanta de timp a încălzirii. Tangenta în orice punct al curbei și verticala în același punct determină pe dreapta  $\theta = \theta_{max}$  valoarea constantei de timp  $T$ .

Echilibrul termic este atins la mașinile de putere mică sau cu ventilație forțată după 2–3 ore, la mașinile cu puteri mijlocii și mari, după 4–8 ore iar la mașinile închise, după 7–12 ore.

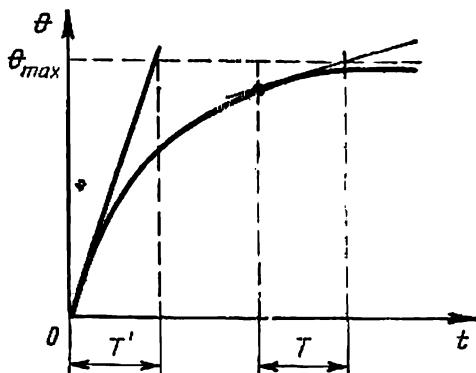


Fig. 6.1. Reprezentarea grafică a ecuației creșterii de temperatură.

## 2. DETERMINAREA PUTERII MOTORULUI ÎN REGIM DE LUNGĂ DURATĂ (RC) CU SARCINĂ CONSTANTĂ

Într-un asemenea regim lucrează motoarele benzilor transportoare, pompelor, ventilatoarelor.

Se cunosc: cuplul rezistent  $M_r$ , raportul transmisiei  $i$  și randamentul  $\eta$ . Se calculează cuplul nominal  $M_n = M_r \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{i}{\eta}$  și puterea nominală necesară la turația  $n_n$  a motorului  $P_n = \frac{M_n n_n}{9550}$  în care cuplul este exprimat în Nm.

Se alege din catalog un motor *RC* cu puterea imediat superioară sau egală lui  $P_n$ .

## 3. DETERMINAREA PUTERII MOTORULUI ÎN REGIM DE LUNGĂ DURATĂ (RC) CU SARCINA VARIABILĂ ÎN TREPTE

În regim de lungă durată cu sarcina variabilă în trepte lucrează, de exemplu, motoarele mașinilor-uneițe de prelucrare a metalelor.

În diagrama de sarcină din figura 6.2, motorul electric funcționează pe duratele de timp  $t_1 \dots t_5$ , la diferite sarcini  $P_1 \dots P_5$ , cărora le corespund pierderile  $Q_1 \dots Q_5$ .

Dimensionarea motorului pentru a face față unei încărcări continue la sarcina cea mai mare, de exemplu,  $P_2$ , conduce la supradimensionare; în intervalele  $t_1, t_3, t_4$  și  $t_5$  motorul fiind încărcat la puterile  $P_1, P_3, P_4$  și

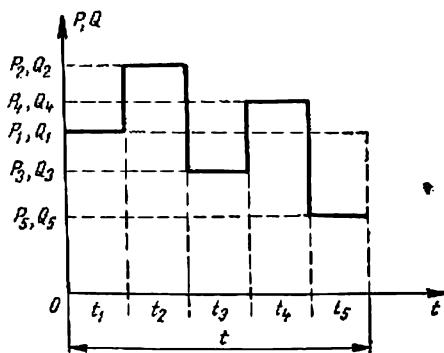


Fig. 6.2. Diagrama de sarcină pentru regim de lucru continuu cu încărcare variabilă în trepte.

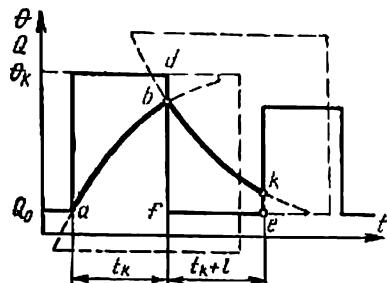


Fig. 6.3. Folosirea şablonului.

$P_5$  mai mici decât  $P_2$ , înseamnă că va fi folosit nerațional. Dimensiunarea motorului pentru a face față unei încărcări continue la  $P_5$  conduce la subdimensionare.

- Determinarea puterii motorului prin calcul. Pentru fiecare interval de timp se calculează pierderile de putere  $P$  și cantitatea de căldură dezvoltată  $Q$ .

Din cantitățile de căldură rezultă supratemperaturile  $\theta$  care se acumulează începând de la temperatura mediului ambient  $\theta_i$ , presupusă zero.

- Determinarea puterii motorului pe cale grafică. După cum s-a arătat în § C1, fiecărui motor îi este caracteristică o constantă de timp a încălzirii  $T$  și un timp necesar pentru a ajunge la echilibru termic. Cu aceste date specifice motorului ales, se construiește un şablon, reprezentat cu linie întreruptă în figura 6.3, care permite trasarea rapidă a porțiunilor din curba supratemperaturilor  $ab, bk, \dots$

Şablonul foloseşte atât pentru încălzire, cât și pentru răcire, conform indicațiilor din figura 6.3, în care  $t_k$  este un interval de timp ciclu,  $t_{k+1}$  – interval de timp următor, iar  $\theta_k$  este supratemperatura corespunzătoare lui  $t_k$ .

- Verificarea încălzirii motorului prin metoda curentului echivalent. Această metodă este sigură și de aceea este cel mai mult folosită în practică. Raționamentul prin care se lucrează cu curentul echivalent în locul pierderilor echivalente este următorul: dacă se separă pierderile echivalente și suma pierderilor treptelor în constante și variabile, toate pierderile constante sunt egale între ele și se reduc, deci pierderile variabile echivalente sunt egale cu suma pierderilor variabile ale treptelor.

Pierderile variabile fiind proporționale cu pătratul curentului

$$\Delta P_{var} = kI^2R, \text{ rezultă că:}$$

$$I_e^2 = \frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots}{t_1 + t_2 \dots} \text{ și curentul echivalent este:}$$

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots}{t}}$$

● Verificarea încălzirii motorului prin metoda cuplului sau puterii echivalente. Pentru multe utilaje, diagramele în sarcină se cunosc în funcție de cuplurile sau puterile cerute la arborele motor.

Cuplul echivalent se obține din relația curentului echivalent făcând înlocuirile necesare:

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots}{t}}$$

Metoda cuplului echivalent nu se poate aplica la motoarele de curent continuu cu flux variabil.

Puterea echivalentă se obține din relația cuplului echivalent, făcind înlocuirile necesare:

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots}{t}}.$$

#### 4. Determinarea puterii motorului în regim de scurtă durată (RSD)

În regim de scurtă durată (RSD), timpul de funcționare  $t$  este astfel limitat încât în timpul de repaus  $t_0$  temperatura revine la valoarea inițială.

În figura 6.4 este reprezentată diagrama pierderilor  $Q$  și a supratemperaturilor  $\theta$  în RSD.

Exemple de motoare care lucrează în RSD sunt cele ale polizoarelor.

Funcționarea la timpul activ  $t_h$ , conduce la încălzirea  $Q_h$  și la supratemperatura  $\theta_h$ . În practică se constată că timpul activ  $t_h$  este mai mic decit  $3T_a$ , unde  $T_a$  este constanta de

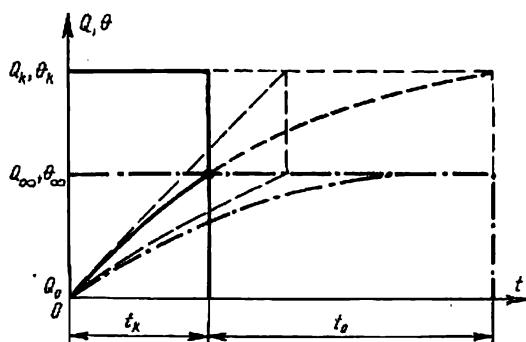


Fig. 6.4. Diagrama pierderilor și supratemperaturilor în RSD.

temp a încălzirii iar  $t_0$  este mai mare decât  $4T_0$  (unde  $T_0$  este constanta de timp a răciri motorului).

Pentru regimul *SD* se pot folosi atât motoare construite pentru *RC* cit și motoare construite special pentru *RSD* având durate de funcționare standard de 10, 30, 60 și 90 min.

## 5. DETERMINAREA PUTERII MOTORULUI ÎN REGIM INTERMITENT (RI)

În regim intermitent se repetă identic cicluri de cel mult 10 min, în care timpul de funcționare nu permite atingerea echilibrului termic, după cum timpul de repaus nu permite redobândirea temperaturii inițiale.

În figura 6.5 este reprezentată o diagramă ideală de sarcină în *RI*.

Pe curba 1, pornind de la temperatura mediului ambiant, se observă creșterea supratemperaturii  $\theta$  pînă la echilibru. Pe curba 2 se observă oscilația supratemperaturii  $\theta_{max}$  pe durata de încărcare  $t_a$  și  $\theta_{max}$  pe durata repausului  $t_r$ .

Supratemperatura maximă  $\theta_{stA}$  s-ar obține lucrînd în regim continuu cu puterea  $P_\infty$  și  $Q_\infty$ .

În acest fel se poate determina o echivalență între o sarcină în regim intermitent și una în regim continuu.

Legătura dintre supratemperaturile maxime  $\theta_{stA}$  și  $\theta_{max}$  este dată de relația:

$$\theta_{stA} = \theta_{max} \left( 1 + \frac{t_0}{t_a} \cdot \frac{T_0}{T} \right) = \theta_{max} \left( 1 + \frac{1}{\beta} \frac{t_0}{t_a} \right).$$

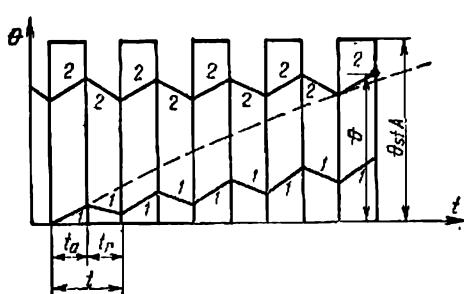


Fig. 6.5. Diagrama ideală de sarcină în regim intermitent.

Raportul constantelor de timp a încălzirii și răciri se numește factorul de corecție pentru răcire și este subunitar,

$$\beta = \frac{T}{T_0} < 1.$$

- Determinarea duratei active relative de lucru. În diagrama reală de sarcină intermitentă (fig. 6.6, a), ciclul integral este  $t_c$ . Durata  $t_c$  este mai mică decât 10 min.

Timpul de lucru  $t_a$  însumează timpii de încărcare, iar  $t_0$ , toti timpii de repaus:

$$t_a = t'_a + t''_a + t'''_a; \quad t_0 = t'_0 + t''_0 + t'''_0.$$

Durata activă relativă de lucru este exprimată prin relația:

$$DA[\%] = \frac{t_a}{t_a + t_0} \times 100 = \frac{t_a}{t_a} \times 100.$$

Din diagrama reală din figura 6.6, a, rezultă:

$$DA[\%] = \frac{t'_a + t''_a + t'''_a}{t'_a + t''_a + t'''_a + t'_0 + t''_0 + t'''_0} \times 100.$$

În repaus, condițiile de răcire ale motorului se înrăutătesc. Durata activă relativă de lucru corectată depinde de factorul de corecție pentru răcire:

$$DA[\%] = \frac{t_a}{t_a + \beta t_0} \times 100.$$

- Echivalarea sarcinii intermitente cu o sarcină permanentă. Diagrama reală din figura 6.6, a se poate transpune în diagrama ideală de sarcină din figura 6.6, b.

Sarcina echivalentă  $P_A$  se calculează prin metoda mărimilor echivalente:

$$P_A = \sqrt{\frac{P_1^2 t'_a + P_2^2 t''_a + \dots + P_6^2 t'''_a}{t'_a + t''_a + t'''_a}}$$

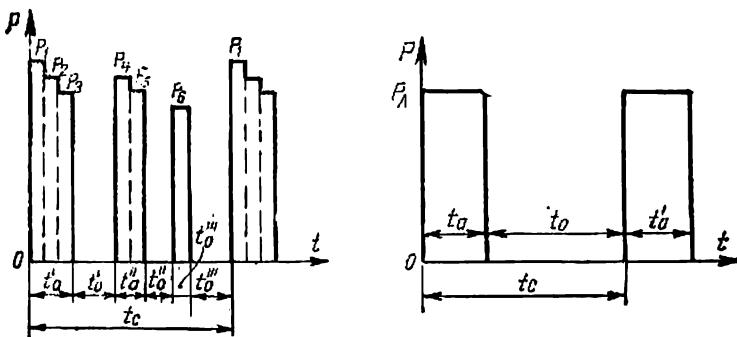


Fig. 6.6. Diagrama de sarcină:  
a — reală; b — transpusă.

● Recalcularea puterii motorului în  $RI$  de la o durată de lucru la alta. Sarcina  $RI$  poate fi recalculată astfel ca un motor  $RC$  să o poată prelua.

Puterea nominală, turația și capacitatea de supraincărcare ale acestui motor diferă după modul în care este folosit:

$$(P_n)_{60} < (P_n)_{40} < (P_n)_{25} < (P_n)_{15}.$$

$$(n_n)_{15} < (n_n)_{25} < (n_n)_{40} < (n_n)_{60}.$$

$$(M_n)_{15} < (M_n)_{25} < (M_n)_{40} < (M_n)_{60}.$$

Cunoscând caracteristicile unui motor cu puterea  $P_{DA_1}$  la durata de lucru  $DA_1$ , se poate recalculatea puterea acestui motor  $P_{DA_2}$  la o durată de lucru  $DA_2$ :

$$P_{DA_2} = P_{DA_1} \cdot \sqrt{\frac{DA_1}{DA_2}}$$

#### 6. DETERMINAREA PUTERII MOTORULUI PENTRU ACȚIONĂRI ELECTRICE CU VOLANT

*Exemple:* prese mecanice, mașini de stațat, ciocane de forjă. Volantul acumulează energia cinetică cînd sarcina este redusă și o cedează cînd apar vîrfuri de sarcină. Șocurile de sarcină preluate de motor se aplatisescă.

Puterea aleasă pentru motor la o acționare cu volant este redusă față de aceeași acționare, dar fără volant.

În figura 6.7 s-au reprezentat: în cadrul I — caracteristica mecanică a unui motor asincron, în cadrul IV — diagrama de sarcină pe care trebuie să-o preia, iar în cadrul II — diagramele  $n = f(t)$  pentru trei situații de lucru.

La apariția șocului de sarcină de la  $M_0$  la  $M_1$ , viteza se reduce de la  $n_1$  la  $n_2$ , pe caracteristica  $n = f(t) - 1$ , deoarece cuprul motorului  $M$  este mai mic decit  $M_1$ ; intervalul de timp în care se face reducerea de viteză este  $t_1$  (durata șocului).

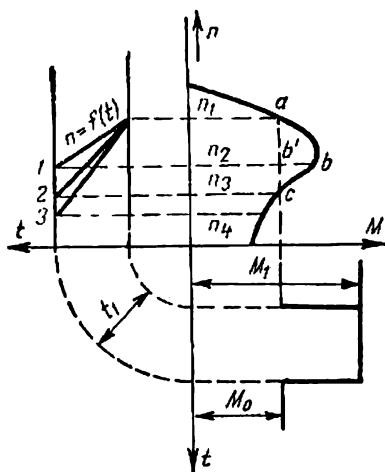


Fig. 6.7. Analiza stabilității unor acționări cu volant.

Revenirea de la  $M_1$  la  $M_0$  lasă motorului o rezervă de cuplu  $b'b$ , care permite revenirea turației pînă la  $n_1$  (pe aceeași caracteristică I).

În cazul în care caracteristica  $n = f(t)$  aleasă ar fi 3, căderea de viteză pînă la  $n_4$  nu lasă motorului rezerva de cuplu necesară și mecanismul se va opri.

Durata relativă a șocului de sarcină este determinată de raportul:

$$\tau = \frac{t_1}{2T}.$$

Momentul de volant raportat la arborele motorului pentru a prelua vîrfurile de sarcină se calculează cu relația:

$$GD^2 = \frac{t}{1} \frac{375 \cdot M_n}{n_0 s_n}$$

în care  $M_n$  este cuplul nominal,  $s_n$  al uneacarea nominală și  $n_0$  turația sincronă.

#### D. ALEGAREA TIPULUI CONSTRUCTIV AL MOTORULUI

Condițiile de lucru diferite impuse de mediul în care se desfășoară procesele de fabricație au determinat construirea unor game foarte largi de tipuri de motoare care diferă din punctul de vedere al gradului de protecție.

● Gradele nominale de protecție contra pătrunderii corpurilor străine și a lichidelor sunt stabilite în standardele 5325-70 și 625-71. Gradele de protecție sunt marcate cu literele IP, următe de două cifre caracteristice.

Prima cifră caracteristică indică protecția contra atingerilor și pătrunderii corpurilor străine, în felul următor:

1. protecția contra atingerii întimplătoare cu o mare suprafață a corpului omenesc și contra pătrunderii unor corpuri solide cu un diametru mai mare de 50 mm;

2. protecția contra atingerii cu degetele și a pătrunderii corpurilor cu diametrul peste 12,5 mm;

3. protecția împotriva atingerii cu unelte și alte obiecte similare de dimensiuni mici, în general împotriva pătrunderii corpurilor străine cu diametrul de peste 2,5 mm;

4. protecția împotriva atingerii cu unelte sau alte obiecte similare de dimensiuni mici, în general împotriva pătrunderii corpurilor străine cu diametrul peste 1 mm;

5. protecția contra atingerilor cu orice fel de mijloace și parțial împotriva prafului;

6. protecția totală contra prafului.

*A doua cifră* caracteristică se referă la protecția contra pătrunderii lichidelor și are următoarele semnificații:

- 0 — fără protecție; nu este împiedicată pătrunderea lichidelor;
- 1 — protecția contra picăturilor de apă provenite din condens;
- 2 — protecția contra picăturilor care cad pe direcția verticală;
- 3 — protecția contra ploii considerate ca picături care cad sub unghi de maximum  $45^\circ$  față de verticală;
- 4 — protecția contra stropilor de picături din orice direcție;
- 5 — protecția contra stropilor sub formă de jet din orice direcție;
- 6 — protecția contra condițiilor existente pe puntea navelor;
- 7 — protecția contra pătrunderii apei la scufundare într-un lichid;
- 8 — protecția contra pătrunderii apei la scufundare într-un lichid sub presiune.

*Exemplu.* Un motor IP33 nu permite atingerea părților sub tensiune cu scule având diametrul mai mare de 2,5 mm (3) și nu permite pătrunderea stropilor sub un unghi mai mare de  $45^\circ$  (3).

O problemă deosebită o constituie mediile cu atmosferă explozivă. În minele de cărbuni și alte sectoare industriale, în funcție de condițiile locale și de exploatare, este posibilă formarea unor amestecuri explozive de gaze, vapori, ceată sau praf, împreună cu aerul atmosferic, în cantitate suficientă încât să prezinte pericol.

Standardul 6877/1 ... 6877/10-73 se referă la condițiile tehnice generale de calitate pentru echipamente destinate să funcționeze în atmosferă explozivă.

● **După domeniile de destinație** sunt stabilite două grupe de echipamente electrice:

*grupa I* — echipamente cu protecție antigrizutoasă, simbolizate Ex. I;

*grupa II* — echipamente cu protecție antiexplosivă, simbolizate Ex. II.

Grupa II se subdivide în funcție de caracteristicile substanțelor care generează atmosferă explozivă și în funcție de temperatura maximă de suprafață admisă. *Subgrupele determinante de caracteristicile substanțelor* se diferențiază pe baza intersticiului maxim admis în construcțiile capsulate antideflagrante:

II A-0,5 mm; II B-0,3 mm; II C-0,2 mm.

*Subgrupele determinante de temperatura maximă de suprafață* sint:

T1-450°C; T2-300°C; T3-200°C; T4-135°C; T5-100°C; T6-85°C.

Pentru echipamentele electrice destinate să lucreze în locuri în care se depune praf de cărbune, se ia în considerare temperatura de mocnire, care limitează temperatura maximă de suprafață la 200°C (T3).

● **Modul de protecție** reprezintă ansamblul măsurilor specifice aplicate unui echipament electric pentru împiedicarea aprinderii atmosferei explozive ambiante.

Echipamentele electrice se realizează cu următoarele moduri de protecție:

*d-capsulare antideflagrantă.* Carcasa echipamentului este capabilă să suporte o explozie internă datorată pătrunderii în interior a unui amestec exploziv, prin îmbinări sau alte căi de trecere. Aparatul nu suferă avarii și nu transmite explozia în atmosferă înconjurătoare;

*p-capsulare presurizată.* Părțile periculoase ale echipamentului electric sunt amplasate într-o carcăsa în care atmosfera explozivă este prevenită și exclusă de prezența unei atmosfere protecțioare presurizate (de exemplu prin ventilație forțată cu aer proaspăt sau gaze inerte);

*i-siguranță intrinsecă.* Un circuit electric se definește ca având siguranță intrinsecă atunci cînd aprinderea atmosferei explozive prin scînteie sau efect termic este exclusă, atît la funcționare normală cît și în condiții de defect;

*q-inglobare în nisip.* Arcul electric și efectul termic sunt neutralizați din punct de vedere al aprinderii atmosferei explozive, prin înglobarea părților periculoase ale echipamentului electric în nisip;

*o-imersiune în ulei.* Părțile periculoase ale echipamentului electric sunt imersate în ulei, astfel încît arcul electric, scînteile sau gazul fierbinte formate sub ulei, nu pot aprinde atmosfera explozivă de la suprafața uleiului;

*e-siguranță mărită.* La echipamentele electrice care în mod normal funcționează fără încălziri excesive, arcuri și scînteie, în interiorul carcăselor se iau măsuri suplimentare față de cele adoptate în practica industrială obișnuită, în vederea obținerii unei securități sporite.

*s-mod special.* Aprinderea atmosferei explozive este împiedicată prin alte măsuri decit cele definite în celealte moduri.

Din exemplele care urmează, rezultă ordinea înscrierii simbolurilor, așa cum sunt marcate pe etichetele echipamentelor electrice.

Ex: d II A T3 — protecție antiexplozivă, capsulară antideflagrantă, subgrupa II A, clasa de temperatură T3;

Ex: p II T5 — protecție antiexplozivă, capsulară presurizată, grupa II, clasa de temperatură T5;

Ex: o II T2 — protecție antiexplozivă, imersiune în ulei, grupa II, clasa de temperatură T2;

Ex: d I/II B T3 — protecție antigrizutoasă și antiexplozivă, capsulară antideflagrantă, grupa I și II subgrupa B, clasa de temperatură T3.

Trebuie remarcat că *protecția împotriva exploziilor nu asigură implicit și protecția normală împotriva atingerilor, pătrunderii corpurilor străine și a lichidelor.*

Simbolizarea aparatajului electric în construcție explozivă este identică cu aceea pentru mașibile electrice.

## REZUMAT

Motoarele electrice se construiesc pentru regimuri nominale de funcționare care țin seama de modul în care este atins echilibrul termic.

Alegerea și verificarea motorului electric se face în funcție de încălzire.

*În regim intermitent se calculează durata relativă de lucru, alegindu-se motorul electric cel mai apropiat. Duratele relative de lucru standardizate sunt 15, 25, 40 și 60%.*

*Volantul se folosește pentru acțiunările electrice cu șocuri de sarcină, permitând alegerea unui motor mai mic (decât motorul necesar aceleiași acțiuni fără volant).*

*În funcție de mediul în care se desfășoară procesele de fabricație motoarele se aleg ținându-se seama de gradul de protecție necesar împotriva pătrunderii prafului și apei. Pentru medii explosive se aleg motoare în execuție antiexplosivă.*

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Un motor construit pentru o durată de funcționare de 90 min este un motor pentru:  
a—RC? b—RSD?
2. Care este cuplul unui electromotor de 10 kW și 1 500 rot/min?
3. Să se calculeze puterea echivalentă pentru diagrama de sarcină din figura 6.8.
4. În ce raport se află puterea nominală cu durata activă, relativă de lucru?  
a—direct proporțional; b—invers proporțional.
5. Să se calculeze puterea unui electromotor de 10 kW cu DA 40% pentru DA 15%.

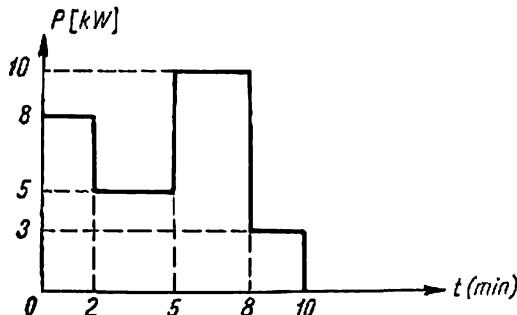


Fig. 6.8. Schema electrică a unui grup generator-motor.

6. Se cere să se aleagă un electromotor care să aibă o protecție contra atingerilor cu orice fel de mijloace și parțial împotriva prafului, precum și contra stropilor cu picături din orice direcție.

Care este gradul de protecție contra pătrunderii corpurilor străine și a lichidelor conform STAS 5325-70?

a — IP43; b — IP54; c — IP23.

## CAPITOLUL 7

### ACTIONĂRI CU GRUPURI DE MAȘINI

Grupurile de mașini sint utilizate:

- pentru obținerea unor reglaje de viteză cu caracteristici superioare din punctul de vedere al gamei de reglare, precizie etc.;
- pentru obținerea unor caracteristici mecanice de o anumită formă;
- pentru realizarea unor sisteme de transmisie sincronă.

În cele ce urmează se va descrie pe scurt principiul de funcționare al următoarelor grupuri de mașini:

- grupul generator-motor;
- două mașini cuplate pe același arbore, una funcționând în regim de motor, iar cealaltă în regim de generator;
- arborele electric cu mașini asincrone.

● Pe schema grupului generator-motor, prezentată în figura 7.1, se observă că motorul asincron  $MA$ , alimentat de la rețeaua trifazată cu curent alternativ, antronează generatorul de curent continuu cu excitare independentă  $G$ . Generatorul alimentează direct de la bornele sale motorul de curent continuu cu excitare independentă  $M$ , iar  $ML$  este mașina de lucru pusă în funcțiune de motor.

Excitațiile  $Ex_G$  și  $Ex_M$  ale generatorului și respectiv motorului sunt alimentate de la excitatoarea  $E$  montată pe același ax cu motorul asincron și generatorul.

În circuitul de excitare al generatorului este prevăzut reostatul  $R_{eG}$  și inversorul manual  $K$ . În circuitul de excitare al motorului este prevăzut reostatul  $R_{eM}$ . Inversorul  $K$  servește pentru inversarea sensului de rotație al motorului  $M$  prin inversarea tensiunii la bornele generatorului.

Raportul între turația nominală  $n_n$  și turația minimă  $n_{min}$  ce se poate obține este de 10 ... 12.

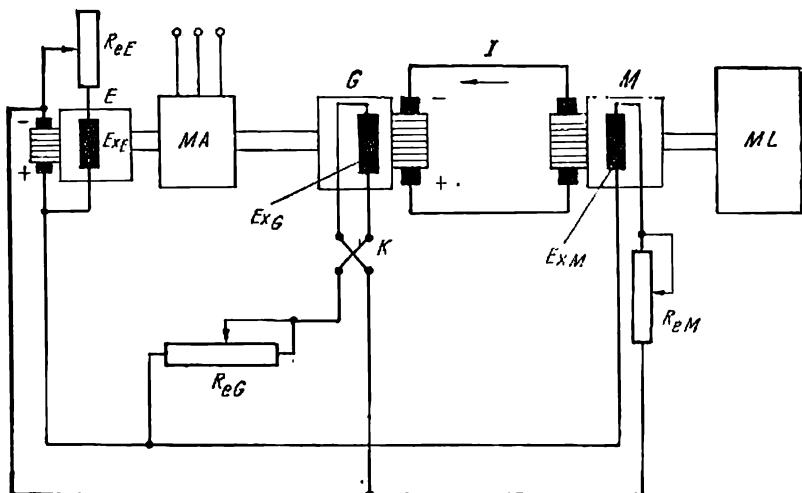


Fig. 7.1. Schema electrică a unui grup generator-motor.

Gama de variere a turației poate fi mărită prin slăbirea cîmpului motorului  $M$  cu ajutorul reostatului  $R_{eM}$ . În cazul alimentării motorului la tensiunea nominală (generatorul excitat la maximum), turația sa poate fi mărită de circa 2 ... 3 ori prin slăbirea cîmpului.

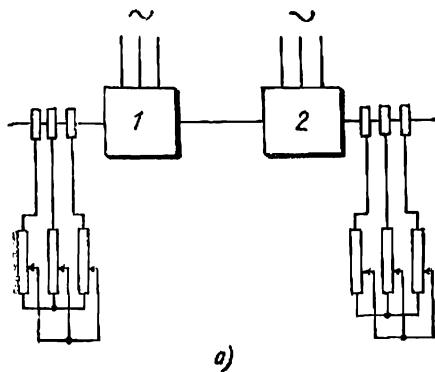
Frinarea se face prin deconectarea înfășurării de excitație a generatorului  $Ex_G$  de la sursa de alimentare și conectarea ei pe o rezistență de frinare.

În această situație, tensiunea electromotoare a motorului devine mai mare decît tensiunea electromotoare a generatorului,  $E_M < E_G$  și rolurile se schimbă: motorul devină generator, iar generatorul — motor.

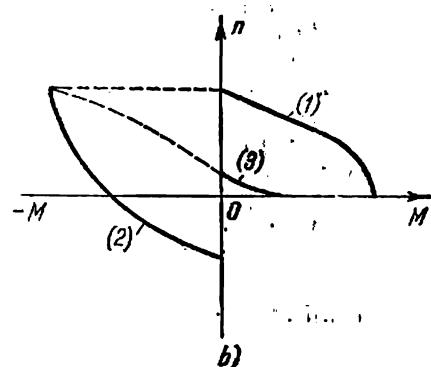
Generatorul  $G$  lucrind ca motor cu flux diminuat, antrenează motorul asincron  $M$  la valori ale turației mai mari decît valoarea de sincronism, trecîndu-l în regim de generator.

Energia cinetică a motorului  $M$  și a mașinii de lucru  $ML$  scad repede, realizîndu-se o frinare completă, care poate fi urmată de inversarea sensului de rotație, prin comutarea inversorului  $K$  pe poziția în care înfășurarea  $Ex_G$  este alimentată din nou de la excitatoare, dar cu polaritate inversată.

- În figura 7.2, a este reprezentată cuplarea pe același arbore a două mașini asincrone, dintre care una funcționează în regim de motor, iar cealaltă în regim de generator. Acest grup de mașini asigură funcționarea stabilă la o viteză redusă.



a)



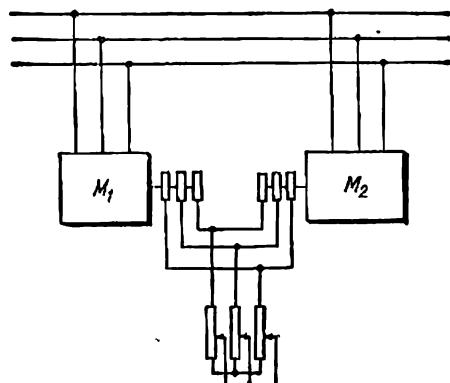
**Fig. 7.2.** Cuplarea pe același arbore a două mașini asincrone pentru asigurarea stabilității la viteză de rotație redusă:  
a — schema cuplării celor două mașini; b — caracteristicile mecanice.

În figura 7.2, b sunt reprezentate caracteristicile mecanice 1 și 2 ale celor două mașini și rezultanta lor 3.

Caracteristica mecanică rezultantă este suficient de rigidă pentru viteze mici.

• În figura 7.3 este reprezentată schema unui arbore electric cu motoare asincrone cu reostat comun.

Acest sistem permite sincronizarea vitezelor de rotație a două motoare asincrone care nu sunt cuplate mecanic între ele.



**Fig. 7.3** Arborele electric cu motoare asincrone cu reostat comun.

Condiția ca sistemul să funcționeze în regim normal, este ca parametrii ambelor motoare să fie identici.

Dacă unghiul de decalaj  $\theta = 0$ , atunci curenții care circulă prin ratoarele celor două mașini sunt egali și suma acestor curenți circulă prin reostatul comun. Dacă încărcările celor două motoare nu sunt egale, atunci curentul egalizator care ia naștere circulă direct între cele două circuite rotorice, în afara reostatului.

Cuplul fiecărui motor poate fi privit ca suma dintre cuplul nominal și cuplul egalizator.

Dacă apare deci un unghi de decalaj  $\theta > 0$ , atunci alunecarea va crește, iar cuplurile dezvoltate de motoare vor fi mai mari și va apărea cuplul egalizator, unghiul de decalaj tinzind către valoarea  $\theta = 0$ .

## CAPITOLUL 8

### SCHEME DE ALIMENTARE ȘI COMANDĂ A ACȚIONĂRILOR ELECTRICE

Schemele de alimentare și comandă simplificate, tipice pentru pornirea, varierea turăției și frânarea motoarelor electrice utilizează aparatelor studiate în capitolele anterioare pentru:

- protecția circuitelor, motoarelor și personalului de exploatare;
- conectarea motoarelor la rețeaua de alimentare cu energie electrică;
- varierea tensiunii de alimentare a înfășurărilor motoarelor;
- varierea rezistențelor suplimentare introduse în circuitele înfășurărilor;
- varierea fluxului inductor al motoarelor;
- comanda pornirii, varierii turăției sau frânării.

Simbolurile utilizate, precum și modul de reprezentare al schemelor de alimentare și comandă sunt standardizate, pentru o mai ușoară înțelegere a acestora.

Schema de alimentare și comandă este reprezentarea grafică convențională a instalației de acționare electrică, adică a tuturor mașinilor și aparatelor electrice, precum și a legăturilor dintre acestea.

*Circuitul de forță*, reprezentat cu linie groasă, conține aparatelor pentru conectarea la rețea și pentru protecția împotriva suprasarcinilor și scurtecircuitelor, precum și rezistențele de pornire, reglaj sau frânare.

*Circuitul de comandă*, reprezentat cu linie subțire, conține aparatelor de comandă (butoane, controlere, releu) și elementele de comandă ale aparatelor de conectare și protecție (bobine de anclansare, contacte auxiliare).

Legăturile dintre mașini și aparițe sunt reprezentate în ordinea lor logică, pentru a permite înțelegerea ușoară a schemei.

## A. PORNIREA ȘI INVERSAREA SENSULUI DE ROTATIE A MOTORULUI ASINCRON ÎN SCURTCIRCUIT, DE PUTERE MICĂ

- Elementele principale ale schemei (fig. 8.1) sunt următoarele:

— electromotorul  $m_1$ ;  
— contactoarele  $c_1, c_2$  pentru pornire și inversarea sensului de rotație, comandate prin butoane de comandă.

- Pornirea motorului:

— se apasă butonul  $b_2$ :

- anclanșează  $c_1$  care:

— prin c.a.n.d. (contact auxiliar normal deschis) se reține;

— prin c.a.n.l. (contact auxiliar normal închis) blochează pe  $c_2$ ;

— prin C.P. (kontakte principale) pornește  $m_1$ , în sens direct;

— dacă se apasă butonul  $b_3$ :

- anclanșează  $c_2$  care:

— prin c.a.n.d. se reține;

— prin c.a.n.l. blochează pe  $c_1$ ;

— prin C.P. pornește  $m_1$ , în sens invers.

- Opritrea motorului

Pentru aceasta se apasă butonul  $b_1$  și astfel declanșează  $c_1$ , se deschid C.P., se oprește  $m_1$ .

○ Observație. Dacă motorul a funcționat într-un anumit sens și s-a dat comanda de oprire, o nouă pornire în sens contrar poate fi comandată

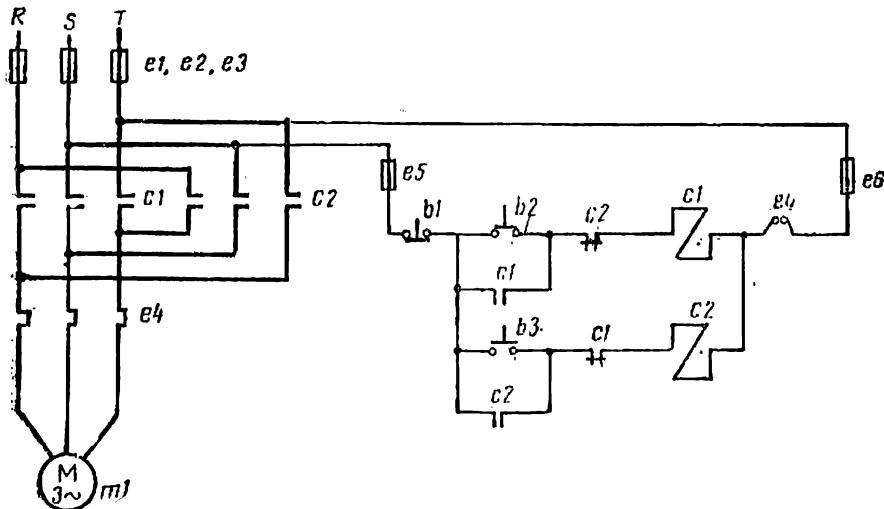


Fig. 8.1. Pornirea motorului asincron în scurtcircuit, de putere mică.

după scurgerea timpului necesar pentru oprirea completă a motorului. În caz contrar ar avea loc o frânare prin cuplare inversă, schema nefiind pregătită pentru aceasta.

Contactatorul  $c_1$  alimentează motorul cu succesiunea normală a fazelor  $R, S, T$ , iar contactorul  $c_2$  cu succesiunea  $T, S, R$ , care asigură inversarea sensului de rotație.

#### B. PORNIREA CU REZISTENȚE DE PORNIRE ÎN CIRCUITUL ROTORIC, ÎN FUNCȚIE DE TIMP, A MOTORULUI ASINCRON CU INELE

- Elementele principale ale schemei (figura 8.2) sunt următoarele:

— motorul asincron cu inele  $m_1$  și rezistență de pornire trifazată cu trei trepte  $r_1$  inclusă în circuitul rotoric;

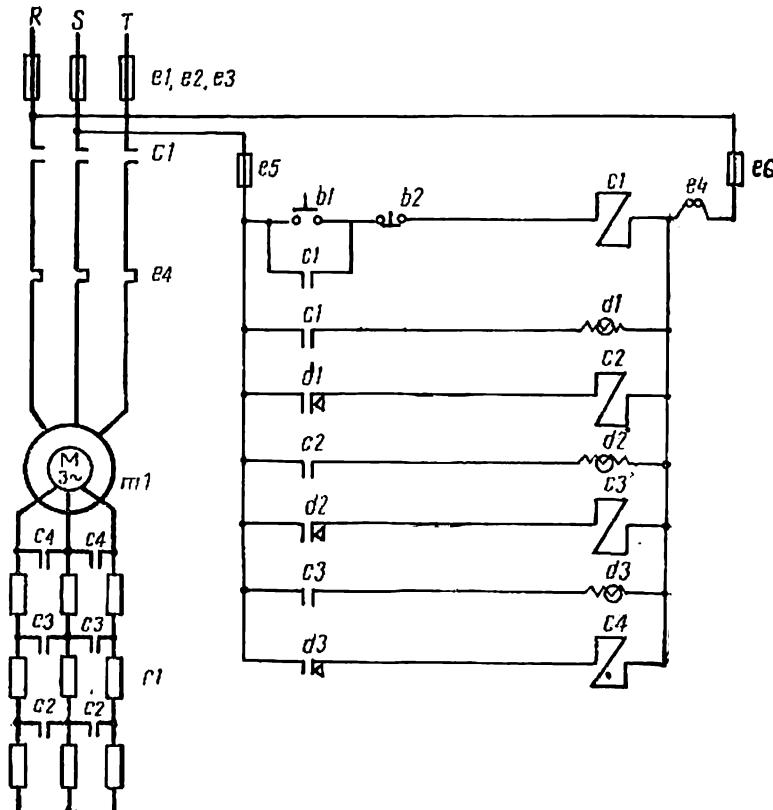


Fig. 8.2. Pornirea cu rezistențe de pornire în circuitul rotoric, în funcție de timp, a motorului asincron cu inele.

- contactorul  $c_1$  pentru conectarea motorului la rețea, comandat prin butoane de comandă;
- contactoarele  $c_2, c_3, c_4$  pentru scurtcircuitarea rezistenței de porneire  $r_1$ , comandate prin relee de timp.

● **Pornirea motorului:**

- se apasă butonul  $b_1$ :

● anclanșează  $C1$  care:

- prin *c.a.n.d.* se autoreține;
- prin *c.a.n.d.* alimentează bobina  $d_1$ ;
- prin *C.P.* pornește motorul  $m_1$ , cu rezistența  $r_1$  în circuitul rotoric.

Motorul  $m_1$  se accelerează și după intervalele de timp  $t_1, t_2, t_3$ :

- cuplază succesiv  $d_1, d_2, d_3$  și prin *c.a.n.d.* alimentează bobinele  $c_2, c_3, c_4$ ;
- anclanșează  $c_2, c_3, c_4$  care prin *C.P.* scurtcircuitează treptele de pornire ale rezistenței  $r_1$ .

Motorul  $m_1$  se accelerează pînă la turăția nominală.

● **Oprirea motorului:**

- se apasă butonul  $b_2$ :

● se dezexcită  $c_1$  și se oprește motorul  $m_1$ ;

- $c_2, c_3, c_4$  sedezexcită reîntroducind în circuit rezistențele  $r_1$ .

- **Observație.** Pornirea motorului asincron cu inele, cu rezistențe de pornire incluse în circuitul rotoric, se poate face și în funcție de curent sau de turăție, dar se preferă pornirea în funcție de timp, fiind mai ușor de realizat și de controlat.

## C. FRÎNAREA MOTORULUI ASINCRON ÎN SCURTCIRCUIT

### 1. FRÎNAREA DINAMICĂ

● Elementele principale ale schemei (fig. 8.3) sunt următoarele:

- motorul asincron în scurtcircuit  $m_1$ ;
- transformatorul eboritor  $m_2$  și redresorul în punte  $n_1$  pentru alimentarea cu curent continuu a statorului în timpul frînării;
- contactorul  $c_1$  pentru conectarea la rețea a motorului, comandat prin butoane de comandă;
- contactorul  $c_2$  pentru frînare, comandat printr-un releu de timp.

● **Pornirea motorului:**

- se apasă butonul  $b_1$ :

● se excită  $c_1$  care se autoreține.

● **Frînarea dinamică:**

- se apasă butonul  $b_2$ :

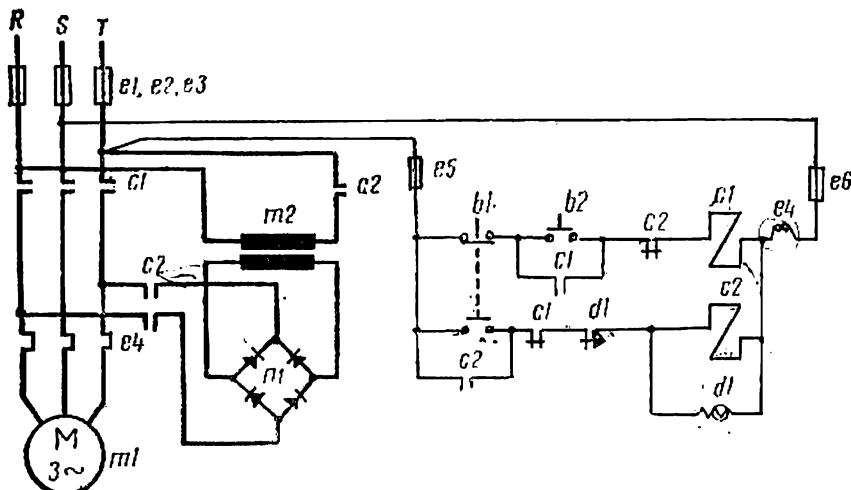


Fig. 8.3. Frânarea dinamică a motorului asincron în scurtcircuit.

- declanșează  $c_1$  care:
    - prin *c.a.n.d.* își taie autoreținerea;
    - prin *c.a.n.t.* permite alimentarea bobinei  $c_2$ ;
    - prin *C.P.* deconectează motorul de la rețea;
  - declanșează  $c_2$  care:
    - prin *c.a.n.d.* se autoreține;
    - prin *c.a.n.t.* taie alimentarea bobinei  $c_1$ ;
    - prin *C.P.* alimentează primarul transformatorului  $m_2$  și redresorul  $n_1$ .
- Motorul frinzează și după trecerea timpului necesar pentru frânare:
- couplează  $d_1$  și prin *c.n.t.* taie alimentarea bobinei  $c_2$  și a propriei sale bobine.
  - **Observație.** Schema prezentată realizează frânarea dinamică în funcție de timp, prin deconectarea de la rețea a motorului și conectarea a două faze ale statorului la o sursă de curent continuu.

## 2. FRÂNAREA PRIN CUPLARE INVERSĂ

- Elementele principale ale schemei (fig. 8.4) sunt:
  - motorul asincron în scurtcircuit  $m_1$  cu rezistență de frânare trifazată  $r_{11}$

- contactorul  $c_1$  pentru conectarea la rețea a motorului, comandat prin butoane de comandă;
- contactorul  $c_2$  pentru frânare prin cuplare inversă, comandat prin releul  $U_1$ .

Releul de turătie  $U_1$  este astfel construit încit în stare de repaus contactele sătăcătoare sînt deschise, iar în stare de funcționare se închide fie contactul 1–2, fie contactul 1–3, corespunzător sensului de rotație al motorului.

- Pornirea motorului:
  - se apasă butonul  $b_2$ ;
  - se excită  $c_1$ , care se autoreține;
  - Frânarea prin cuplare inversă:
    - se apasă butonul  $b_1$ ;
    - declanșează  $c_1$  care:
      - prin c.a.n.d. își taie autoreținerea;
      - prin c.a.n.i. alimentează bobina  $c_2$ ;
      - prin C.P. deconectează motorul de la rețea;
    - declanșează  $c_2$  care prin C.P. conectează motorul la rețea cu fazele inversate prin rezistență  $r_1$ .

Motorul frînează și în momentul atingerii turăției zero, contactul 1–2 al releului de turătie  $U_1$  se deschide, deci:

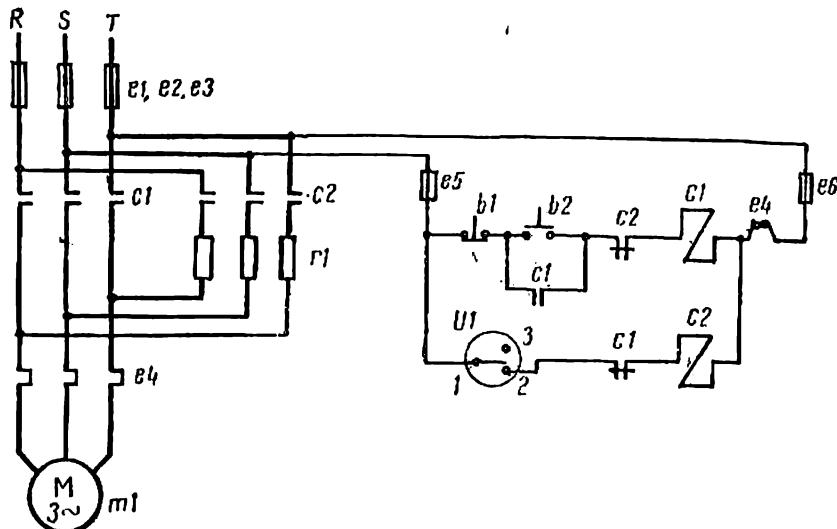


Fig. 8.4. Frânarea prin cuplare inversă a motorului asincron în scurtcircuit.

- declanșează  $c_2$  care:
  - prin c.a.n.i. permite alimentarea din nou a bobinei  $c_1$ ;
  - prin C.P. deconectează motorul de la rețea.
- Observație. Rezistența  $r_1$  are rolul de a limita curentul și cuplul în timpul frânării.

## ● VARIEREA TURAȚIEI CU REZISTENȚE DE REGLARE LA MOTORUL ASINCRON CU INELE

- Elementele principale ale schemei (fig. 8.5, a) sunt următoarele:
  - motorul asincron cu inele  $m_1$ , cu rezistență de pornire și reglare trifazată  $r_1$  și electromagnetul de frână  $s_1$ ;
  - contactoarele  $c_1, c_2$  pentru conectarea motorului la rețea și inversarea sensului de rotație, comandate prin controlerul de comandă;
  - contactoarele  $c_3, c_4, c_5$  pentru scurtecircuitarea treptelor de pornire și reglare, comandate prin controlerul de comandă  $b_1$  și prin releele de timp  $d_2, d_3$  și  $d_4$ .

Diagrama închiderii contactelor controlerului de comandă  $b_1$  este dată în figura 8.5, b.

- Pornirea motorului:
  - se pune controlerul  $b_1$  pe poziția zero (contactul 1 închis);
  - cuplăză  $d_1$  și prin c.n.d. se autoreîne și alimentează schema de comandă;
  - se pune controlerul pe poziția 4 „Inainte“ (contactele 2, 4, 5, 6 închise);

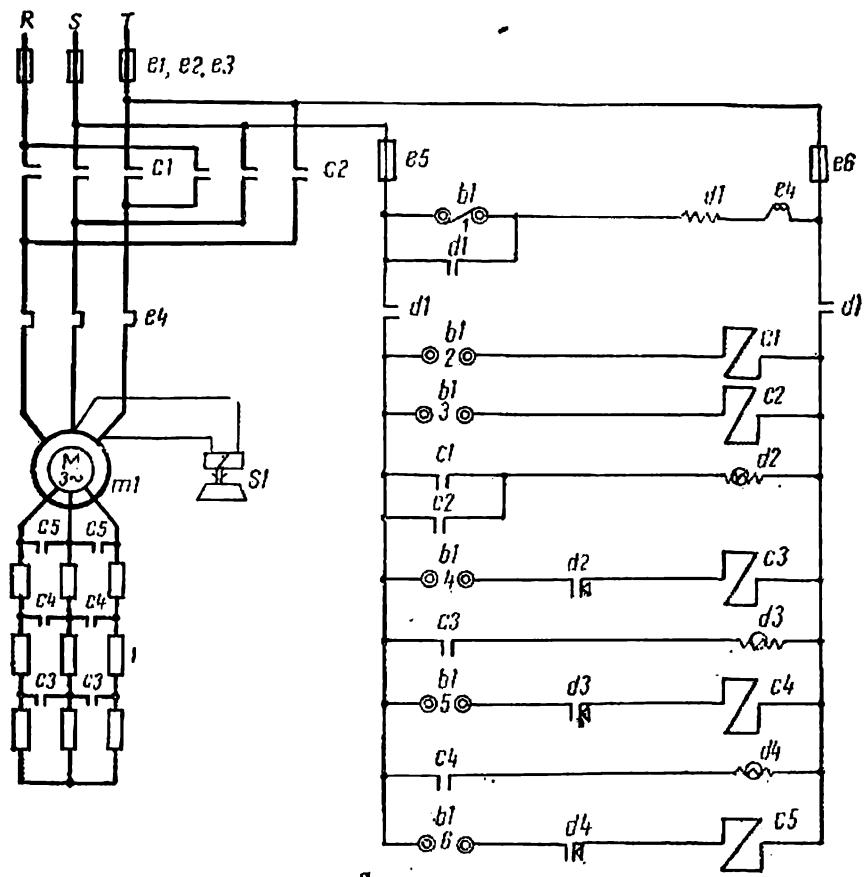
- anclanșează  $c_1$  care:
  - prin c.a.n.d. alimentează bobina  $d_2$ ;
  - prin c.a.n.i. blochează pe  $c_2$ ;
  - prin C.P. pornește motorul cu rezistența  $r_1$  inclusă în circuitul rotoric, iar electromagnetul  $s_1$  acționează frâna pentru ridicarea sabotilor.

Motorul accelerează și după intervalele de timp  $t_1, t_2, t_3$ :

- cuplăză  $d_2, d_3, d_4$  și prin c.n.d. alimentează bobinile  $c_3, c_4, c_5$ ;
- anclanșează  $c_3, c_4, c_5$  și prin C.P. scurtecircuitează treptele de pornire ale rezistenței  $r_1$ .

Motorul se accelerează pînă la atingerea turației nominale.

- Varierea turației motorului. Dacă se pune controlerul pe o altă poziție, de exemplu poziția 2 „Inainte“, anclanșează numai contactoarele  $c_2$  și  $c_3$ , deci motorul se accelerează pînă la turația  $n_1$  corespunzătoare scurtecircuitării unei singure trepte a rezistenței de pornire și reglare și continuu să funcționeze cu această turație.



Contacte \ Pozitia	Inainte				Inapoi				
	4	3	2	1	0	1	2	3	4
1					x				
2	x	x	x	x					
3						x	x	x	x
4	x	x	x			x	x	x	x
5	x	x				x	x		
6	x								x

Fig. 8.5. Varierea turării cu rezistențe introduse în circuitul rotoric al motorului asincron cu inele.

b

Dacă motorul funcționează cu turația nominală, rezistența de pornire și reglare fiind complet scurtcircuitată, și se trece controlerul de exemplu de pe poziția 4 „înainte“ pe poziția 3 „înapoi“, declanșează contactorul  $c_6$  și se introduce în circuit treapta de rezistență corespunzătoare. Turația motorului scade la valoarea  $n_2$ , corespunzătoare funcționării cu două trepte scurtcircuitate.

La trecerea de la o viteză inferioară la o viteză superioară, procesul tranzitoriu este controlat prin relee de timp.

- **Oprirea motorului:**

- se pune controlerul pe poziția zero (contactul 1 inchis);

- declanșează toate contactoarele și releele de timp;

- își pierde alimentarea electromagnetul de frână și lasă saboții să prezeze cuplajul frânei.

- **Observație.** Funcționarea schemei pentru pozițiile „înapoi“ ale controlerului se explică similar, sensul de rotație al motorului fiind inversat.

Rezistența  $r_1$  este inclusă în circuit atât în timpul pornirii cât și în timpul funcționării motorului pe trepte de turație mai mici decât turația nominală. Din această cauză, rezistențele de pornire și reglare trebuie să fie mai larg dimensionate decât rezistențele de pornire, prin care trece curent numai în timpul pornirii.

## E. PORNIREA CU REZISTENȚE DE PORNIRE A MOTORULUI DERIVATIE DE CURENT CONTINUU

### 1. PORNIREA ÎN FUNCȚIE DE TEMPORIZATOR

- **Elementele principale ale schemei** (fig. 8.6) sunt următoarele:

- motorul de curent continuu  $m_1$  cu înșăurarea de excitație  $Ex$ , prevăzut cu rezistențele de pornire  $r_1$ ,  $r_2$ ;

- contactorul  $c_1$  pentru conectarea motorului la rețea, comandat prin butoane de comandă;

- contactoarele  $c_2$ ,  $c_3$  pentru scurtcircuitarea rezistențelor de pornire, comandate prin releele de timp  $d_1$ ,  $d_2$ .

- **Pornirea motorului:**

- se apasă butonul  $b_1$ ;

- anclansază  $c_1$  care:

- prin c.a.n.d. alimentează bobina releeului de timp  $d_1$ ;

- prin C.P. pornește  $m_1$  cu  $r_1$ ,  $r_2$  incluse în circuitul indușului.

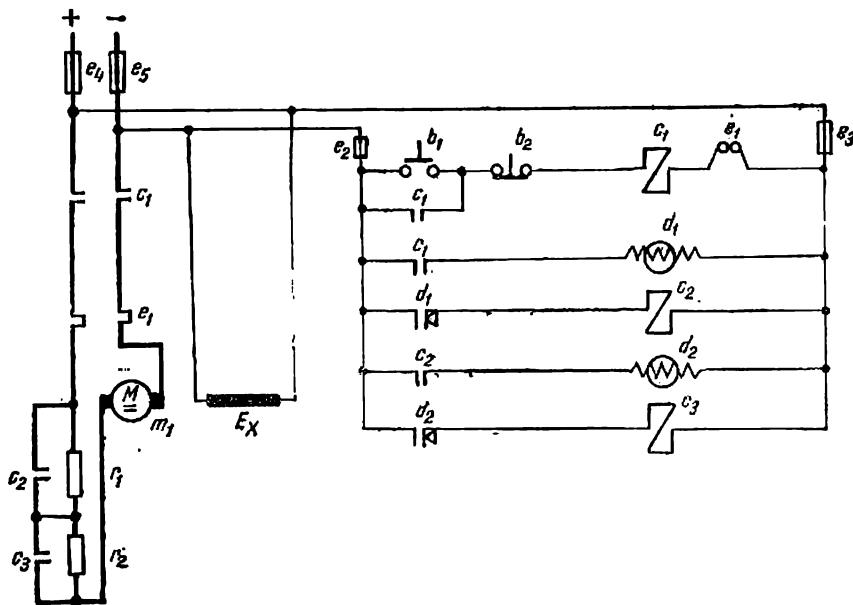


Fig. 8.6. Pornirea cu rezistențe de pornire, în funcție de timp, a motorului derivație de curent continuu.

După intervalul de timp  $t_1$ , cînd motorul ajunge la turația  $n_1$ :

- acționează  $d_1$  și prin c.a.n.d. alimentează bobina  $c_2$ ;
- declanșează  $c_2$  care:
  - prin c.a.n.d. alimentează bobina releului de timp  $d_2$ ;
  - prin C.P. scurtcircuitează  $r_1$ .

Motorul se accelerează în continuare și după intervalul de timp  $t_2$ , cînd ajunge la turația  $n_2$ :

- acționează  $d_2$  și prin c.n.d. alimentează bobina  $c_3$ ;
- anclanșează  $c_3$  și prin C.P. scurtcircuitează  $r_2$ .

Motorul se accelerează pînă la atingerea turației nominale.

- Oprirea motorului:
  - se apasă butonul  $b_2$ ;
  - se dezexcită  $c_1$  și se întrerupe circuitul  $m_1$ .

○ **Observație.** Releele de timp sunt reglate pentru a comanda scurtcircuitarea rezistențelor de pornire la intervalele de timp  $t_1$ ,  $t_2$ , calculate astfel încît pornirea să fie conformă principiului pornirii în funcție de timp.

## 2 PORNIREA ÎN FUNCȚIE DE TURATIE

- Elementele principale ale schemei (fig. 8.7) sunt următoarele:

- motorul de curent continuu  $m_1$  cu înfășurarea de excitație  $E_x$ , prevăzut cu rezistențele de pornire  $r_1, r_2, r_3$ ;
- contactorul  $c_1$  pentru conectarea motorului la rețea, comandat prin butoane de comandă;
- contactoarele  $c_2, c_3, c_4$  pentru scurtcircuitarea rezistențelor de pornire.

○ Notă. Contactoarele  $c_2, c_3, c_4$  sunt astfel alese încit anclansarea lor să aibă loc succesiv la valorile  $E_1 = C_e n_1$ ,  $E_2 = C_e n_2$ ,  $E_3 = C_e n_3$  ale tensiunii electromotoare din inducție, adică la valorile  $n_1, n_2, n_3$  ale turării motorului.

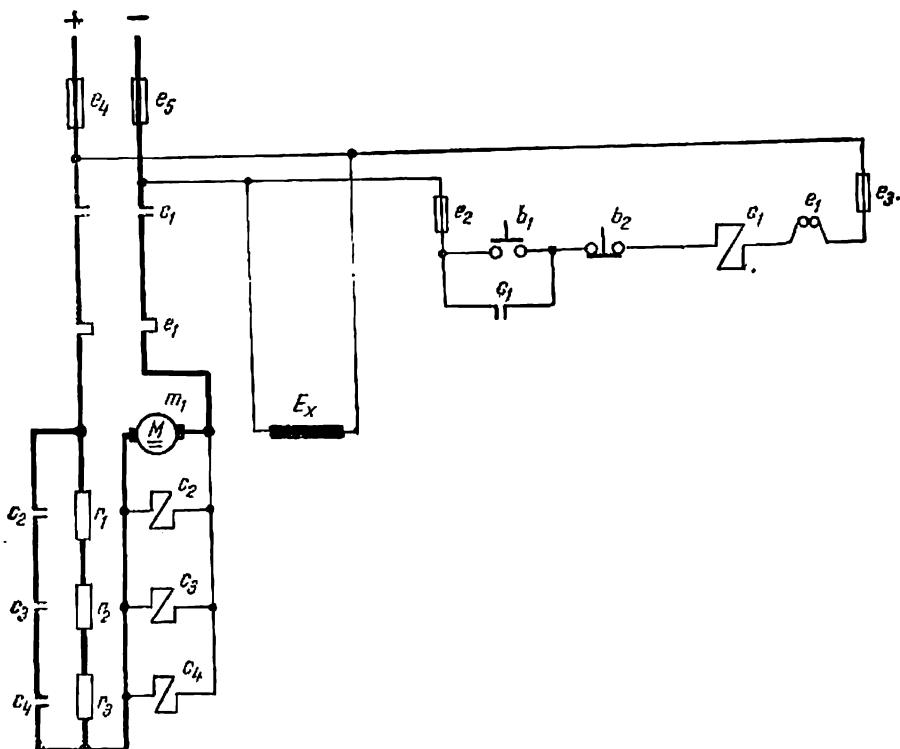


Fig. 8.7. Pornirea cu rezistențe de pornire, în funcție de turărie, a motorului derivativ de curent continuu.

- Pornirea motorului:
    - se apasă butonul  $b_1$ :
    - anclanșează  $c_1$  care:
    - prin c.a.n.d. se autoreține;
    - prin C.P. pornește  $m_1$  cu  $r_1, r_2, r_3$  incluse în circuitul indușului.
- Pe măsură ce motorul se accelerează atingind valorile  $n_1, n_2, n_3$  ale turației, tensiunea electromotoare ia valorile  $E_1, E_2, E_3$  și succesiv:
- anclanșează  $c_2$  care prin C.P. scurtcircuitează  $r_1$ ;
  - anclanșează  $c_3$  care prin C.P. scurtcircuitează  $r_2$ ;
  - anclanșează  $c_4$  care prin C.P. scurtcircuitează  $r_3$ .
- În continuare motorul se accelerează pînă la atingerea valorii nominale a turației.
- Oprirea motorului:
    - se apasă butonul  $b_2$ :
    - se dezexcită  $c_1$  și se oprește  $m_1$ .

### 3. PORNIREA ÎN FUNCȚIE DE CURENT

- Elementele principale ale schemei (fig. 8.8) sunt următoarele:
  - motorul de curent continuu  $m_1$  cu înșâsurarea de excitație  $E_X$ , prevăzut cu rezistențele de pornire  $r_1, r_2$ ;
  - contactorul  $c_1$  pentru conectarea motorului la rețea, comandat prin butoane de comandă;

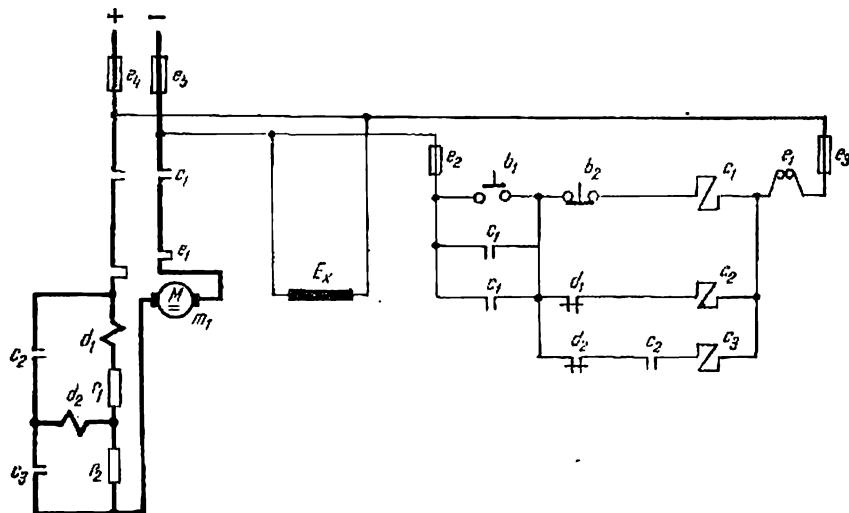


Fig. 8.8. Pornirea cu rezistențe de pornire, în funcție de curent, a motorului derivativ de curent continuu.

-- contactoarele  $c_2$ ,  $c_3$ , pentru securtircuitarea rezistențelor de pornire, comandate prin relee de curent.

Releele de curent  $d_1$  și  $d_2$  sunt reglate să cupleze la valoarea  $I_M$  a curentului din indus și să decupleze la valoarea  $I_m$ .

- **Pornirea motorului:**

- se apasă butonul  $b_1$ :

- anclanșează  $c_1$  care:

- prin c.a.n.d. se autoreține;

- prin C.P. pornește  $m_1$  cu  $r_1$ ,  $r_2$  incluse în circuitul indusului.

Deoarece curentul din indus care se închide prin bobina  $d_1$  și prin rezistențele  $r_1$ ,  $r_2$ , are valoarea inițială (maximă)  $I_M$ :

- cuplează  $d_1$  care:

- prin c.n.l. blochează pe  $c_2$  (nici  $c_3$  nu poate anclansa datorită c.a.n.d. al contactorului  $c_2$ ).

Motorul se accelerează pînă cînd, la valoarea  $n_1$  a turației, curentul din indus are valoarea minimă  $I_m$ , deci:

- decuplează  $d_1$  și prin c.n.l. alimentează bobina  $c_2$ ;

- anclanșează  $c_2$  care:

- prin c.a.n.d. pregătește alimentarea bobinei lui  $c_3$ ;

- prin C.P. scurtcircuitează  $r_1$  și bobina  $d_1$ , scoțîndu-le din funcțiune.

Curentul din indus se închide acum prin C.P.  $c_2$ , bobina  $d_2$  și rezistența  $r_2$  și are din nou valoarea  $I_M$ , deci:

- cuplează  $d_2$  și prin c.n.l. blochează pe  $c_3$ .

Motorul accelerează din nou pînă la turația  $n_2$ , corespunzătoare valoării  $I_m$  a curentului din indus, deci:

- decuplează  $d_2$  și prin c.n.l. alimentează bobina  $c_2$ ;

- anclanșează  $c_3$  și prin C.P. scurtcircuitează  $r_2$  și bobina  $d_2$ , scoțîndu-le din funcțiune.

- **Oprirea motorului:**

- se apasă butonul  $b_2$ .

○ **Observație.** Schemele de pornire în funcție de curent se utilizează mai rar în practică, și anume atunci cînd se cere o precizie mare a pornirii.

## F. PORNIREA MOTORULUI SINCRON DE JOASĂ TENSIUNE, ÎN FUNCȚIE DE VITEAZĂ, CU AUTOTRANSFORMATOR DE PORNIRE

Pornirea în regim asincron a motorului sincron se poate face direct numai atunci cînd construcția motorului și rețeaua de alimentare permit acest lucru.

Alimentarea înfășurării de excitație se închide pe o rezistență la începutul pornirii, pentru a preîmpinge apariția tensiunilor ridicate,

ncadmise, la cuplarea statorului la rețea. Alimentarea cu curent continuu a înfășurării de excitație în momentul atingerii vitezei subsincrone se face în una sau două trepte. Momentul de alimentare a înfășurării de excitație se alege astfel încât sincronizarea să fie cât mai rapidă, șocurile de curent în circuitul statoric cât mai mici, iar timpul de pornire suficient de scurt pentru a preîntâmpina supraîncălzirea înfășurării de pornire a motorului.

### ○ Important:

1) Alimentarea înfășurării de excitație înainte de cuplarea statorului la tensiunea nominală se recomandă numai în cazul încărcării reduse a motorului, deoarece cuplul de sincronizare este mic.

2) Alimentarea înfășurării de excitație cu tensiunea redusă, adică în trepte, se recomandă în cazul pornirii în gol a motoarelor, deoarece cuplul de sincronizare este de asemenea mic.

3) În cazul pornirii motorului sub sarcină, alimentarea excitației se face numai pe o singură treaptă și numai după cuplarea statorului la tensiunea nominală.

Sincronizarea motorului sincron pornit în regim asincron este o operație extrem de importantă, în care se urmărește ca șocurile de curent să fie minime și cuplurile de sincronizare maxime. Pentru a se realizeze aceste deziderate, este necesar ca alimentarea rotorului cu curent continuu să se facă la o alunecare cât mai mică, în momentul cind axele polilor S ale rotorului sint în urmă cu cel mult 15–30 grade electrice față de polii N ai statorului.

Sincronizarea în funcție de viteză asigură o pornire destul de precisă cu ajutorul releului de succesiune a alternanțelor rotorice, care este de fapt un releu de timp cu temporizare la decuplare (cu spiră în scurt-circuit). Acest releu este inseriat cu un redresor uscat și este legat de o rezistență de descărcare în circuitul rotoric al motorului sincron.

Curentul alternativ indus în înfășurarea de excitație în timpul pornirii, trece prin bobina releului numai în jumătățile de perioadă în care sensul curentului coincide cu sensul de conduitie al redresorului. În figura 8.9 s-a reprezentat curentul  $I_r$ , din bobina releului și fluxul  $\Phi_e$ , din circuitul magnetic al releului,  $\Phi_e$  este fluxul de eliberare a armăturii releului. Se observă că deși bobina nu este alimentată cu curent între două jumătăți de perioadă, fluxul  $\Phi_e$  se menține în permanență mai mare decât fluxul de eliberare  $\Phi_{e0}$  și releul nu eliberează armătura.

Fluxul  $\Phi_e$  devine mai mic decât fluxul de eliberare  $\Phi_{e0}$  numai atunci cind alunecarea scade foarte mult și intervalul dintre semiperioadele curentului  $I_r$  crește, iar amplitudinea acestora scade. Atunci releu își eliberează armătura și alimentează cu curent continuu înfășurarea de excitație.

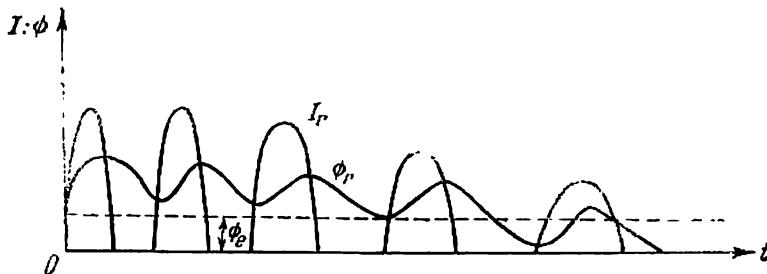


Fig. 8.9. Diagrama de variație a curentului și fluxului în releeul de succesiune a alternanțelor rotorice.

○ **Observație.** Din cele arătate mai sus se constată că releeul de succesiune a alternanțelor rotorice măsoară atât alunecarea, cât și unghiul de decalaj, decuplând atunci cînd acest unghi are valori apropiate de zero.

● **Elementele principale ale schemei** (fig. 8.10) sunt următoarele:

— motorul sincron  $m_1$  cu înfășurările reprezentate prin cercuri concențrice: cercul exterior reprezintă înfășurarea statorică, iar cercul interior înfășurarea rotorică (de excitație);

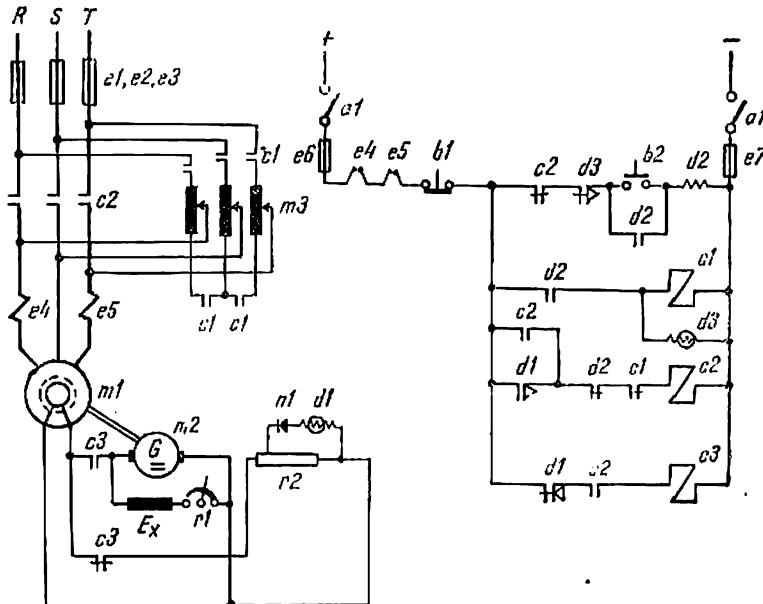


Fig. 8.10. Pornirea motorului sincron de joasă tensiune, în funcție de viteza, cu autotransformator de pornire.

- autotransformatorul de pornire  $m_3$ ;
- excitatoarea  $m_2$  cu înfășurarea de excitație  $Ex$  și reostatul  $r_1$  pentru reglarea excitației;
- releul de succesiune a alternanțelor rotorice  $d_1$  inseriat cu redresorul  $n_1$  și legate pe rezistența de descărcare  $r_2$  din circuitul înfășurării rotorice de excitație;
- contactorul  $c_1$  pentru conectarea autotransformatorului de pornire în circuitul statoric la începutul pornirii, comandat prin butoane de comandă;
- contactorul  $c_2$  pentru conectarea motorului direct la rețea, comandat prin releul de timp  $d_3$ ;
- contactorul  $c_3$  pentru conectarea excitației la înfășurarea rotorică de excitație, comandat prin releul de succesiune al alternanțelor rotorice.

● **Pornirea motorului:**

— se apasă butonul  $b_2$ :

● cuplează  $d_2$  care:

— prin c.n.d. se autoreține;

— prin c.n.d. alimentează bobinele  $c_1$ ,  $d_3$ ;

— prin c.n.i. blochează pe  $c_2$ ;

● anclanșează  $c_1$  care:

— prin c.a.n.i. blochează pe  $c_2$ ;

— prin C.P. conectează autotransformatorul  $m_3$  în circuitul statoric.

În momentul cuplării statorului motorului la rețea, tensiunea electro-motoare în rotor are o valoare maximă și o frecvență maximă, egală cu frecvența rețelei. Din această cauză:

● cuplează  $d_1$  și prin c.n.i. blochează pe  $c_3$ .

Motorul, pornit prin anclansarea lui  $c_1$ , se accelerează și după trecerea intervalului de timp afectat alimentării statorului cu tensiune redusă:

● cuplează  $d_3$  și, prin c.n.i., taie alimentarea bobinei  $d_2$ ;

● decuplează  $d_2$  care:

— prin c.n.d. își taie autoreținerea;

— prin c.n.d. taie alimentarea bobinelor  $c_1$ ,  $d_3$ ;

— prin c.n.i. pregătește alimentarea bobinei  $c_2$ ;

● decuplează  $d_3$  și prin c.n.i. numai poate alimenta bobina  $d_2$ ;

● declanșează  $c_1$  care:

— prin c.a.n.i. alimentează bobina  $c_2$ ;

— prin C.P. deconectează autotransformatorul  $m_3$  din circuitul statoric;

● anclanșează  $c_2$  care:

— prin c.a.n.d. blochează pe  $d_2$ ;

— prin c.a.n.d. pregătește alimentarea bobinei  $c_3$ ;

— prin C.P. conectează motorul la rețea.

Motorul se acceleră în continuare pînă la atingerea vitezei subsincrone la care trebuie să se alimenteze cu curent continuu înfășurarea rotorică de excitărie, cînd:

- decouplează  $d_1$  și prin c.n.i. alimentează bobina  $c_3$ ;
- anclanșează  $c_3$  care:
  - prin c.n.i. deconectează releul de succesiune a alternanțelor rotorice  $d_1$ ;
  - prin C.P. conectează excitatoarea în înfășurarea rotorică de excitărie.

Excitațoarea  $m_2$  se autoexcită, alimentînd cu curent continuu rotorul motorului sincron. Motorul se sincronizează și începe să funcționeze în condiții normale.

● **Oprirea motorului:**

- se apasă butonul  $b_1$ ;
- se dezexcită  $d_2$  și revine  $c_1 — c_2$ .

○ **Observație.** Dacă timpul de sincronizare depășește o anumită limită, pornirea trebuie să fie anulată. Pentru aceasta se folosește un releu de timp (nereprezentat în figură) care începe să temporizeze din momentul alimentării statorului la tensiunea nominală și deconectează întreaga schemă dacă nu se atinge în limite de timp normale viteza subsincronă necesară pentru alimentarea cu curent continuu a înfășurării de excitărie.

#### VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. De ce motoarele cu putere mijlocie și mare nu pot fi pornite direct de la rețea?
2. Să se explice funcționarea tuturor schemelor sără a se citi textul.
3. Ce tipuri de releu au fost utilizate pentru controlul frânării în schemele prezionate?
4. Cum se face și în ce situații se utilizează pornirea directă a motorului sincron?
5. Cum se alimentează înfășurările statorice în cazul pornirii prin autotransformatoare sau reactor?
6. Ce dezavantaj are alimentarea înfășurării de excitărie înainte de cuplarea statorului la tensiunea nominală?
7. Dar alimentarea în trepte a înfășurării de excitărie?
8. Ce urmărește și care este principiul de funcționare a releeului de succesiune a alternanțelor rotorice?

## CAPITOLUL 9

### ACȚIONĂRI HIDRAULICE ȘI PNEUMATICE

#### A. NOTIUNI GENERALE

In unele cazuri, acționarea anumitor agregate (sarcini) se realizează cu ajutorul unor motoare neselectrice, în spate folosind energia unui lichid sub presiune (motoare hidraulice) sau a unui gaz sub presiune (motoare pneumatice). Au apărut astfel *acționările hidraulice* folosind de obicei uleiul sub presiune și *acționările pneumatice* folosind aerul comprimat.

Dacă în cazul acționărilor electrice se dispune, în general, de un sistem energetic național care asigură sursa de energie electrică, în cazul acționărilor hidraulice sau pneumatice acestea având un caracter local, apare necesară realizarea unor surse „generatorare” de energie hidraulică (de exemplu o pompă de ulei sau mai multe constituind instalația de ulei sub presiune) sau de energie pneumatică (de exemplu o instalație de aer comprimat).

Schela structurală a unei acționări hidraulice sau pneumatică (fig. 9.1) cuprinde în principiu generatorul hidraulic (pneumatic)  $G$  antrenat de obicei de motorul electric  $E$  și care transmite fluidul ener-

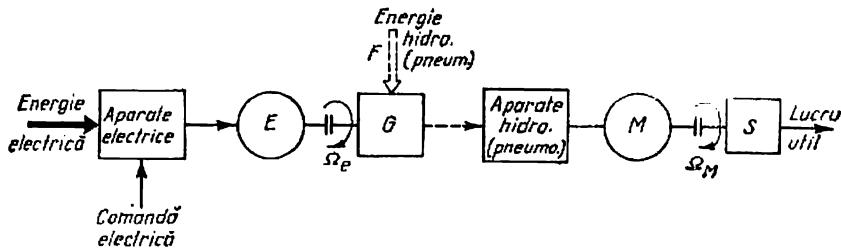


Fig. 9.1. Schema structurală a unei acționări hidraulice (pneumatică).

getic  $F$  (ulei sau aer comprimat) motorului  $M$  care antrenează sarcina (utilajul)  $S$ .

Se constată că, față de o schemă de acționare electrică, între motorul  $E$  și sarcina  $S$  s-a interpus sistemul generator motor ( $G-M$ ) hidraulic sau pneumatic având propria sa comandă (hidraulică sau pneumatică). Acest sistem constituie, de fapt, o acționare electrohidraulică (electro-pneumatică).

În locul motorului electric, mai ales pe instalațiile mobile, se poate prevedea un motor cu ardere internă, de exemplu un motor Diesel. Un asemenea sistem poartă denumirea de acționare diesel-hidraulică (ca, de exemplu, acela folosit la locomotiva diesel-hidraulică ce se fabrică în țara noastră la Întreprinderea 23 August din Capitală).

Paralele cu introducerea acționărilor hidraulice și pneumaticice au luat naștere și s-au dezvoltat elemente de automatizare hidraulice și pneumaticice (traductoare, amplificatoare, relee etc.) precum și „elementele fluidice” construite pe baza efectului Coandă, care folosind aerul comprimat îndeplinește „funcții logice” (SI, SAU, NICI etc.) în cadrul unor scheme logice de automatizări fluidice similare cu schemele logice cu semiconductoare.

## B. ELEMENTELE SISTEMELOR DE ACȚIONARE HIDRAULICĂ

### 1. STRUCTURA SISTEMELOR HIDRAULICE

În funcție de condițiile mașinii de lucru (sarcină) motoarele hidraulice pot realiza:

— mișcare circulară (de rotație), ca de exemplu la locomotiva diesel-hidraulică;

— mișcare liniară (deplasare), ca de exemplu la presa hidraulică.

Structural, sistemele de acționare hidraulică pot fi realizate cu circuit închis (fig. 9.2, a) sau cu circuit deschis (fig. 9.2, b). În ambele cazuri pompa  $P$  împinge uleiul sub presiune în motorul hidraulic  $M$  având mișcare circulară, iar uleiul uzat este adus direct la pompă (fig. 9.2, a), sau se scurge în rezervorul  $R$ , de unde este aspirat de pompă. În figura 9.2, c s-a prezentat schema unei acționări hidraulice cu circuit deschis și motor hidraulic cu mișcare liniară.

În acționările hidraulice se folosesc în general uleiul mineral cu o viscozitate redusă (2–6° Engler la 50°C), realizat în condiții speciale de rafinare.

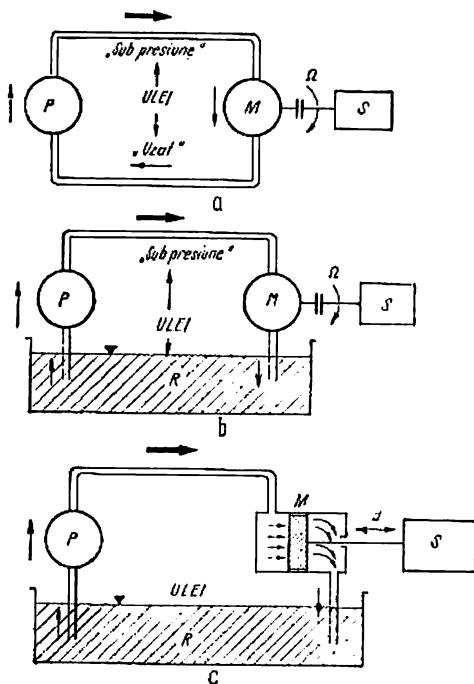


Fig. 9.2. Structura sistemelor hidraulice:  
a – cu circuit închis și mișcare eliocirculară; b – cu circuit deschis și mișcare circulară; c – cu circuit deschis și mișcare liniară.

puteri mari ( $1\ 000 - 2\ 000$  kW) realizarea cutiei de viteze, dar mai ales a ambreiajului, devine practic imposibilă.

#### *Dezavantajele sistemelor de acționare hidraulice sunt:*

- pierderi relativ mari prin fricție în elementele componente (pompe, conducte etc.), pierderi care crește rapid cu viteza de curgere a uleiului;
- cost relativ ridicat al elementelor componente datorită preciziei deosebite în prelucrarea acestora;
- pericol de incendiu datorită inflamabilității uleiului mineral.

## 2. GENERATOARE (POMPE) HIDRAULICE

**Pompele** folosesc pentru transformarea energiei mecanice primită de la **motorul electric (diesel)** în energie hidraulică.

Pompele hidraulice se pot clasifica astfel:

*Avantajele principale ale sistemelor de acționare hidraulică sint:*

- posibilitatea varierii continuă a vitezei de acționare, existența unui sistem de comandă hidraulică asigurând posibilități multiple de manevrare;
- funcționare liniștită, fără zgromot și fără vibrații;
- posibilitatea realizării cu ușurință a forțelor (presiunilor) mari;
- organele componente funcționind chiar în ulei nu necesită instalații de ungere;
- deși reprezintă o instalație în plus (în cascadă) într-un lanț de acționare, aceasta face posibilă eliminarea unor organe importante care altfel ar fi fost necesară. De exemplu, la locomotive diesel-hidraulice se elimină cutia de vitează și ambreiajul care în cazul unei locomotive diesel ar fi fost necesare. În plus, la

- pompe cu debit variabil: cu piston, cu paletă etc.;
- pompe cu debit constant: cu roți dințate, cu palete și dublă acțiune etc.

• În figura 9.3 este prezentată schematic o pompă cu debit variabil și pistoane radiale. Rotorul  $R$  are un număr de găuri cilindrice (de exemplu 6) dispuse radial, în care se deplasează un număr corespunzător de pistoane  $P$  a căror extremitate semicirculară calcă pe inelul  $C$  al carcasei pompei.

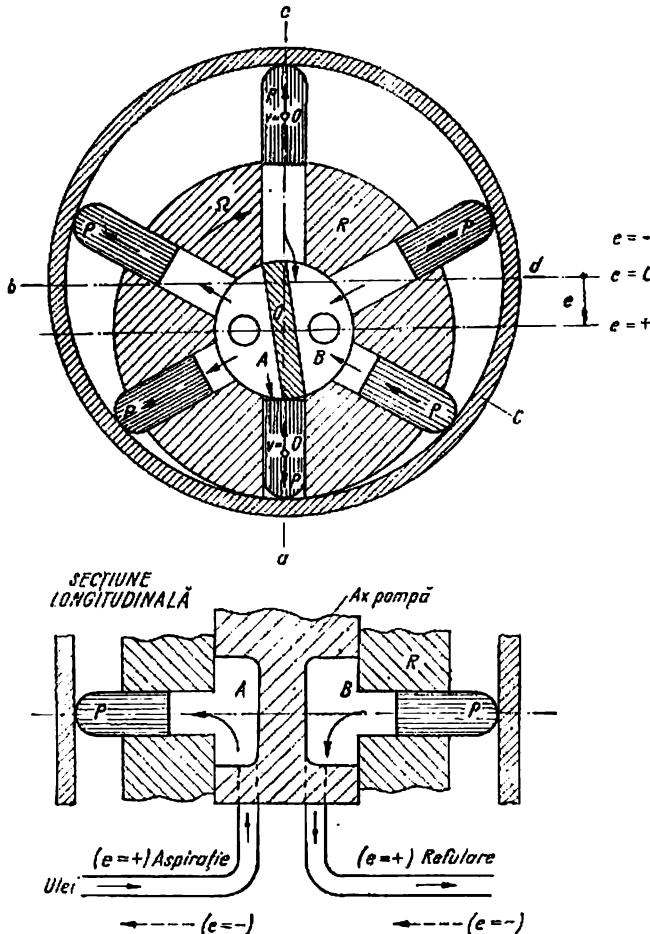


Fig. 9.3. Pompa (generator) hidraulică cu debit variabil și pistoane radiale.

Prin rotire, datorită excentricității  $e$  a rotorului față de carcasa, pistoanele capătă o mișcare radială în cilindri conform sensului de rotație  $\Omega$ . În acest caz, în porțiunea  $a-b-c$  pistoanele îndepărțindu-se succesiv de centrul de rotație  $O$ , cilindrii se umplu cu ulei din camera de aspirație  $A$  (v. și secțiunea longitudinală), iar în porțiunea  $c-d-a$  pistoanele apropiindu-se de centru împing uleiul din cilindri în conductă de refuzare  $B$ .

Se observă că pompa își poate schimba sensul de refuzare, prin modificarea excentricității  $e$ . Astfel, cînd  $e = 0$ , adică rotorul este centralizat față de carcasa, pistoanele se rotesc însă nu se mai deplasează radial, astfel că debitul pompei este zero, iar cînd  $e$  devine negativ (axul rotorului trece deasupra centrului carcasei), compartimentele  $A$  și  $B$  își înverzesc rulurile, deci sensul de pompă se schimbă.

- În figura 9.4 este prezentată tot o pompă cu debit variabil însă cu palete. Principal, au fost arătate numai două palete  $P_1$  și  $P_2$  care, alunecind în rotorul  $R$  și fiind împins radial cu ajutorul resortului spiral  $S$  sunt rotite în carcasa  $C$ . Datorită excentricității  $e$  a rotorului față de carcasa și corespunzător sensului de rotație  $\Omega$  uleiul este absorbit prin conductă  $A$  și refuzat în conductă  $B$ . Practic, se construiesc pompe cu 4–12 palete.

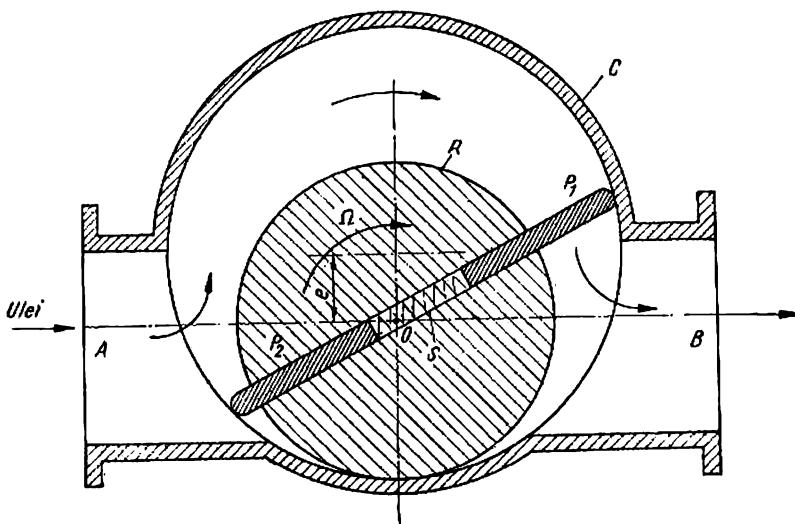


Fig. 9.4. Pompa hidraulică cu debit variabil și palete.

● Pompa cu roți dințate din figura 9.5 funcționează la presiuni înalte ( $P_{max} = 500$  atm), însă la debit constant.

La rotirea roților dințate identice 1 și 2 inchise în carcasa 3 se produce o rarefiere în camera de aspirație 4 și o presiune în camera de refulare 5. În acest mod uleiul din rezervorul 7 este absorbit prin conducta 8 și transportat pe periferia pompei de către dinții angrenajelor, pentru ca apoi să fie comprimat și refulat prin conducta 6.

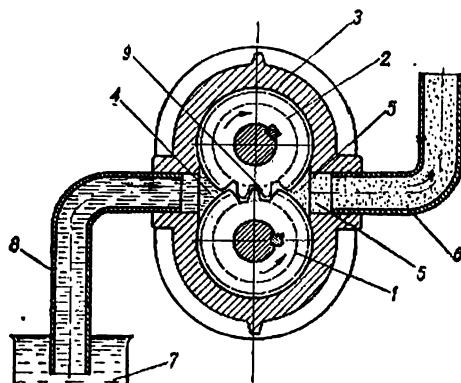


Fig. 9.5. Pompă hidraulică cu debit constant și roți dințate.

### 3. MOTOARE HIDRAULICE

Toate pompele prezentate sunt reversibile, în sensul că fiind alimentate cu ulei sub presiune transformă energia acestuia în lucru mecanic, adică devin motoare hidraulice.

Practic, deși mașinile hidraulice sunt reversibile, ca și mașinile electrice, totuși, similar cu acestea, se construiesc în mod special motoare hidraulice. Astfel, în figura 9.6 este arătat un motor hidraulic cu mișcare circulară și pistoane axiale și cu disc fix. Blocul cilindrilor 1 se rotește solidar cu axul 2 al motorului, astfel că cele nouă pistoane se deplasează axial în mod succesiv, alunecind pe discul înclinat 3 care are o înclinare fixă. Uleiul sub presiune intră prin orificiul din partea inferioară impingând axial pistoanele care, pentru a-și mări volumul cilindric, sunt obligate să alunecă pe discul 3, adică să rotească blocul cilindrilor 1, deci axul 2.

Motoarele hidraulice cu mișcare liniară sunt realizate sub formă unor pistoane ce se deplasează liniar în clindri.

### 4. APARATE HIDRAULICE

În circuitele sistemelor de acționare hidraulică se utilizează o serie de aparate având funcții similare celor folosite în circuitele electrice. Astfel, se întâlnesc *distribuitoare* (sertărașe), *vane*, *supape* etc.

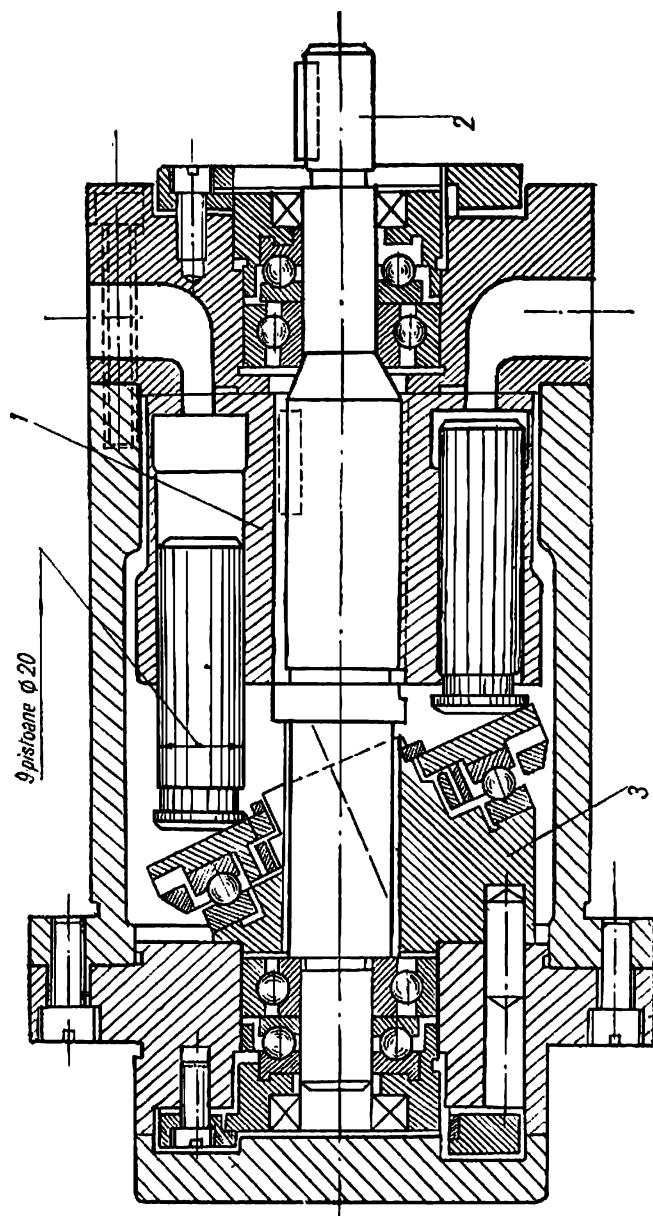


Fig. 9.6. Motor hidraulic cu pistoane axiale și disc fix.

● Distribuitoarele (omoloage intreruptoarelor electrice) asigură stabilirea — întreruperea circulației de ulei în anumite conducte; ca exemplu, în figura 9.7 este prezentat un distribuitor rotativ cu cep conic care cuprinde corpul 1 (din oțel sau fontă) de formă conică, în care se introduce capul (axul) conic 2 (din bronz), etanșarea între suprafețele conice identice ale cepului și corpului fiind asigurată prin resortul spiral 3 care se sprijină pe capacul 4. Trecerea uleiului se realizează prin canalele 5 și 6 (secțiunea A—A). Într-o poziție a cepului se permite circulația uleiului între orificiile 7 și 8, respectiv 9 și 10, iar în altă poziție, prin rotirea cepului cu 90°, circulația se poate face între orificiile 7 și 9, respectiv 8 și 10.

● Sertărașele (distribuitoare liniare) au funcții similare cu distribuitoarele rotative, însă deplasarea lor este liniară.

● Supapele sunt elemente care asigură deschiderea unui circuit hidraulic atunci cind presiunea într-un sens de circulație depășește o anumită valoare. Funcțional, supapele pot avea rol de protecție („supapă de siguranță“) deschizînd circuitul atunci cind presiunea prea mare poate produce avarierea instalației respective; de asemenea supapele asigură circulația unidirectională (ca o diodă electrică) într-o conductă, reținînd deplasarea lichidului în sens invers.

În afara acestor aparate, în acționările hidraulice se mai întîlnesc: *relee hidraulice, conducte, filtre, rezervoare etc.*

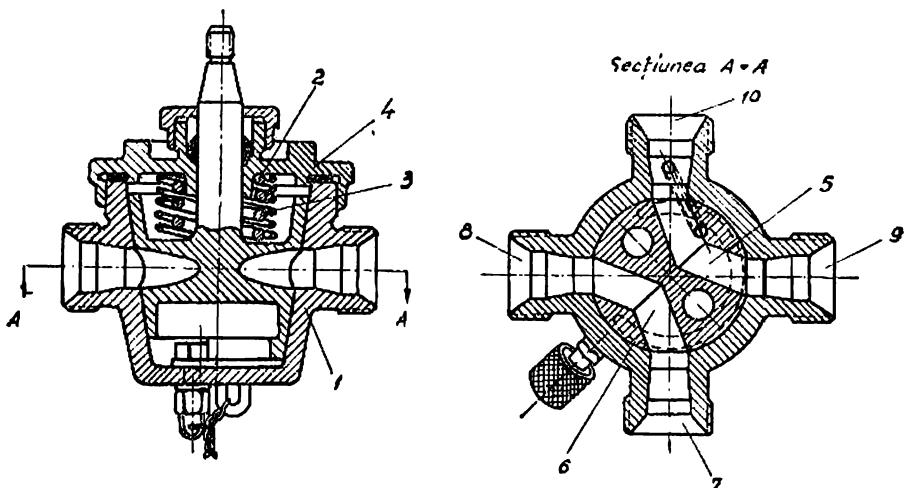


Fig. 9.7. Distribuitor rotativ cu cep (ax) conic.

## C. ELEMENTELE SISTEMELOR DE ACTIONARE PNEUMATICĂ

### 1. STRUCTURA SISTEMELOR PNEUMATICE

Schema de principiu a acționărilor pneumatice este similară cu a celor hidraulice: generator-motor-sarcină, cu observația că ele se realizează numai cu circuit deschis (v. fig. 9.2, b și c). Agentul motor folosit în sistemele de acționări pneumatice este, de obicei, aerul comprimat la presiuni de 5–6 atm.

Acționările pneumatice prezintă următoarele *avantaje* specifice în raport cu cele hidraulice:

- precizia mai redusă de executare a pieselor componente;
- se pot folosi în medii explozive sau cu pericol de incendiu;
- rapiditatea acționării mecanismelor comandate datorită destinderii brusce a aerului comprimat;
- funcționarea la temperaturi scăzute, neexistând pericol de congeiere sau sporirea viscozității agentului motor.

Similar, *dezavantajele* acționărilor pneumatice sunt:

- datorită compresibilității gazelor presiunile, deci forțele realizabile sunt mai mici;
- prin comprimare și destindere rapidă (transformări adiabatice) temperatura variază\*, fapt care implică necesitatea unor instalații de răcire a gazului (la comprimare) și posibilitatea condensării vaporilor de apă din aer (la destindere), apa fiind agent corosiv pentru instalație;
- gazele nu au proprietatea de ungere a pieselor în mișcare, ceea ce impune o întreținere suplimentară.

### 2. GENERATOARE PNEUMATICE

Generatoarele pneumatice sunt similare celor hidraulice și se clasifică astfel:

- *compresoare cu piston*;
- *compressoare rotative*;
- *turbocompressoare*.

● **Compressoare cu piston** (fig. 9.8) cuprind pistonul *P* care, deplasându-se în jos în cilindrul *C*, absoarbe aerul din conducta *A* prin supapa *S<sub>A</sub>*, iar la deplasarea în sus îl comprimă și îl refulează în

\* Conform relației  $PV = RT$ , în care *P* este presiunea, *V* = volumul molar, *R* = constanta gazelor și *T* – temperatura absolută pentru gazul respectiv.

conducta  $R$  (supapa  $S_A$  se închide) prin supapa  $S_R$  care se deschide la creșterea presiunii.

Compressoarele în cascadă sunt realizate din mai multe compresoare monocilindrici acționate de un ax comun, la care refuzarea unei trepte corespunde cu admisia în treapta următoare, fapt care asigură presiuni mari de aer (20–30 atm).

- **Compressoarele rotative** (fig. 9.9) sunt compuse dintr-un stator cilindric și un rotor cilindric cu o serie de palete plasate oblic în niște crestături ale rotorului. În funcționare, datorită forțelor centrifuge paletele sunt proiectate spre periferie, absorbind aerul din galeria de admisie și comprimându-l în camera de ieșire. Compresorul respectiv este răcit cu apă.

Turbocompressoarele, de asemenea rotative, sunt generatoare pneumatice pentru debite mari ( $3\,000$ – $4\,000\text{ m}^3/\text{min}$ ) și presiuni relativ mici ( $p < 6\text{ atm}$ ), funcționând la puteri și turări mari.

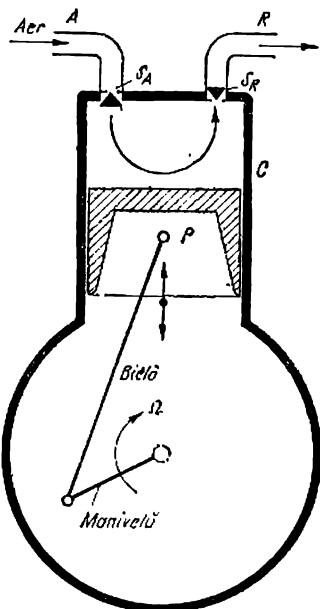


Fig. 9.8. Compresor cu piston.

### 3. MOTOARE PNEUMATICE

Motoarele pneumatice pot fi: *rotative* și *liniare*, acestea din urmă putind fi: *cu piston* sau *cu membrană*.

- Motoarele pneumatice *rotative* se realizează de obicei cu palete, fiind principal identice cu compresoarele rotative (v. fig. 9.9).

- Motoarele pneumatice *liniare cu piston* sunt folosite în cazul cînd sunt necesare deplasări mai mari (v. fig. 13.4).

Asemenea tipuri de motoare sunt folosite și în acțiunile hidraulice.

- Motoarele pneumatice *liniare cu membrană* sunt formate dintr-o capsulă manometrică prevăzută cu o membrană elastică (v. fig. 13.3).

### 4. APARATE PNEUMATICE

Sunt identice ca funcționi cu cele folosite la acțiunile hidraulice: *distribuitoare, serărișe, supape, conducte, filtre* etc.

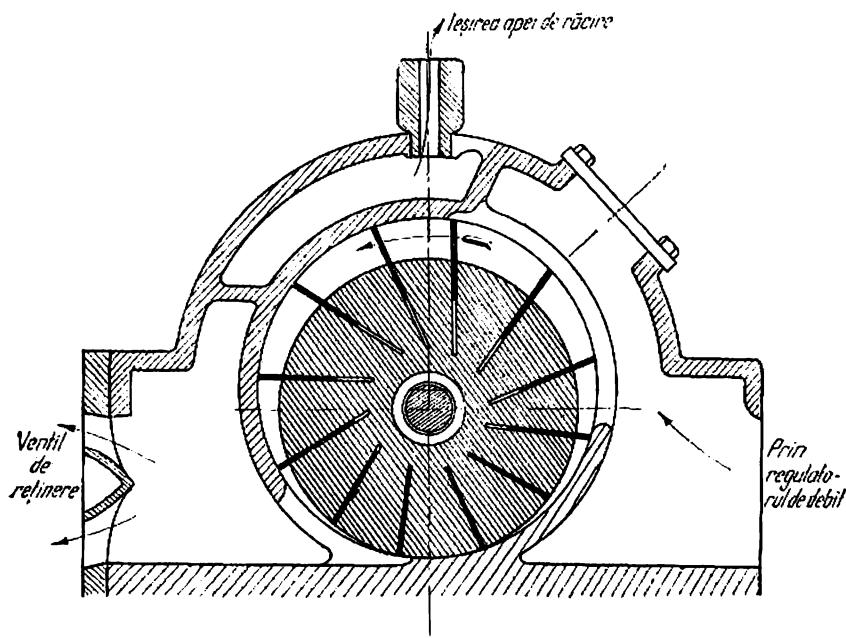


Fig. 9.9. Compresor rotativ cu palete.

## D. SURSE DE ALIMENTARE

### 1. INTRODUCERE

În funcție de complexitatea sistemului de acționare hidraulică sau pneumatică, pentru producerea agentului motor (ulei sau aer comprimat) se folosește în cazul cel mai general o instalație completă denumită, ca și în cazul acționărilor electrice, sursă de alimentare.

Se vor distinge, astăzi, surse de alimentare hidraulice, respectiv pneumatice, care asigură uleiul sub presiune, sau aerul comprimat la parametrii impuși de acționarea respectivă.

Pentru ambele cazuri, sursele de alimentare (hidraulice sau pneumatice) se realizează sub forma a *două tipuri* diferite și anume:

- **surse pentru alimentarea elementelor de măsurare, comandă, reglare** (ca, de exemplu: traductoare, amplificatoare, regulatoare etc.), caz în care interesează valoarea informațională a presiunii uleiului sau

a aerului comprimat. Aceste surse se caracterizează prin presiuni mici și puteri reduse;

- surse pentru alimentarea motoarelor de acționare hidraulice sau pneumatică, caz în care interesează valoarea energetică (puterea) a presiunii uleiului sau aerului comprimat. Aceste tipuri de surse care interesează în cazul de față sunt caracterizate prin presiuni și puteri mari.

- Trebuie precizat faptul că pentru ambele tipuri de surse arătate mai sus, structurile principale sunt în linii generale aceleași; ele vor fi descrise mai jos.

## 2. SURSE HIDRAULICE

În figura 9.10 este prezentată schema de principiu a unei surse de alimentare cu ulei sub presiune. Pompa cu roți dințate  $P$  (v. fig. 9.5) acționată de motorul electric  $M$  absoarbe uleiul dintr-un rezervor  $R$  cu „suprafață liberă”, adică la presiune atmosferică, printr-un filtru  $F_1$  și îl impinge într-un rezervor sub presiune  $A$ , numit conservator sau acumulator de ulei. În calea sa, uleiul străbate filtrul de ieșire  $F_2$ , „clapeta antiretur”  $C$  — supapă — care asigură circulația unidirectională a uleiului și vana (*ventil*) de intrare  $V_A$ .

Rezervorul  $A$  este separat de o membrană elastică  $E$  în două compartimente ( $1$  și  $2$ ) în care se află ulei, respectiv aer comprimat adus de la un compresor prin vana  $V_B$ . În acest mod, aerul fiind compresibil asigură presiunea necesară uleiului, presiune care altfel nu ar fi putut să fie realizată întrucât uleiul (ca în general toate lichidele) este incompresibil. Uleiul sub presiune este transmis prin vana  $V_C$  la o „bară de distribuție”  $C$ , de la care printr-o serie de vane individuale  $V_1$ ,  $V_2$ ... este trimis la „utilizare” (diverse motoare de acționare hidraulică). Uleiul „uzat” adică practic la presiunea atmosferică, este colectat pe o bară  $B$  (conductă) și prin conducta de „retur” este adus înapoi în rezervorul  $R$ , de unde își reia circuitul.

Rezervorul  $R$  mai cuprinde o serie de pereti verticali  $S$  parțial despartitori alternând sus și jos, care constituie „sicane” în drumul uleiului de la return la filtrul de absorție  $F_1$ . Acest lucru asigură decantarea (depușirea) particulelor solide care se formează în ulei. O vână de fund  $D$  permite eliminarea („purjarea”) reziduurilor solide din ulei în atmosferă. Sistemul mai este prevăzut la ieșirea din pompă cu o vână de strângere cu supapă de siguranță  $L$ , care îndeplinește următoarele funcții:

- conduce înapoi în rezervor surplusul de ulei pompat atunci când consumul de ulei este redus\*;

\* Evident, pompa (generatorul)  $P$  care funcționează continuu trebuie să asigure debitul necesar de ulei în cazul consumului maxim.

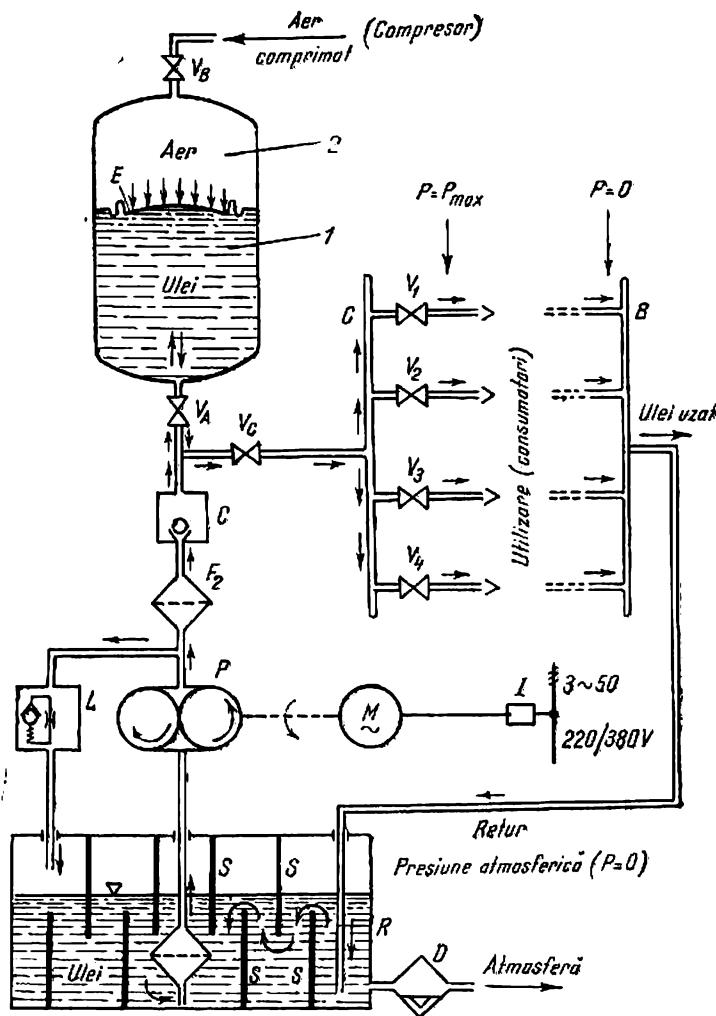


Fig. 9.10. Schema principală a unei surse hidraulice.

— deschide brusc supapa de siguranță care asigură circulația uleiului înapoi în rezervorul  $R$ , atunci cînd presiunea sa atinge o valoare inadmisibilă.

### 3. SURSE PNEUMATICE

În figura 9.11 este prezentată schema principală a unei surse pneumatice. Compresoarele — generatoarele pneumatice —  $C_1, C_2 \dots$  antrenate de motoare electrice  $M_1, M_2 \dots$  absorb aerul din atmosferă printr-un filtru  $F_1$ , refolindu-l prin schimbătoare de căldură  $S_1, S_2 \dots$ , vane  $V_1, V_2 \dots$  și un filtru  $F_2$  în rezervorul („tampon“) de aer  $R$ .

Schimbătoarele de căldură (răcitoarele) răcitoare cu apă au rolul de a prelua căldura degajată de aerul comprimat (adiabatic) la ieșirea din compresoare.

Rezervorul asigură o anumită rezervă de aer („tampon“) în perioada în care compresoarele nu funcționează, motoarele electrice fiind comandate (pornite/oprite) prin „releele pneumatice“  $P_1, P_2 \dots$  alimentate chiar cu aer din rezervor\*.

Rezervorul respectiv este prevăzut cu un ventil de curățire  $E$  — „purjor“ — în atmosferă și cu o supapă de siguranță  $A$  — „eșapare

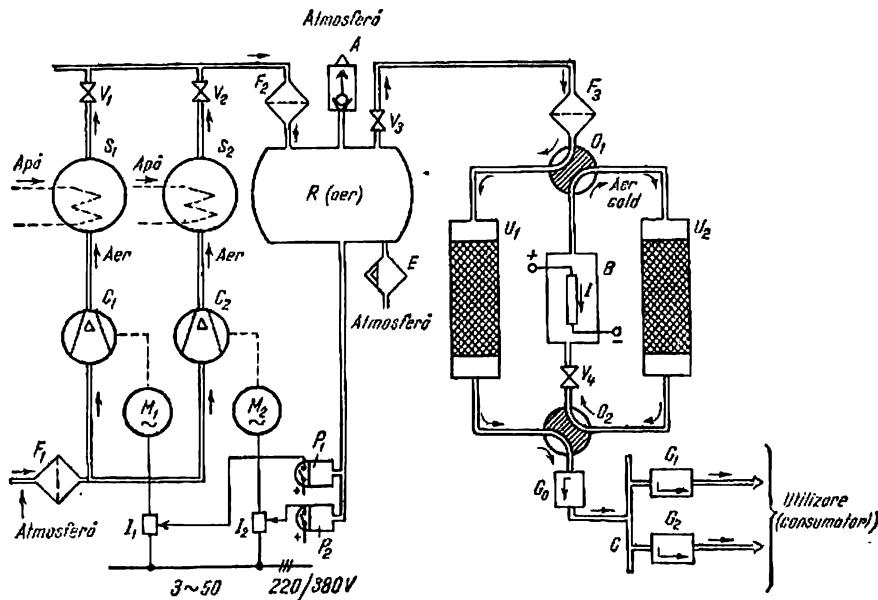


Fig. 9.11. Schema principală a unei surse pneumatice.

\* În acest mod se asigură pornirea motocompresoarelor cînd presiunea scade (de exemplu  $P < 1,4$  atm) și oprirea acestora cînd presiunea depășește o anumită valoare ( $P > 1,6$  atm).

rapidă" — care se deschide în atmosferă în cazul unei presiuni periculoase în rezervor. Din rezervor, aerul comprimat este trimis printr-o vană  $V_3$  și un filtru  $F_3$  printr-o coloană de uscare ( $U_1$  sau  $U_2$ ) către conducta de utilizare  $C$ .

Coloanele de uscare au rolul de a elimina vaporii de apă din aer care au fost absorbiți din atmosferă o dată cu aerul.

Usarea aerului se realizează de obicei pe cale chimică, folosind substanțe absorbante cum ar fi, de exemplu, oxidul de siliciu sau alumina.

● **Atenție!** Prezența vaporilor de apă sau a condensului în aerul comprimat riscă să însufde unele orificii sau să producă coroziunea metalelor din instalație.

Cu ajutorul unor distribuitoare cu două căi ( $D_1$  și  $D_2$ ) — vezi figura 9.7. — aerul este trecut printr-una din coloanele de uscare ( $U_1$ ) cuprinzând oxidul de siliciu, în timp ce celalătă ( $U_2$ ) este „regenerată” prin suflarea cu aer cald de la un cuptor electric  $B$ . Prin manevrarea simultană a celor două distribuitoare, cele două coloane își inversează funcțiile. La intrarea pe bara de distribuție  $C$ , precum și pe fiecare conductă de alimentare a consumatorilor, se prevăd „regulatoare directe” de presiune  $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ ... care asigură o presiune  $p_0$  constantă la utilizare (de exemplu  $p_0 = 1,4$  atm).

După folosire, aerul „uzat” este eliminat, bineînțeles, în atmosferă.

## E. EXEMPLE DE ACTIONĂRI HIDRAULICE ȘI PNEUMATICE

● În figura 9.12 este prezentată principial schema de acționare a unei prese hidraulice. Uleiul sub presiunea  $p_1$  (de exemplu  $p_1 = 300$  atm) obținut de la sursa de alimentare este refuzat prin distribuitorul  $D$  (canalul 1–2) în cilindrul  $C$  al motorului liniar  $M$ . Pistonul  $P$  deplasează platforma  $F$  comprimind (presind) sarcina  $S$ . În același timp, uleiul uzat este condus prin distribuitor (canalul 3–4) înapoi la sursă. Prin rotirea cu  $90^\circ$  a distribuitorului  $D$  (canalele 1–3 și 2–4), motorul liniar se deplasează invers.

● În figura 9.13 este prezentată schema de acționare pneumatică a unui separator electric. Prin manevrarea manetei  $M$  în poziția „închis”, sertășul  $S$  (distribuitor liniar) se deplasează ca în figură, aerul comprimat din rezervorul  $R$  trece prin compartimentul 1 în conducta  $I$  și impinge pistonul  $P$  în cilindrul  $C$ , acționând la închidere separatorul  $E$ . Se observă că aerul din spatele pistonului este evacuat în atmosferă prin conducta  $D$  și compartimentul 2.

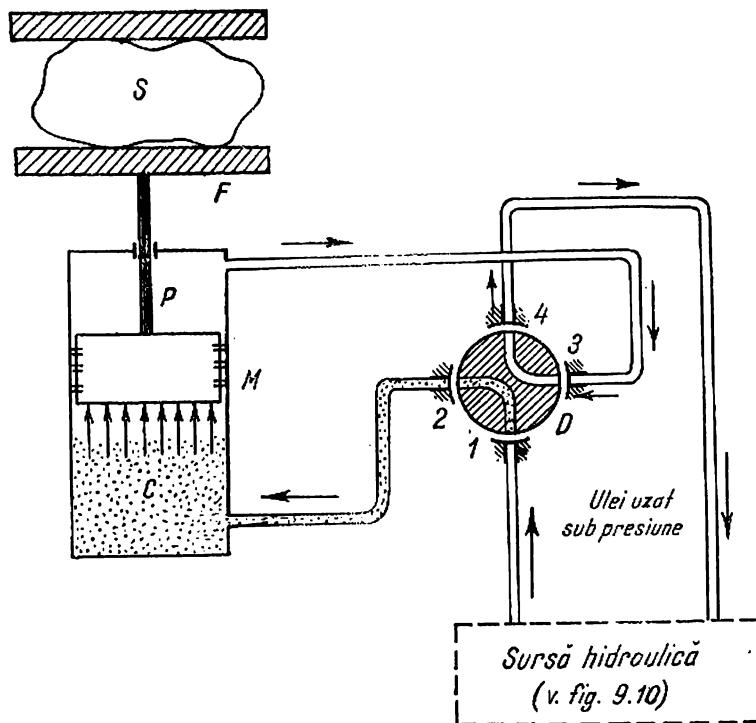


Fig. 9.12. Acționarea unei prese hidraulice.

La manevrarea manetei  $M$  în sens invers („deschis“) deplasarea sertărușului este inversă (desenată punctat), iar pistonul  $P$  este acționat invers producind deschiderea separatorului.

○ **Observație.** Exemplul cu separatorul reprezintă un caz din multe altele; este ușor de observat că în locul cuțitului separatorului se putea afla un organ de mașină cu o mișcare similară, de exemplu: ușa unui cuptor, o paletă de reglare în circuitul unui fluid, cîrma unui vas etc. De asemenea, în locul aerului comprimat se putea folosi ulei sub presiune, același exemplu fiind valabil și pentru o acționare hidraulică, cu observația că uleiul uzat trebuie recuperat.

● În unele cazuri pentru a îmbina avantajele sistemelor hidraulice și a celor pneumatice se folosesc sisteme de acționare mixte (hidraulice + pneumatice) numite și sisteme *oleopneumatic*. Astfel, de exemplu, în figura 9.14 este prezentat un sistem de acționare oleopneumatică.

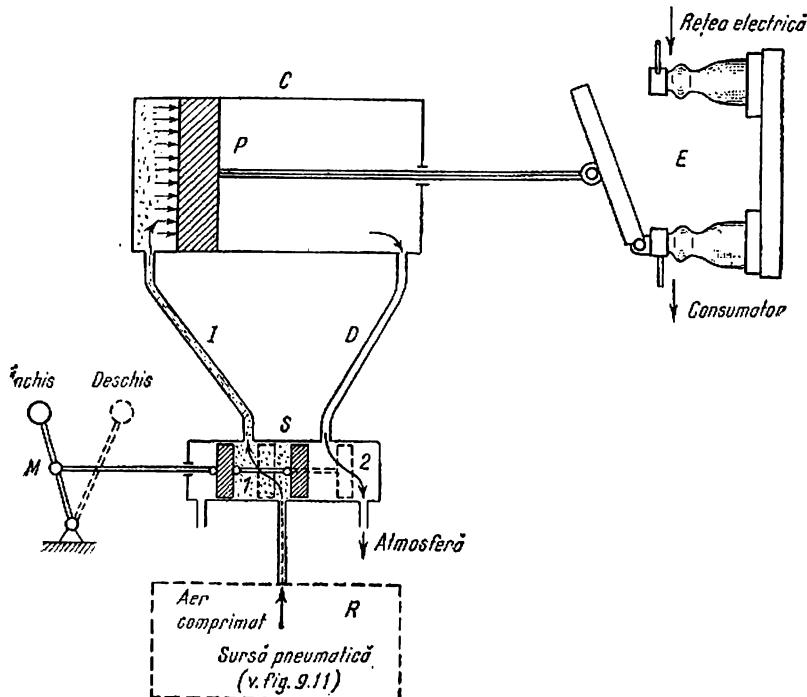


Fig. 9.13. Acționarea pneumatică a unui separator electric.

(tip MOP) folosit la comanda intreruptoarelor de 110, 220 și 400 kV, de tip I.O., fabricate la Întreprinderea „Electroputere“ din Craiova.

Pompa (generatorul) de ulei  $P$  acționată de motorul electric  $M$  absoarbe uleiul uzat și îl impinge în acumulatorul de energie  $A$  (realizat sub formă unui cilindru cu piston), precum și în rezervorul tampon  $T$  aflat în derivație. Presiunea înaltă a uleiului (circa 300 atm) este realizată cu ajutorul unei butelii  $B$  conținând azot sub presiune ( $p > 300$  atm), ce acționează asupra pistonului  $E$  din acumulatorul  $A$ . Uleiul sub presiune este adus la intrarea „electroventilelor“ de comandă  $V_I$  și  $V_D$ . Pentru închiderea intreruptorului  $I$  de înaltă tensiune este comandată electric de la distanță bobina  $B_I$  („motor solenoidal“ — v. fig. 13.2) prin butonul de comandă  $O_I$ , ceea ce are ca efect deschiderea ventilului  $V_I$ . Uleiul sub presiune pătrunde prin conducta  $C_I$  și împingând în jos pistonul motorului liniar  $L$  (v. fig. 13.4) produce închiderea intrerupto- rului  $I$ .

Totodată, prin conducta  $K_I$ , este acționat tot cu ulei sub presiune „releul hidraulic”  $S$  care, închizind contactul electric  $E_I$ , aprinde lampa  $L_I$  și semnalizează astfel „întreruptor inchis”. Similar, comanda electrică de declanșare dată prin butonul  $O_D$  și bobina  $B_D$  produce deschiderea electroventilului  $V_D$  și trimiterea uleiului sub presiune la motorul  $L$ , care este acționat în sens invers producind deschiderea înnreruptorului  $I$ . Concomitent, prin conducta  $K_D$ , este acționat în sens invers și releul de semnalizare  $S$ , care prin închiderea contactului electric  $E_D$  aprinde lampa  $L_D$  indicând astfel „întreruptor deschis”.

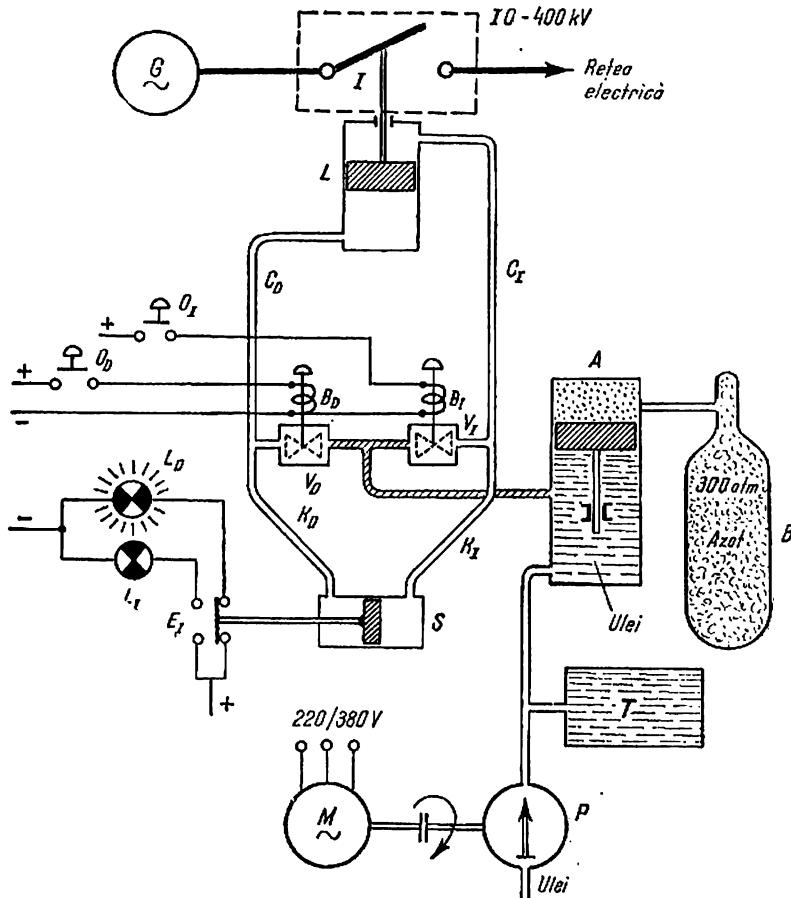


Fig. 9.14. Sistem de acționare oleopneumatic al înnreruptorului I.O.  
110–400 kV.

Constructiv, dispozitivul de acționare oleopneumatic prezentat mai cuprind o serie de elemente care blochează manevrarea intreruptorului în anumite condiții ca, de exemplu: presiunea azotului este redusă, cantitatea de ulei este insuficientă etc.

## REZUMAT

1. Ca și acționările electrico, acționările hidraulice (pneumatice) cuprind următoarea succesiune de elemente hidraulice (pneumatice):

GENERATOR (pompă) → APARATE → MOTOR-SARCINĂ

2. La majoritatea acționărilor hidraulice (pneumatice), generatoarele sunt an trenate de motoare electrice și uneori de motoare diesel (de exemplu locomotiva diesel-hidraulică).

3. Avantajele principale ale sistemelor hidraulice constă în obținerea unor forțe mecanice mari eliminând unele organe suplimentare din instalație.

4. Avantajele principale ale sistemelor pneumatice constă în folosirea lor în medii explozive și la orice temperatură a mediului ambient.

5. Dezavantajele sistemelor hidraulice și pneumatice rezidă în costurile de investiție și întreținere suplimentare.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Acționările pneumatice se realizează:

- a) numai cu circuit închis?
- b) numai cu circuit deschis?
- c) cu circuit deschis sau închis?

2. Acționările pneumatice prezintă față de cele electrice următoarele avantaje principale:

- a) simplifică și deci ieftinește instalația în ansamblu?
- b) pot fi folosite în orice mediu?
- c) asigură turajii mai mari mașinilor antrenate?

3. Pompa hidraulică cu roți dințate poate asigura:

- a) debite mari în circuite?
- b) presiuni și debite variabile?
- c) presiuni mari?

4. Acționările hidraulice prezintă față de cele pneumatice următoarele avantaje:

- a) realizează viteze de lucru mai mari?
- b) nu sunt supuse la îngheț?
- c) asigură forțe mai mari?

## CAPITOLUL 10

### INTRODUCERE ÎN AUTOMATICĂ

#### A. OBIECTUL ȘI IMPORTANȚA AUTOMATICII

În procesele de producere a bunurilor materiale, o importanță deosebită o are automatizarea acestor procese, adică realizarea lor fără participarea directă a omului.

Un proces de producție — tehnologic — are loc într-o instalație tehnologică și se desfășoară în anumite condiții fizice, fiind caracterizat (fig. 10.1) de:

- cantități (fluxuri) de materie și energie  $F_i$  transmise procesului în unitatea de timp (fluxuri de intrare);
- cantități de materie și energie  $F_e$  extrase din proces în unitatea de timp (fluxuri de ieșire);
- cantități de materie și energie  $F_a$  acumulate (stocate) în proces (în instalația tehnologică) în unitatea de timp.

Este evident că, în conformitate cu legea conservării materiei (energiei), aceste trei fluxuri:  $F_i$ ,  $F_e$  și  $F_a$  sunt interdependente pe baza următoarei ecuații de bilanț:

$$F_i - F_e = F_a. \quad (10.1)$$

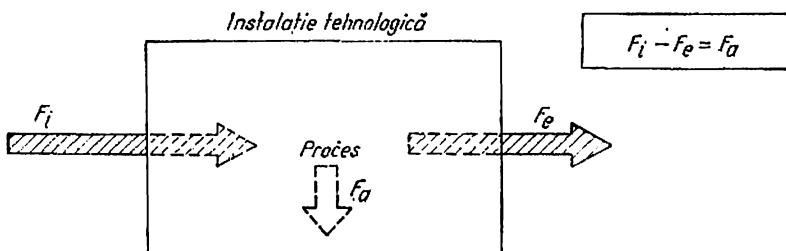


Fig. 10.1. Schema bloc a unei instalații tehnologice.

În cazul particular în care  $F_a = 0$ , procesul se află în *regim staționar*:

$$F_i - F_e = F_a = 0, \quad (10.2)$$

sau:

$$F_i = F_e. \quad (10.3)$$

Fluxurile de materie și energie care contribuie la realizarea proceselor de producție sunt caracterizate printr-o serie de mărimi fizice (parametri) între care există relații de interdependentă, consecințe a unor legi cunoscute din fizică. De exemplu, la un cazan pentru producerea aburului intervin o mulțime de parametri, cum sunt: debitul, temperatura și presiunea aburului, debitul combustibilului și a apei de alimentare, capacitatea calorifică a combustibilului, temperatura în focar, temperatura mediului înconjurător etc. Aceste mărimi sunt legate între ele printr-o serie de legi: transmisia căldurii prin perete (legea Fourier), conservarea energiei etc. Datorită acestui fapt, modificarea în procesul de producție a unor dintre acești parametri datorită necesităților tehnologice din afara instalației respective (mărimi perturbatoare) atrage după sine modificarea corespunzătoare a altor parametri din interiorul instalației. Astfel, în exemplul de mai sus, debitul de abur variind în funcție de consum pe baza legilor amintite, temperatura și presiunea aburului debitat de cazan vor varia și ele.

Se observă deci, din exemplul dat, că satisfacerea unei necesități a producției, și anume furnizarea unui debit variabil de abur influențează asupra calității acestuia în sensul că temperatura și presiunea aburului respectiv cresc sau scad. Această deficiență este remediată de către omul care exploatează instalația respectivă; acesta măsoară sau controlează valoarea parametrilor care-l intereseză (în exemplul dat, măsoară temperatura și presiunea), adică se „informează“ asupra procesului și comandă modificarea prin anumite elemente ale instalației (în exemplul dat, comandă admisia cantității de combustibil și de apă de alimentare, prin deschiderea sau închiderea unor vane). În alte cazuri, procesul de măsurare a unor parametri din instalație este însoțit simultan de comanda instalației respective, astfel ca acei parametri să fie menținuți la valori dorite (prescrise). Se spune că parametrii respectivi se *regleză*.

Aceste funcții, de: *măsurare, comandă, reglare*, precum și altele, ce vor fi analizate în cele de urmează, au fost scoase treptat de sub acțiunea directă a omului și trecute în seama unor dispozitive de automatizare ce se studiază în cadrul disciplinei numită *automatică*.

**Automatica este o ramură a științei și tehnicii care cuprinde totalitatea metodelor și a mijloacelor tehnice de stabilire a unor legături corespunzătoare între instalațiile tehnologice și dispozitivele nou introduse, astfel încât**

*conducerea proceselor de producție să se desfășoare fără intervenția directă a omului.*

Așadar, se poate spune în linii generale că relația „om-instalație tehnologică“ cuprinde două funcții generale, distincte (fig. 10.2):

- funcția de informare a omului asupra mărimilor din procesul tehnologic, realizată de la instalație spre om;
- funcția de comandă a procesului tehnologic de către om, realizată de la om spre instalație.

Aceste două funcții generale sunt interdependente și corelate între ele, în sensul că informarea asupra procesului determină comanda elementelor din instalație (sau proces), în timp ce consecința comenzi este modificarea parametrilor din proces, care determină o nouă informare și.a.m.d.

Această dublă relație OM-MAȘINĂ, concretizată prin funcțiile generale de informare și comandă, poartă denumirea de *conducere sau direcțare a mașinii*, a instalației sau a procesului respectiv.

Atât timp cât conducerea instalației (a procesului) se efectuează de către om („operator uman“), ea se numește conducere neautomată (sau, impropriu-zis, „manuală“), înțelegind prin aceasta intervenția manuală a omului.

*Prelucrarea funcțiilor omului de către dispozitive de automatizare (automate)* reprezintă conducerea automată sau automatizarea instalației (a procesului) respective.

Funcțiile complexe de informare și comandă sunt similare cu cele arătate în figura 10.2, cu observația că în locul omului a apărut dispozitivul de automatizare (fig. 10.3).

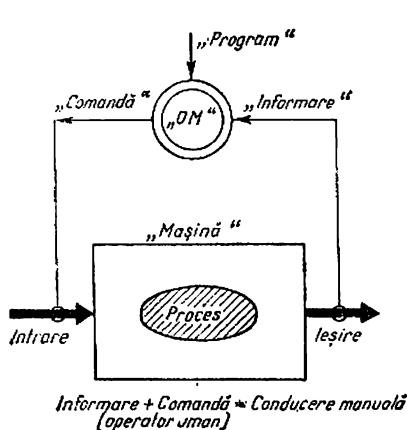


Fig. 10.2. Relația „om-instalație“.

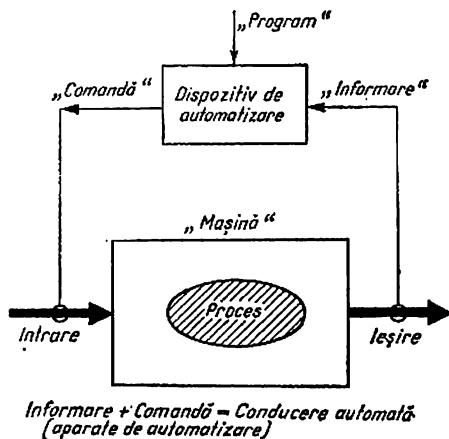


Fig. 10.3. Relația „automat-instalație.“

*Ansamblul instalații tehnologice — dispozitiv de automatizare poartă numele de instalație (sistem) automată.*

După cum se va vedea mai departe, se disting: sisteme de măsurare automată, sisteme de comandă automată, sisteme de reglare automată etc.

În cadrul funcțiilor generale enumerate mai sus se definesc următoarele funcții elementare întâlnite în automatică: *măsurarea, comanda și semnalizarea*.

În afara acestor funcții elementare, în automatică se mai întâlnesc și alte funcții cu caracter complex, care pot fi considerate ca o combinare a celor elementare; astfel sunt: *reglarea, controlul, protecția* etc.

● **Măsurarea** reprezintă *informarea cu caracter cantitativ asupra mărimilor din procesul tehnologic*. Prin măsurare se asigură, de exemplu, determinarea valorilor presiunii, temperaturii, debitului, puterii etc. În funcție de caracterul semnalului, măsurarea poate fi:

— *continuă*, atunci cînd valorile măsurate ale parametrilor sunt transmise permanent;

— *discontinuă (discretă)*, atunci cînd valorile respective sunt transmise din timp în timp (de exemplu: automat, din minut în minut sau „la cerere“, adică după dorința unui operator).

● **Semnalizarea** reprezintă *informarea cu caracter calitativ asupra situației de stare (poziție) sau de funcționare a unor elemente din instalație sau a instalației în ansamblu*; de exemplu: poziția închis-deschis a unor vane sau întreruptoare, ieșirea din limite (sub-peste) a unor parametri, funcționarea normală-anormală (avarie) a instalațiilor etc.

Se constată caracterul discontinuu (discret) de tip binar („da-nu“) al semnalizării, adică posibilitatea de asociere la cele două stări a celor două semne logice elementare (1 sau 0).

Semnalizarea (prin definiție discontinuă) poate fi:

— *optică*, adică cînd este finalizată prin aprinderea („1“) a unui bec stins („0“);

— *acustică*, atunci cînd este finalizată prin sonerie sau hupă.

● **Comanda** reprezintă acțiunea cu caracter cantitativ sau calitativ asupra situației de stare sau de poziție a unor elemente din instalația tehnologică în scopul modificării continue, respectiv discrete, a valorilor unor parametri; de exemplu: comanda de modificare a poziției unor vane sau ventile, comanda de închidere-deschidere a unor întreruptoare, comanda de pornire-oprire a motoarelor, comanda de sortare bun-rebut a unor piese etc.

Așa cum rezultă din exemplele de mai sus, comanda poate fi:

— *continuă*, atunci cînd acțiunea are caracter cantitativ, conducind la modificări continue ale unor organe de execuție sau mașini (varierea poziției vanelor, varierea vitezei motoarelor etc.) în scopul modificării

continuă a parametrilor din instalație (de exemplu debit — cantitate de substanță — viteză etc.);

— *discontinuu*, atunci cind acțiunea are caracter calitativ, conducind la modificări discrete ale unor organe de execuție sau mașini (deschiderea-inchiderea vanelor, pornirea-oprirea motoarelor etc.), în scopul modificării discontinue a parametrilor din instalație („tot sau nimic“).

● *Reglarea* reprezintă comanda unor elemente din instalația tehnologică, deci modificarea unor mărimi aferente procesului tehnologic, în scopul menținerii uneia sau a mai multor parametri la anumite valori prescrise — mărime „program“ sau „de consemn“ (de exemplu, menținerea constantă a temperaturii aburului dintr-un cazan sau menținerea constantă a tensiunii unui generator electric) — v. cap. 17.

Sistemele de reglare automată se mai numesc și *sisteme automate cu circuit închis*, spre deosebire de celelalte descrise anterior, care se numesc cu circuit deschis.

● *Controlul* reprezintă o funcție complexă de automatizare, prin care măsurarea continuă a unui parametru se efectuează în scopul sesizării momentului în care parametrul respectiv a ieșit din anumite limite prescrise. Caracterul discontinuu al controlului este pus în evidență, de obicei, printr-o semnalizare (optică sau acustică), prin care se finalizează procesul de măsurare.

De exemplu: temperatura este sub  $500^{\circ}\text{C}$  (semnal „0“ sau peste  $500^{\circ}\text{C}$  (semnal „1“) sau presiunea este cuprinsă între 18 și 25 atm (semnal „0“) sau a scăzut sub 18 atm ori a depășit 25 atm (semnal „1“).

În cazul în care controlul se referă la calitatea unor produse, el poate fi finalizat nu numai printr-o semnalizare, ci printr-o comandă discontinuu, care într-o formă adecvată, separă produsele bune (semnal „0“) de cele rebutate (semnal „1“). Acest sistem de control se numește *sortare automată*.

● *Protecția* reprezintă o funcție complexă de automatizare prin care măsurarea continuă a unor parametri din instalație se efectuează în scopul sesizării momentului în care instalația condusă să defecată parțial sau total, comandindu-se oprirea pârților defecte, sau a instalației în ansamblu. Trebuie observat că: comanda trebuie să fie discontinuu (închiderea vanelor, deschiderea intreruptoarelor etc.) și ireversibilă, adică comanda rămâne definitivă independent de valoarea parametrilor măsuраți ulterior, până ce defecțiunile au fost remediate și instalația este repusă în funcțiune.

Funcțiile complexe din automată nu sunt limitate, ci ele pot apărea pe măsura dezvoltării proceselor tehnologice, deci pe măsura dezvoltării automatizărilor.

## B. NECESITATEA ȘI AVANTAJELE AUTOMATIZĂRII PROducțIEI

Necesitatea introducerii automatizărilor rezidă în *avantajele* substanțiale pe care aceasta le oferă:

- eliberarea omului de la conducerea nemijlocită, directă, a proceselor și instalațiilor tehnologice de producție, activitate umană obositore și depășită în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii. În acest mod se reduce atât munca fizică, cît și munca intelectuală necreatoare, de rutină;
- creșterea vitezei de lucru a mașinilor și utilajelor și, implicit, creșterea apreciabilă a producției și a productivității muncii; procesul de producție decurge ritmic, fără tempi morți sau tempi de odihnă;
- folosirea intensivă a agregatelor, mașinilor și utilajelor prin creșterea indicatorilor de utilizare ai acestora;
- realizarea proceselor de producție în condițiile creșterii substanțiale a calității produselor;
- reducerea considerabilă a cheltuielilor de producție prin reducerea consumurilor specifice de materie primă și materiale.

Deși introducerea automatizării implică investiții suplimentare, reducerea cheltuielilor pe ansamblul investiției și implicit reducerea costului produselor sunt evidente.

## C. FAZELE EVOLUTIVE ALE PROCESELOR DE PROducțIE

### 1. PROCESUL MANUAL

Pe măsura dezvoltării științei și tehnicii, procesele de producție au suferit o transformare continuă, respectiv o reducere treptată a muncii fizice a omului, compensată de o creștere corespunzătoare a muncii intelectuale.

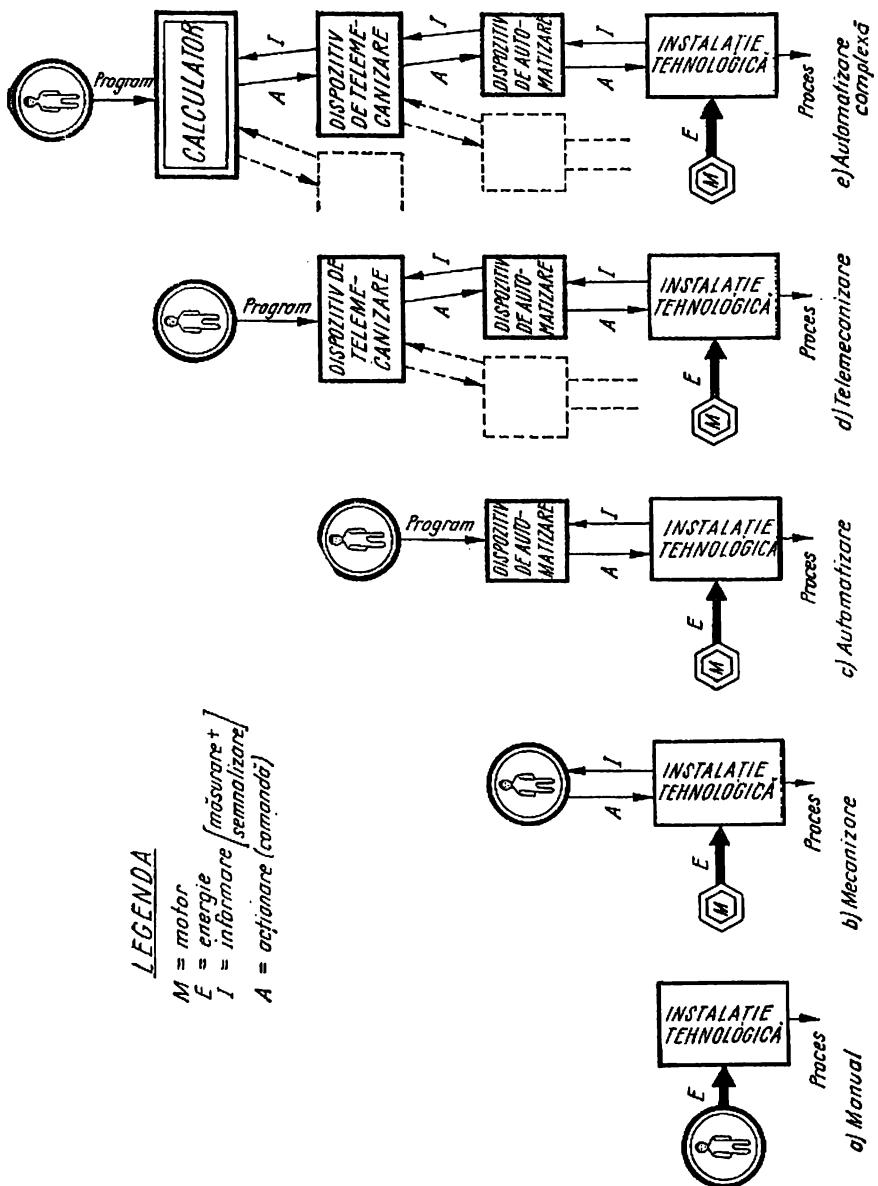
În procesul manual (fig. 10.4, a), omul cedează instalației tehnologice energia mecanică necesară din însăși forță sa musculară. Evident că și procesul de conducere se manifestă prin același „canal energetic“.

### 2. MECANIZAREA

Prin folosirea energiei mecanice obținute de la diverse tipuri de motoare — în special motoare electrice — procesele de producție cunosc o nouă fază de dezvoltare: *mecanizarea*. În procesul de mecanizare omul conduce instalația tehnologică (se informează și comandă), însă motorul este acela care o acționează (fig. 10.4, b).

LEGENDA

M = motor  
 E = energie  
 I = informare [măsurare +]  
 A = acționare (comandă)



### 3. AUTOMATIZAREA

S-a arătat că prin introducerea automatizării funcția omului este preluată de dispozitivul de automatizare (fig. 10.4, c). Omul nu mai trebuie deci să comande închiderea sau deschiderea unor vane, pornirea sau oprirea unor agregate etc., sarcina respectivă trecind în seama elementelor de automatizare.

Pentru introducerea automatizării este necesar, de exemplu, ca întreruptoarele să fie prevăzute cu dispozitive de comandă, vanele — cu motoare de acționare (servomotoare) etc., adică instalația în ansamblu sau părțile din instalație supuse automatizării trebuie să fie în prealabil mecanizate.

### 4. TELEMECANIZAREA

Uneori, o serie de instalații tehnologice repartizate pe o suprafață relativ mare pot lucra într-o legătură funcțională de interdependență, constituind o instalație complexă.

Conducerea la distanță a unor obiecte dispersate pe un teritoriu relativ mare, la distanțe de zeci sau sute de kilometri, necesitând o serie de canale de legătură (linii fizice sau prin radio etc.) prin care să se transmită diversele „semnale” de măsurare, comandă, semnalizare etc. reprezentă telemecanizarea instalațiilor respective.

Știința care se ocupă de telemecanizare poartă numele de *telemecanică* (v. cap. 18).

Telemecanizarea unei anumite instalații tehnologice presupune o automatizare completă a obiectivului respectiv (fig. 10.4, d).

### 5. CONDUCEREA PRIN CALCULATOR

Cea mai înaltă formă de organizare a proceselor de producție o reprezintă conducerea prin calculator a proceselor de producție, fază care se mai numește și „automatizare complexă” (fig. 10.4, e). Aceasta constă în prevederea la instalațiile tehnologice automatizate și eventual telemecanizate a unor calculatoare electronice care efectuează procese „de gîndire” asemănătoare cu cele produse în creierul omenesc și impun anumite decizii în conducerea unui proces tehnologic complex (v. cap. 20).

Din figura 10.4 care reprezintă, aşadar, fazele evolutive ale proceselor de producție, se constată evoluția poziției omului față de evoluția tehnică a proceselor de producție.

## D. ELEMENTELE COMPONENTE ALE SISTEMELOR AUTOMATE

S-a arătat că un sistem automat a rezultat din aplicarea unui dispozitiv de automatizare la o instalație tehnologică. Întregul ansamblu este format dintr-o serie de părți constitutive, numite elementele sistemelor automate.

Elementele sistemelor automate sint aşadar două grupe de obiecte distincte din punct de vedere structural și funcțional, și anume:

— *elementele instalației tehnologice*, constituind părțile componente ale instalației ce realizează procesul tehnologic; din această categorie fac parte — de exemplu — diverse cazane, pompe, conducte, motoare, rezervoare, turbine, generatoare etc.;

— *elementele de automatizare*, care reprezintă părțile constitutive ale dispozitivelor de automatizare.

Elementele de automatizare se construiesc într-o gamă foarte largă și foarte variată. Ele pot avea o structură mai simplă sau mai complexă, corespunzător scopului de automatizare propus.

Pe baza unor trăsături comune, elementele de automatizare se pot clasifica în mai multe feluri:

— după principiul construcției și funcțional se deosebesc: traductoare, adaptoare, amplificatoare, rele, stabilizatoare, distribuitoare, convertoare etc.

— după felul energiei auxiliare folosite elementele de automatizare se împart în elemente: electrice, pneumatice, hidraulice și elemente mixte (de exemplu electrohidraulice).

În acest manual vor fi studiate elemente cu o structură mai complexă, regulatoarele (v. cap. 14), care cuprind diverse elemente din cele arătate mai sus (de exemplu: adaptoare, amplificatoare, stabilizatoare etc.), folosesc mai multe feluri de energie (de exemplu: regulatoare electropneumatische) și au o comportare complexă în regim dinamic (de exemplu: regulatoare proporțional-integratoare etc.).

La începutul dezvoltării automatizărilor, elementele de automatizare au fost realizate într-o formă specializată („neunificate“), valorile parametrilor de intrare și de ieșire ale elementelor prevăzute într-o schemă fiind diferite de la caz la caz.

În prezent, pe măsura introducerii pe scară largă a automatizărilor, s-a procedat la unificarea elementelor de automatizare în sensul că „semnalele“ de ieșire ale unor elemente similare sunt același („unificate“). De exemplu: semnalul unificat de curent continuu este: 2–10 mA sau 4–20 mA, semnalul unificat de presiune este 0,2–1 kgf/cm<sup>2</sup> etc. (v. cap. 11).

Industria româncască realizează un amplu sortiment de elemente de automatizare, care satisfac marea majoritate a cerințelor întâlnite în

înstațiiile industriale. În cadrul Întreprinderii de elemente pentru automatizare — IEA — se realizează și un *sistem electronic unificat* denumit sistemul E, purtătorul informațiilor fiind semnalul de curent continuu cu „zero viu“ ( $x_i = 0$ ;  $x_e = 0,2$  mA).

În figura 10.5 se prezintă schema generală a sistemului electronic unificat „E“, iar în figura 10.6 — schema generală a sistemului electronic neunificat.

SCHEMA GENERALĂ A SISTEMULUI ELECTRONIC UNIFICAT „E“

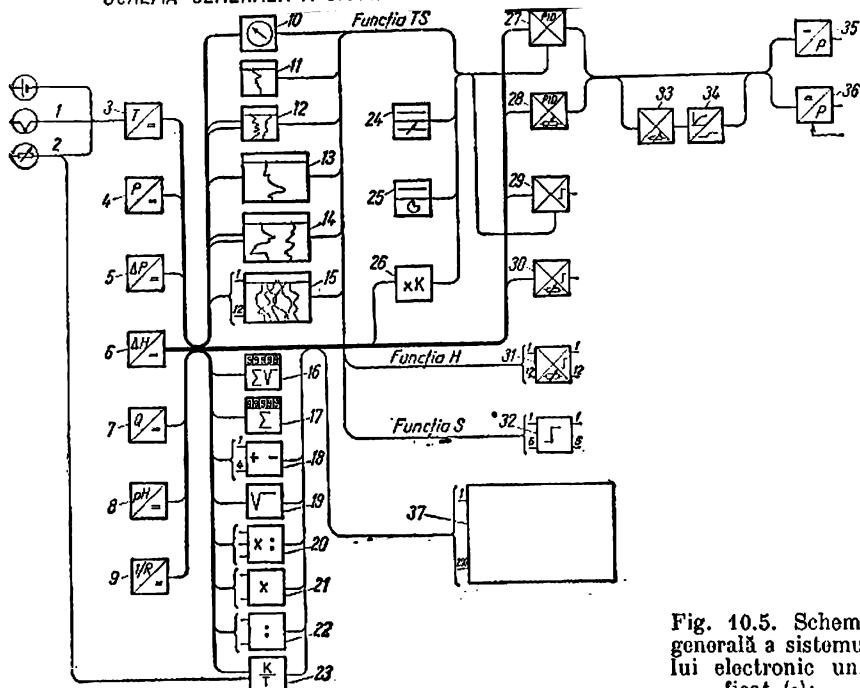


Fig. 10.5. Schema generală a sistemului electronic unificat (e):

1. Termocupluri
2. Termorezistențe
3. Adaptoare ELT 160 / ELT 161
4. Traductoare de presiune AT (10, 20, 40)/ELT 370
5. Traductoare de presiune diferențială ELT 271/ELT 370 AT 30/ELT 370
6. Traductor de nivel AT 50/ELT 370
7. Traductoare de debit FL 281/ELT 530 DR 100/ELT 310
8. Traductoare de pHW (62, 63, 64)/ELT 630
9. Traductor de conductivitate W 44/ELT 730
10. Indicator electronic ELR 10
11. Înregistrător electronic ELR 35
12. Înregistrător electronic dublu ELR 45
13. Înregistrător electronic mare ELT 38
14. Înregistrător electronic mare, dublu ELR 46
15. Înregistrător electronic multipunct ELR 36(A)
16. Integrator de rădăcina patră ELI 103
17. Integrator liniar ELI 112
18. Element de adunare-scădere ELX 210
19. Extractor de rădăcina patră ELX 220
20. Element de înmulțire-împărțire ELX 230
21. Element de împărțire ELX 231
22. Element de înmulțire ELX 241
23. Element de compensare a temperaturii ELX 240
24. Element de referință ELX 415
25. Programator ciclic ELX73
26. Element de raport ELX 126
27. Regulator electronic PI/PID ELC 111
28. Regulator electronic PI/PID ELC 113
29. Regulator bipolarizabil ELX 75
30. Regulator tripozitional ELX 176
31. Regulator bipolarizabil multipunct X 74
32. Element de semnalizare multipunct X 74
33. Element de comandă manuală ELX 127
34. Element de limitare ELX 117
35. Conversor electropneumatic ELA 104
36. Poziționer electropneumatic ELA 114
37. Instalație de control centralizat MCC 200.

## SCHEMA GENERALĂ A SISTEMULUI ELECTRONIC NEUNIFICAT

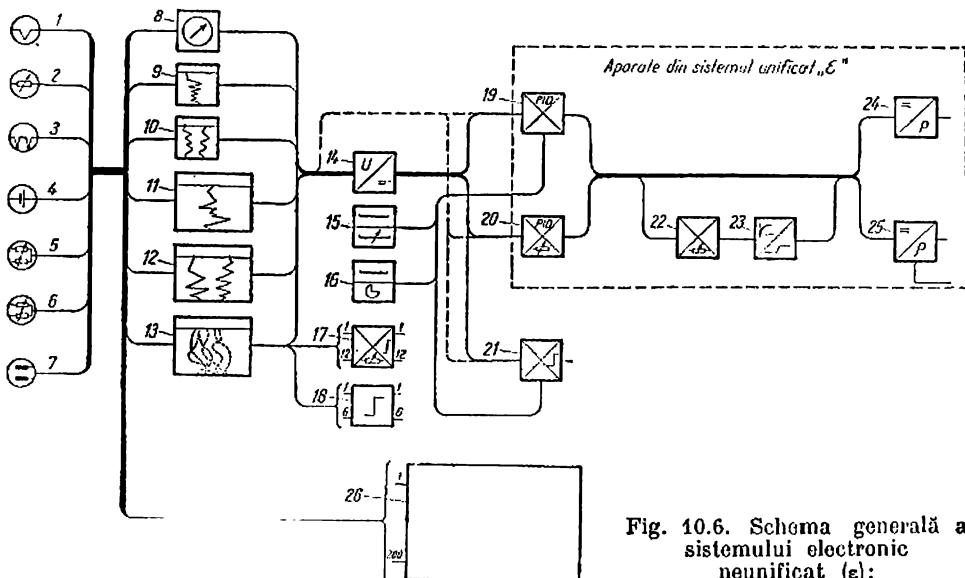


Fig. 10.6. Schema generală a sistemului electronic neunificat (e):

1. Termocupluri
2. Termorezistențe
3. Pirometru de radiație K 42—K56
4. Sursă de mV c.c.
5. Detector de raport molar U 121
6. Detectoare de umiditate U2 1, U22/U 2-3
7. Detector de concentrație W 16
8. Indicator electronic E 10
9. Înregistrător electronic E 35
10. Înregistrător electronic dublu E 45
11. Înregistrător electronic mare E 36
12. Înregistrător electronic dublu E 46
13. Înregistrător electronic multipunct E 38(A)
14. Convertor de semnale ELX 120
15. Element de referință ELX 115
16. Programator ciclic ELX 73
17. Regulator bipozitional multipunct X 74
18. Element de semnalizare multipunct X 71
19. Regulator electronic PI/PID ELC 111
20. Regulator electronic PI/PID ELC 113
21. Regulator bipozitional X 75
22. Element de comandă manuală ELX 127
23. Element de limitare ELX 117
24. Convertor electropneumatic ELA 104
25. Poziționer electropneumatic ELA 114
26. Instalație de control centralizată MCC 200.

În afară de acestea, întreprinderea de Elemente Pneumatice de Automatizare și Măsură — FEPAM — Birlad — are în curs de asimilare un sistem pneumatic unificat („sistemul P“).

În capitolele următoare vor fi prezentate diverse elemente de automatizare, indicându-se totodată și tipurile de elemente de automatizare realizate și folosite în țara noastră.

## REZUMAT

**1. Prin automatizarea proceselor de producție se înțelege introducerea unor dispozitive speciale (dispozitive de automatizare) la instalațiile tehnologice (turbine electrice, sonde, linii de fabricație, pompe etc.) care să permită desfășurarea procesului de producție fără participarea omului („automat“).**

**2. Între instalația tehnologică (proces) și dispozitivul de automatizare au loc legături de: măsurare, semnalizare, control, comandă, reglare etc.**

**3. Scopul automatizării este acela de a asigura desfășurarea în cele mai bune condiții a proceselor de producție pe baza unui plan („program”) stabilit de către om.**

**4. Necesitatea și avantajele automatizării producției se concretizează în creșterea foarte mare a productivității muncii, deci a producției de bunuri materiale, în condițiile reducerii prețului de cost.**

**5. Mecanizarea, automatizarea, telemecanizarea și conducerea prin calculator reprezintă faze succesive din ce în ce mai avansate în dezvoltarea nivelului tehnic al instalațiilor tehnologice de producție.**

**6. Elementele sistemelor automate cuprind atât părțile componente ale instalației tehnologice, cît și părțile constitutive ale dispozitivelor de automatizare.**

## **VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR**

**1. Automatizarea unui proces de producție reprezintă:**

- a) înlocuirea omului în funcția de mecanizare a procesului?**
- b) înlocuirea omului în funcția de conducere a procesului?**
- c) măsurarea automată a parametrilor din proces?**

**2. Prin sistem automat se înțelege:**

- a) o instalație tehnologică mecanizată căreia i s-a introdus un calculator electronic?**
- b) un sistem energetic care funcționează singur?**
- c) o instalație tehnologică căreia i s-a adăugat un dispozitiv de automatizare?**

**3. Un sistem de reglare automată cuprinde o dublă funcție, și anume:**

- a) comandă + semnalizare?**
- b) semnalizare + măsurare?**
- c) măsurare + comandă?**

## CAPITOLUL 11

### TRADUCTOARE

#### A. NOIUNI GENERALE

##### 1. INTRODUCERE

În scopul măsurării mărimilor fizice ce intervin într-un proces tehnologic, este necesară de obicei convertirea („traducerea“) acestora în mărimi de altă natură fizică care pot fi introduse cu ușurință într-un circuit de automatizare (de exemplu, o temperatură poate să influențeze un circuit de automatizare numai dacă este convertită — tradusă — într-o tensiune electrică proporțională sau dependentă de temperatura respectivă).

*Elementul care permite convertirea („traducerea“) unei mărimi fizice — de obicei neelectrică — într-o altă mărime fizică — de obicei electrică — dependentă de prima, în scopul introducerii acesteia într-un circuit de automatizare se numește traductor.*

În structura traductoarelor se întâlnesc, în general, o serie de subelemente constitutive, dintre care se vor analiza: convertoarele și adaptoarele (v. par. B și C).

După cum va reieși din exemplele următoare, structura generală a traductoarelor este foarte diferită de la un tip de traductor la altul, cuprinzând unul, două sau mai multe convertoare conectate în serie. În majoritatea cazurilor, *structura generală* a unui traductor este cea din figura 11.1.

Mărimea de intrare  $X_i$  (de exemplu, presiune, nivel, forță etc.) este convertită de către elementul sensibil într-o mărime intermediară  $X_o$  (deplasare liniară sau rotire), care este transformată în mărimea de ieșire  $X_e$  (tensiune electrică, rezistență, inductanță, capacitate) aplicată circuitului de automatizare cu ajutorul unui adaptor.

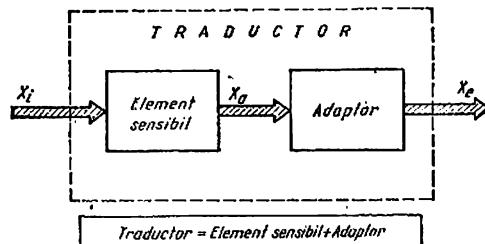


Fig. 11.1. Structura generală a unui traductor.

sint de natură diferită, însă sint legate între ele prin relația generală de dependență:

$$X_e = f(X_i), \quad (11.1)$$

care poate fi o funcție liniară sau neliniară, cu variații continue sau discrete (discrete).

Pe baza acestei relații de dependență se stabilesc următoarele caracteristici generale valabile pentru orice traductor:

- natura fizică a mărimilor de intrare și de ieșire (presiune, debit, temperatură, deplasare etc., respectiv rezistență electrică, curent, tensiune etc.);

- puterea consumată la intrare și cea transmisă elementului următor (de sarcină). De obicei, puterea de intrare este relativ mică (cîțiva wați, miliwați sau chiar mai puțin)\*, astfel încît elementul următor în schema de automatizare este aproape întotdeauna un amplificator;

- caracteristica statică a traductorului, care este reprezentarea grafică a relației (11.1) — (fig. 11.2);

- sensibilitatea absolută sau panta  $K_u$ , care este raportul

De obicei, adaptorul cuprinde și sursa de energie  $S$  (fig. 11.1), care face posibilă convertirea mărimii  $X_0$  în mărimea  $X_e$ .

## 2. CARACTERISTICILE GENERALE ALE TRADUCTOARELOR

La un traductor, mărimea de intrare  $X_i$  și cea de ieșire  $X_e$

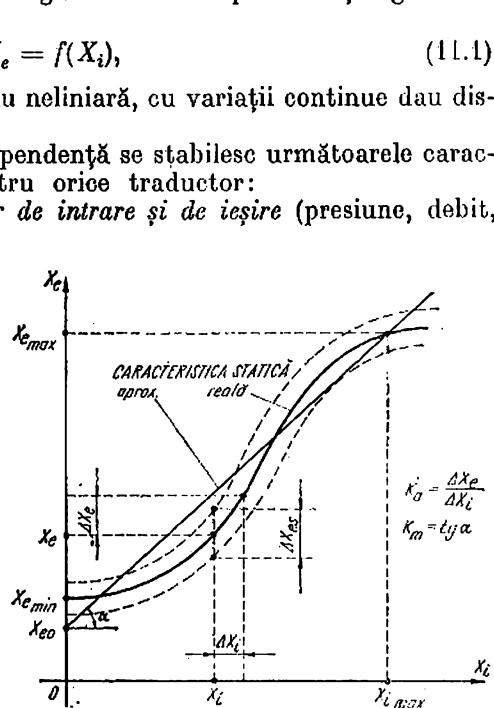
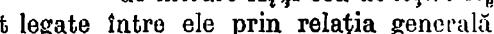


Fig. 11.2. Caracteristica statică a unui traductor.

\* De exemplu, pentru acționarea unui electrometru electronic, în cazul măsurării pH-ului este suficientă o putere de  $10^{-24}$  W.

dintre variația mărimii de ieșire  $\Delta X_e$  și a mărimii de intrare  $\Delta X_i$  (fig. 11.2):

$$K_a = \frac{\Delta X_e}{\Delta X_i}; \quad (11.2)$$

— *panta medie* ( $K_m$ ), care se obține echivalind caracteristica statică cu o dreaptă avind coeficientul unghiular:

$$K_m = \operatorname{tg} \alpha \simeq K_a. \quad (11.3)$$

— *domeniul de măsurare*, definit de pragurile superioare de sensibilitate  $X_{i \min}$  și  $X_{e \min}$  și de cele inferioare  $X_{i \max}$  și  $X_{e \max}$ .

### 3. CLASIFICAREA TRADUCTOARELOR

Întrucât circuitele de automatizare sunt în general de natură electrică, mărimea de ieșire a traductoarelor este aproape exclusiv de natură electrică.

Clasificarea traductoarelor poate fi făcută în funcție de natura mărimii de ieșire  $X_e$  sau în funcție de natura mărimii de intrare  $X_i$ .

- În funcție de natura mărimii electrice de la ieșire ( $X_e$ ) se deosebesc:

- *traductoare parametrice*, la care mărimea măsurată este transformată într-un „parametru de circuit electric“ (rezistență, inductanță sau capacitate). Traductoarele parametrice se împart deci la rîndul lor în: traductoare *rezistive*, traductoare *inductive* și traductoare *capacitive*;

- *traductoare generatoare*, la care mărimea măsurată este transformată într-o tensiune electromotoare a cărei valoare depinde de valoarea mărimii respective.

- În funcție de natura mărimii aplicate la intrare ( $X_i$ ) se disting:

- *traductoare de mărimi neselective* (temperatură, deplasare, debit, viteză, presiune etc.);

- *traductoare de mărimi electrice* (curent, frecvență, putere, fază etc.).

În practică, traductoarele sunt definite pe baza ambelor criterii arătate mai sus (de exemplu, traductor parametric rezistiv de temperatură). În figura 11.3 se prezintă o schemă generală de clasificare a traductoarelor uzuale.

- În funcție de domeniul de variație al mărimii de ieșire, traductoarele se clasifică în:

- *traductoare unificate* — la care mărimea de ieșire reprezintă un semnal unificat electric (2–10 mA sau 4–20 mA), sau pneumatic (0,2–1 kgf/cm<sup>2</sup>);

- *traductoare neunificate*.

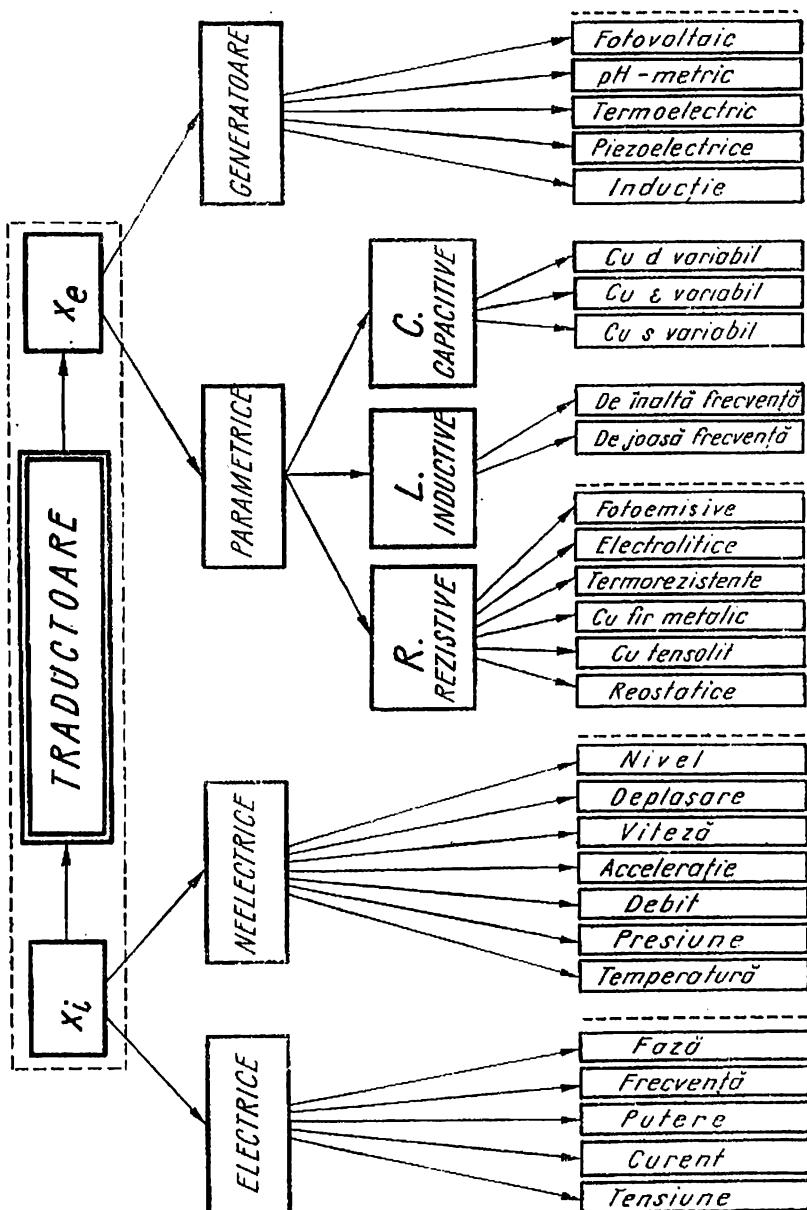


Fig. 11.3. Clasificarea traductorilor.

## B. CONVERTOARE

### 1. INTRODUCERE

Elementele de automatizare, ca de altfel și multe alte elemente cunoscute în tehnică, cuprind în structura lor unul sau mai multe subelemente de „convertire“, adică de transformare a unei mărimi în altă mărime dependentă de aceasta.

În automatică, noțiunea de convertor este atribuită unor subelemente realizate fie sub o formă independentă, fie incluse în structura unor elemente complexe (traductoare, regulatoare etc.) și care au, de exemplu, rolul de a transforma un semnal unificat electric într-un semnal unificat pneumatic (convertor electropneumatic) sau o mărime analogică într-o numerică (convertor analog-numeric) etc.

### 2. CONVERTOR CURENT-PRESIUNE

Convertorul curent-presiune fabricat de IEA având indicativul de fabricație ELA 104 în cadrul sistemului E, permite transformarea semnalului unificat electric ( $2-10 \text{ mA c.c.}$ ) în semnal unificat pneumatic ( $0,2 \times 1 \text{ kgf/cm}^2$ ).

În structura acestuia intră două elemente care asigură:

- convertire curent-deplasare (electromagnet polarizat);
- convertire deplasare-presiune (sistem duză-paletă).

Pentru o înțelegere ușoară vor fi descrise separat cele două convertoare constitutive.

● Electromagnetul polarizat (fig. 11.4). Este format din două miezuri identice  $M_1$  și  $M_2$  și o lamă  $L$  care oscilează în jurul punctului  $O$ , toate confectionate din material feromagnetic (oțel moale), precum și din magnetii permanenți de polarizare  $P_1$  și  $P_2$  având polaritățile din figură. Lama  $L$  se găsește în interiorul unei bobine fixe  $B$  ale cărei spire sunt parcuse de curentul unificat  $i$  (mărimea de intrare  $x_i$ ). Resortul  $R$  fixat la partea inferioară a lamei  $L$  este netensionat în poziția mediană a acesteia, cind curentul de intrare este nul (fig. 11.4, a).

Deoarece sistemul se află într-o poziție simetrică (intrefierurile  $d_A = d_B = d_C = d_D$ ), iar fluxurile de polarizare  $\Phi_p$  sunt egale, magnetii  $P_1$  și  $P_2$  fiind identici, forțele electromagnetice (neconfigurate) sunt egale și sistemul rămîne în această poziție mediană (fig. 11.4, a).

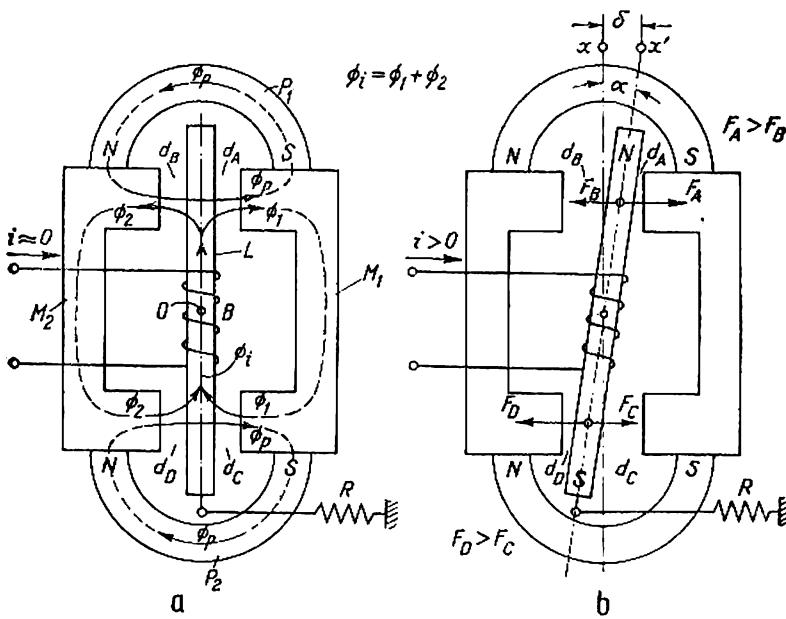


Fig. 11.4. Convertor curent-deplasare:  
a – în poziție mediană ( $i = 0$ ); b – în poziție de lucru ( $i > 0$ ).

Dacă curentul  $i$  crește, avind de exemplu o anumită polaritate, lama  $L$  devine un electromagnet având polaritatea indicată în figura 11.4, b.

Ca urmare, fluxul magnetic  $\Phi_i$  produs de curentul  $i$  se va ramifica prin miezurile  $M_1$  și  $M_2$  sub formă unor fluxuri componente  $\Phi_1$  și  $\Phi_2$  care în întrefierurile  $d_A$  și  $d_D$  se vor însuma ( $\Phi_p + \Phi_1$ , respectiv  $\Phi_p + \Phi_2$ ), iar în întrefierurile  $d_B$  și  $d_C$  se vor scădea ( $\Phi_p - \Phi_2$ , respectiv  $\Phi_p - \Phi_1$ ) – figura 11.4, a.

În consecință, lama  $L$  se va rota în sensul orar sub influența forțelor  $F_A - F_B$  ( $F_A > F_B$ ) și  $F_D - F_C$ , care sunt funcție de fluxurile magnetice aferente. Exprimat într-un mod mai simplu, se poate spune că polii de nume contrare se atrag ( $N$  cu  $S$ ), iar cei de aceeași nume se resping ( $N$  cu  $N$  și  $S$  cu  $S$ ).

Momentul activ al forțelor este echilibrat de momentul rezistent creat de resortul antagonist  $R$ , astfel că lama  $L$  ocupă o poziție bine defiñită, concretizată sub formă unui unghi  $\alpha$  sau, ceea ce este tot același lucru, sub formă unei deplasări al unui punct de pe lama  $L$  din  $x$  în  $x'$  (fig. 11.4, b), unghiul sau deplasarea fiind proporțională cu curentul  $i$ .

● Sistemul duză-paletă (fig. 11.5, a) cuprinde o paletă obturatoare  $O$ , o duză  $D$  și un ajutaj  $A$ . Ajutajul este o strangulație (cu diametrul sub 0,5 mm) a secțiunii de trecere a aerului de la o sursă de aer comprimat de presiune constantă  $P_0$ , prin duza  $D$  în atmosferă sau prin conducta  $C$  spre utilizare (presiunea  $P_i$ ).

În calea debitului de aer  $Q$  care vine de la sursă ( $P_0$ ) spre atmosferă, ajutajul  $A$  se comportă ca o rezistență pneumatică fixă, producind cădere de presiune  $\Delta P$ , iar duza  $D$  — ca o rezistență pneumatică variabilă ce depinde de gradul de obturare al duzei, adică de distanța  $\delta$  între duză și obturatorul  $O$ . Modelul electric al acestui sistem pneumatic este prezentat în figura 11.5, b și el permite prin analogie o înțelegere mai ușoară a modului de funcționare al sistemului duză-paletă.

Cind  $\delta = 0$ , paleta obturează complet duza și rezistența pneumatică de ieșire a aerului în atmosferă este infinită ( $R_D = \infty$ ). Ca urmare, debitul de aer  $Q$  este nul ( $I = 0$ ), căderea de presiune  $\Delta P$  este nulă ( $\Delta U = 0$ ) și deci presiunea  $P_i = P_0$  ( $U_i = U_0$ ).

Cind  $\delta$  crește, rezistența pneumatică a duzei scade ( $R_D$  scade), debitul de aer  $Q$  crește ( $I$  crește); căderea de presiune  $\Delta P$  va crește ( $\Delta U$  crește), deci presiunea remanentă  $P_i$  va scădea ( $U_i$  scade). Rezultă deci că la scăderea deplasării  $\delta$  presiunea  $P_i$  va crește.

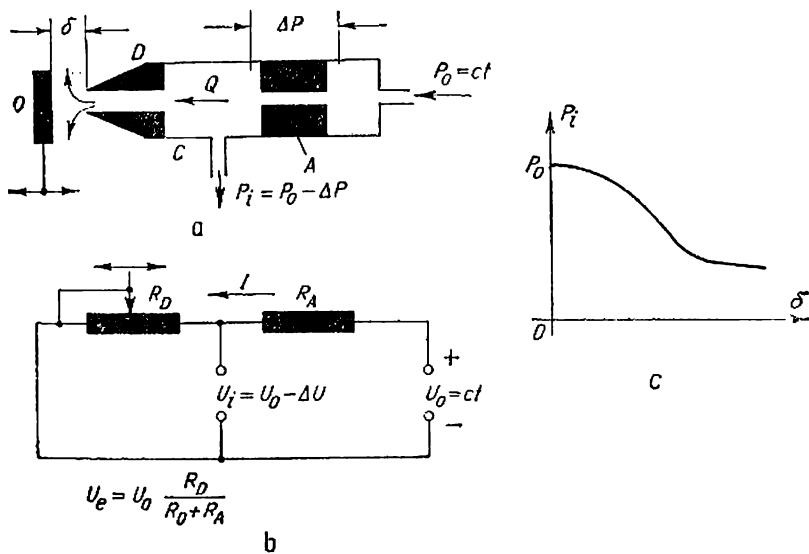


Fig. 11.5. Convertor deplasare presiune:  
a — sistemul duză-paletă; b — modelul electric al convertorului; c — caracteristica de convertire.

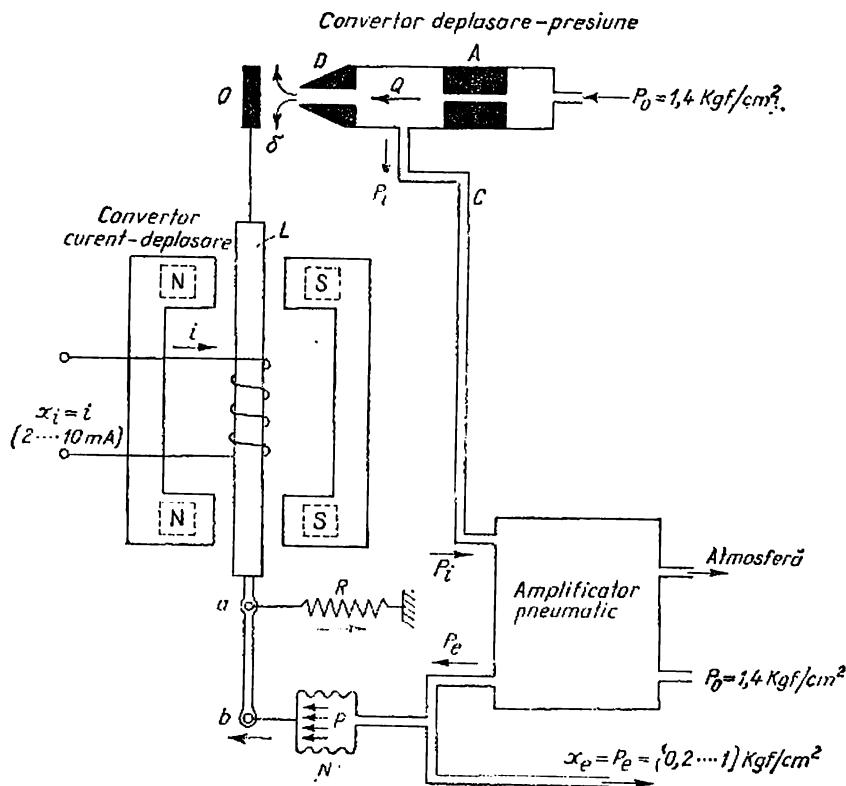


Fig. 11.6. Converter curent-presiune tip ELA 104.

Caracteristica de convertire a deplasării  $\delta$  în presiunea  $P_i$  este prezentată în figura 11.5, c.

- Convertorul curent-presiune tip ELA 104 este alcătuit din elementele descrise mai sus. El este prezentat într-o formă principală în figura 11.6.

Lama mobilă  $L$  a convertorului curent-deplasare este solidară cu obturatorul  $O$  al convertorului deplasare-presiune.

Conform celor arătate mai sus, cînd curentul  $i$  (mărimea de intrare  $x_i$ ) va crește, obturatorul se va apropia de duză și presiunea  $P_i$  va crește.

Presiunea  $P_i$  este aplicată unui amplificator pneumatic de putere  $F$  (v. fig. 12.6) care se poate o presiune  $P_e$  (mărimea de ieșire  $x_e$ ) de valoare uniformă ( $0,2 - 1 \text{ kgf/cm}^2$ ).

Presiunea de ieșire  $P_e$  este aplicată și convertorului presiune-deplasare  $N$  (realizat sub forma unui burduf din alamă cu pereții ondulați), care asigură o „reație negativă“ (v. fig. 12.3) — o legătură inversă de la ieșire la intrare — necesară îmbunătățirii funcționării convertorului curent-presiune.

## C. ADAPTOARE

### 1. INTRODUCERE

Pentru realizarea unei anumite funcții de automatizare, elementele sistemelor automate se leagă între ele sub forma unor „lanțuri“ sau „bucle“, astfel că mărimea de ieșire dintr-un element trebuie să fie egală cu cea optimă de intrare în elementul următor și.m.d. Dacă această condiție nu este indeplinită, trebuie prevăzute elemente speciale numite adaptoare, care să „adapteze“ elementele respective între ele.

Așadar, adaptoarele constituie o clasă specială de convertoare, care au rolul de a adapta între ele elemente ascrente sistemelor automate.

În cazul particular al sistemelor unificate (de exemplu, sistemul unificat E — IEA), adaptoarele au rolul de a converti o mărime de ieșire carecăre într-un semnal unificat.

### 2. ADAPTOR DEPLASARE-CURENT

Acest tip de adaptor este frecvent folosit în sistemul E (IEA) avind indicativul de fabricație ELT 370 și fiind utilizat în construcția unor traductoare de presiune, de nivel, de debit etc.

Schema de principiu a adaptorului deplasare-curent este prezentată în figura 11.7.

Adaptorul deplasare-curent folosește principiul convertirii unei deplasări mecanice (rotire) într-un semnal alternativ a cărui amplitudine este proporțională cu unghiul de rotire  $\alpha$  (fig. 11.7). În acest scop se folosește un modulator magnetic  $M$  având un element mobil de polarizare realizat sub forma unui magnet permanent  $N-S$ .

În poziția inițială — verticală — intrarea este nulă ( $\alpha = 0$ ), miezul  $M$  este perfect simetric și deci curentul  $i_p$  este zero, caz în care la ieșire se obține  $i_e = 2$  mA („zero viu“).

Cînd unghiul de intrare  $\alpha$  crește, va crește proporțional și curentul  $i_p$ , care este aplicat prin transformatorul de adaptare  $T_3$  unui amplificator tip H21 format dintr-un amplificator de c.a. și un demodulator la ieșirea

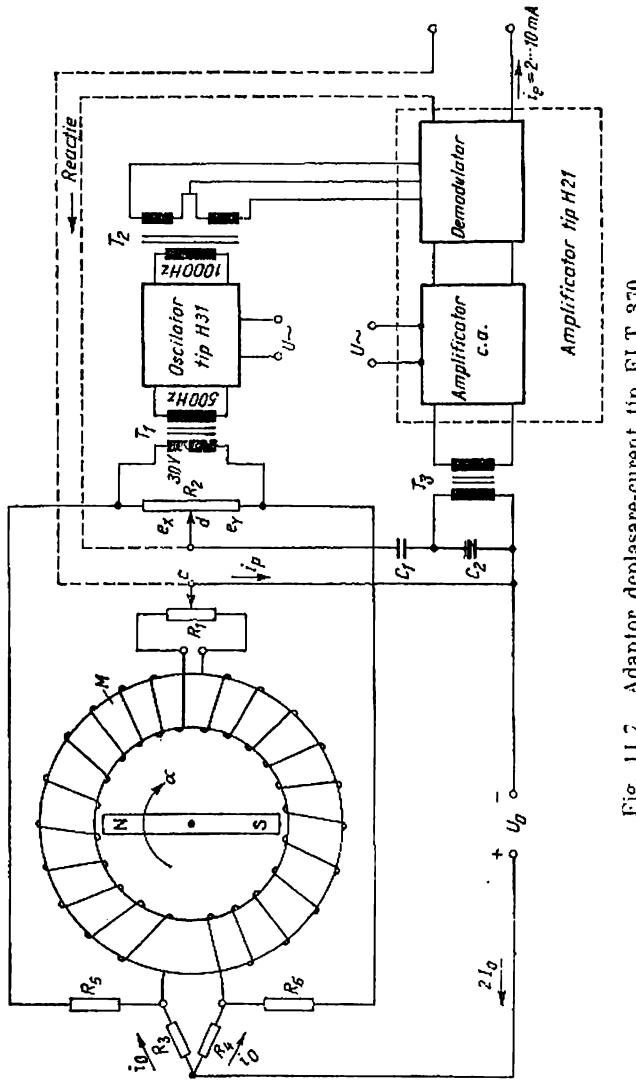


Fig. 11.7 Adaptor deplasare-current tip ELT 370.

cărui se obține semnalul unificat  $i_e = 2 \dots 10 \text{ mA}$  c.c. corespunzător domeniului maxim de variație a unghiului (care în cazul adaptorului respectiv, ELT 370, este de  $16^\circ$ ).

Un oscilator, de asemenea tipizat (IEA tip H 31), produce tensiunea cu frecvență de 500 Hz care, prin transformatorul de izolare  $T_1$  alimentează modulatorul magnetic, precum și tensiunea de 1 000 Hz, care prin transformatorul  $T_2$  asigură procesul de demodulare (redresare) din amplificatorul H 21 (v. cap. 12 — fig. 12.5).

Curentul de ieșire  $i_e$  este adus printr-un circuit „de reacție“ (v. cap. 12, fig. 12.3) înapoi la ieșirea modulatorului, în punctele  $c$  și  $d$  (fig. 11.7 indicat punctat), fapt care asigură o funcționare stabilă a adaptorului în ansamblu său.

Impedanța de ieșire a adaptorului tip ELT 370 este de  $3 \text{ k}\Omega$ .

*Adaptorul IEA tip ELT 310* folosit pentru deplasare liniară-curent este practic adaptorul ELT 370, la care s-a mai adăugat la intrare un convertor mecanic ce transformă mișcarea liniară în mișcare circulară.

### 3. ADAPTOR TENSIUNE (REZISTENȚĂ)-CURENT

Acste tipuri de adaptoare (fig. 11.8) fabricate de IEA sunt realizate în două variante constructive:

— *adaptoare tensiune-curent tip ELT 160* — folosite în construcția traductoarelor generatoare (v. par. D5, D6 și D7);

— *adaptoare rezistență-curent tip ELT 161* — folosite în construcția traductoarelor parametrice rezistive (v. par. D1).

În ambele cazuri, adaptorul comportă un bloc de gamă (fig. 11.9) care are rolul de a converti o mărime electrică — tensiune electrică  $U_G$  (fig. 11.9, a) sau rezistență electrică  $R_R$  (fig. 11.9, b) într-un curent continuu de valoare unificată  $i = \pm 10 \mu\text{A}$ .

În ambele cazuri, funcționarea are loc pe baza punții Wheatstone dezechilibrată, formată din rezistențele  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  și  $R_4$ .

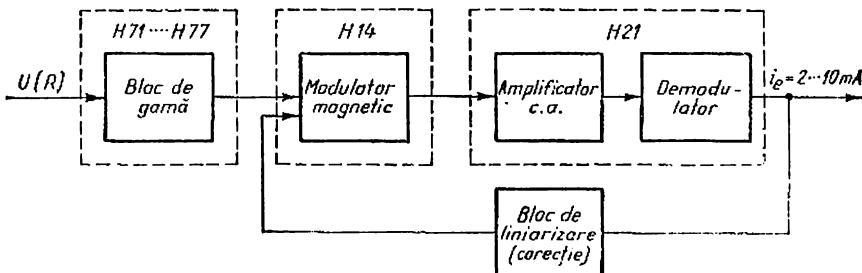


Fig. 11.8. Adaptor tensiune (rezistență)-curent tip ELT 160 (161).

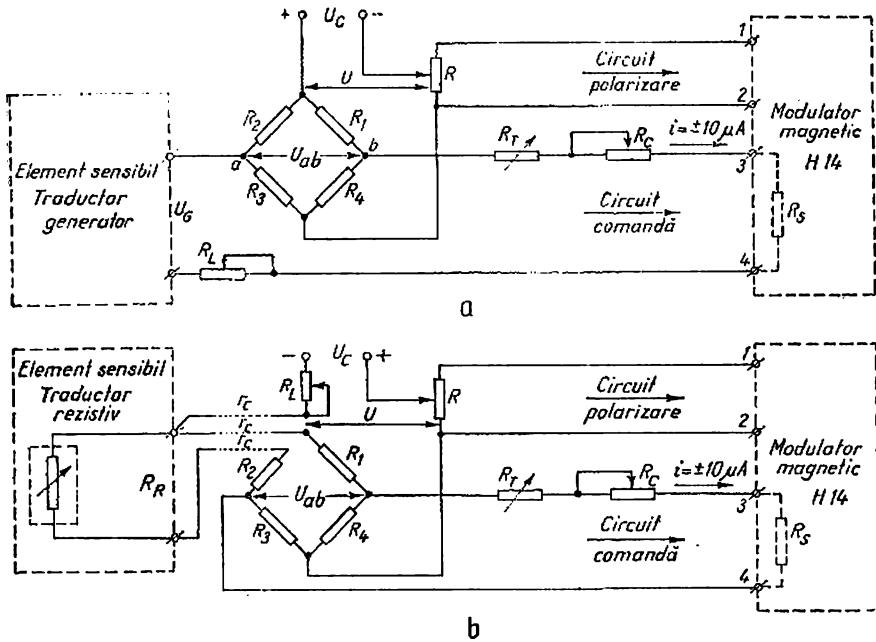


Fig. 11.9. Bloc de gamă:

a — pentru convertirea tensiunii; b — pentru convertirea rezistenței.

● **Adaptoare tensiune-curent.** Blocul de gamă (fig. 11.9, a) este alimentat cu tensiunea  $U_B$  de la elementul sensibil al unui „traductor generator” (v. cap. 11, par. D), care a produs convertirea mărimii măsurate într-o tensiune variabilă. Tensiunea  $U_{ab}$  de dezechilibru a punții depinde de tensiunea  $U$ , respectiv de tensiunea stabilizată  $U_c$  (stabilizator IEA tip H 55), precum și de valorile rezistențelor  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  și  $R_4$  după relația:

$$U_{ab} = U \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_2(R_1 + R_4) + R_3(R_1 + R_4)}. \quad (11.4)$$

Tinând seamă de faptul că tensiunea  $U_{ab}$  obținută de la punte și tensiunea  $U_G$ , de la elementul sensibil al traductorului, sunt conectate în serie, rezultă expresia curentului de ieșire:

$$i = \frac{U_G + U_{ab}}{R_T + R_S + R_C + R_L}, \quad (11.5)$$

în care:

$R_T$  este rezistență unui „termistor” (v. cap. 11, par. D.1) care compensează erorile de măsurare datorate variațiilor de temperatură ale mediului ambiant;

$R_S$  — rezistență de sarcină (rezistență de intrare a modulatorului magnetic);

$R_G$  — rezistență de compensare\* a sarcinii (ieșire);

$R_L$  — rezistență de compensare\* a liniei (intrare).

Prin alegerea convenabilă a valorilor rezistențelor  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  și  $R_4$ , se poate obține la ieșire același semnal standard  $i = \pm 10 \mu\text{A}$  pentru diverse valori ale tensiunii  $U_G$  obținute de la elementul sensibil al traductorului.

● Adaptoare rezistență-current (fig. 11.9, b). Ieșirea elementului sensibil (rezistență  $R_R$ ) este conectată într-un braț al punții format din rezistență  $R_2$ , rezistență cablului de legătură  $r_c$  și rezistență  $R_R$ . În acest caz, tensiunea de dezechilibru  $U_{ab}$  este dată de expresia:

$$U_{ab} = \frac{(R_1 + r_c)R_3 - (R_2 + r_c + R_R)R_4}{(R_2 + r_c + R_R)(R_1 + r_c + R_4) + R_3(R_1 + r_c + R_4)} U. \quad (11.6)$$

Rezultă implicit că valoarea curentului de ieșire:

$$i = \frac{U_{ab}}{R_T + R_G + R_S}, \quad (11.7)$$

( $R_T$ ,  $R_G$  și  $R_S$  avind semnificațiile de mai sus) va depinde de valoarea  $R_R$  a rezistenței traductorului.

Ca și în cazul precedent, prin alegerea convenabilă a rezistențelor punții se poate obține la ieșirea blocului de gamă același semnal standard  $i = \pm 10 \mu\text{A}$ , pentru diverse valori ale rezistenței  $R_R$ .

Convertorul tensiune (rezistență)-current cuprinde un sistem de amplificare a curentului continuu de la  $i = \pm 10 \mu\text{A}$  la semnalul unificat  $i_e = 2 \dots 10 \text{ mA}$ .

Structura sistemului de amplificare electronic va fi prezentată în cadrul capitolului 12.

\* De exemplu, dacă rezistență calculată pentru elementul respectiv este de  $20 \Omega$ , iar în realitate, pentru un anumit caz rezistență este de  $14 \Omega$ , rezistența de „completare” pînă la  $20 \Omega$  ( $6 \Omega$ ) reprezintă rezistența de compensare.

## D. TIPURI DE TRADUCTOARE

### 1. TRADUCTOARE REZISTIVE

Traductoarele rezistive sunt acelea care funcționează pe baza variației rezistenței unui rezistor, mărimea de ieșire fiind deci o rezistență electrică.

Mărimea de intrare produce modificarea unuia (sau a mai multora) dintre parametrii care intervin în relația:

$$R = \rho \frac{l}{s} [\Omega], \quad (11.8)$$

care dă valoarea rezistenței și în care:

$\rho$  este rezistivitatea  $[\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$ ;

$l$  — lungimea [m];

$s$  — secțiunea  $[\text{mm}^2]$ .

Din relația de mai sus se observă că rezistența  $R$  crește proporțional cu creșterea rezistivității  $\rho$  și a lungimii  $l$  și cu scăderea secțiunii  $s$ .

• Traductoarele reostatice sunt cele mai răspândite traductoare rezistive, fiind realizate sub formă unor reostate speciale al căror cursor este deplasat de mărimea de măsurat. Variația rezistenței se realizează

deci prin varierea lungimii  $l$  a rezistorului (reostatului). Traductoarele reostatice se utilizează pentru măsurarea deplasării liniare  $d$  sau a altor mărimi care, la rîndul lor, sunt transformate în deplasare.

Un traductor reostatic este prezentat schematic întocmai ca un reostat.

In figura 11.10 se prezintă ca exemplu un *traductor reostatic de presiune*.

Presiunea de măsurat  $P$  este aplicată unui burduf metallic special  $B$  (capsulă manometrică), care reprezintă de fapt elementul sensibil al traductorului și care se deplasează în sus, pe măsură ce presiunea crește, deplasând prin tija  $T$  cursorul reostatului  $R$ . Așadar, rezistența  $R_x$  obțin-

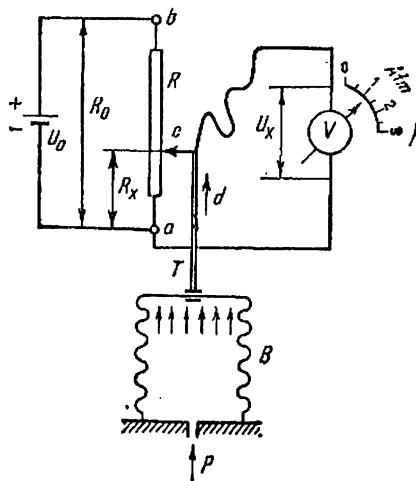


Fig. 11.10. Traductor reostatic de presiune.

nută între bornele  $c$  și  $a$  va crește odată cu creșterea presiunii. Pentru a pune în evidență variația rezistenței  $R$ , deci a presiunii  $P$ , se realizează un circuit electric ca cel din figură, și anume: rezistenței totale  $R_0$  î se aplică o tensiune constantă  $U_0$ , iar voltmetrul  $V$  este legat „potențiomeric” între bornele  $c$  și  $a$  (pe rezistența  $R_x$ ). În consecință, voltmetrul  $V$  va indica tensiunea  $U_x$ , proporțională cu rezistența  $R_x$ , deci cu deplasarea  $d$ , care la rîndul său depinde de presiunea  $P$ . Scara voltmetrului este gradată direct în unități de măsură ale presiunii (atm).

• **Traductoarele termorezistive sau, cum se mai numește, termorezistențe**, sunt rezistoare sensibile la temperatură, confectionate din materiale conductoare sau semiconductoare a căror rezistivitate variază cu temperatura.

**Termorezistențele conductoare (metalice)** sunt confectionate din metale pure, cum sunt: fierul, cuprul, nichelul sau platina, avind coeficientul de temperatură cuprins între  $3,7 \cdot 10^{-3}$  și  $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/\text{C}$ . Aceasta înseamnă că la o creștere a temperaturii de  $100^\circ\text{C}$  rezistența materialului crește cu  $37\text{--}65\%$ .

Variația rezistenței metalelor în funcție de temperatură este liniară pentru temperaturi de  $100\text{--}200^\circ\text{C}$ , fiind exprimată prin relația:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \Delta \theta), \quad (11.9)$$

în care:

$R_t$  este valoarea finală a rezistenței [ $\Omega$ ];

$R_0$  — valoarea inițială a rezistenței [ $\Omega$ ];

$\Delta \theta$  — variația de temperatură [ $^\circ\text{C}$ ];

$\alpha$  — sensibilitatea relativă [ $1/\text{C}$ ].

**Termorezistențele semiconductoare**, numite și **termistoare**, sunt confectionate prin presare din oxizii, carburile sau sulfurile unor metale, ca: nichel, cupru, plumb, magneziu etc. Rezistivitatea acestor materiale este incomparabil mai mare decât cea a metalelor (de  $10^{10} \dots 10^{12}$  ori mai mare) însă, spre deosebire de metale, rezistența termistoarelor scade cu creșterea temperaturii.

În figura 11.11 este prezentată variația rezistivității unei termorezistențe conductoare și a unor semiconductoare în funcție de temperatură. În cazul termorezistențelor semiconductoare, va-

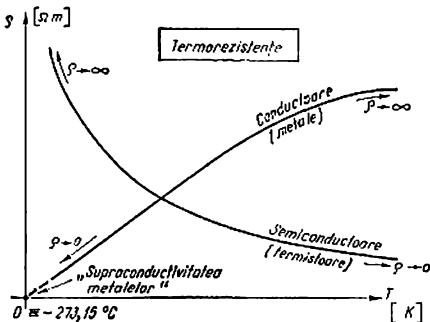


Fig. 11.11. Variația rezistivității la termorezistențe.

riatia este incomparabil mai mare decit in cazul termorezistențelor conductoare, mai ales in domeniul temperaturilor negative pe scara Celsius. De exemplu, pentru o încălzire de la 0°C la 100°C, o termorezistență dată, confectionată din cupru (conductor), își variază rezistența de la 100 Ω la 140 Ω, în timp ce alta din oxid cupros (cuproxid) — care este semiconductor — scade de la 100 Ω la 5 Ω.

Acste proprietăți ale termorezistențelor (metalice sau semiconductoare) face posibilă folosirea lor ca elemente sensibile în realizarea traductoarelor.

*Termorezistențele folosite la termometre.* Termorezistențele termometrelor se construiesc fie din conductoare (metalice), fie din semiconductoare (termistoare). În ambele cazuri curentul de măsurare ( $I_0$ ) se alege suficient de mic astfel ca să nu producă încălzirea acestora prin efect Joule-Lenz.

Termometrele cu termistoare au valori nominale cuprinse între 1 000 Ω și 200 000 Ω și sunt utilizate în special în domeniul temperaturilor negative pe scara Celsius, datorită sensibilității mari a acestora (v. fig. 11.11).

Termorezistențele de cupru fabricate la IEA se folosesc pentru măsurarea temperaturilor în domeniul 0—120°C și prezintă în acest domeniu o variație liniară cu temperatura.

Termorezistențele de platiniă fabricate la IEA sunt utilizate pentru măsurarea temperaturilor cuprinse între —200°C și +500°C.

Toate termorezistențele fabricate la IEA sunt utilizate ca traductoare de temperatură unificate (fig. 11.12), prin cuplarea lor cu adaptoare formate din blocuri de gamă (v. fig. 11.9) tip H 72 (o termorezistență) sau tip H 77 (două termorezistențe) și cu amplificator cu modulator

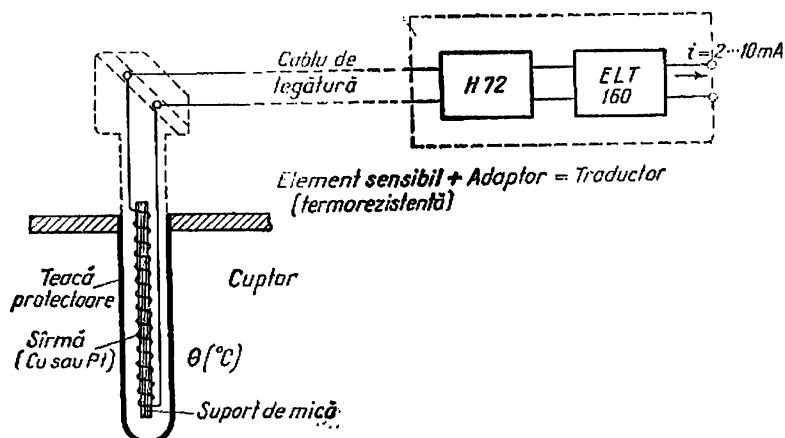


Fig. 11.12. Traductor termorezistiv de temperatură.

tip ELT 160 (v. fig. 11.8). Se obține astfel la ieșire un semnal unificat  $i = 2 \dots 10$  mA c.c. corespunzător domeniului de variație a temperaturii.

• Traductoarele electrolitice sunt de asemenea traductoare rezistive și permit măsurarea concentrației electroliticilor pe baza măsurării conductivității (rezistivității) electrice a acestora.

Traductorul electrolitic de concentrație (traductor electroconductometric) fabricat de IEA, tip W 16.ELT.730, este destinat măsurării concentrației soluțiilor de acid sulfuric, de sodă caustică etc. Elementul sensibil W 16 este format dintr-o „celulă“ de măsurare (fig. 11.13) având forma unui corp de ventil cu flanșe pentru a fi racordat în circuitul unei conducte.

În interiorul celulei se află doi electrozi de platină, care determină împreună cu lichidul de analizat ce circulă prin conductă rezistență necunoscută  $R_x$ . Rezistența  $R_x$  inserată cu rezistența „de balast“  $r$  este alimentată în diagonala  $AB$  a unei punți Wheatstone dezechilibrate formată din rezistențele  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  și  $R_c$ . Rezistența  $R_c$  este de fapt o termorezistență și este plasată chiar în soluție.

Puntea este alimentată în diagonala  $CD$  cu o tensiune constantă  $U_0 = 1$  V la o frecvență de 4 kHz (oscilator). Tensiunea  $U_x$  care apare la bornele rezistenței  $R_x$  este dată de expresia:

$$U_x = \frac{U_{AB}}{r + R_x} \cdot R_x \quad (11.10)$$

Tensiunea  $U_x$  proporțională cu rezistența măsurată  $R_x$  este amplificată, fiind transformată în semnal unificat  $i = 2 \dots 10$  mA c.c. cu ajutorul adaptorului tip ELT 730 (care conține și oscilatorul).

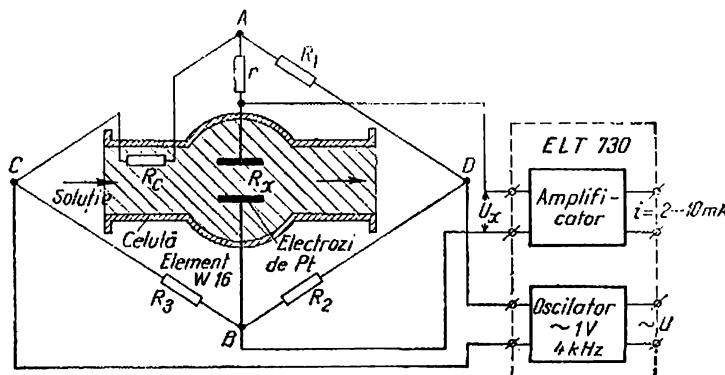


Fig. 11.13. Traductor electroconductometric.

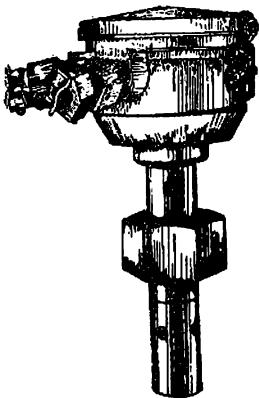


Fig. 11.14. Element sensibil electroconductometric tip W44. electrozii pentru constituirea rezistenței  $R_x$ , cît și rezistența de compensare  $R_c$  (fig. 11.14).

În cazul în care concentrația soluției rămîne neschimbată însă i se modifică temperatura  $\theta$ , conductivitatea  $\sigma_x$  se modifică în sensul că va crește cu temperatura la o valoare  $\sigma'_x$ .

Ca urmare (în cazul creșterii temperaturii)  $R_x$  scade la o valoare  $R'_x$ , ceea ce ar avea ca efect o scădere a tensiunii  $U_x$ , deci o eroare de măsurare. În acest caz intervine termorezistența „de compensare”  $R_c$  care, crescind cu temperatura ( $R'_c > R_c$ ), produce creșterea tensiunii  $U_{AB}$  ( $U'_{AB} > U_{AB}$ ), adică tensiunea  $U_x$  rămîne neschimbată dacă concentrația nu s-a modificat.

La IEA se mai fabrică și o altă variantă de element sensibil („detector electroconductometric”), numit W44, realizat sub forma unei „sonde” (se poate introduce printr-un orificiu într-o conductă), prevăzută cu găuri, în interiorul căreia se află atât electrozii pentru constituirea rezistenței  $R_x$ , cît și rezistența de compensare  $R_c$  (fig. 11.14).

## 2. TRADUCTOARE INDUCTIVE

Principial, un traductor inductiv este acela la care mărimea de măsurat este transformată într-o inductanță variabilă proporțională cu mărimea respectivă.

În categoria traductoarelor inductive se încadrează în special acele traductoare care folosesc adaptorul deplasare-curent IEA tip ELT 370 (v. fig. 11.7).

Se dau mai jos cîteva exemple de traductoare inductive tip IEA sau, mai bine spus, modul principal de realizare a unor elemente sensibile care sunt folosite în combinație cu adaptorul deplasare-curent tip ELT 370

- **Traductor de presiune cu tub Bourdon.** Elementul sensibil al traductorului de presiune este un tub Bourdon  $T$  (fig. 11.15, a), care sub acțiunea presiunii de măsurat  $P$  trebuie să se îndrepte (poziția punctată).

Cu creșterea presiunii  $P$  aplicate, punctul  $a$  din capătul liber al tubului se îndepărtează (de exemplu în  $a'$ ), astfel că, prin intermediul bielei  $B$ , manivela  $M$  este rotită în jurul punctului  $c$  cu unghiul  $\alpha$ .

Rotirea este aplicată modulatorului magnetic din adaptorul ELT 370 (v. fig. 11.7), care produce la ieșire semnalul unificat  $i = 2 \dots 10$  mA c.c. proporțional cu presiunea  $P$ .

● Traductor de presiune cu membrană de separație. În cazul în care fluidul de măsurat conține impurități care s-ar depune înfundind tubul Bourdon, se folosește un traductor cu membrană de separație tip MS 100. Acest element suplimentar este format dintr-o capsulă manometrică  $C$  (fig. 11.15, b) prevăzută cu membrana elastică  $S$ . Presiunea de măsurat  $P$  se aplică în acest caz la orificiul  $O_3$  și, acționind asupra membranei elastice, comprimă lichidul de separare din cealaltă parte, care de obicei este ulei. Orificiul  $O_2$  al capsulei fiind racordat printr-un tub la orificiul  $O_1$  al tubului Bourdon (fig. 11.15, a), presiunea respectivă este transmisă indirect elementului sensibil descris în paragraful precedent, funcționarea având loc așa cum s-a arătat. Traductorul cu membrană de separație tip IEA poartă indicativul AT 10 ELT 370 MS 100.

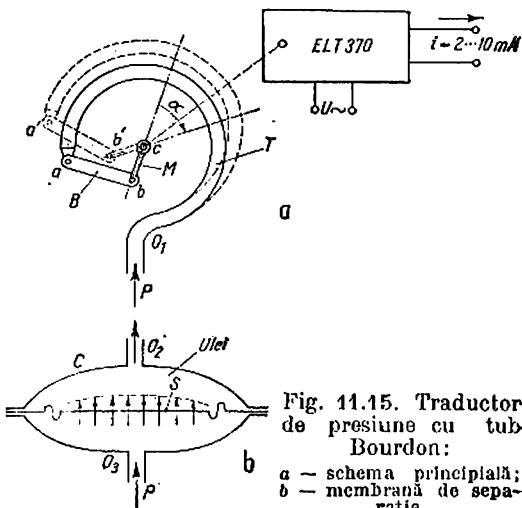


Fig. 11.15. Traductor de presiune cu tub Bourdon:  
a — schema principală;  
b — membrană de separație.

● Traductor de presiune cu capsulă. Acest traductor, numit AT 20 ELT 370, cuprinde un element sensibil realizat sub forma unei capsule  $C$  (fig. 11.16) cu pereți din tablă subțire ondulată. Partea posterioară fiind rigidizată prin discul metalic  $D$ , fluidul introdus la presiunea  $P$  deformază peretele anterior al capsulei acționind asupra brațului  $B$ . Brațul respectiv, asupra căruia acționează și resortul antagonist  $R$ , transformă deplasarea liniară a capsulei într-o rotire  $\alpha$  a axului  $A$ . Solidar cu acest

ax, al cărui unghi  $\alpha$  ( $\alpha = 0 \dots \dots 16^\circ$ ) este proporțional cu presiunea  $P$ , se află rotorul modulatorului magnetic din adaptorul ELT 370, care produce în final un semnal unicificat  $i = 2 \dots 10$  mA c.c.

Traductorul este folosit pentru măsurarea presiunilor mici ( $0 \dots 1$  kgf/cm $^2$ ).

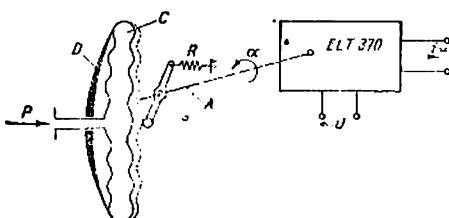


Fig. 11.16. Traductor de presiune cu capsulă.

● Traductor de presiune diferențială cu burdufuri. Elemental sensibil al traductorului este format dintr-o capsulă închisă  $M$  (fig. 11.17, a) în care, prin peretele de separare  $D$ , se creează două compartimente  $C_1$  și  $C_2$ , alimentate cu presiunea  $P_1$ , respectiv  $P_2$ . Cele două presiuni, a căror diferență ( $\Delta P = P_1 - P_2$ ) trebuie măsurată, acționează asupra unor burdufuri  $B_1$  și  $B_2$ , rigidizate între ele prin tija  $T$  și care sprijinindu-se fiecare pe peretele despărțitor acționează ca niște resoarte spirale la deplasarea lor ( $B_1$  se comprimă, iar  $B_2$  se întinde). Cele două burdufuri fiind identice, forța rezultantă  $\Delta F$  creată de cele două presiuni va fi proporțională cu diferența presiunilor respective.

În acest fel deplasarea longitudinală  $d$  a tijei va fi proporțională cu forța  $\Delta F$ , deci cu presiunea diferențială  $\Delta P$ .

Tija  $T$ , prevăzută cu opritorul reglabil  $O$ , acționează asupra maniveliei rotind axul  $A$  cu unghiul  $\alpha$ . În acest mod se transformă deplasarea  $d$  (proportională cu  $\Delta P$ ) într-un unghi  $\alpha$  și, deoarece axul  $A$  este solidar cu modulatorul magnetic din adaptorul ELT 370, se obține un semnal unificat  $i = 2 \dots 10$  mA c.c. proporțional cu diferența presiunilor. În figura 11.17, b este prezentat aspectul exterior al acestui traductor, denumit AT 30 ELT 370.

● Traductor de nivel cu plutitor. La traductorul de nivel cu plutitor tip AT 50 ELT 370 elementul sensibil tip AT 50 este format dintr-un

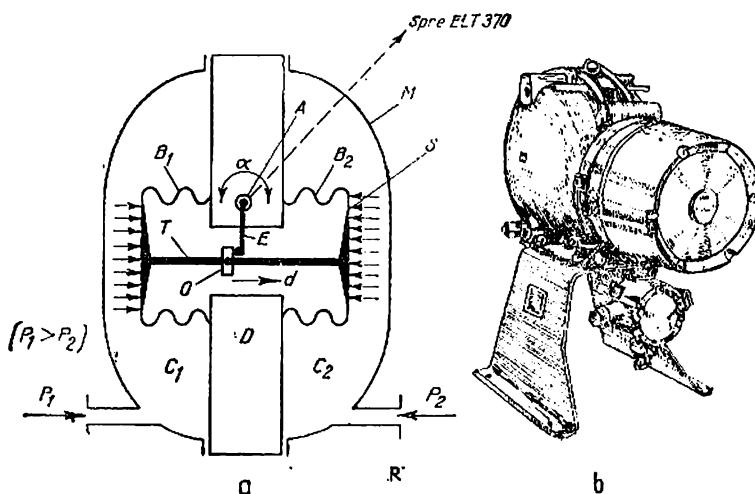


Fig. 11.17. Traductor de presiune diferențială cu burdufuri:  
a – schema funcțională; b – aspectul exterior.

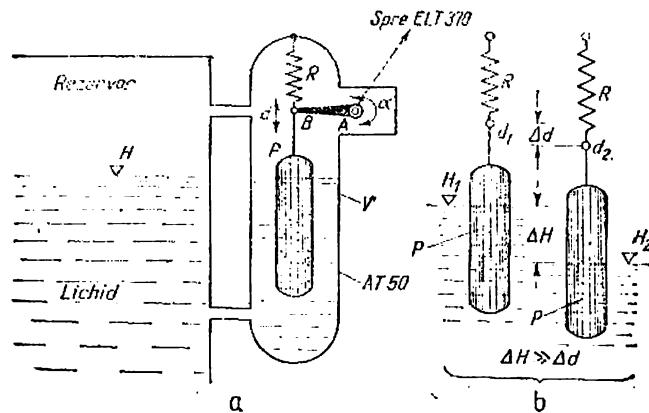


Fig. 11.18. Traductor de nivel cu plutitor:  
a — schema elementului sensibil; b — poziția imersorului în funcție de nivel.

vas cilindric  $V$  (fig. 11.18, a), racordat la rezervorul cu lichid al cărui nivel  $H$  trebuie măsurat. În interiorul vasului se află plutitorul  $P$  (imerșor) suspendat de un resort  $R$  și articulat cu brațul  $B$  (manivelă) solidar cu axul de rotație  $A$ . Variatiile nivelului  $H$  produc deplasarea  $d$  a plutitorului, deci rotirea cu unghiul  $\alpha$  a axului  $A$ . Mișcarea de rotație  $\alpha$  este transmisă adaptorului ELT 370 și se obține un semnal unificat  $i = 2 \dots 10$  mA c.c. proporțional cu nivelul  $H$ .

### 3. TRADUCTOARE CAPACITIVE

Funcționarea traductoarelor parametrice capacitive se bazează pe variația capacității unor condensatoare speciale, de diverse forme, sub influența unei mărimi de măsurat.

Indiferent de tipul de element sensibil folosit, capacitatea variabilă  $C_x$  obținută se introduce într-un circuit de măsurare, ca de exemplu într-o puncte de capacitate, sau, în cazul general, se leagă la un convertor (adaptor) capacitate-current (tensiune).

În cazul cel mai simplu, capacitatea se leagă în serie cu un ampermetru  $A$  (fig. 11.19)

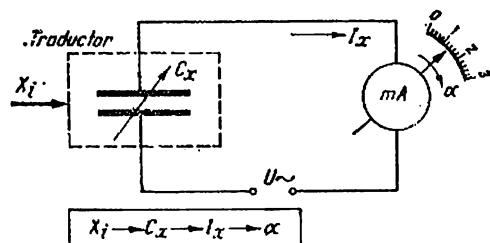


Fig. 11.19. Schema de măsurare cu traductor capacativ.

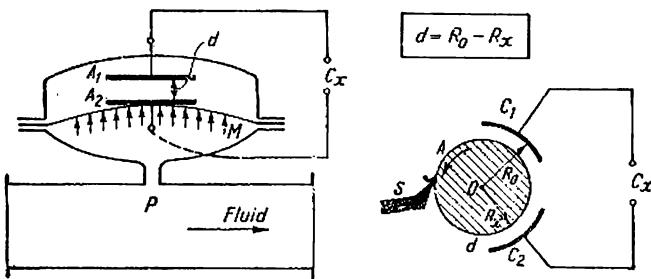


Fig. 11.20. Traductor capacitive:  
a — pentru măsurarea debitului; b — pentru măsurarea diametrului.

alimentat de o tensiune alternativă  $U_x$ . Neglijînd rezistența circuitului, valoarea curentului  $I_x$  din circuit va fi:

$$I_x = C_x \cdot \omega \cdot U, \quad (11.11)$$

unde  $\omega$  este pulsăria tensiunii alternative.

În cele ce urmează vor fi definite ca traductoare capacitive numai elementele sensibile ale traductoarelor respective (de exemplu deplasare-capacitate), convertirea capacitate-curent fiind o problemă simplă de electrotehnică.

Evidențierea capacității variabile va fi indicată prin notația  $C_x$  la bornele la care se obține capacitatea respectivă.

În figura 11.20 sunt prezentate două tipuri de elemente sensibile, folosite în construcția traductoarelor capacitive. Astfel, *traductorul pentru măsurarea presiunii*  $P$  (fig. 11.20, a) a unui fluid din conductă  $C$  cuprinde armătura fixă  $A_1$  și armătura mobilă  $A_2$  solidară cu membrana elastică  $M$ . Cind presiunea  $P$  crește, distanța  $d$  între armături scade, deci capacitatea  $C_x$  crește, dependentă de presiunea respectivă.

În figura 11.20, b s-a prezentat elementul sensibil al unui *traductor capacitive pentru măsurarea diametrelor axelor care se prelucră prin strunjire*. Acesta cuprinde două armături curbe  $C_1$  și  $C_2$  având raza de curbură  $R_0$  și centrul de curbură în centrul  $O$  al axului  $A$ , care se rotește fiind strunjit de cuțitul  $S$ .

Notind cu  $R_x$  raza axului, rezultă că distanța  $d$  ( $d = R_0 - R_x$ ) crește odată cu scăderea diametrului  $2R_x$  al axului de prelucrat. Valoarea capacității  $C_x$  este determinată de cele două capacități formate din armăturile  $C_1$  și  $C_2$  inseriate prin axul  $A$ . Deoarece cu ajutorul acestui tip de traductor se poate măsura („controla“) diametrul piesei chiar în timpul prelucrării, acest sistem mai poartă numele și de „control activ“ al diametrului axului  $A$ .

#### 4. TRADUCTOARE DE RADIATII INFRAROȘII

Traductoarele respective, numite și *traductoare pirometrice*, sunt folosite pentru măsurarea temperaturilor mari ( $600\text{--}2\,000^{\circ}\text{C}$ ) ale unor corpuri, fără contact direct între elementul sensibil și corp.

Elementul sensibil al traductorului pirometric de radiație totală tip K 42 sau K 56 fabricat la IEA funcționează pe baza dependenței dintre temperatura absolută a unui corp încălzit și energia totală radiată pe toate lungimile de undă.

Elementul sensibil este constituit dintr-o cutie A (fig. 11.21, a) fixată de exemplu în peretele B al unui cuptor de topit metal, care cuprinde niște plăcuțe P din platină înnegrită (reprezentând corpul „negru absolut” — care absoarbe toate radiațiile incidente).

Pe aceste plăcuțe sunt fixate „termocupluri” E de tipul cromel-constantan, care dă la ieșire o tensiune U proporțională cu temperatura la care sunt încălzite.

Un sistem de lentile L concentrează pe plăcuțele P radiația calorică R emisă de corpul C (metalul topit), care este încălzit la temperatura T.

Așadar, tensiunea U obținută la ieșirea elementului sensibil (pirometru) este dependentă de temperatura T.

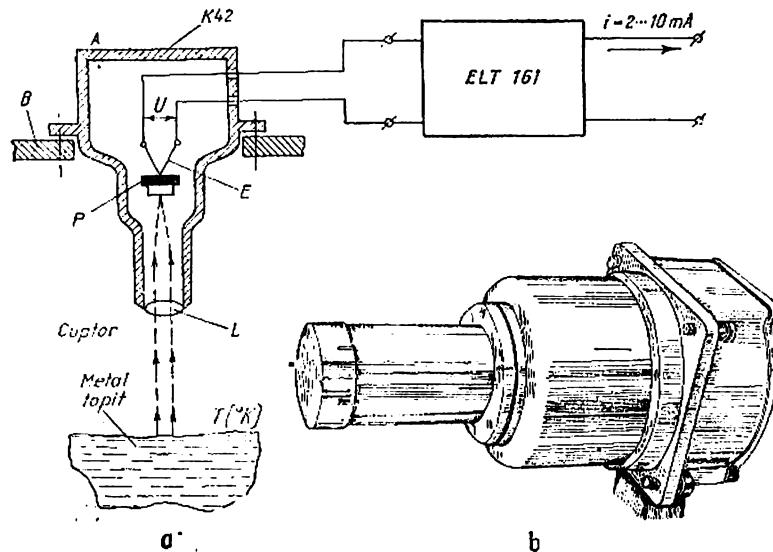


Fig. 11.21. Traductor pirometric:  
a — schema de legătură; b — aspect exterior.

Traductorul pirometric conține și adaptorul IEA tip ELT 161, care transformă tensiunea  $U$  în semnal unificat de curent  $i = 2 \dots 10 \text{ mA}$  corespunzător diverselor domenii de măsurare a temperaturii:  $600 - 1\ 400^\circ\text{C}$ ;  $700 - 1\ 500^\circ\text{C}$ ;  $700 - 1\ 600^\circ\text{C}$ ;  $800 - 1\ 700^\circ\text{C}$  și  $1\ 000 - 2\ 000^\circ\text{C}$ .

În figura 11.21, b este prezentat aspectul exterior al pirometrului de radiație totală tip K 42 (IEA).

## 5. TRADUCTOARE DE INDUCTIE

Traductoarele de inducție fac parte din categoria *traducioarelor generatoare*, adică transformă mărimea de măsurat direct într-o tensiune electrică (curent electric), fără a mai fi nevoie de o sursă ajutătoare.

ACESTE tipuri de traductoare se bazează pe transformarea mărimii de măsurat, care este o deplasare, viteza sau accelerare, într-o tensiune electromotoare de inducție.

- **Traductorul tachometric.** Dintre tipurile de traductoare de inducție, cel mai des folosit este traductorul tachometric sau *tahogeneratorul*, care este de fapt un mic generator electric, construit atât pentru curent alternativ, cât și pentru curent continuu.

- **Debitmetrul de inducție.** Se folosește la măsurarea debitului unui lichid conductor care circulă printr-o conductă izolată, lichid care de obicei este corosiv (de exemplu acid) și care deci nu poate veni în contact cu piese metalice.

Elementul sensibil se compune dintr-un corp cilindric  $C$  din material izolant prin care circulă, moleculele de lichid (notate cu semnul  $\oplus$ ) cu viteza  $v$  (fig. 11.22).

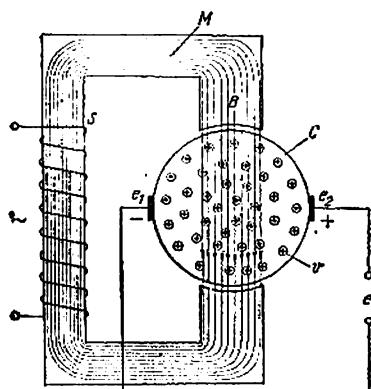


Fig. 11.22. Debitmetru de inducție.

Intr-o secțiune (zonă) a conductei este plasat un electromagnet  $M$  cu o înșurătură  $S$  alimentată cu tensiunea alternativă  $U$ . Fluxul magnetic produs de inducția magnetică  $B$  străbate perpendicular conductă și, datorită deplasării lichidului, induce în masa lichidului o tensiune electromotoare  $e$  care este culeasă pe electroziile  $e_1$  și  $e_2$ .

- **Observație.** Tensiunea obținută conform legii inducției (Lenz) este proporțională cu viteza  $v$  și rezultă perpendicular pe direcția cimpului magnetic (legea mișinii drepte).

Deoarece debitul  $D$  de lichid este proporțional cu viteza, rezultă că tensiunea  $e$  este proporțională și cu debitul  $D$ .

Prin integrarea într-un anumit timp a tensiunii  $e$  se obține o mărime proporțională cu debitul total scurs prin conductă în timpul respectiv.

Industria românească (IEA) fabrică un asemenea element sensibil, denumit și „detector electromagnetic de debit” tip FL 281 S, a cărui vederere ansamblu este prezentată în figura 11.23. Acesta constituie împreună cu adaptorul tip ELT 530 un traductor de debit care produce la ieșire semnal unificat (2–10 mA).

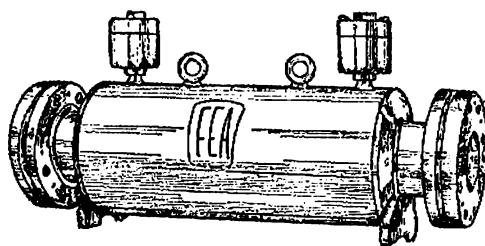


Fig. 11.23. Detector de debit tip FL.281.S.

## 6. TRADUCTOARE TERMOELECTRICE

Sunt traductoare generatoare a căror funcționare se bazează pe tensiunea electromotoare (numită tensiune termoelectromotoare) care apare în punctul de sudare (juncțiune) a două materiale diferite supuse încălzirii. Această tensiune, care este proporțională cu temperatura măsurată, poate fi pusă în evidență, de exemplu, cu ajutorul milivoltmetrului  $mV$  (fig. 11.24, a). Circuitul format din cele două conductoare (termoelectrozi) poartă și numele de *termocuplu*.

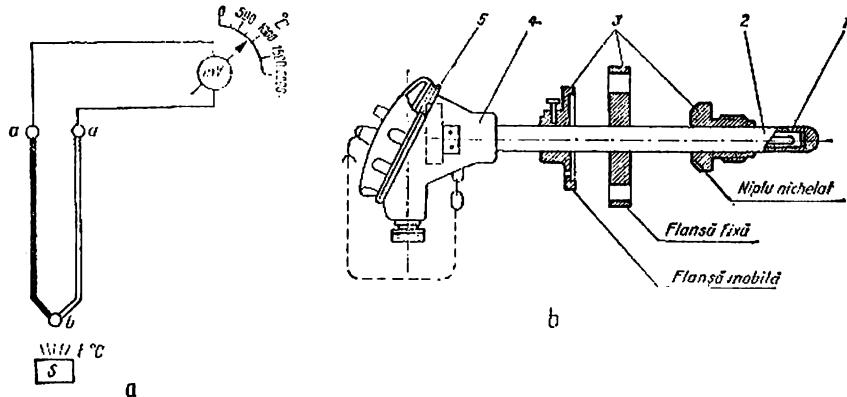


Fig. 11.24. Termocuplu:

a — scheme de legare; b — aspect exterior:  
1 — element sensibil; 2 — țevă de protecție; 3 — dispozitiv de montare; 4 — cutie de borne cu capac; 5 — placă de borne.

Tensiunile termoelectromotoare obținute de la termocupluri sunt de obicei cuprinse între 5 și 50 mV.

Industria românească (IEA) fabrică o mare varietate de termocupluri, din diverse materiale și pentru mai multe game de temperatură.

În figura 11.24, b este prezentat aspectul exterior al unui termocuplu fabricat la IEA.

Termocuplurile descrise mai sus sunt folosite în combinație cu blocurile de gamă H71, H73 sau H76 și cu adaptoarele ELT 160 sau ELT 161 (fig. 11.8 și 11.9), constituind astfel diverse traductoare de temperatură cu semnal de ieșire unificat (2–10 mA).

## 7. TRADUCTOARE pH-METRICE

În procesele de producție cu caracter chimic (industria alimentară, chimie, celuloză, hîrtie, petrol etc.) interesează determinarea gradului de aciditate sau alcalinitate al soluțiilor (pH-ul).

Pentru determinarea pH-ului se utilizează metode electrometrice, bazate pe faptul că între un metal cufundat într-o soluție care conține ionii metalului și soluția respectivă apare o diferență de potențial  $E$ . Această tensiune electrică  $E$  depinde de concentrația activă a ionilor de metal și de temperatura absolută  $T$  ( $^{\circ}$ K).

Se definește ca pH-ul unei soluții logaritmul zecimal al concentrației ionilor de hidrogen considerat cu semnul minus:

$$pH = -\log e_{H^+}. \quad (11.12)$$

Similar, se poate defini un indicator corespunzător ionilor de oxidril:

$$pOH = -\log e_{OH^-}. \quad (11.13)$$

Pentru apă pură (neutră), cele două mărimi sunt egale, și anume:

$$pH = pOH = 7. \quad (11.14)$$

Prin adăugarea unui acid în apă concentrația ionilor de hidrogen crește, deci pH-ul crește:

SOLUȚIE ACIDĂ:  $7 < pH < 14$

Idem, prin adăugarea unei baze (soluție alcalină) concentrația ionilor de hidrogen scade:

SOLUȚIE BAZICĂ:  $0 < pH < 7$

Pentru un acid pur (100%) rezultă  $pH = 14$ , iar pentru o bază pură (100%)  $pH = 0$ .

Determinarea valorii pH se face cu un element sensibil format din doi electrozi introdusi într-un vas conținând lichidul de analizat.

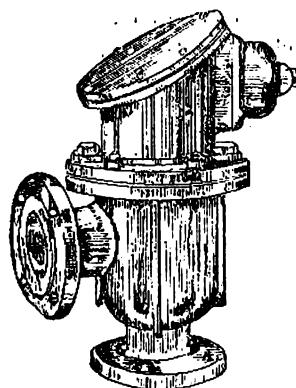


Fig. 11.25. Detector de pH tip W63.

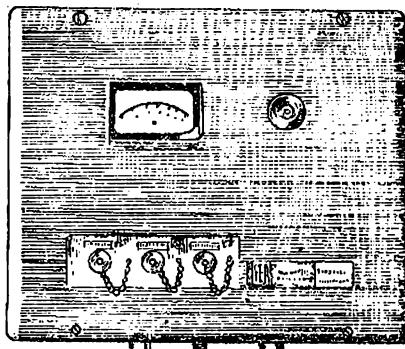


Fig. 11.26. Adaptor ELT 630 pentru pH-metru.

Între fiecare electrod și lichid, deci între cei doi electrozi, va rezulta o tensiune  $U$  dependentă de  $pH$ .

În țara noastră se fabrică traductoare  $pH$ -metrice (IEA), ca de exemplu tipurile care folosesc elemente sensibile W62 și W63. Tipul W62 folosește pentru măsurări discontinue prin imersie (cufundare într-o cantitate de soluție), iar tipul W63 permite măsurarea  $pH$ -ului în flux continuu, situație în care el se montează în circuitul unei conducte.

În figura 11.25 este prezentat aspectul exterior al elementului sensibil W63, iar în figura 11.26 adaptorul ELT 630 care constituie împreună cu transmisorul un sistem de măsurare  $pH$ .

#### REZUMAT

1. Elementele de automatizare care transformă o mărime oarecare (temperatură, presiune etc.) într-o mărime electrică se numesc traductoare.
2. În structura traductoarelor intră unul sau mai multe convertoare (elemente sensibile), precum și adaptoare care permit obținerea la ieșire a unor valori dorite sau unificate (de exemplu: semnalul de curent unificat: 2–10 mA sau 4–20 mA sau de presiune unificată: 0,2–1 kgf/cm<sup>2</sup>).
3. Traductoarele se clasifică în funcție de mărimea electrică de la ieșire (traductoare parametrice sau generatoare), precum și în funcție de mărimea de la intrare, care este „tradusă“ (traductoare de deplasare, de viteză, de debit, de presiune etc.).

4. Traductoarele se folosesc în schemele de automatiză pentru măsurarea și prelucrarea pe cale electrică (de exemplu folosind un voltmetru sau ampermetru) a unor mărimi nenelectrice.

5. Industria românească (IEA) realizează o gamă variată de traductoare în cadrul sistemului unificat „E”, folosind diverse elemente sensibile însă cu un număr redus de adaptoare, care asigură la ieșire semnal unificat de curent  $i = 2 \dots 10$  mA.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Funcționarea traductoarelor parametrice inductive se bazează pe:

- a) legea inducției electromagnetice?
- b) variația relucanței circuitului magnetic?
- c) modificarea curentului electric ce străbate traductorul?

2. Unele tipuri de traductoare se numesc generatoare, deoarece:

- a) necesită o sursă de energie în circuitul de ieșire?
- b) sunt folosite ca generatoare de energie (putere) electrică?
- c) mărimea de ieșire este un curent sau o tensiune electrică?

3. Traductoarele IEA din sistemul unificat E prezintă în structura lor:

- a) elemente sensibile de semnal unificat?
- b) adaptoare cu semnal de ieșire unificat?
- c) aceleași tipuri de convertoare?

4. Convertoroarele sunt subelemente întlnite în automatiză, având funcția de:

- a) transformare a unei mărimi în altă mărime dependentă de aceasta?
- b) convertire a curentului continuu în curent alternativ?
- c) convertire a unei presiuni carecare în semnal unificat de presiune:  $0,2 - 1$  kgf/cm<sup>2</sup>?

5. Convertorul duză-paletă asigură o dependență între următoarele mărimi:

- a) curent-presiune?
- b) presiune-curent?
- c) deplasare-presiune?

6. Adaptoarele sunt elemente de automatizare care permit:

- a) mărirea semnalului obținut la ieșirea unui element?
- b) menținerea constantă a semnalului de intrare într-un element?
- c) convertirea semnalelor la valori unificate.

## CAPITOLUL 12

### AMPLIFICATOARE ȘI RELEE

#### A. AMPLIFICATOARE

##### 1. INTRODUCERE

Mărimele măsurate au în majoritatea cazurilor valori foarte mici, astfel încit este necesară mărirea lor proporțională, adică amplificarea lor.

Așa cum s-a arătat în capitolul precedent, de exemplu, tensiunea produsă de un termocuplu este de cîțiva milivolti, iar cea produsă de un traductor pH-metric are o valoare mult mai mică. Bineînțeles, o asemenea valoare de tensiune, chiar dacă poate deplasa acul indicator al unui voltmetru, este incapabilă să producă un efect de comandă fără ca ea să fie amplificată anterior. Acest lucru se realizează cu ajutorul unor elemente speciale numite amplificatoare, la care mărimea de intrare de o putere (nivel) relativ mică poate comanda continuu o mărime de ieșire având o putere (nivel) mult mai mare. Se înțelege că obținerea unui factor de amplificare mai mare decât 1 nu este posibilă decât folosind o sursă auxiliară de energie.

Mărimea de intrare  $i$  are rolul de a varia „rezistența de trecere” a energiei de la sursă spre ieșirea  $e$  (fig. 12.1).

Noțiunea de „rezistență de trecere” trebuie înțeleasă aici în sensul general al cuvintului, adică atât ca o rezistență ohmică într-un circuit electric, cit și ca o rezistență hidraulică

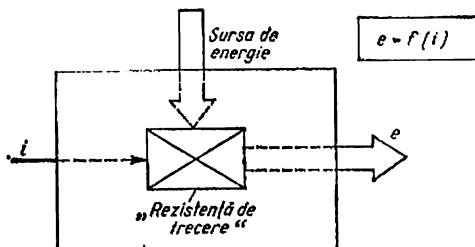


Fig. 12.1. Schema bloc a unui amplificator.

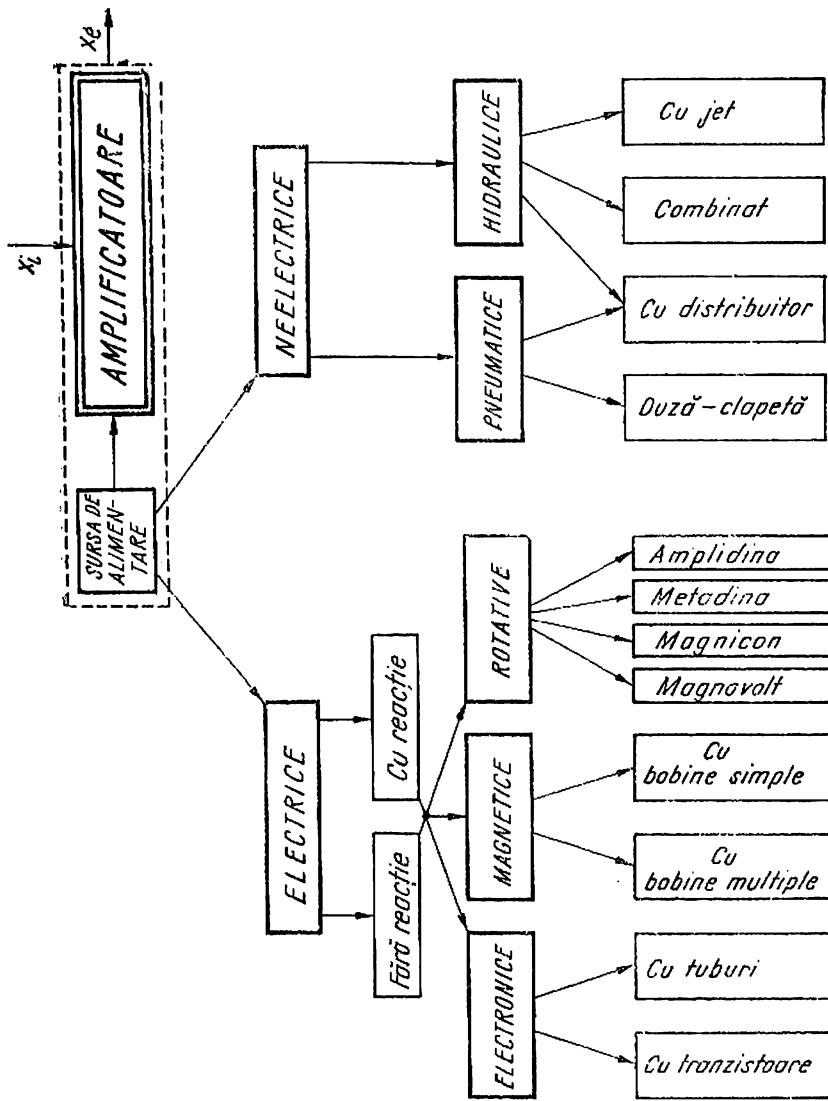


Fig. 12.2. Clasificarea amplificatoarelor.

într-un circuit de trecere al unui lichid sau ca o rezistență pneumatică  
într-un circuit de gaz (aer comprimat) etc.

De menționat că mărimea de intrare  $i$  poate fi, de exemplu, un  
curent  $I_i$  sau o tensiune  $U_i$ , iar cea de ieșire  $e$  poate fi de asemenea un  
curent  $I_e$  sau o tensiune  $U_e$ .

## 2. CLASIFICAREA AMPLIFICATOARELOR

● După natura mărimii fizice furnizate de sursa de energie (sau de alimentare) amplificatoarele se împart în (fig. 12.2):

- amplificatoare de mărimi electrice (electronice, magnetice, rotative etc.);
- amplificatoare de mărimi neelectrice (mecanice, pneumatice și hidraulice).

● După modul de interdependentă al mărimilor de intrare și de ieșire se deosebesc:

- amplificatoare fără reacție, la care mărimea de ieșire depinde de mărimea de intrare numai pe baza legăturii „directe“ (intrare-ieșire);
- amplificatoare cu reacție, la care mărimea de ieșire depinde atât de mărimea de intrare, cit și de o mărime „de reacție“  $r$  transmisă de la ieșire înapoi la intrare printr-o legătură „inversă“ (ieșire-intrare), numită „de reacție“.

Dacă mărimea de reacție  $r$  se adună cu cea de intrare  $i$ , măring astfel semnalul total aplicat amplificatorului, reacția se numește pozitivă (fig. 12.3, c), iar dacă  $r$  se scade din  $i$  reacția se numește negativă (fig. 12.3, d).

Problemele cele mai complexe le ridică amplificatoarele din prima categorie — amplificatoarele electrice — care, deși sunt principial și constructiv diferite între ele, posedă totuși anumite caracteristici generale comune. Reprezentarea schematică a unui amplificator este dată în figura 12.3, a, iar dependența mărimii de ieșire de cea de intrare — caracteristica statică — în figura 12.3, b.

## 3. CARACTERISTICILE GENERALE ALE AMPLIFICATOARELOR ELECTRICE

Spre deosebire de un amplificator perfect — a cărui caracteristică statică este o linie dreaptă (fig. 12.3, b) trecind prin originea axelor de coordonate ( $e = K \cdot i$ ) — caracteristica statică de funcționare a unui amplificator real prezintă o serie de particularități.

Caracteristica statică este o linie dreaptă numai pentru zona de funcționare normală, adică pînă în punctul la care corespunde mărimea de

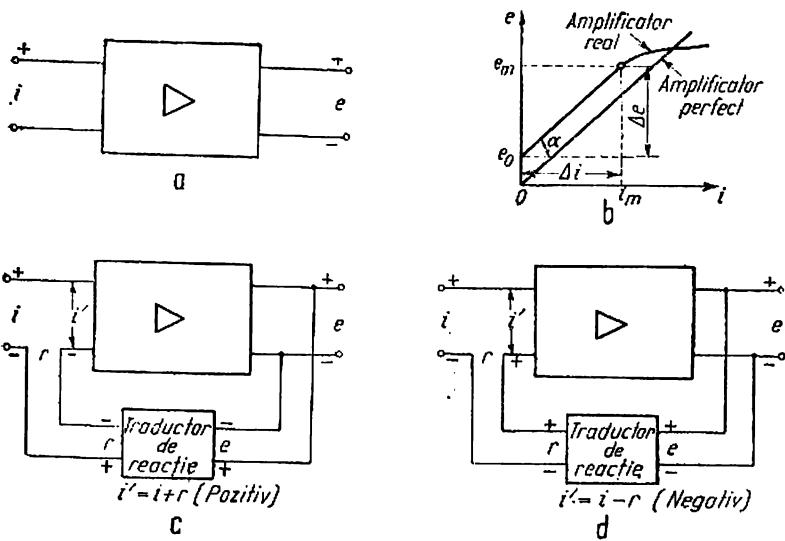


Fig. 12.3. Amplificator:

a — schema electrică; b — caracteristica statică; c — cu reacție pozitivă; d — cu reacție negativă.

intrare maximă  $i_m$  și mărimea de ieșire maximă  $e_m$ . Dincolo de acest punct, caracteristica prezintă fenomenul de saturatie și amplificatorul nu mai funcționează corect.

Coefficientul unghiular  $K$  (coefficientul de proporționalitate) al caracteristicii în domeniul liniar ( $i < i_m$  și  $e < e_m$ ) este dat de relația:

$$K = \frac{\Delta e}{\Delta i}, \quad (12.1)$$

și poartă numele de *factor de amplificare*, *pantă* sau *sensibilitatea* amplificatorului. Amplificarea putind fi de curent, de tensiune, de putere etc., factorul de amplificare ia denumirea corespunzătoare.

Caracteristica statică nu trece prin originea axelor de coordonate, ci prezintă o ordonată la origine  $e_0$ , numită *valoare de gol*. Ea reprezintă fizic valoarea mărimii de ieșire cînd intrarea este nulă. La amplificatoarele de radio (tip „audio“), valoarea de gol înseamnă un „semnal“ sau „zgomot“ la ieșire, chiar atunci cînd semnalul la intrare este zero. Din această cauză, valoarea de gol la aceste amplificatoare se mai numește și *zgomotul de fond* sau *perturbația* amplificatorului.

Tinând seamă de mărimele de mai sus, expresia analitică a caracteristicii statice a amplificatorului este:

$$e = K \cdot i + e_0, \quad (12.2)$$

și de aceasta se ține seamă la proiectarea schemelor cu amplificatoare.

#### 4. AMPLIFICATOARE CU TRANZISTOARE

Datorită avantajelor pe care le prezintă materialele semiconductoare, în prezent capătă o largă răspândire amplificatoarele cu tranzistoare.

În figura 12.4, a este prezentată schema unui amplificator cu un tranzistor *p-n-p*, la care tensiunea de intrare  $u_i$  se aplică între bază (*B*) și emitor (*E*), iar cea de ieșire se obține între colector (*C*) și emitor (*E*).

Amplificatoarele cu tranzistoare sunt elemente de dimensiuni foarte reduse și, în raport cu cele cu tuburi, necesită surse mici de energie (au deci randamentul foarte ridicat); în plus, durata de funcționare mare, sensibilitatea mare la puteri mici de intrare, insensibilitatea la șocuri mecanice și praf, reprezintă tot atitea *avantaje* ale folosirii acestor amplificatoare.

*Dezavantajele* principale ale amplificatoarelor cu tranzistoare sunt instabilitatea la temperatură și zgomotul.

Temperatura influențează caracteristicile statice ale tranzistorului, în special prin creșterea conductivității acestuia, adică prin creșterea

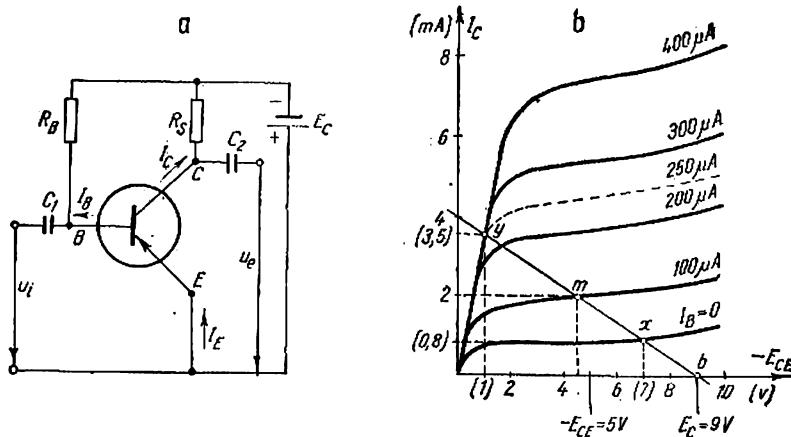


Fig. 12.4. Amplificator cu tranzistor:  
a – schema electrică; b – caracteristicile de colector,

curentului de colector. Datorită acestui efect, tranzistoarele cu germaniu funcționează satisfăcător pînă la temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ , iar cele cu siliciu, care sunt mai stabile, pînă la  $150^{\circ}\text{C}$ .

## 5. AMPLIFICATOARE DE CURENT CONTINUU FOLOSITE ÎN SISTEMUL UNIFICAT „E” (IEA)

Amplificarea directă a semnalelor de curent continuu este dificilă din punct de vedere tehnic, motiv pentru care sunt utilizate amplificatoarele de curent continuu cu „modulare-amplificare-demodulare”, numite și „cu eșantionare” sau „cu chopper”.

În aparatura sistemului unificat „E” sunt folosite două asemenea tipuri de amplificatoare de curent continuu, care diferă între ele numai prin construcția modulatorului: electronic sau magnetic.

- Amplificatorul electronic de curent continuu folosind modulator electronic (IEA tip H22), a cărui schemă principală este arătată în figura 12.5, cuprinde un modulator și un demodulator cu funcționări similare avind cîte două tranzistoare ( $T_1$  și  $T_2$ , respectiv  $T_3$  și  $T_4$ ) funcționînd în regim de comutăție (complet blocat sau complet deschis) și comandate „sincron” de un oscilator de frecvență constantă ( $f_0 = 500\text{ Hz}$ ).

Un amplificator de curent alternativ format din trei tranzistoare ( $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ) asigură procesul de amplificare a mărimi de intrare.

- Amplificator electronic de curent continuu folosind modulator magnetic (IEA tip H11). Modulatorul magnetic cuprinde două miezuri magnetice toroidale dintr-un material special (permalloy) care, printr-o schemă adecvată, asigură la ieșire impulsuri dreptunghiulare de ampli-

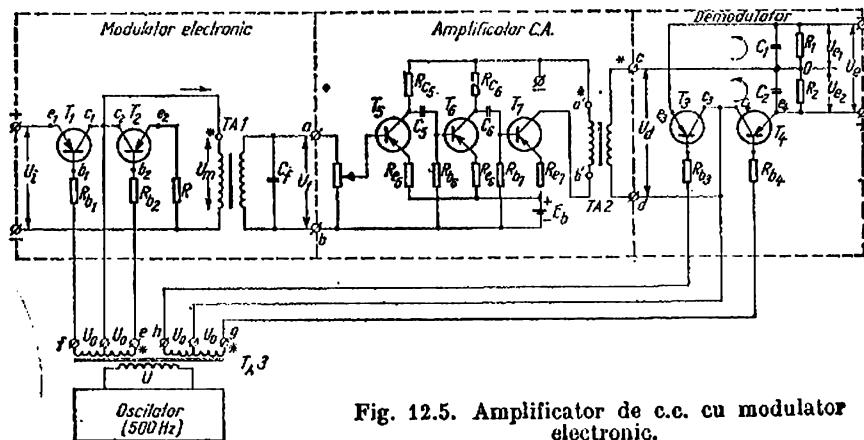


Fig. 12.5. Amplificator de c.c. cu modulator electronic.

tudine constantă însă de durată proporțională cu tensiunea continuă  $U_i$  aplicată. Amplificatorul de curent alternativ, oscilatorul și demodulatorul sunt identice cu cele din cazul precedent, astfel că se asigură, ca și în primul caz, o tensiune de ieșire  $U_o$  continuă, amplificată în raport cu tensiunea  $U_i$ .

## 6. AMPLIFICATOARE PNEUMATICE

Amplificatoarele pneumatice, ca și cele hidraulice, sunt destinate amplificării semnalelor primite de la traductoare și transmit semnalul amplificat elementelor de execuție pneumatice (hidraulice). Elementele respective sunt amplificatoare de putere, operație concretizată în majoritatea cazurilor prin amplificarea forței, a vitezei sau a aminduroră (puterea fiind produsul între forță și viteză).

Sursa de energie folosită este aerul comprimat (elemente pneumatice) și, respectiv, uleiul sub presiune (elemente hidraulice).

● **Amplificator pneumatic de putere.** Acest tip de amplificator cuprinde un corp cilindric (fig. 12.6, a) format din patru camere: A, B, C și D. Camerele A și B sunt despărțite prin membrana  $m$  formată din pânză cauciucată și rigidizată cu discurile metalice  $d$  solidare cu tija  $t$ .

Între camerele B și C se află un perete rigid cu un orificiu central  $o_1$  prin care trece tija  $t$ . Între camerele C și D se află de asemenea un orificiu  $o_2$  obturat de bila  $b$  împinsă în sus de resortul plat  $p$ . Cele patru camere au racorduri exterioare cu următoarele funcții:

- camera A, racordul  $r_1$  pentru presiunea de intrare  $P_i$ ;
- camera B, racordul  $r_2$  pentru legătura cu exteriorul ( $P = 0$ );
- camera C, racordul  $r_3$  pentru presiunea de ieșire  $P_e$ ;
- camera D, racordul  $r_4$  pentru presiunea de alimentare  $P_a$  ( $P_a = 1,4 \text{ kgf/cm}^2 = ct$ ).

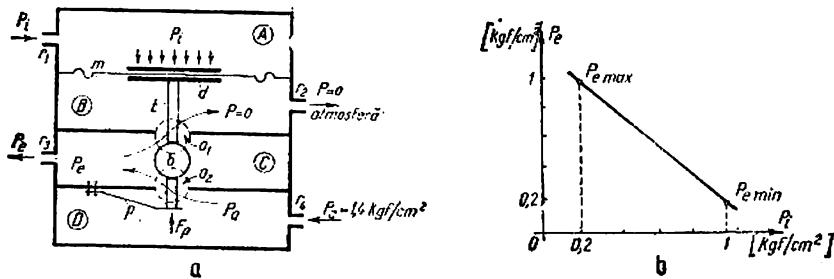


Fig. 12.6. Amplificator pneumatic de putere:  
a — schema pneumatică; b — caracteristica statică.

Amplificatorul prezentat „defazează“ semnalul de intrare  $P_i$  cu  $180^\circ$ , adică cind  $P_i$  crește,  $P_e$  scade.

Funcționarea amplificatorului are loc în felul următor:

Cind presiunea de intrare  $P_i$  are valoarea minimă  $P_i = P_{i\ min} = 0,2 \text{ kgf/cm}^2$  (nivelul minim al semnalului pneumatic unificat), resorțul  $p$  impinge bila  $b$  în sus pînă ce aceasta obturează complet orificiul  $o_1$ . În acest caz, rezistența pneumatică de trecere a orificiului  $o_2$  este minimă, astfel că presiunea de ieșire  $P_e$  capătă valoarea maximă ( $P_e = P_{e\ max}$ ) obținută de la presiunea de alimentare  $P_a$ .

Cind presiunea de intrare  $P_i$  are valoarea maximă  $P_i = P_{i\ max} = 1 \text{ kgf/cm}^2$  (nivelul maxim al semnalului pneumatic unificat), forța  $F_p$  a resortului  $p$  este învînsă, bila  $b$  fiind împinsă în jos (prin tija  $t$ ) pînă ce aceasta obturează complet orificiul  $o_2$ . Rezistența pneumatică de trecere a orificiului  $o_1$  este minimă, astfel că presiunea de ieșire  $P_e$  capătă valoarea minimă ( $P_e = P_{e\ min}$ ) prin legarea circuitului de ieșire direct cu atmosfera ( $P = 0$ ).

În sfîrșit, pentru valori intermediare ale presiunii  $P_i$  ( $0,2 - 1 \text{ kgf/cm}^2$ ), bila  $b$  ocupă o poziție intermediară astfel că presiunea  $P_e$  capătă o valoare intermediară între  $P_a = 1,4 \text{ kgf/cm}^2$  și  $P = 0$  (atmosferă), datorită legării simultane a camerelor  $B$ ,  $C$  și  $D$  prin rezistențele pneumatice de trecere a aerului prin orificiile  $o_1$  și  $o_2$ .

În figura 12.6,  $b$  este arătată caracteristica statică a acestui amplificator, din care se observă defazarea semnalului de intrare (cind  $P_i$  crește,  $P_e$  scade și invers).

Amplificatoarele pneumatice pot fi realizate „cu distribuitor“, similar cu cel hidraulic din figura 12.8.

## 7. AMPLIFICATOARE HIDRAULICE

● Amplificator hidraulic cu jet. În figura 12.7 este prezentat un amplificator hidraulic cu jet. Deplasarea (forță aplicată) tijei  $t_i$  constituie mărimea de intrare  $I$  și ea este primită de la un element sensibil (de exemplu, un traductor). Această tijă deplasează tubul cu jet  $j$  în fața orificiilor  $O_1$  și  $O_2$  ale unor tuburi  $d_1$  și respectiv  $d_2$ .

Tubul cu jet este articulat în punctul  $f$  și alimentat cu ulei sub presiunea  $P_0$  prin conducta  $C$ . Tuburile  $d_1$  și  $d_2$  alimentează, pe la cele două capete, un cilindru  $N$  în care se află pistonul  $P$ .

Detalii în legătură cu poziția jetului  $f$  față de orificiile  $O_1$  și  $O_2$  se văd în secțiunea  $A-A$  din figura 12.7.

Cind tija de intrare  $t_i$  se deplasează în sus învingînd rezistența resorțului  $r$  (reglabil cu ajutorul surubului  $S$ ), secțiunea  $S_1$  de trecere a uleiului spre orificiul  $O_1$  crește, respectiv secțiunea  $S_2$  de trecere spre orificiul

$O_2$  scade, ceea ce are ca efect creșterea presiunii  $P_1$  față de  $P_2$  și deci deplasarea în jos a pistonului  $P$ , inclusiv a tijei de ieșire  $t_e$ .

Cind  $t_i$  se deplasează invers, adică în jos,  $S_2$  crește și  $S_1$  scade, deci  $P_2 > P_1$  și pistonul  $P$  se deplasează în sus. Pentru o poziție mediană  $S_1 = S_2$ , deci  $P_1 = P_2$  și pistonul  $P$  (împreună cu tija de ieșire  $t_e$ ) stă pe loc.

Uleiul „uzat“ merge la evacuare având presiunea scăzută și este apoi repomenit în circuit.

● **Amplificator hidraulic cu distribuitor (fig. 12.8).** Tija de intrare  $t_i$  deplasează sistemul de pistoane  $P_1$  și  $P_2$  din distribuitorul  $D$ , alimentând prin tuburile  $d_1$  și  $d_2$  pistonul principal  $P$ , solidar cu tija de ieșire  $t_e$ . Cind  $t_i$  se deplasează în sus (ca în figură), uleiul sub presiunea  $P_a$  trece prin orificiul  $O_1$  și tubul  $d_1$  — în cilindrul principal  $N$ , impingând pistonul  $P$  și tija  $t_e$  în jos. Uleiul de sub pistonul  $P$  este evacuat prin tubul  $d_3$  și orificiul  $O_2$ .

Cind  $t_i$  se deplasează în jos, astfel că pistonul  $P_1$  coboară sub orificiul  $O_1$ , iar  $P_2$  coboară sub  $O_2$ , uleiul sub presiune este pus în legătură cu tubul  $d_2$  impingând pistonul  $P$  în sus; uleiul uzat de deasupra pistonului  $P$  este evacuat prin

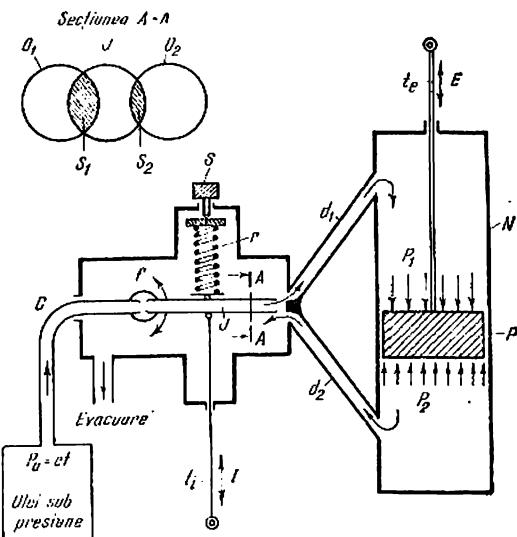


Fig. 12.7. Amplificator hidraulic cu jet.

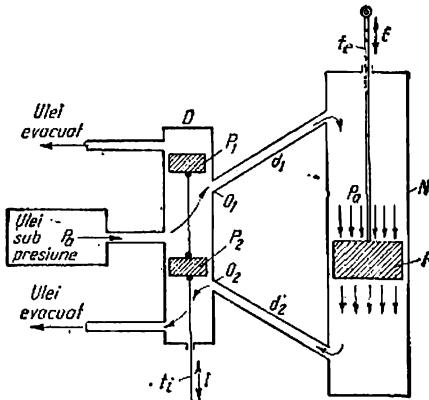


Fig. 12.8. Amplificator hidraulic cu distribuitor.

tubul  $d_1$  și pe deasupra pistonului  $P_1$ . Cind  $t_i$  se află în poziția mediană, pistoanele  $P_1$  și  $P_2$  închid orificiile  $O_1$  și respectiv  $O_2$ , astfel că pistonul  $P$  și tija  $t_e$  se opresc în poziția în care se află.

## B. RELEEE

### 1. INTRODUCERE

Spre deosebire de traductoare și amplificatoare, la care mărimea de ieșire  $e$  variază continuu în funcție de mărimea de intrare  $i$  (caracteristica de funcționare este o linie continuă), releele sunt elemente la care mărimea de ieșire variază brusc (în salt) atunci cind mărimea de intrare atinge o valoare prescrisă, numită *valoare de acționare (excitare)*. La scădereea mărimiile de intrare sub o *valoare numită de revenire*, are loc saltul invers al mărimiile de ieșire. Pentru exemplificare, în figura 12.9, a este prezentat un releu electromagnetic format dintr-o armătură fixă de oțel 1 și o armătură mobilă 2, de asemenea de oțel. Pe armătura fixă este infășurată o bobină 3, străbătută de curentul  $I_i$ , armătură care constituie astfel un electromagnet. Cind curentul de intrare crește, armătura 2 este atrasă, însă resortul antagonist 4 se opune deplasării acesteia. Cind curentul  $I_i$  atinge valoarea de acționare  $I_{i1}$ , rezistența resortului este invinsă, armătura 2 este atrasă și prin rotirea în jurul punctului 5 inchide contactul  $C_1$ . Prin închiderea acestui contact, în circuitul de ieșire va

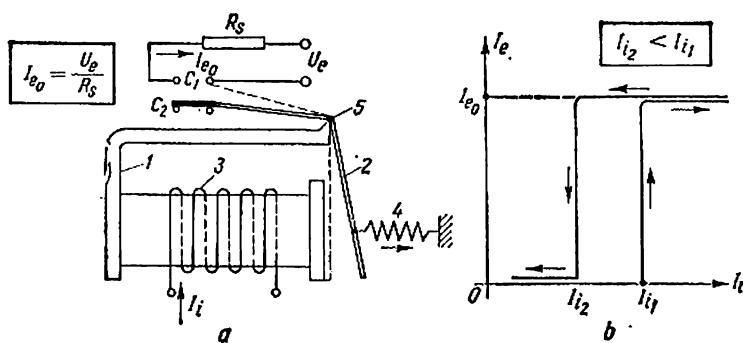


Fig. 12.9. Releu electromagnetic:  
a – schema constructivă; b – caracteristica statică.

apărea un curent  $I_{e0}$ . Se observă că valoarea curentului de ieșire depinde exclusiv de parametrii circuitului de ieșire:

$$I_{e0} = \frac{U_e}{R_s}. \quad (12.3)$$

Deci funcționarea unui releu poate fi prezentată prin următoarele relații simple (fig. 12.9, b):

$$I_i < I_{i1} (C_1 \text{ deschis}), \text{ situație în care } I_e = 0; \quad (12.4)$$

$$I_i \geq I_{i1} (C_1 \text{ închis}), \text{ cind } I_e = I_{e0} \quad (12.5)$$

La scăderea curentului  $I_i$  armătura nu este eliberată încă, chiar dacă curentul scade puțin sub valoarea de acționare. La o anumită valoare  $I_{i2}$  a curentului  $I_i$ , numită valoare de revenire, și care este mai mică decât cea de acționare ( $I_{i2} < I_{i1}$ ), armătura 2 este eliberată, contactul  $C_1$  se deschide și  $I_e$  devine zero.

La revenire, relațiile sint deci următoarele:

$$I_i < I_{i2} (C_1 \text{ este închis}), \text{ iar } I_e = I_{e0}; \quad (12.6)$$

$$I_i \leq I_{i2} (C_1 \text{ se deschide}) \text{ și } I_e = 0. \quad (12.7)$$

Contactul  $C_1$ , care este deschis în starea „normală” a releeului (releu neexcitat), se numește *contact normal deschis*.

Contactul  $C_2$  (fig. 12.9, a), care este închis în starea normală a releei, se numește *contact normal închis*.

## 2. CARACTERISTICILE ȘI UTILIZAREA RELEELOR

În majoritatea cazurilor, mărimea de la ieșirea releeelor ( $X_e$ ) este de natură electrică, adică un contact\* stabilăste brusc un curent sau o tensiune. Mărimea de intrare ( $X_i$ ) poate fi însă de natură electrică sau neelectrică și în funcție de aceasta se deosebesc *releele electrice* (de curent, de tensiune, de putere, de frecvență etc.) și *releee nenelectrice* (de temperatură, de presiune, de debit, de viteză etc.).

În figura 12.10 se prezintă o clasificare, din punctul de vedere al mărimii de intrare ( $X_i$ ) sau de ieșire ( $X_e$ ), a principalelor tipuri de relee.

\* În prezent se construiesc și relee fără contacte (statice), la care variația bruscă a curentului sau tensiunii se realizează pe cale electronică sau magnetică.

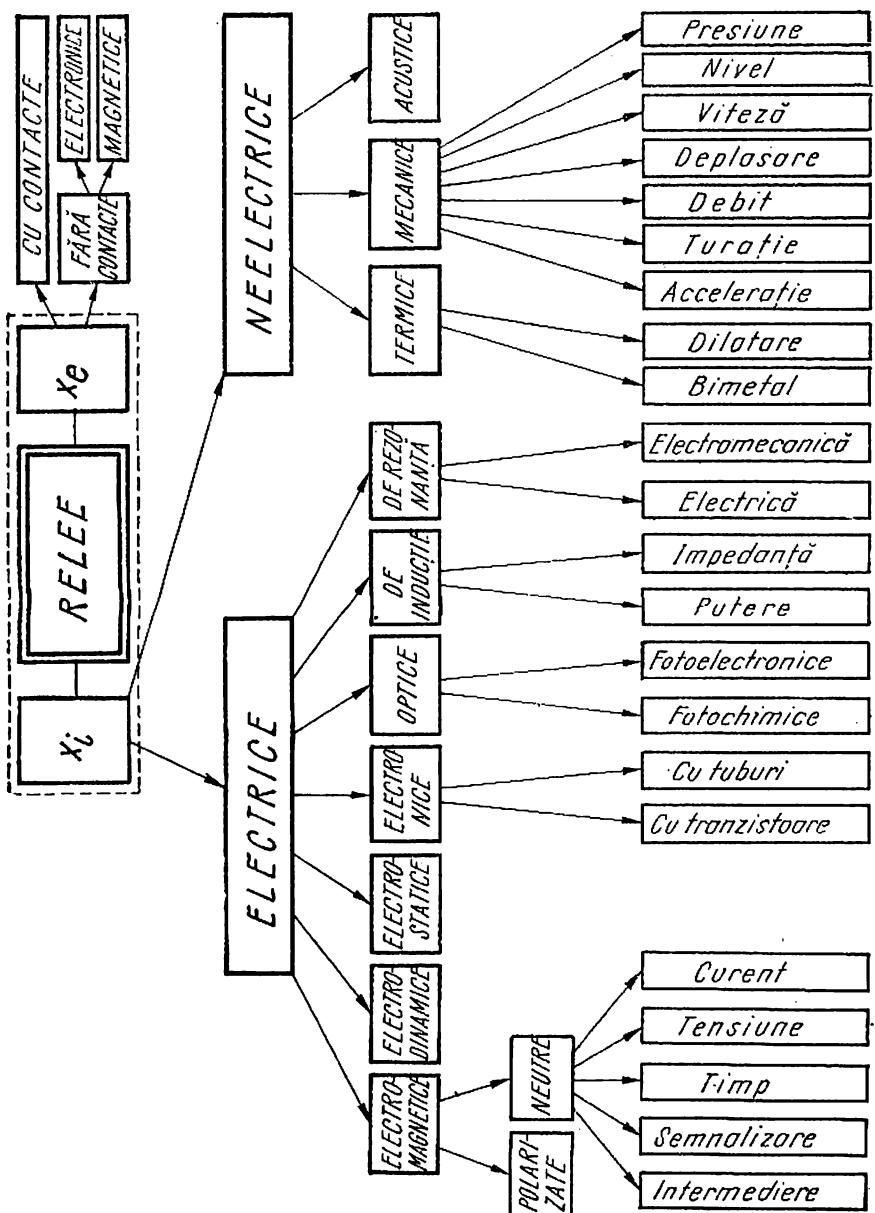


Fig. 12.10. Clasificarea releelor.

● **Mărimile ce caracterizează un anumit releu:**

- natura fizică a mărimii de intrare (acționare);
- putere absorbită la intrare pentru ca releul să funcționeze (această putere poate varia între valori cuprinse sub 1 W și circa 40 W);
- curentul (puterea) transmis de contacte în circuitul de ieșire.

În afară de curenti se stabilesc și limite admisibile pentru tensiune și se precizează natura sarcinii. De exemplu, un contact țupe 2A la 110V și sarcină rezistivă sau 0,5A la 220V și sarcină inductivă;

— numărul de funcționări ale releului fără ca aceasta să se strice (de exemplu 500 000);

— numărul și poziția contactelor (de exemplu un releu are șase contacte normal deschise și două contacte normal închise);

— domeniul de funcționare (de exemplu, un releu de curent poate fi reglat să funcționeze între 2,5 A și 10 A);

— timpul propriu de funcționare, care prezintă timpul scurs de la aplicarea mărimii de acționare pînă la închiderea contactelor și în funcție de care releele se împart în:

— relee instantanee, care prezintă o întirzire în funcționarea de 0,01–0,05 s, inherentă oricărui sistem fizic ce are o inertie;

— relee temporizate (de timp), care prin construcție specială pot închide contactele după un timp oarecare, reglabil (de exemplu la 0,1–10 s sau chiar mai mult).

● **Utilizarea releeelor.** Releele sunt folosite în automatică, mai ales în unele domenii, ca: protecția prin relee, comanda automată „secvențială” etc., în următoarele scopuri:

— pentru a comanda într-un circuit electric un curent de o valoare mare cu ajutorul unui curent de o valoare relativ mai mică (de exemplu, un releu acționează la un curent de 0,2 A, iar contactul său comandă închiderea unui circuit cu un curent de 10 A);

— pentru multiplicarea numărului de circuite comandate de un singur circuit (de exemplu, un releu primește un semnal de la un traductor și, închizînd trei contacte, stabileste trei circuite distincte, cu destinații deosebite);

— pentru a acționa la atingerea unei anumite valori a unui parametru controlat (de exemplu, un releu este conectat în circuitul de curent al unui motor și acționează cînd acest curent atinge valoarea de 25 A — periculoasă pentru motor);

— pentru a întîrzi un anumit semnal (temporizare), adică contactul se închide după un anumit timp de la excitare.

Releele construite pe principiul electromagnetic sunt cele mai răspîndite relee electrice; ele sunt folosite în curent continuu și alternativ. Releul din figura 12.9, a este un releu electromagnetic. Așa cum s-a ară-

tat, funcționarea unui releu electromagnetic se bazează pe atragerea unei armături de oțel de către o bobină cu miez de fier (electromagnet). *Releele electromagnetice* se realizează sub forma următoarelor tipuri: *de curent, de tensiune, de timp, intermediare, de semnalizare* etc., fiind fabricate în principal la Întreprinderea „Electromagnetică“ — București.

### 3. RELEEE FOTOELECTRONICE

În figura 12.11 este prezentat un tip de releu fotoelectronic care funcționează la o anumită valoare de acționare  $\Phi_1$  a unui flux luminos  $\Phi$  ce cade pe celula fotoemisivă  $F$ . După cum se știe, rezistența internă (ohmică)  $R_F$  a unei asemenea celule scade o dată cu creșterea iluminării ei, datorită fenomenului de emisie fotoelectronică. Celula  $F$  este inserată cu rezistență fixă  $R_0$  și este alimentată între punctele  $a$  și  $c$  cu tensiunea  $U_a$ . Notând cu  $I_0$  curentul ce străbate acest circuit, se poate scrie:

$$I_0 = \frac{U_a}{R_F + R_0}, \quad (12.8)$$

de unde rezultă tensiunea bazei tranzistorului  $T$  (față de masă):

$$U_b = R_0 \cdot I_0 = \frac{R_0}{R_F + R_0} U_a. \quad (12.9)$$

Releul funcționează pentru:

$$U_b > U_{b1} = U_e, \quad (12.10)$$

în care  $U_e$  este tensiunea emitorului, care este constantă

$$\left( U_e = U_a \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right).$$

Așadar, cind fluxul luminos  $\Phi$  crește atingind valoarea  $\Phi_1$ , rezistența celulei scade pînă la valoarea  $R_{F1}$  și tensiunea bazei  $U_b$  crește atingind valoarea  $U_{b1}$  la care releul electromagnetic  $E$  funcționează. Releul descris reprezintă un releu maximal de flux luminos, adică funcționează pentru  $\Phi > \Phi_1$ .

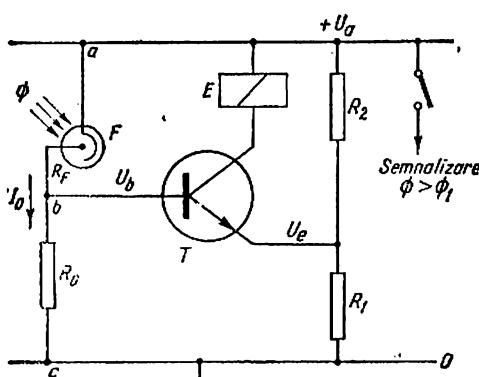


Fig. 12.11. Releu fotoelectronic cu contact.

Dacă se inversează locul celulei  $F$  cu rezistența  $R_0$ , expresia tensiunii bază-masă devine:

$$U_b = R_F \cdot I_0 = \frac{R_F}{R_0 + R_F} U_a. \quad (12.11)$$

Aceasta înseamnă că  $U_b$  crește, adică releul funcționează — conform relației (12.10) — cind  $R_F$  crește, adică fluxul luminos scade; deci s-a obținut un releu minimal de flux luminos.

#### 4. RELEEE DE MĂRIMI NEELECTRICE

Releele de mărimi neelectrice (pe scurt releele neelectrice) au ca mărimi de intrare o mărime de altă natură decit cea electrică. Se disting astfel *relee de temperatură, de nivel, de debit, de viteză, de acceleratie, de presiune, de deplasare* etc. În toate cazurile însă, acțiunea releului constă în stabilirea sau întreruperea unui circuit electric, adică a unui curent sau a unei tensiuni electrice.

Se poate imagina un număr foarte mare de relee neelectrice, combinând un traductor al unei mărimi neelectrice (din cele studiate în cap. 11) cu un releu electric oarecare. Mărimea de la ieșirea traductorului poate fi eventual amplificată pentru a comanda releul.

• În figura 12.12 este prezentat un **releu de temperatură cu bimetal**, realizat din două lame  $L_1$  și  $L_2$  sudate între ele, confectionate din metale cu coeficienți de dilatare  $d_1$  și  $d_2$  foarte diferiți. Prin încălzire de la o sursă  $S$  având temperatură  $t^\circ C$ , lamelele  $L_1$  și  $L_2$  dilatăndu-se diferit (de exemplu  $d_1 < d_2$ , deci alungirea lui  $L_2$  este mai mare ca a lui  $L_1$ ) bimetalul se curbează (arcuiește). Deoarece diferența de alungire crește cu temperatura — deci curbarea este cu atât mai accentuată cu cât temperatura este mai mare — rezultă că pentru o anumită valoare  $t_1$  a temperaturii, contactul  $C$  se va stabili, deci releul va funcționa.

Inchiderea contactului  $C$  constă în atingerea bornelor  $a$  și  $b$  de către lama metalică  $K$ , ceea ce are ca efect, de exemplu, stabilirea curentului de sarcină  $I_s$ .

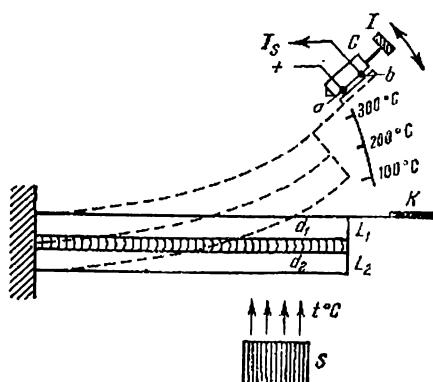


Fig. 12.12. Releu termic cu bimetal.

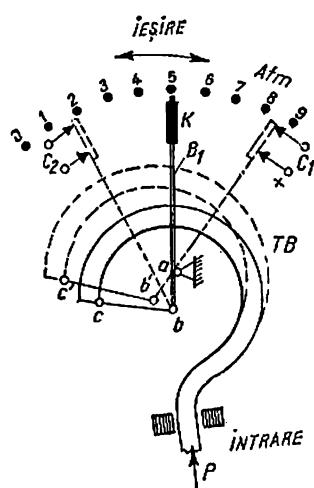


Fig. 12.13. Releu de presiune.

valoarea minimă  $P_2$ , se închide contactul  $C_2$  (contact de minim). Un alt tip de releu se mai numește și *manometru cu contact*, brațul  $B_1$  constituind în același timp și acul indicator care se deplasează în fața unei scări gradate (atm).

Schimbând poziția contactului  $C$  cu ajutorul șurubului de fixare  $I$  de-a lungul unei scări gradate ( $t^\circ\text{C}$ ), relevel poate fi reglat să funcționeze la diverse valori ale temperaturii.

• În figura 12.13 este arătat un releu de presiune realizat pe același principiu ca unele manometre cu ac indicator. Tubul circular elastic  $TB$ , numit și tub Bourdon, antrenează prin pîrghia  $B_1$  lama metalică  $K$ . Punctul  $a$  este un punct fix de articulație, iar  $b$  și  $c$  sunt puncte de articulație mobile. Cînd presiunea  $P$  aplicată releului crește, tubul Bourdon se destinde (figurat punctat), punctul  $c$  se deplasează în  $c'$ , iar punctul  $b$  în  $b'$ , ceea ce are ca efect rotirea pîrghiei  $B_1$  și deci deplasarea lamei  $K$ .

Cînd presiunea  $P$  atinge valoarea maximă  $P_1$ , lama  $K$  închide contactul  $C_1$  (contact de maxim), iar cînd presiunea scade la

## REZUMAT

1. Amplificatoarele sunt elemente folosite în automatizare care măresc (amplifică) proporțional cu un factor de amplificare mărimea aplicată la intrarea lor.

2. Necesitatea amplificatoarelor rezultă din faptul că mărurile obținute de la traductoare sunt insuficiente ca putere, pentru a acționa direct asupra unui organ de comandă dintr-o instalație de automatizare.

3. Amplificatoarele se construiesc atât pentru mărimi electrice (amplificatoare electronice, magnetice etc.), cât și pentru mărimi neselectrice (amplificatoare pneumatice și hidraulice).

4. Releele sunt elemente de automatizare cu funcționare discontinuă la ieșire (închidere-deschidere a unui contact) atunci cînd mărimea de intrare depășește (sau scade sub) o anumită valoare.

5. Releele se clasifică în funcție de natura mărimei de intrare (curent, temperatură, presiune etc.), numărul și puterea contactelor, domeniul de aplicare etc.

- 6. Releele pot fi folosite în următoarele scopuri:**
- măsurarea unui parametru controlat;
  - amplificare de putere;
  - multiplicarea numărului de circuite într-o schemă;
  - întârzierea unui semnal (temporizare).

## **VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR**

- 1. Amplificarea în putere a amplificatoarelor se datorează:**
  - a) legării în cascadă?
  - b) folosirii unei surse de energie auxiliară?
  - c) fenomenului de saturatie?
- 2. Amplificatoarele de curent continuu folosite în sistemul unificat E asigură:**
  - a) amplificarea directă a tensiunii continue?
  - b) amplificarea în curent alternativ?
  - c) demodularea semnalelor produse de un oscilator?
- 3. Funcționarea unui releu are loc în cazul:**
  - a) închiderii contactelor normal deschise?
  - b) deschiderii contactelor normal închise?
  - c) depășirii unei anumite valori a mărimii de intrare?
- 4. Releele fotoelectronice sunt acele elemente care:**
  - a) comandă variația unui flux luminos?
  - b) transformă un flux luminos într-o tensiune electrică?
  - c) acționează direct pe baza unui flux luminos?

## CAPITOLUL 13

### ELEMENTE DE EXECUȚIE

#### A. NOTIUNI GENERALE

##### 1. INTRODUCERE

*Elementul de execuție reprezintă partea prin care dispozitivul de automatizare acționează asupra instalației tehnologice.*

Deschiderea sau închiderea unui ventil dintr-o conductă, a unui întreruptor într-o rețea electrică, deplasarea cursorului unui reostat în circuitul de excitare al unui generator sincron etc., sunt tot atitea moduri de intervenție într-un proces sau instalație tehnologică.

Un element de execuție este format dintr-un *organ de execuție* (ventil, întreruptor, clapetă, reostat etc.) și un *motor de execuție* (numit uneori și *servomotor*) al acestuia. Din punct de vedere structural, organul de execuție face parte integrantă din instalația tehnologică, iar motorul de execuție poate să își lipsească atunci cînd intervenția în instalația tehnologică se face manual.

**ELEMENT DE EXECUȚIE = MOTOR + ORGAN (de execuție)**

Introducerea automatizării presupune însă prevederea motoarelor de execuție, adică mecanizarea organelor de execuție.

##### 2. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

*În general, elementele de execuție au ca principiu de funcționare fie variația unui debit de fluid prin modificarea secțiunii de trecere, fie modificarea cantității de substanță (energie) produsă de o sursă.*

Modificarea cantității de substanță sau de energie poate fi realizată în două moduri:

— *continuu* — atunci cînd cantitatea respectivă trebuie modificată în mod continuu între două valori limită. De exemplu, un ventil modifică continuu cantitatea (debitul de fluid ce trece printr-o conductă), între zero (ventil închis) și valoarea maximă corespunzătoare ventilului complet deschis;

— *discontinuu* — atunci cînd cantitatea respectivă este modificată discontinuu (discret) numai pentru două valori limită, dintre care una este în general zero („tot sau nimic“). De exemplu, la un întreceptor electric avînd numai două poziții posibile (deschis sau închis), curentul ce-l străbate poate avea valoarea zero sau o valoare nominală oarecare.

### 3. TIPURI DE ELEMENTE DE EXECUȚIE

Marea diversitate a proceselor tehnologice supuse automatizării a impus o mare diversitate de elemente de execuție. Tinînd seama însă de natura sursei de energie pentru alimentarea motoarelor, elementele de execuție se pot clasifica în (fig. 13.1):

— elemente de execuție electrice;

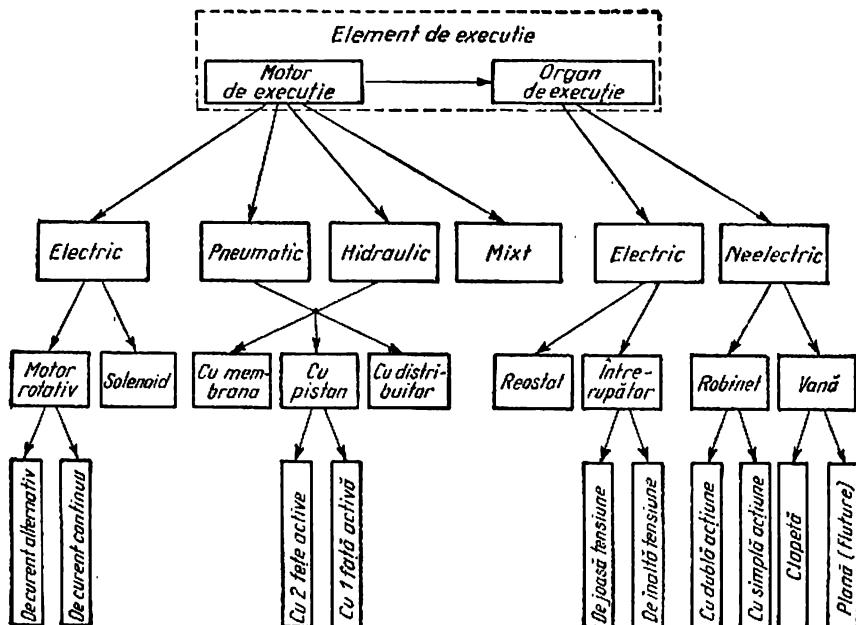


Fig. 13.1. Clasificarea elementelor de execuție.

- elemente de execuție pneumatică;
- elemente de execuție hidraulice.

Organele de execuție cele mai des utilizate pentru modificarea cantității de substanță (lichide sau gaze) sunt: robinetul, vana plană, vana clăpetă etc.

ACESTE tipuri de organe de execuție necesită motoare de execuție cu mișcări corespunzătoare.

Organele de execuție cel mai des întâlnite în instalațiile electroenergetice sunt: intreruptoarele, reostatele etc.

## B. ELEMENTE DE EXECUȚIE ELECTRICE

În principiu, aceste tipuri de elemente se împart în două categorii de bază, și anume: cu electromotor și cu electromagnet (solenoid).

• Elementele de execuție cu electromotor asigură o mișcare circulară continuă care, în general, este redusă de circa 100—200 ori cu ajutorul unui reductor mecanic de turăție.

Electromotoarele pot fi de curent continuu sau de curent alternativ.

Motoarele de curent continuu folosite sunt de obicei cele cu excitare separată.

Viteză de rotație depinde de mărimea semnalului aplicat, iar sensul de rotație — de polaritatea semnalului respectiv.

Motoarele de curent alternativ sunt fie cele monofazate serie cu colector, fie cele asincrone bifazate.

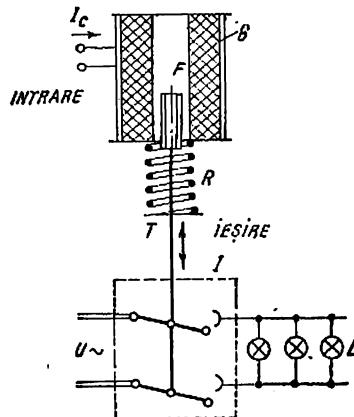


Fig. 13.2. Motor electric cu solenoid.

• Elementele de execuție cu electromagnet (solenoid) asigură o mișcare discontinuă, bipozitională (închis-deschis, dreapta-stinga etc.). Principal ele sunt executate ca în figura 13.2. Cind bobina B primește curentul de comandă  $I_c$ , mișul feromagnetic F este supus unei forțe de atracție și învingând forța resortului R deplasează tija T. În acest mod, dacă tija T este, de exemplu, solidară cu întreupatorul I, se produce închiderea unui circuit electric și aprinderea lămpilor L. La întreruperea curentului  $I_c$  prin bobină, resortul R care s-a armat la comanda inițială reduce tija T în poziția anterioară și deschide întreupatorul I.

### C. ELEMENTE DE EXECUȚIE PNEUMATICE

Acste elemente folosesc ca sursă de energie aerul comprimat și se construiesc exclusiv pentru mișcarea de deplasare (translație). Principal sunt utilizate următoarele tipuri de elemente de execuție pneumatice: *cu membrană, cu piston și cu distribuitor*.

- Elementele *cu membrană* (fig. 13.3) sunt formate dintr-o capsulă manometrică rotundă  $C$ , prevăzută cu o membrană  $M$ . Sub membrană se află un disc metalic  $D$  solidar cu tija  $T$ , prin care se transmite mișcarea, și un resort antagonist  $R$ . Aerul comprimat, adus prin conductă  $A$ , apasă asupra membranei și, învingind rezistența resortului antagonist, împinge tija în jos. Se observă că poziția tijei, deci a organului de execuție pe care îl comandă, variază continuu (bineînțeles între două limite) în funcție de presiunea aerului. Aerul comprimat are o presiune de obicei între 0,2 și 1 atmosferă, iar cursa tijei este de 1–6 cm.

- Elementele *cu piston* sunt folosite în cazul cînd sunt necesare deplasări mai mari.

În figura 13.4 este prezentat principial motorul pneumatic cu piston, care poate fi executat în două variante constructive: *cu o față a pistonului activă* și *cu ambele fețe ale pistonului active*. În prima variantă (fig. 13.4, a) aerul intrînd în cilindrul  $C$  deplasează în jos tija  $T$ . Ca și la elementele cu membrană, deplasarea înapoi se face prin scoaterea aerului din cilindru, respectiv prin destinderea resortului armat; poziția tijei depinde de presiunea aerului comprimat.

În varianta a doua (fig. 13.4, b) poziția tijei  $T$  depinde de diferența de presiune între cele două fețe ale pistonului  $P$ , respectiv de diferența

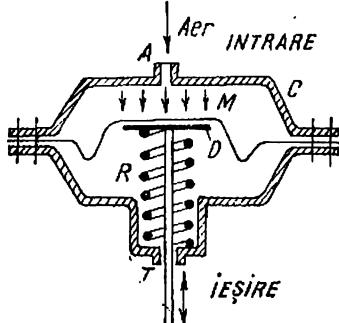


Fig. 13.3. Motor pneumatic cu membrană.

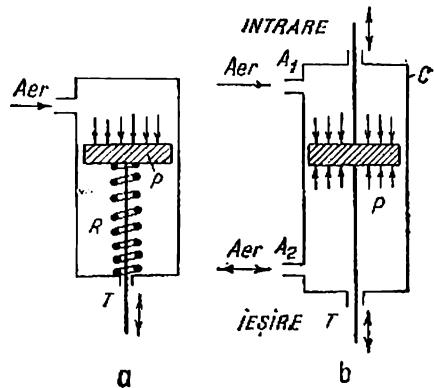


Fig. 13.4. Motor pneumatic cu piston:  
a – cu o față a pistonului activă; b – cu ambele fețe active.

de presiune a aerului adus prin conductele  $A_1$  și  $A_2$ . Acest tip de motor este folosit în cazul în care se cer forțe egale de acționare în ambele surse, deplasarea fiind de circa 5–12 cm.

• Motoarele de execuție cu distribuitor sunt asemănătoare amplificatoarelor hidraulice cu distribuitor (v. fig. 12.8).

## D. ELEMENTE DE EXECUȚIE HIDRAULICE

Aceste elemente folosesc ca agent motor un lichid sub presiune, de obicei, uleiul. Din punct de vedere constructiv, motoarele hidraulice nu diferă principal de cele pneumatice descrise mai sus; astfel, pot fi *motoare hidraulice cu membrană, cu piston cu o față și cu ambele fețe active, cu piston și distribuitor* etc.

În corpul cilindric  $C$  se află o paletă mobilă  $M$  solidară cu axul  $A$ . O paletă fixă  $F$  cuprinzând o garnitură de etansare  $S$  („simering“) apăsată de resortul  $R$  împarte astfel corpul cilindric în două compartimente  $C_1$  și  $C_2$ .

Față de cele pneumatice, elementele de execuție hidraulice prezintă următoarele *avantaje*:

- dezvoltă forțe de acționare mult mai mari la aceleași gabarite, datorită presiunii de ulei care poate fi mult mai mare;
- au o acțiune mai rapidă, datorită faptului că uleiul este practic incompresibil.

Ca și elementele pneumatice, cele hidraulice prezintă avantajul că pot fi folosite în medii explozive sau inflamabile, unde elementele electrice nu pot funcționa decât cu măsuri speciale de protejare.

Elementele de execuție hidraulice, ca și cele pneumatice, necesită instalații speciale pentru producerea uleiului sub presiune, respectiv a aerului comprimat. Aceste instalații cuprind rezervoare de ulei sub presiune (respectiv aer), diverse pompe, compresoare, conducte, filtre etc.

Necesitatea prevederii unei instalații speciale de producere a agentului motor (ulei sub presiune sau aer comprimat) constituie un *dezavantaj* al sistemelor pneumatice și hidraulice.

## R E Z U M A T

1. Elementele de execuție sunt acele părți ale unui sistem automat prin care dispozitivul de automatizare acționează asupra instalației tehnologice.

2. Organul de execuție face parte integrantă din instalația tehnologică, însă motorul de execuție trebuie prevăzut obligatoriu în cazul introducerii automatizării.

3. În funcție de agentul motor folosit, elementele de execuție se împart în: electrice, pneumatice, hidraulice și mixte.
4. În funcție de organul de execuție, elementele de execuție pot servi pentru modificarea cantității de substanță (ventile, vane etc.) sau pentru modificarea cantității de energie electrică (reostate, intreruptoare etc.).

## **VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR**

1. Funcția elementului de execuție este aceea de:
  - a) a executa comenziile primite de la instalația tehnologică?
  - b) a modifica valoarea parametrilor din proces?
  - c) a transforma o energie (de exemplu electrică) în altă formă de energie (de exemplu hidraulică)?
2. Motorul de execuție reprezintă:
  - a) o parte constitutivă a elementului de execuție?
  - b) o parte constitutivă a instalației tehnologice?
  - c) un organ de execuție în care s-a adăugat un element de execuție?
3. Organul de execuție apare absolut necesar la orice instalație tehnologică în următorul caz:
  - a) numai la introducerea automatizării?
  - b) numai la introducerea telemecanizării?
  - c) în orice situație?

## CAPITOLUL 14

### REGULATOARE

#### A. NOTIUNI GENERALE PRIVIND REGULATOARELE AUTOMATE

##### 1. ELEMENTELE COMONENTE ALE UNUI REGULATOR AUTOMAT. REACȚIA SECUNDARĂ

**Regulatorul** este *acel element de automatizare la intrarea căruia se aplică o mărime numită eroare (sau abaterea) și la a cărui ieșire rezultă mărimea de comandă  $x_c$ , care determină acționarea elementului de execuție.*

Măsurarea erorii (sau abaterrii  $\epsilon$ ) — care reprezintă diferența dintre valoarea mărimii controlate de regulator și valoarea prescrisă (dinainte stabilită) a acesteia — se realizează cu ajutorul unor traductoare și elemente de comparație.

Prin însăși construcția regulatorului se asigură o asemenea dependență între mărimea de comandă  $x_c$  și eroarea  $\epsilon$ , încât, ca urmare a acțiunii elementului de execuție comandat de regulator, să se obțină fie anularea abaterrii, fie menținerea acesteia între limite dinainte stabilite.

Cu toate că există o mare varietate de tipuri de regulație, orice regulator conține următoarele **elemente componente** (fig. 14.1):

- *amplificatorul;*
- *elementul de reacție;*
- *elementul de comparare.*

● **Amplificatorul**, notat cu  $A$  în figura 14.1, este elementul de bază al regulatorului.

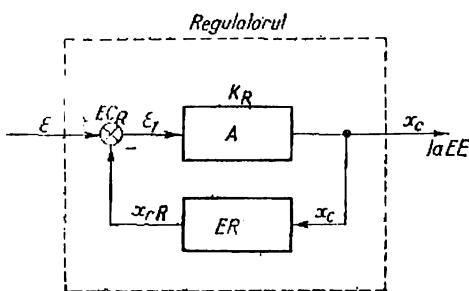


Fig. 14.1. Elementele componente ale regulatorului.

$A$  — amplificator;  $ER$  — element de reacție;  
 $EC_R$  — elementul de comparație al regulatorului.

El amplifică mărimea  $\varepsilon_1$  cu un factor  $K_R$ , deci realizează o relație de tipul:

$$x_c(t) = K_R \cdot \varepsilon_1(t), \quad (14.1)$$

unde  $K_R$  reprezintă factorul de amplificare al regulatorului.

- Elementul de reacție, notat în figura 14.1, cu  $ER$ , primește la intrare mărimea de comandă  $x_c$  (de la ieșirea amplificatorului) și elaborază la ieșire un semnal  $x_{rR}$ , denumit mărime de reacție a regulatorului.

- Elementul de comparare al regulatorului, notat cu  $EC_R$ , efectuează continuu compararea valorilor abaterii  $\varepsilon$  și a lui  $x_{rR}$  după relația:

$$\varepsilon_1(t) = \varepsilon(t) - x_{rR}(t). \quad (14.2)$$

Elementul de reacție secundară determină o dependență proporțională între  $x_{rR}$  și  $x_c$  (el poate fi un traductor, o rețea de corecție pasivă etc.).

## 2. CLASIFICAREA REGULATOARELOR

Clasificarea regulatorilor se poate face după mai multe criterii, dintre care vor fi amintite cele mai importante.

- În funcție de sursa de energie exterioară folosită, regulatorile se clasifică în *regulatori directi* — atunci, cind nu este necesară o sursă de energie exterioară, transmiterea semnalului realizându-se pe seama energiei interne — și *regulatori indirici* — care folosesc o sursă de energie exterioară pentru acționarea elementului de execuție.

- După viteza de răspuns, regulatorile se clasifică în *regulatori pentru procese rapide*, folosite pentru reglarea automată a instalațiilor tehnologice care au constante de timp mici (mai mici de 10 secunde) și *regulatori pentru procese lente*, folosite atunci cind constantele de timp sunt mari (depușește 10 s).

- După tipul acțiunii, pot fi *regulatori cu acțiune continuă* și *regulatori cu acțiune discretă*.

*Regulatori cu acțiune continuă* sunt cele în care mărimele  $\varepsilon(t)$  și  $x_c(t)$  variază continuu în timp (mărimi analogice); dacă dependența dintre cele două mărimi este liniară (în sensul proporționalității), regulatorul se numește *liniar*, iar dacă este neliniară — *regulator neliniar*.

*Regulatori cu acțiune discretă* (sau regulatorile discontinue) sunt cele la care mărimea  $\varepsilon(t)$ , deci și  $x_c(t)$ , reprezintă un tren de impulsuri; la aceste regulatori există o relație discontinuă între abaterea și mărimea de execuție.

- După caracteristicile constructive, se deosebesc *regulatori unicifrați* și *regulatori specializați*.

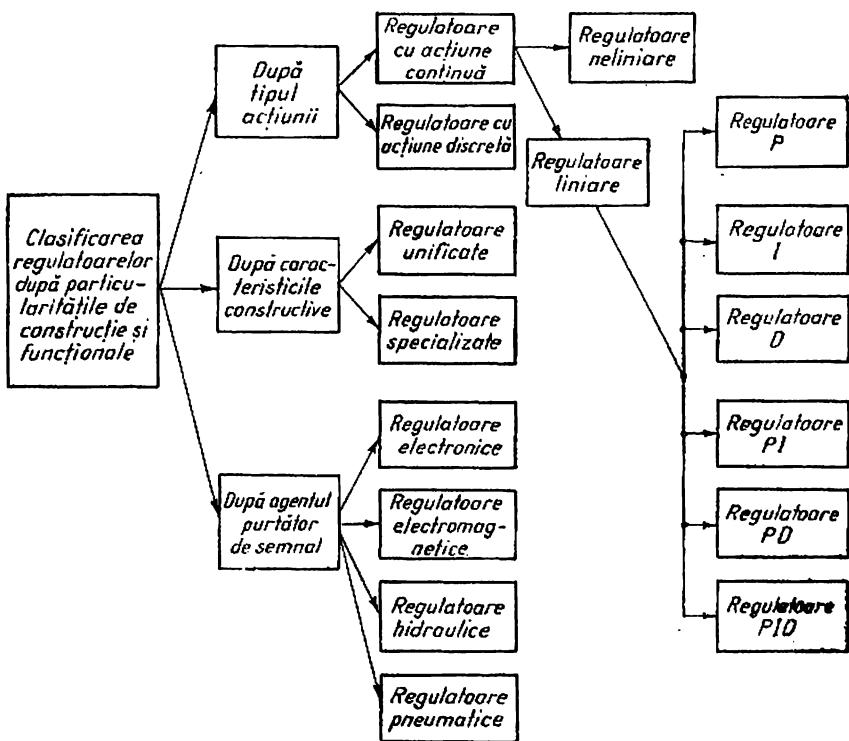


Fig. 14.2. Clasificarea regulatorelor în funcție de particularitățile de construcție și funcționale.

Regulatoarele unificate se pot utiliza pentru reglarea a diferiți parametri (temperatură, presiune, debit etc.), iar cele specializate — numai pentru o anumită mărime, caracteristică pentru un proces dat.

- După agentul purtător de semnal, regulatoarele sunt de tip *electronic*, *electromagnetic*, *hidraulic* sau *pneumatic*.

Clasificarea regulatorelor în funcție de particularitățile de construcție și funcționale este sintetizată în figura 14.2.

## B. REGULATOARE CU ACȚIUNE CONTINUĂ

La aceste regulatoare, mărimea de comandă este influențată în mod continuu de mărimea reglată. De aceea, este în principiu posibil să se dea mărimi de execuție acea valoare care este necesară pentru menținerea constantă a valorii prescrise a mărimi reglate.

Un rol deosebit în aplicațiile industriale ale automatizării îl au *regulatoarele cu acțiune continuă liniare*.

Se numesc regulatoare liniare toate *regulatoarele cu acțiune continuă în care legea de reglare, adică dependența dintre  $x_c(t)$  și  $\epsilon(t)$ , are un caracter liniar*.

Din clasificarea prezentată în figura 14.2, rezultă că regulatoarele liniare sunt de șase tipuri: regulatoare cu acțiune proporțională, notează cu  $P$ ; regulatoare cu acțiune integrală, notează cu  $I$ ; regulatoare cu acțiune diferențială  $D$ ; — regulatoare cu acțiunea proporțional-integrală —  $PI$ ; regulatoare cu acțiune proporțional-diferențială —  $PD$  și regulatoare cu acțiune proporțional-integral-diferențială, notează  $PID$ .

### 1. REGULATOARE CU ACȚIUNE PROPORTIONALĂ ( $P$ )

Aceste regulatoare stabilesc, între mărimea de intrare în regulator  $\epsilon(t)$  și cea de comandă  $x_c(t)$  o relație de proporționalitate:

$$x_c(t) = K_R \cdot \epsilon(t) \quad (14.3)$$

în care  $K_R$  este *factorul de amplificare al regulatorului*.

Astfel, în cazul în care mărimea de intrare este o funcție treaptă unitară (fig. 14.3, a) mărimea de ieșire va fi de asemenea o funcție treaptă (fig. 14.3, b), dar amplificată prin  $K_R$ . În realitate, mărimea de comandă nu poate urmări instantaneu variațiile mărimii de acționare, datorită inerției elementelor din cuprinsul regulatorului și, din această cauză, răspunsul real va fi ca cel indicat în figura 14.3, b cu linie întreruptă.

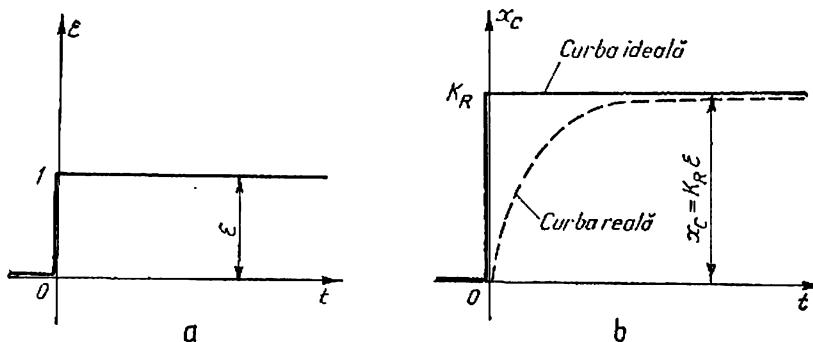


Fig. 14.3. Variația tip treaptă unitară aplicată la intrarea unui regulator automat (a) și variația obținută la ieșirea lui (b).

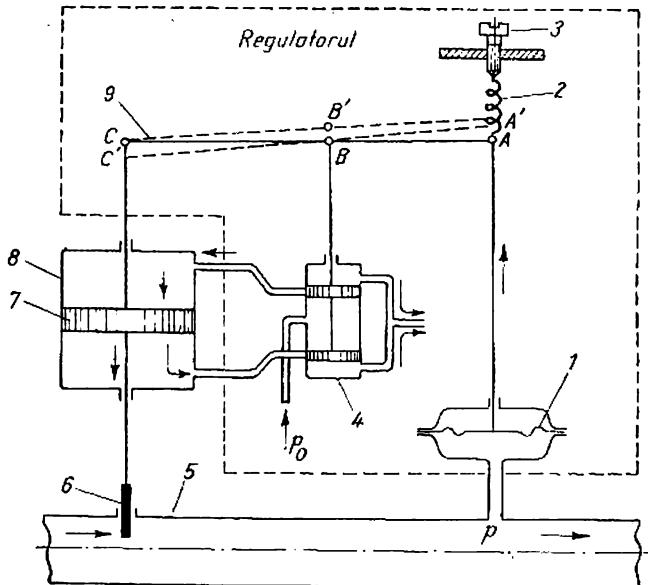


Fig. 14.4. Regulator  $P$  cu acțiune indirectă.

Uneori, în loc de factorul de amplificare  $K_R$  se folosește o altă constantă, denumită *banda de proporționalitate a regulatorului  $P$* , care se notează cu  $BP$ . Cind domeniul de variație al mărimii de acționare a regulatorului (abaterea  $\varsigma$ ) este egal cu domeniul de variație al mărimii de comandă, domeniul de proporționalitate se determină din relația:

$$BP = \frac{1}{K_R} 100 [\%]. \quad (14.4)$$

#### *Regulatorul $P$ cu acțiune indirectă.*

În figura 14.4 este prezentată simplificat reglarea automată a presiunii unui fluid utilizând un regulator de tip  $P$  cu acțiune indirectă (cu sursă de energie exterioară). În acest exemplu, parametrul ce se reglează este presiunea fluidului din conductă 5.

- Ansamblul regulator-element de execuție conține următoarele elemente: *traductorul de reacție*, *elementul de prescriere*, *elementul de comparare*, *amplificatorul cu distribuitor*, *elementul de execuție*.

— *Traductorul de reacție* (elementul de măsurare) este format din membrană elastică 1 care convertește variațiile presiunii din conductă 5 în variații de deplasare liniară ale tijei fixate de membrană.

— *Elementul de prescriere 3* este elementul cu ajutorul căruia se fixează valoarea de consemn a presiunii din conductă. Prin intermediul resortului 2, elementul de prescriere deplasează punctul A al tijei ABC.

— *Elementul de comparare 9* este format din pîrghia ABC.

— *Amplificatorul cu distribuitor 4* folosește ca sursă de energie exteroară un fluid cu presiune  $p_0$ . Existența acestei amplificator este legată de necesitatea elaborării semnalului capabil să acționeze pistonul 7 al elementului de execuție.

— *Elementul de execuție* este format din cilindrul 8, pistonul 7 și clapeta de închidere 6.

● **Funcționare.** Se presupune că inițial presiunea din conductă se află la valoarea nominală  $p_n$  (denumită și *valoare de consemn*) și că la un moment dat are loc o creștere a presiunii  $p$  ( $p > p_n$ ). În aceste condiții, se produc următoarele modificări în funcționarea dispozitivului:

— membrana 1 se deformează sub acțiunea presiunii  $p$  și tija de legătură cu membrana se deplasează în sus, comprimînd resortul 2; ca urmare, punctul A se deplasează în  $A'$ ;

— elementul de comparare 9 își modifică poziția și se stabilește după linia  $A'B'C'$ , antrenind și tija cu pistonașe a amplificatorului 4;

— orificiul de legătură dintre amplificatorul 4 și elementul de execuție 8, din partea de sus a amplificatorului, se deschide puțin (deschiderea este cu atit mai mare, cu cît abaterea lui  $p$  de la valoarea  $p_n$  a fost mai mare) și fluidul sub presiunea  $p_0$  intră pe fața superioară a pistonului 7, împingîndu-l în jos;

— clapeta 6 obțurează mai mult din secțiunea de trecere a fluidului din conductă 5 și presiunea  $p$  scade, tinzînd spre  $p_n$ ; în această situație, elementul de comparare revine la poziția ABC.

*În cazul în care presiunea  $p$  ar fi scăzut față de valoarea nominală, respectiv  $p < p_n$ , acțiunea regulatorului ar fi fost inversă tinzînd să ducă la creșterea lui  $p$ .*

## 2. REGULATOARE CU ACȚIUNE INTEGRALĂ (I)

Denumirea de regulatoare cu acțiune integrală derivă de la dependența dintre mărimea de acțiune (abaterea  $\varepsilon$ ) și mărimea de comandă ( $x_c$ ) pe care o realizează acest tip de regulatoare, și anume:

$$x_c(t) = K_I \int \varepsilon(t) dt. \quad (14.5)$$

Relația (14.5) arată că mărimea de comandă (de la ieșirea regulatorului) depinde de integrala abaterii  $\varepsilon$ . Constanta  $K_I$ , care este fixată

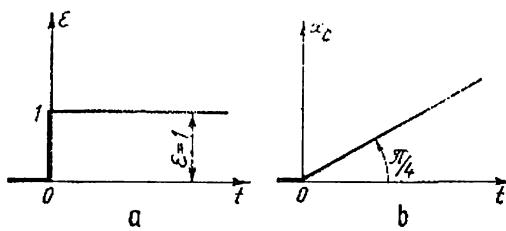


Fig. 14.5. Răspunsul unui regulator  $I$  la o intrare treaptă unitară.

prin construcția regulatorului, se numește *factor de amplificare al regulatorului I*.

În loc de constanta  $K_I$ , se mai utilizează valoarea inversă a acesteia:

$$T_I = \frac{1}{K_I} \quad (14.6)$$

în care  $T_I$  se măsoară în unități de timp și care se numește *constantă de timp de integrare*.

La acest tip de regulatoare, o abatere treaptă unitară creează ca răspuns o mărime de comandă de forma unei rampe (fig. 14.5) înclinată cu  $\frac{\pi}{4}$ .

Dacă se derivează ambii membri ai relației (14.5) rezultă:

$$\frac{dx_c(t)}{dt} = K_I \varepsilon(t) \quad (14.7)$$

Rezultă că la regulatoarele  $I$  viteza de variație a mărimii de comandă  $\frac{dx_c(t)}{dt}$  este proporțională cu abaterea (în cazul prezentat în figura 14.5, ea este constantă).

### 3. REGULATOARE CU ACȚIUNE DIFERENȚIALĂ ( $D$ )

Regulatoarele cu acțiune diferențială realizează o lege de reglare în care mărimea de ieșire a regulatorului (sau mărimea de comandă) este proporțională cu derivata mărimii de intrare. Exprimarea matematică a legii de reglare a acestor regulatoare este:

$$x_c(t) = K_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt}. \quad (14.8)$$

Astfel spus, mărimea de comandă este proporțională cu viteza de variație a erorii (sau abaterii).

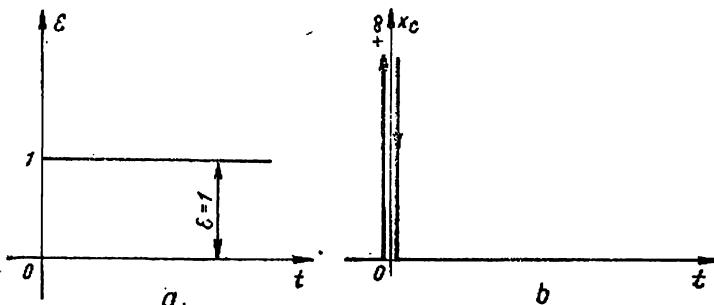


Fig. 14.6. Răspunsul regulatorului  $D$  la o intrare treaptă unitară.

În relația (14.8) coeficientul  $K_D$  depinde de construcția regulatorului și se numește *factor de amplificare al regulatorului  $D$* .

Formele mărimilor de comandă ce se obțin în aceste regulatoare, ca răspuns la diferite tipuri de variație a abaterii, sint arătate în figurile 14.6 și 14.7. În figura 14.6 se arată că pentru o abatere în treaptă unitară se obține impulsul unitar (Dirac) ca mărime de comandă. În figura 14.7 se arată că pentru o variație oarecare a abaterii, mărimea de comandă are practic forma unui impuls, deci se manifestă într-un interval de timp scurt.

Din figura 14.7 rezultă că la o modificare relativ monotonă a lui  $\epsilon(t)$ , viteza de variație a abaterii  $\dot{\epsilon}$  crește mai repede decit abaterea, ceea ce face ca regulatorul  $D$  să acționeze mai rapid decit un regulator  $P$ .

○ **Concluzii.** Fiecare dintre cele trei tipuri de regulatoare descrise au unele deficiențe, care micșorează posibilitățile lor de utilizare.

Astfel, *regulatorul cu acțiune proporțională  $P$*  mențin în regim staționar o eroare a cărei valoare depinde de sarcină. Ele pot fi utilizate numai atunci cînd procesul reglat admite o asemenea eroare.

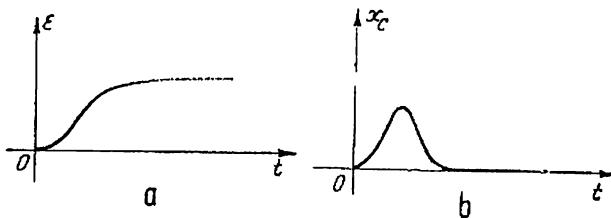


Fig. 14.7. Răspunsul regulatorului  $D$  la o variație la intrare de formă oarecare.

*Regulatoarele cu acțiune integrală (I)* mișcorează stabilitatea sistemelor automate și necesită o durată mai mare a procesului de reglare (în comparație cu cele proporționale).

*Regulatoarele D* nu pot fi practic utilizate, deoarece ele oferă o mărime de comandă de durată insuficientă pentru a elimina abaterea apărută și, deci, nu pot realiza un regim staționar al reglării.

Aceste deficiențe au condus la apariția unor **regulatoare mixte** din punctul de vedere al modului de acționare, *rezultate din combinarea mai multor regulatoare cu acționare P, D sau I*, și anume:

- *regulatoare PI* (o combinație între un regulator proporțional și unul integral);
- *regulatoare PD* (o combinație între un regulator proporțional și unul diferențial);
- *regulatoare PID* (o combinație de regulatoare *P, I* și *D*).

## C. REGULATOARE SPECIALIZATE ȘI REGULATOARE UNIFICATE

În figura 14.2 s-a arătat că din punctul de vedere al caracteristicilor constructive, regulatoarele se clasifică în regulatoare specializate și regulatoare unificate.

### 1. REGULATOARE SPECIALIZATE

În prima etapă de dezvoltare a automatizării instalațiilor și proceselor industriale s-au fabricat, în exclusivitate regulatoare specializate, destinate, proiectate și construite pentru un anumit tip de instalație tehnologică (sau proces).

Dar, în practică există o mare varietate de instalații și procese care se impun să fie automatizate, ceea ce ar implica proiectarea și producerea unei largi diversități de regulatoare și elemente de automatizare specializate. Aceasta ar conduce, pe de o parte, la executarea unor produse de serie mică, în loturi insuficiente de avantajoase pentru întreprinderile producătoare de astfel de elemente de automatizare; pe de altă parte, ar necesita un consum mare de timp din momentul precizării cerințelor beneficiarului (tipul instalației sau procesului reglat, performanțele impuse regulatorului etc.) și până la executarea regulatorului comandat.

### 2. REGULATOARE UNIFICATE

Spre deosebire de instalațiile cu regulatoare specializate, cele cu elemente de automatizare unificate se caracterizează prin stabilirea și utilizarea unui semnal standard, atât ca natură, cât și ca nivel. Ele au fost

prevăzute nu numai cu regulatoare unificate, dar chiar cu elemente sau blocuri tip, cu semnale unificate, care îndeplinesc funcții independente și se caracterizează prin faptul că mărimele (semnalele) de intrare și de ieșire ale fiecărui element sunt de aceeași natură fizică și au aceleași limite ale gamei (domeniului) de variație.

Combinarea diferită a regulatoarelor și elementelor de reglare unificate, cu structură funcțională și constructivă modulară, permite folosirea sistemelor unificate la automatizarea unor instalații cu caracteristici tehnologice diferite.

● **După agentul purtător de semnal, regulatoarele unificate se împart în regulatoare unificate pneumatice, hidraulice și electronice.**

În cazul regulatoarelor unificate pneumaticice, semnalul unificat adoptat în general este presiunea de 0,2 ... 1 ats. (atmosferă suprapresiune). La această presiune redusă, debitul de aer de lucru consumat este mic, viteza de propagare a semnalului este maximă, iar pericolul de condensare a vaporilor de apă, ca urmare a variațiilor de temperatură, este practic înălțurat. În țară se produc elemente de automatizare pneumatice în fabrica de la Bîrlad.

În cazul regulatoarelor unificate hidraulice (cu ulei), datele publicate asupra mărimilor adoptate menționează presiunea uleiului de  $1,5 \text{ kg/cm}^2$  pentru alimentarea regulatorului cu variații ale presiunii de comandă a uleiului între limitele  $0,2 \dots 1,1 \text{ kg/cm}^2$ .

În cazul regulatoarelor unificate electronice, semnalul unificat adoptat de majoritatea întreprinderilor constructive de echipamente de automatizare este o mărime electrică (tensiune sau curent) continuă.

○ **Observația 1.** Nu se folosește un semnal electric alternativ, deoarece acesta ar implica o serie de dificultăți legate de influența impedanței circuitelor electrice, de defazajele produse, de necesitatea folosirii unor cabluri speciale etc.

○ **Observația 2.** Instalațiile sau procesele tehnologice reglate pot avea constante de timp diferite. Astfel, unele dintre ele se caracterizează prin constante de timp mari (reglarea temperaturii, reglarea debitului, nivelului, presiunii și concentrației la cazanele de abur etc.), pe cind altele, dimpotrivă, prin constante de timp reduse (reglări de viteză, poziție, reglarea tensiunii de excitare a generatoarelor electrice, reglarea turării motoarelor etc.). Primele se numesc *procese lente*, celealte — *procese rapide*. În cadrul proceselor rapide, un loc important îl ocupă instalațiile de curenți tari de tipul echipamentelor electroenergetice și al acționărilor electrice. Regulatoarele unificate vor avea deci caracteristici tehnice și constructive diferite, în funcție de procesul reglat, deoarece realizarea constantelor de timp diferă de la un caz la altul.

● În funcție de gama de variație a semnalului unificat electric (limitele domeniului de variație), se întâlnesc două variante de regula-toare unificate:

- cu nivel minim zero;
- cu nivel minim diferit de zero.

În țara noastră au fost adoptate: varianta cu semnal de nivel minim zero pentru *sistemul electronic unificat UNIDIN*, destinat reglării pro-ceselor rapide (semnalul unificat fiind o tensiune continuă de  $+10V$ , cu gama de variație  $0 \dots 10 V$ ) și varianta cu semnal minim diferit de zero, pentru *sistemul electronic unificat e — line*, produs de Întreprin-derea de Elemente de Automatizare București, destinat reglării pro-ceselor lente (semnalul unificat fiind un curent continuu, cu gama de variație  $2 \dots 10 mA$ ).

În figura 14.8 sunt reprezentate elementele componente ale sistemului unificat electronic **UNIDIN** fabricat în țară, destinat reglării proceselor rapide.

Sistemul **UNIDIN** poate asigura reglarea diferenților parametri: poziție, viteză, acceleratie, curent, tensiune, curent de excitație etc.

Semnalul unificat este tensiunea continuă de  $\pm 10 V$  (cu o rezervă pînă la  $\pm 12 V$ ). Semnalul de intrare poate fi adaptat la valoarea dorită cu ajutorul unor rezistențe reglabile. Acționarea dorită în regim dinamic (de tip *P*, *PD*, *PI* sau *PID*) se obține prin aplicarea unei reacții *RC* adecvate amplificatorului de bază, care este un amplificator operațional tranzistorizat. Sistemul este prevăzut cu surse de tensiune stabilizate, este în intregime tranzistorizat și are circuite imprimate.

Regulatorul electronic unificat **UNIDIN** este un regulator tranzisto-rizat, folosit în reglarea proceselor rapide, de tipul acționărilor electrice. Legea de reglare este stabilită de circuitele de corecție care se aplică amplificatorului. În cazul în care este necesară o putere de ieșire mică, regulatorul este cu acțiune continuă; pentru puteri de ieșire mai mari el este de tip basculant.

Regulatorul **UNIDIN** poate realiza reglări de tipul *PI*, *PD* și *PID*.

## D. ALEGAREA ȘI ACORDAREA REGULATOARELOR

### 1. PARAMETRII CARE INTERVIN LA ALEGAREA ȘI ACORDAREA REGULATORULUI

Se consideră că într-o instalație tehnologică se desfășoară un anumit proces care trebuie automatizat și urmează să fie ales regulatorul.

Pentru alegerea regulatorului se procedează astfel:

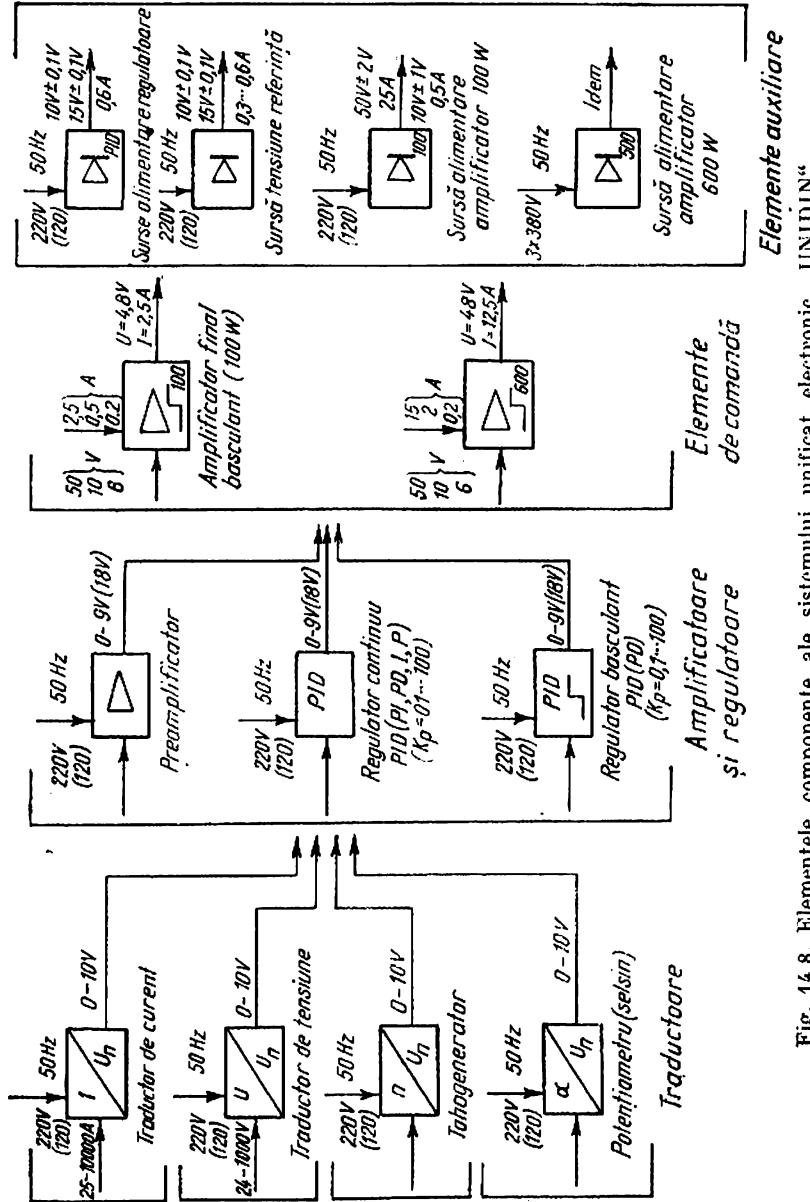


Fig. 14.8. Elementele componente ale sistemului unificat electronic „UNIDIN“

— se stabilește care tip dintre regulatoarele (specializate sau unificate)  $P$ ,  $I$ ,  $PI$ ,  $PD$  sau  $PID$  este mai indicat pentru instalația respectivă;

— se determină parametrii regulatorului ales.

Deoarece parametrii regulatorului ales se pot afla în game mai largi de valori decât cele necesare la reglarea instalației date, este obligatorie operația de acordare a regulatorului în funcție de caracteristicile instalației tehnologice. Aceasta constă în ajustarea parametrilor unui regulator astfel ca aceștia să corespundă cerințelor concrete ale instalației date. Dacă această ajustare are în vedere o comportare a procesului reglat care să fie optimă în funcție de un anumit criteriu (de exemplu, durata minimă a procesului tranzitoriu, abaterea minimă, influența minimă a perturbațiilor externe etc.), ea se numește acordare optimă a regulatorului.

La studierea diferitelor tipuri de regulatoare a fost stabilit că în cazul unui regulator de tip  $P$  principalul parametru este factorul de amplificare  $K_R$  (sau banda de proporționalitate  $BP$ ), la un regulator tip  $D$  constanta de timp derivativă  $T_D$ , iar la un regulator de tip  $I$ , parametrul caracteristic este constanta de timp de integrare  $T_I$ . Pentru celelalte tipuri de regulatoare interesează valorile acelorași parametri (de exemplu, la un regulator  $PI$  parametrii caracteristici sunt  $K_R$  și  $T_I$ , la un regulator  $PD - K_R$  și  $T_D$  iar la un regulator  $PID - K_R$ ,  $T_I$  și  $T_D$ ).

## 2. ALEGAREA TIPULUI DE REGULATOR

Pentru alegerea tipului de regulator este necesar să se cunoască complet caracteristicile procesului tehnologic ce se desfășoară în instalația reglată. În practică, de cele mai multe ori aceste caracteristici se ridică experimental. În acest scop se aplică la intrarea instalației tehnologice o variație în treaptă și se măsoară continuu mărimea de ieșire  $x_e$ .

Funcția  $x_e(t)$  ridicată experimental, denumită și *răspunsul real*, se folosește pentru alegerea tipului de regulator. Se presupune — pentru precizarea noțiunii — că această funcție are forma arătată în figura 14.9.

Se duce în punctul de inflexiune  $I$  tangenta și se notează punctele  $A$  și  $B$ . Din  $B$  se coboară o perpendiculară pe axa absciselor și se obține punctul  $C$ . Pe abscisă se formează astfel două segmente:

— segmentul  $OA$  — notat cu  $T_m$  — definește un timp mort fictiv al instalației tehnologice (în sensul întârzierii răspunsului);

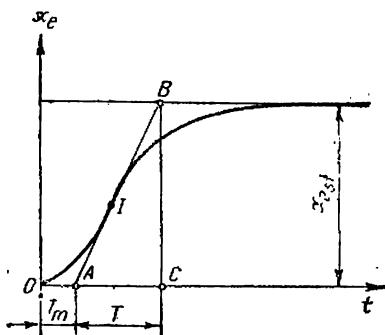


Fig. 14.9. Aproximarea răspunsului real cu un răspuns fictiv.

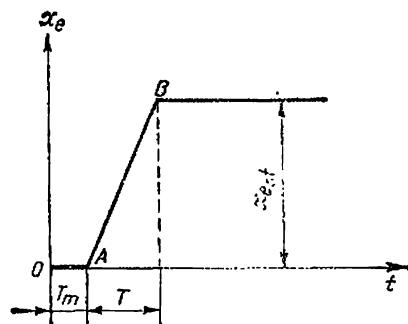


Fig. 14.10. Răspunsul fictiv al instalației tehnologice reglate.

— segmentul  $AC$ , notat cu  $T$  — reprezintă constanta de timp fictivă.

Caracteristica reală din figura 14.9 poate fi aproximată, prin liniarizare, cu o caracteristică fictivă ca cea reprezentată în figura 14.10.

În funcție de valoarea raportului  $\frac{T_m}{T}$  se poate alege orientativ tipul de regulator, aşa cum se arată în tabelul 14.1.

*Tabloul 14.1.*

*Alegerea regulatorului în funcție de  $T_m/T$*

Raportul $\frac{T_m}{T}$	Tipul de regulator care se recomandă a fi utilizat
Pînă la 0,2	Regulator bipozițional
Pînă la 1,0	Regulator avînd elemente $P$ , $I$ și $D$
Peste 1,0	Regulatoare cu caracteristici speciale sau „sisteme de reglare complexă” cu regulatoare avînd elemente multiple $P$ , $I$ și $D$

**De reținut:** alegerea regulatorului se face, de cele mai multe ori, pe baza recomandărilor rezultate din experiența practică. La determinarea cerințelor privitoare la calitatea reglării și la alegerea tipului de regulator (deci și a celorlalte elemente de automatizare) trebuie să se țină cont și de eficacitatea economică a realizării și instalării unui sistem complex de reglare automată.

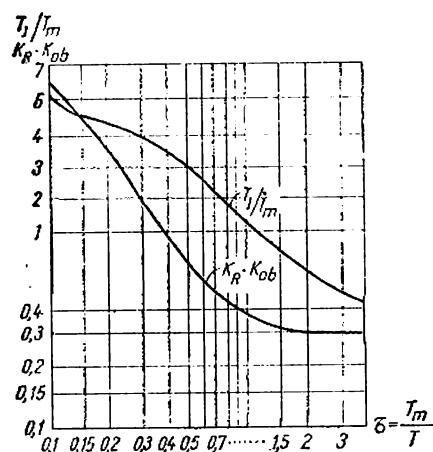


Fig. 14.11. Acordurile optime ale regulatorului PI (proces aperiodic).

torului ( $K_R \cdot T_I$  și  $T_D$ ) se pot determina după curbe predeterminate pe baza unor experiențe. În figura 14.11 se prezintă — spre exemplificare — graficul pentru acordurile optimale ale unui regulator PI, în cazul unui proces aperiodic în funcție de raportul  $\sigma = \frac{T_m}{T}$  luat în abscisă.

S-au notat în ordonată mărimele  $\left(\frac{T_I}{T_m}\right)$  și  $K_R \cdot K_{ob}$ , unde  $K_R$  este factorul de amplificare al regulatorului și  $K_{ob}$  — factorul de amplificare al obiectului reglat (instalația tehnologică sau procesul reglat).

## REZUMAT

**Regulatorul** este acel element de automatizare, la intrarea căruia se aplică eroarea (abaterea  $\varepsilon$ ) și la cărui ieșire rezultă mărimea de comandă  $x_c$ .

Regulatoarele se clasifică:

— în funcție de sursa de energie:

REGULATOARE  DIRECTE  
 INDIRECTE

— în funcție de viteză de răspuns:

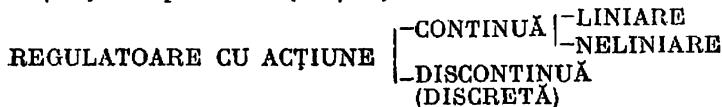
REGULATOARE PENTRU PROCESE  RAPIDE  
 LENTE

## 3. Acordarea optimă a regulatoarelor

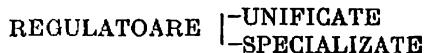
Acordarea optimă a unui regulator se face pe baza unui criteriu dinainte stabilit și se realizează la regulatoarele tip  $P$ ,  $PI$ ,  $PD$  și  $PID$ . În urma operației de acordare, parametrii regulatorului ( $K_R$ ,  $T_D$ ,  $T_I$ ) se ajustează la acele valori care conduc la performanțele dorite în regim staționar și dinamic de funcționare.

Acordarea regulatoarelor se face prin calcul (cu ajutorul unor criterii și relații matematice care vizează obținerea unui proces tranzitoriu cit mai scurt și mai bine amortizat), sau pe cale grafică, (cu ajutorul unor curbe experimentale). Astfel, valoările optime ale parametrilor regula-

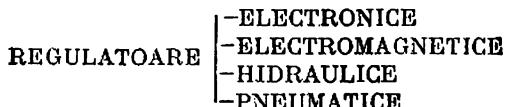
— în funcție de particularitățile funcționale:



— în funcție de caracteristicile constructive:



— în funcție de agentul purător de semnal:



*Acordarea regulatoarelor* reprezintă ajustarea parametrilor regulatorului la acele valori care conduc la performanțele dorite în regim staționar și dinamic. Pentru acordarea regulatoarelor se folosesc relații de calcul (criterii de acordare) sau grafice de acordare optimă.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce elemente intră în componența unui regulator:

- a) elemente de prescriere, elementul de execuție și traductorul de reacție?
- b) elementul de prescriere, comparatorul diferențial și amplificatorul?
- c) amplificatorul, elementul de reacție și elementul de comparare?

2. Ce sunt regulatoarele cu acțiune proporțională ( $P$ ):

- a) regulatoarele la care mărimea de acționare de la ieșirea regulatorului (sau mărime de comandă)  $x_c(t)$  este proporțională cu mărimea de intrare în regulator  $\varepsilon(t)$ ?
- b) regulatoarele la care mărimea de comandă  $x_c(t)$  este egală cu eroarea  $\varepsilon(t)$ ?
- c) regulatoarele la care mărimea de comandă  $x_c(t)$  variază proporțional cu derivata mărimii de intrare  $\frac{d\varepsilon(t)}{dt}$ ?

3. Urmăriți figura 14.4. Răspundeți: care este elementul de prescriere și cum se modifică valoarea de consegnă a presiunii din conductă:

- a) clapeta 6; prin deplasarea clapetei 6 în interiorul conductei 5?
- b) membrana elastică 1; prin deplasarea pîrghiei ABC?
- c) șurubul 3; prin intermediul șurubului 3 și al resortului 2 se deplasează punctul A al tijei ABC?

4. Care sunt principaliii parametri care intervin la alegerea și acordarea regulatorului:
- consemnul, durata regimului tranzitoriu și banda de proporționalitate *BP*?
  - factorul de amplificare  $K_R$  (sau banda de proporționalitate *BP*) și constantele de timp (de derivare  $T_D$  și de integrare  $T_I$ )?
  - inerția regulatorului, consumul de putere și prețul de cost?
5. La o instalație industrială în care urmează a se introduce un regulator de proces s-a determinat experimental răspunsul fictiv și s-a găsit raportul  $\rho = \frac{T_m}{T} = 0,182$ . Folosind tabelul 14.1, răspundeți ce tip de regulator se recomandă a fi utilizat:
- un regulator unificat *PID*?
  - un regulator bipozițional?
  - un regulator tripozițional?

## CAPITOLUL 15

### SISTEME DE MĂSURARE ȘI CONTROL AUTOMAT

#### A. NOTIUNI GENERALE

Sistemele de măsurare automată sint foarte variate, complexitatea lor fiind în funcție de mărimea de măsurare, de precizia măsurării etc.; pot fi totuși împărțite în două grupe mari, și anume:

- sisteme de măsurare automată neechilibrate (necompenstate);
- sisteme de măsurare automată echilibrate (compenstate).

● Sistemele neechilibrate corespund unor sisteme cu circuit deschis (fig. 15.1, a): mărimea de măsurat  $M$  este preluată de traductorul  $T$ , amplificată (eventual) de amplificatorul  $A$  și aplicată elementului de „prezentare” (reproducere)  $R$  a mărimii respective. În această categorie intră toate sistemele de măsurare care au rezultat principal din cadrul cap. 11 (Traducatoare).

Sistemele neechilibrate pot fi:

- în lanț;
- în puncte dezechilibrată.

Acste sisteme sint cele mai răspândite, avind o construcție simplă.

● Sistemele echilibrate sint analoge sistemelor de reglare automată avind un circuit inchis (fig. 15.1, b).

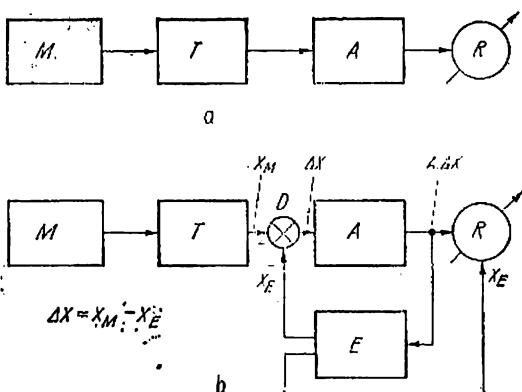


Fig. 15.1. Schemele bloc ale sistemelor de măsurare automată:  
a — sisteme neechilibrate; b — sisteme echilibrate.

După felul mărimii echilibrate, sistemele de măsurare respective se împart în:

— *compensatoare automate*, la care se echilibrează tensiunea de ieșire a traductorului (implică traductoare generatoare) cu o tensiune dată de un potențiometru avind cursorul comandat. Uneori se pot echilibra și alte mărimi ca, de exemplu: cupluri mecanice, fluxuri luminoase sau magnetice etc.;

— *punți automate*, la care se echilibrează rezistența sau reactanța de ieșire a traductorului (implică traductoare parametrice), prin echilibrarea automată a brațelor unei punți Wheatstone.

Compensatoarele și punțile automate sunt denumite în general *potențiometre automate*.

## B. PREZENTAREA VALORII MĂRIMILOR MĂSURATE

Spre deosebire de măsurarea manuală, prin care omul aplică mărimea de măsurat direct unui aparat (de exemplu, măsoară temperatura unui cuptor cu ajutorul unui termometru etc.), măsurarea automată necesită o serie de elemente de automatizare (de exemplu, un traductor de temperatură — un termocuplu — un amplificator de tensiune, un stabilizator pentru menținerea constantă a tensiunii sursei de alimentare etc.), precum și o legare corespunzătoare a acestor elemente (circuite, punți de măsurare etc.). Mărimea de măsurat suferind astfel o serie de transformări intermediare, poate fi pusă în evidență (afişată) fie cu un aparat electric indicator (de exemplu un miliampermetru cu ac indicator), fie cu ajutorul unui aparat înregistrător (care înscrise o diagramă pe hirtie).

Uneori, mărimile măsurate pot fi înregistrate pe benzi perforate sau pe benzi magnetice, în scopul introducerii lor într-un calculator electronic (v. cap. 20).

Se observă că, față de măsurarea neautomată, care nu asigură decit citirea unei mărimi la fața locului, măsurarea automată permite transformarea și transmiterea la distanță a acestei mărimi, precum și folosirea ei în scopul conducerii unui proces tehnologic fără intervenția omului.

Elementul de bază într-un sistem de măsurare automată este traducătorul (v. cap. 11).

După cum s-a mai arătat, controlul automat este o operație mai complexă, în care măsurarea diversilor parametri ai unei instalații constituie doar mijlocul de informare în legătură cu funcționarea acesteia (normală sau nu).

În final, controlul automat este concretizat fie printr-o semnalizare, fie printr-o comandă.

Semnalizarea poate fi optică — de exemplu lampa verde aprinsă (starea 0) și lampa roșie aprinsă (starea 1) — sau acustică, cu ajutorul unei sonerii sau al unui claxon (hupă) care nu sună (starea 0) sau sună (starea 1).

Deoarece, aşa cum s-a arătat, controlul automat are în vedere numai una sau două valori ale unei mărimi date, elementele cele mai des folosite pentru măsurarea valorilor respective sunt releele (v. cap. 12).

## 1. AFIȘAREA

Cel mai simplu mod de prezentare a datelor măsurate este afișarea (indicarea) acestora cu ajutorul unor aparate indicatoare. În figura 15.1, *a* receptorul *R* reprezintă aparatul indicator respectiv.

- Afișarea continuă sau analogică se realizează cu ajutorul aparatelor cu ac indicator, ca de exemplu microampermetre sau milivoltmetre, care — aşa cum s-a arătat la capitolul 11 (Traductoare) — au scara gradată (etalonată) direct în unități ale mărimii măsurate\*.

- Afișarea discontinuă sau numerică se face în prezent în „cod numeric zecimal”, adică în cifre de la 0 la 9.

Valoarea mărimii măsurate obținute de la traductor prin amplificator este transformată în „cod zecimal” cu ajutorul unui convertor analog-numeric. În acest caz, receptorul *R* din figura 15.1, *a* este un „codificator” care transformă mărimea continuă (analogică), într-un cod de impulsuri (mărime numerică). Impulsurile respective sunt aplicate unor apарат speciale de afișare numerică (de exemplu, indicatorul cu cifre al contoarelor pentru consumul de energie electrică).

Afișarea din elemente combine (fig. 15.2) folosește un număr de șapte segmente de dreaptă, luminoase, fiecare cifră rezultând din combinarea unui număr adecvat de elemente (elementele înnegrite se consideră și aprinse). Dezavantajul procedeului constă în necesitatea folosirii unor codificatoare care să convertească fiecare cifră în combinația necesară de segmente.

Ca exemplu, în figura 15.2 se prezintă un asemenea codificator realizat dintr-o „matrice cu diode” similară unui distribuitor cu se-

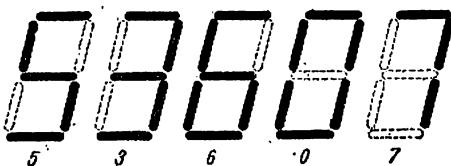


Fig. 15.2. Afișarea numerică din elemente combine.

\* Tipurile de aparate indicatoare folosite în sistemele unificate vor fi prezentate în paragraful C.

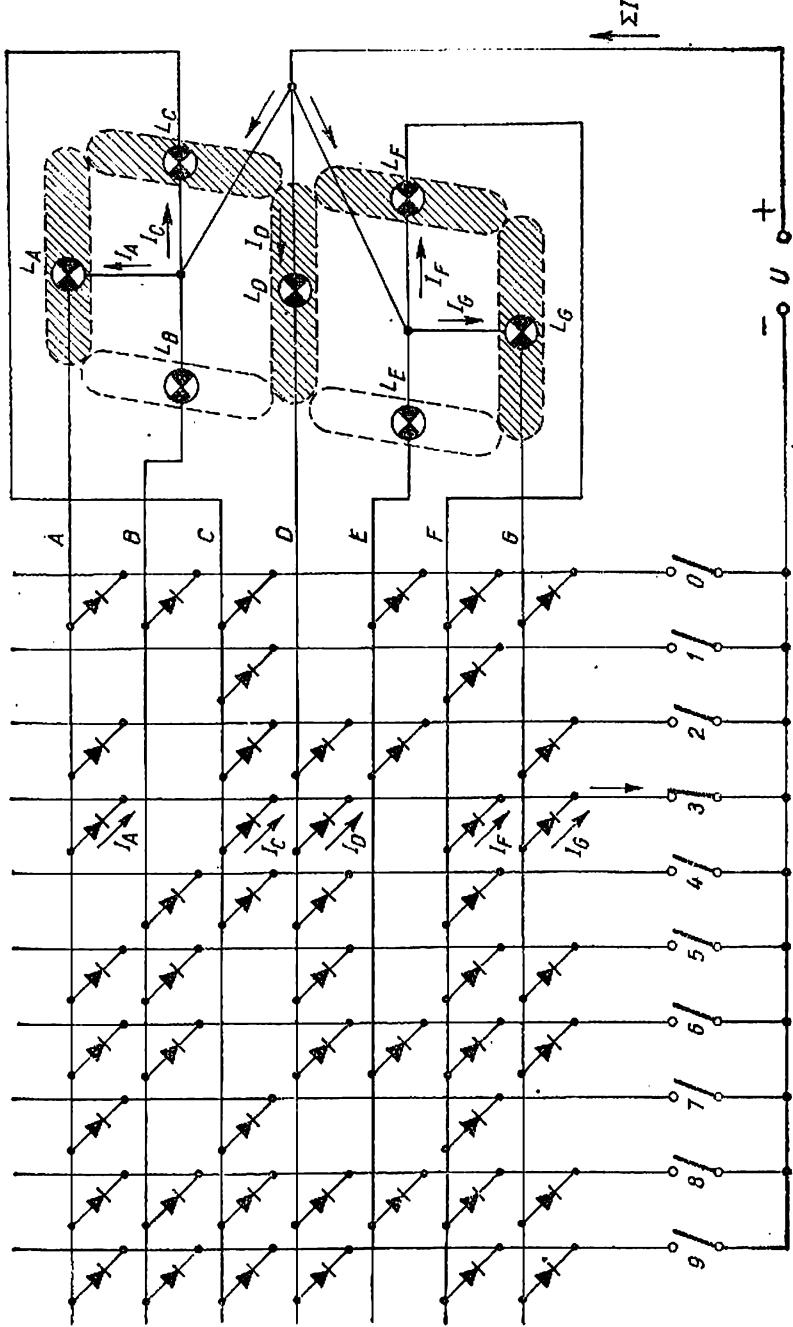


Fig. 15.3. Codicator matricial cu diode.

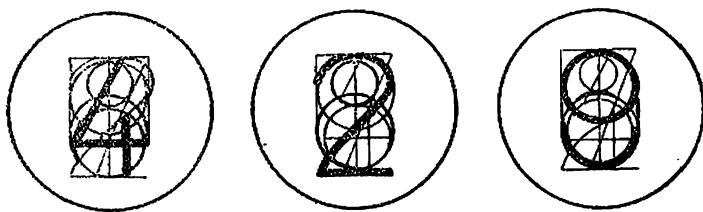


Fig. 15.4. Afisare suprapusă cu tuburi NIXIE.

miconductoare. Din figura 15.3 se observă modul de circulație al curenților care asigură aprinderea numai a lămpilor aferente segmentelor pentru cifra 3 (lămpile  $L_A$ ,  $L_C$ ,  $L_D$ ,  $L_E$  și  $L_F$ ) atunci cînd se închide contactul 3.

*Afisarea suprapusă* este o metodă modernă utilizată în măsurarea numerică. Cifrele sunt suprapuse, dar fiecare permite vizibilitatea cifrelor din spate.

În figura 15.4 este prezentată o variantă a acestui procedeu, realizată cu tuburi electronice cu neon avînd un anod și zece catozi. Catozii sunt realizări din sîrmă îndoită în formă de cifră și prin aplicarea tensiunii între anod și unul din catozi, sîrma (cifra) respectivă apare luminoasă. Aceste tipuri de tuburi electronice de afisare numerică sunt cunoscute și sub denumirea comercială de *tuburi NIXIE*.

## 2. ÎNREGISTRAREA

Datele măsurate pot fi prezentate prin înregistrarea lor pe benzi de hîrtie. În acest caz, receptorul  $R$  din figura 15.1 este un aparat înregistrător.

- **Inregistrarea continuă.** Aparatele cu înregistrare continuă sunt construite *cu diagramă rulantă* sau *cu diagramă circulară*.

*Inregistratoarele cu diagramă rulantă* funcționează pe principiul aparatelor electrice obînute (ampermetre, voltmetre etc.) sau mai frecvent pe principiul sistemelor de măsurare închise (compensatoare automate) — avînd însă acul indicator prevăzut cu penită. În fața penitei, perpendicular pe direcția de mișcare a acesteia, se deplasează cu viteză constantă o bandă (diagramă) de hîrtie pe care se înregistrează variația în timp a mărimii măsurate (v. fig. 15.7).

Banda de hîrtie se deplasează cu viteză constantă (de exemplu 20 mm/oră) antrenată de un mecanism de ceasornic, deci pe verticală este marcat timpul, iar deplasarea orizontală a penitei (care are în același timp și un ac indicator) marchează valorile mărimilor de măsurat.

*Inregistratoarele cu diagramă rotativă* folosesc o hîrtie de formă circulară plasată pe un disc care se rotește, penița, cu acul indicator al aparatului de măsurat deplasându-se pe raze curbilinii de la centru spre periferie.

Diagrama circulară (fig. 15.5) se schimbă la o rotație completă, de obicei la fiecare 24 ore. Penița cu cerneală purtată de acul indicator al aparatului se deplasează de-a lungul razelor (de exemplu, de-a lungul indicațiilor 10, 20 ... 100%), ceea ce la rotirea diagramei are ca efect obținerea unei curbe continue, practic închisă.

Aparatele cu înregistrare continuă dă erori mari de măsurare datorită consumului mare de putere provocat de frecarea peniței pe hîrtie.

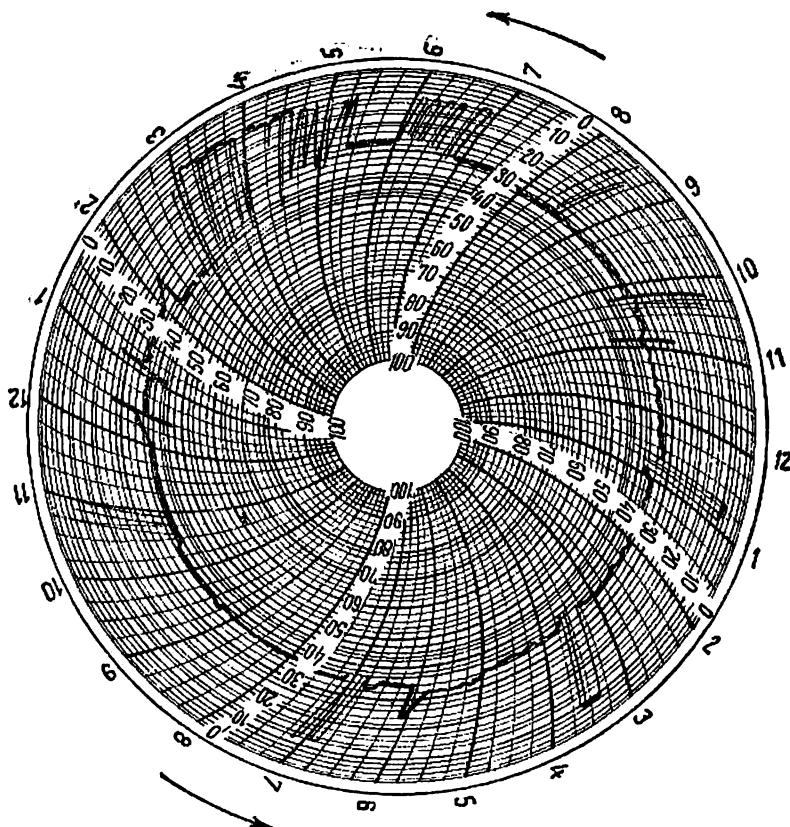


Fig. 15.5. Diagrama circulară de hîrtie.

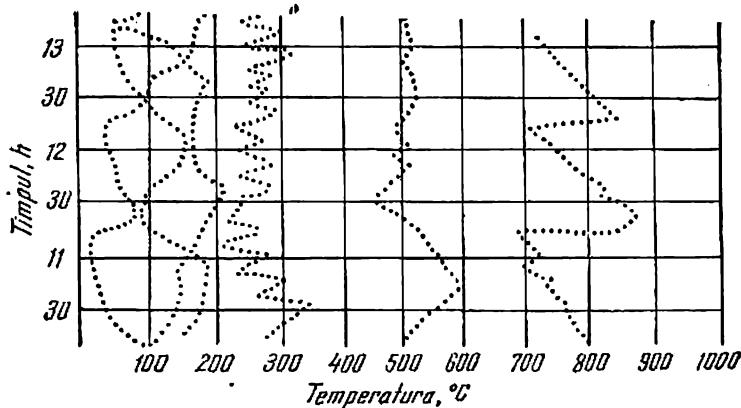


Fig. 15.6. Diagrama liniară de înregistrare prin puncte.

- Înregistrarea discontinuă (prin puncte) se aplică la înregistrarea mărimilor din proces numite „lente“ (de exemplu, variația temperaturii unui cupor), la care nu există variații brusăte între două valori succesive înregistrare.

În figura 15.6 este prezentată ca exemplu o diagramă liniară de înregistrare a şase mărimi (şase piste), fiecare mărime fiind înregistrată cu altă culoare.

### 3. INTEGRARE

O formă de prezentare a unor mărimi măsurate este integrarea, adică însumarea pe un timp oarecare, de exemplu o oră, a mărimii respective. De exemplu, dacă se integrează (însumează) în timp o putere electrică (kW), se obține energia totală consumată în acel timp (kWh), sau dacă se integrează în timp debitul ( $m^3/s$ ) de deplasare a unui lichid într-o conductă, se obține cantitatea totală scursă prin conductă în timpul considerat.

Sistemele de integrare sunt realizate de obicei cu circuite electrice „de integrare“ a mărimilor măsurate, iar impulsurile obținute prin convertoarele analogo-numerice sunt aplicate unor circuite de măsurare cu tranzistoare formate prin inserierea unui număr de trigger. Afisarea mărimilor obținute se face de obicei tot pe cale electronică (tuburi Nixie).

## C. APARATE ELECTRONICE DE MĂSURARE ÎN SISTEMUL E (IEA)

În țara noastră se realizează o gamă variată de aparate indicatoare, înregistratoare și cu funcții multiple aparținând sistemului E (neunificat sau unificat).

Toate aparatele indicatoare (analogice), precum și cele înregistratoare\* (și indicatoare) din sistemul „E“ IEA funcționează, practic, pe baza aceluiași principiu, și anume al sistemelor de măsurare echilibrat, în sprijn compensatoare automate.

● **Observație.** Întrucât toate traductoarele, inclusiv cele parametrice, posedă adaptoare care asigură la ieșire un semnal (unificat) de curent (tensiune), sistemul „E“ folosește în exclusivitate compensatoare automate.

### 1. APARATE ÎNREGISTRATOARE TIP E

Schema de principiu a înregistratoarelor (indicatoare) din sistemul E este prezentată în figura 15.7.

Mărimea de intrare — semnalul unificat de curent  $2 - 10 \text{ mA}$  — este aplicată pe rezistență  $R_0$  ( $R_0 = 200 \Omega$ ), producind un semnal unificat de tensiune  $U_i$  ( $2 \cdot 10^{-3} \times 200 \dots 10 \cdot 10^{-3} \times 200 = 0,4 \dots 2 \text{ V}$ ). Pe de altă parte, potențiometrul  $R$  alimentat cu un curent constant ( $i = 5 \text{ mA}$ ) de la un stabilizator de curent (tip II51) asigură o tensiune de „compensare“  $U_R$  opusă tensiunii  $U_i$ , astfel că în funcționare va rezulta o tensiune de abateră (eroare)  $\Delta U$  dată de diferența celor două tensiuni:

$$\Delta U = U_i - U_R. \quad (15.1)$$

*În regim staționar*, abaterea este nulă ( $\Delta U = 0$ ), motorul  $MR$  stă pe loc și potențiometrul  $R$  se află într-o poziție care asigură corespondența:

$$U_i = U_R. \quad (15.2)$$

În același timp, acul indicator afișează pe o scară gradată (0,4—2,4 V) valoarea mărimii de intrare  $U_i$  și, bineînțeles, penița solidară cu cursorul și cu acul indicator rămâne pe loc, trasind aceeași valoare.

Cind mărimea de intrare variază într-un anumit sens (de exemplu crește), abaterea  $\Delta U$  capătă o anumită polaritate (de exemplu, pozitivă). Amplificatorul de curent continuu cu modulare — amplificare — demodulare ( $MAD$ ) prezentat în capitolul 12 — figura 12.5, va furniza la ieșire o mărime amplificată însă de aceeași polaritate. Se observă că

\* Toate aparatele înregistratoare sunt și indicatoare, având o scară gradată liniară, iar acul indicator fiind solidar cu cursorul potențiometrului de compensare.

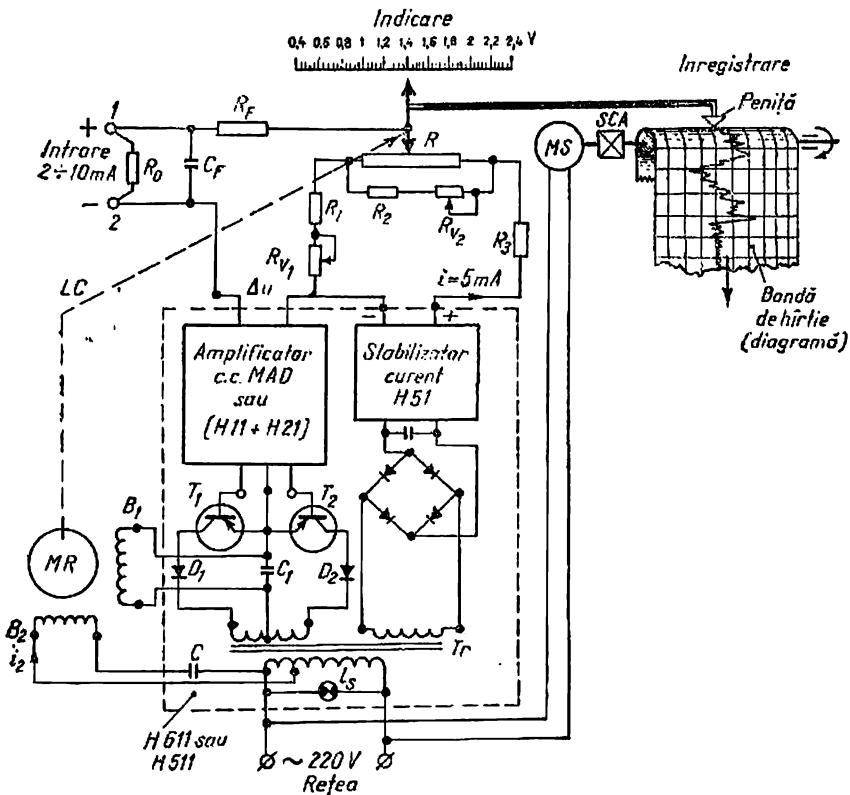


Fig. 15.7. Schema de principiu a indicatoarelor (înregistratoarelor din sistemul E).

pentru fiecare polaritate va conduce numai un tranzistor (de exemplu  $T_1$ ) — cel cu joncțiunea emitor-bază polarizată direct — și va fi blocat celălalt (de exemplu  $T_2$ ) — cu joncțiunea emitor-bază polarizată invers.

Ca urmare, în această situație va funcționa o singură diodă (de exemplu  $D_1$ ), asigurând pe bobina  $B_1$  (de excitare a motorului **MR**) o tensiune (current) pulsatorie formată numai din semialternanțele de o anumită polaritate (de exemplu pulsurile pozitive), obținute de la rețea ( $\sim 220 \text{ V}$ ) prin transformatorul de alimentare  $T_r$ .

Intrucât bobina de excitare  $B_2$  primește permanent aceeași tensiune\*, motorul bifazat **MR** se va rota într-un anumit sens (de exemplu

\* Currentul  $i_2$  este decalat cu  $90^\circ$  cu ajutorul capacității  $C$ , pentru ca motorul să poată căptă un cimp bifazat (invărtitor).

pozitiv), antrenind prin legătura cinematică  $LC$  deplasarea cursorului potențiometrului  $R$  și a acelui indicator pînă la echilibrarea (compensarea) tensiunii de intrare ( $\Delta U = 0$ ), situație în care motorul se oprește.

Cind mărimea de intrare capătă o variație de sens contrar, semnalul de dezechilibru  $\Delta U$  își va modifica polaritatea (de exemplu  $U_i$  scade  $\Rightarrow \Delta U$ , negativ,  $\Rightarrow$  blocat  $T_1$ , conduce  $T_2 \Rightarrow$  funcționează (redreseză)  $D_2 \Rightarrow$   $\Rightarrow$  bobina  $B_1$  primește pulsuri negative).

Motorul  $MR$  se va roti deci în sens contrar față de situația precedență, pînă ce  $\Delta U = 0$  (echilibrare), indicind pe scară o nouă valoare pentru  $U_i$ .

Ansamblul format din tranzistoarele  $T_1$  și  $T_2$ , diodele  $D_1$  și  $D_2$ , și transformatorul  $Tr$  constituie împreună cu amplificatorul de curent continuu  $MAD$  un „amplificator sensibil la fază“, adică la polaritatea mărimii de la intrare.

Banda de hîrtie aferentă părții de înregistrare este antrenată cu o viteză de 20 mm/oră cu ajutorul unui motor sincron  $MS$  racordat la rețeaua de 220 V c.a. și prin intermediul unui sistem cinematic de antrenare  $SCA$ .

Amplificatorul de curent continuu folosit diferă de la un tip de curent la altul, în funcție de semnalul de intrare folosit.

Constructiv, aparatelor înregistratoare se realizează în următoarele variante:

- *normal* (fig. 15.8), cu lățimea scării și a diagramei de 250 mm și cu viteza de deplasare a diagramei reglabilă la 20, 60 sau 120 mm/h;

- *miniaturizat* (fig. 15.9), cu lățimea diagramei de 120 mm și cu viteza de deplasare a diagramei de 20 mm/h.

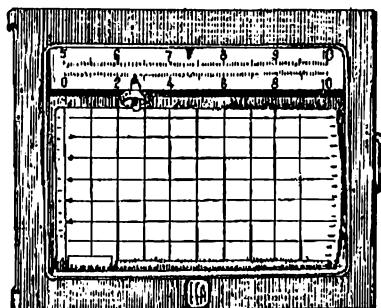


Fig. 15.8. Aparat electronic înregistrător format normal.

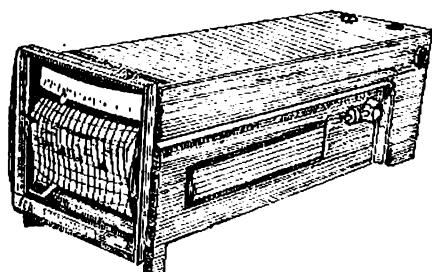


Fig. 15.9. Aparat electronic înregistrător format miniatură.

Variantele de execuție sint:

- pentru semnalele neunificate (seria E):
- tip E 35 — înregistrător miniatură cu o penită;
- tip E 36 — înregistrător normal cu o penită;
- tip E 45 — înregistrător miniatură cu două penite;
- tip E 46 — înregistrător normal cu două penite;
- pentru semnale unificate (seria EIR): tipurile EIR 35, EIR 36, EIR 45 și EIR 46, care au aceleasi caracteristici ca tipurile omoloage pentru semnale neunificate.

## 2. APARATE INDICATOARE TIP E

După cum s-a arătat, aparatele indicatoare folosesc — ca și cele înregistratoare — aceleasi tipuri de compensație automate, cu deosebirea că scara este circulară, avind un unghi de  $270^\circ$  (fig. 15.10).

La dimensiunile aparatului — gabarit frontal  $150 \times 158$  mm — lungimea desfășurată a scării este de 235 mm.

Schema electrică de principiu a aparatelor indicatoare este practic aceeași din figura 15.7, cu observația că le lipsește sistemul de înregistrare.

Toate aparatele de măsurat, inclusiv cele înregistratoare, au o sensibilitate\* de 0,1% și o precizie (eroare maximă) de 0,5%.

## 3. FUNCȚIUNI AUXILIARE ALE APARATELOR ÎNREGISTRATOARE ȘI INDICATOARE TIP E

În afara funcțiunilor principale de înregistrare și (sau) indicare (afisare), aparatele IEA tip E pot îndeplini și unele dintre următoarele funcții suplimentare: funcția *M*, funcția *K*, funcția *D*,

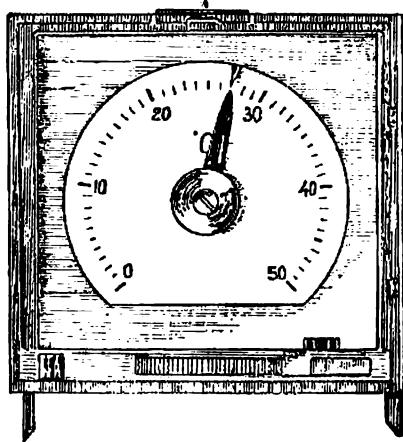


Fig. 15.10. Aparat electronic indicator.

\* Prin sensibilitate se înțelege abaterea minimă (exprimată în procente) la care compensatorul reacționează. De exemplu, pentru semnalul unificat  $2-10 \text{ mA}$ ,  $0,1\%$  reprezintă  $1\%$ , adică  $10 \mu \text{A}$  sau — deoarece  $R_g = 80 \Omega$  — rezultă  $800 \mu \text{V} = 0,8 \text{ mV}$ .

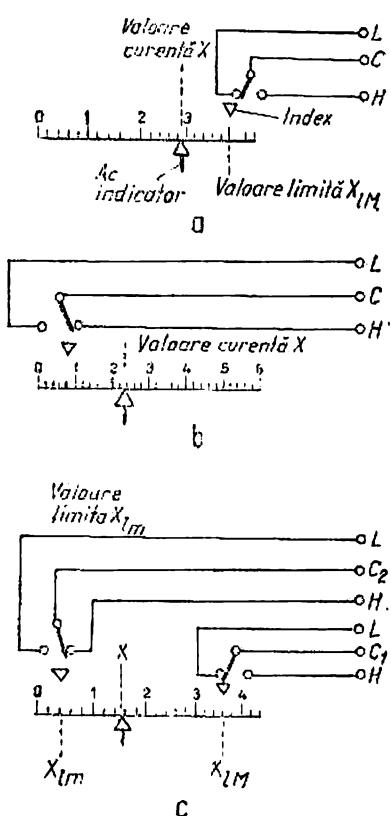


Fig. 15.11. Funcțiunea  $M$  a aparatelor înregistrătoare tip E:

a —  $M_1$  (contacte de maximum); b —  $M_2$  (contacte de minimum); c —  $M_3$  (contacte de maximum și de minimum).

perioară — 100% ( $B_1$ ) — sau la limita de semnalizare ( $U_i = 0$ ) cînd compensatorul, nemaifiind echilibrat motorul  $MR$  (fig. 15.7), comandă deplasarea cursorului potențiometrului  $R$  pînă la ieșirea din limite.

● Funcțiunea  $S$  cu variantele  $S_1$ ,  $S_2$  și  $S_3$  care sunt de asemenea similare funcțiilor  $M_1$ ,  $M_2$  și  $M_3$ , se aplică la aparatelor cu imprimarea (înregistrarea) prin puncte.

funcțiunea  $S$ , funcțiunea  $C$ , funcțiunea  $T$ , funcțiunea  $TS$ .

● Funcțiunea  $M$ . Aparatele prevăzute cu această funcțiune posedă contacte de comutare care își schimbă poziția numai la depășirea unei limite superioare (funcțiunea  $M_1$  — fig. 21.11, a), numai la depășirea unei limite inferioare (funcțiunea  $M_2$  — fig. 15.11, b) sau la depășirea ambelor limite (funcțiunea  $M_3$  — fig. 15.11, c).

Pozitîa contactelor este reglabilă, ele putîndu-se fixa în orice poziție (de exemplu  $U_{i\max} = 98\%$  și (sau)  $U_{i\min} = 25\%$ ); pozițiile respective sunt evidențiate printr-un „index” (reper) pe scară. Contactul este comutat cînd acul indicator trece prin dreptul indexului.

Contactele respective sunt folosite pentru a actiona lămpi de semnalizare, buzere (sonerii), relee etc., deci în scopul îndeplinirii funcției de control automat (v. cap. 10).

● Funcțiunea  $K$  ( $K_1$ ,  $K_2$  sau  $K_3$ ) este practic identică cu funcțiunea  $M$ , cu diferența că pozițiile contactelor nu sunt evidențiate prin reper pe scară.

● Funcțiunea  $B$  cu variantele  $B_1$  și  $B_2$  sunt similare funcțiilor  $M_1$  și  $M_2$ , cu observația că contactele sunt construcțiv fixate la limita superioară — 0% ( $B_2$ ). Aceste contacte servesc pentru semnalizarea ( $U_i = 0$ ) cînd compensatorul, nemaifiind echilibrat motorul  $MR$  (fig. 15.7), comandă deplasarea cursorului potențiometrului  $R$  pînă la ieșirea din limite.

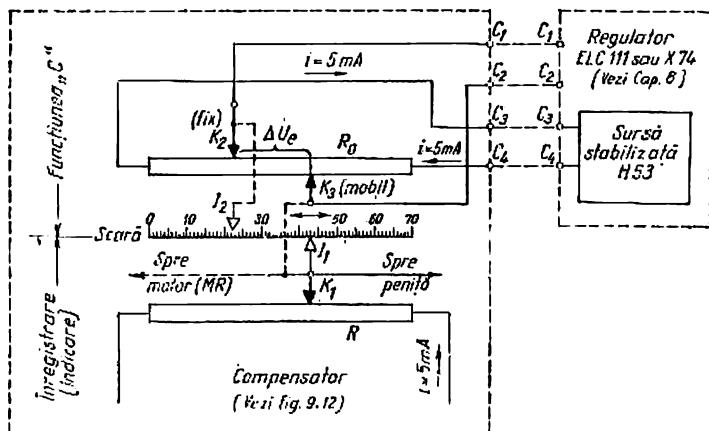


Fig. 15.12. Funcționarea C a aparatelor înregistratoare tip E.

● Funcționarea C (fig. 15.12) asigură transmiterea la distanță a semnalului de abatere (eroare) a mărimii măsurate de la o valoare prescrisă („de consemn” sau „de referință”) — v. cap. 14 și 17. În acest scop, solidar cu cursorul  $K_1$  și cu indicatorul  $I_1$  al potențiometrului  $R$  din aparatul înregistrator (compensator automat — v. fig. 15.7) se află și cursorul  $K_3$ , care se deplasează pe potențiometrul  $R_0$  adăugat suplimentar.

Potențiometrul  $R_0$ , identic cu  $R$ , este străbătut la fel ca și  $R$ , de un curent stabilizat  $i = 5$  mA, astfel că potențialele în rezistența  $R_0$  au o repartiție identică ca și în  $R$ .

Potențiometrul  $R_0$  mai posedă un al doilea cursor,  $K_2$ , solidar cu indicatorul  $I_2$ , care se poate fixa manual într-o anumită poziție și care indică valoarea prescrisă a mărimii de măsurat.

În acest caz, tensiunea  $\Delta U_e$  obținută între cursorul mobil  $K_3$  și cel fix  $K_2$  reprezintă abaterea\* mărimii măsurate față de valoarea prescrisă, și ea este transmisă unui regulător pentru mărimea respectivă (v. cap. 14 și 17).

● Funcționarea T constă în formarea unui semnal (0,4–2 V) proporțional cu mărimea măsurată, care poate fi transmis la distanță (fig. 15.13). Cursorul  $K_2$  al potențiometrului  $R_0$  (valoarea  $R_0 = 320 \Omega$ ) se deplasează solidar cu cursorul  $K_1$  (indicatorul  $I_1$ ) și, deoarece potențiometrul  $R_0$  este parcurs de curentul stabilizat  $i = 5$  mA, rezultă că tensiunea  $\Delta U_e$  obținută este proporțională cu mărimea măsurată. Tensiunea

\* Se constată că potențiometrul  $R_0$  preia funcția organului numit „diferențialul” din cadrul regulatorului.

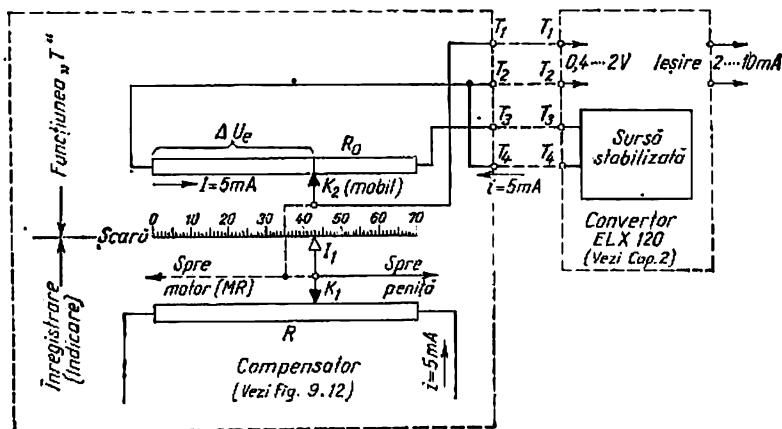


Fig. 15.13. Funcțunea  $T$  a aparatelor înregistrație tip E.

nea respectivă este aplicată, de obicei, unui convertor tensiune-curent (de exemplu tip EIX 120) care produce la ieșire semnalul unificat de curent  $2\text{--}10$  mA.

● Funcțunea  $TS$  asigură transmiterea la distanță a unui semnal de referință pentru regulatorul care reglează mărimea respectivă.

În acest caz (fig. 15.14) se folosește un potențiometru  $R_0$  la fel ca în cazurile precedente, străbătut de asemenea de curentul stabilizat  $i = 5$  mA. Cursorul  $K_2$  (inclusiv indicatorul  $I_2$ ) este fix, indicând mărimea

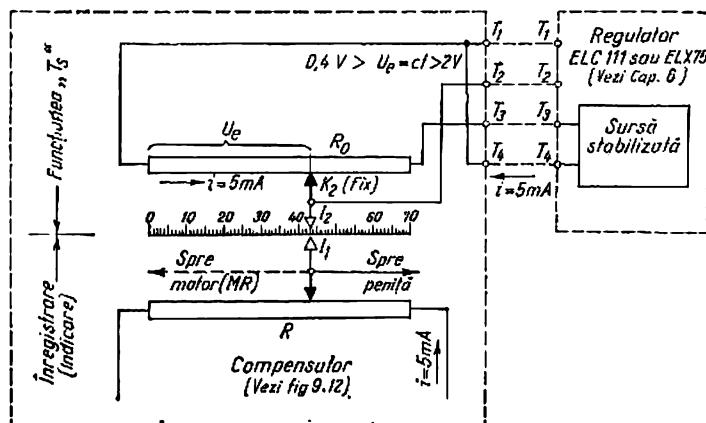


Fig. 15.14. Funcțunea  $TS$  a aparatelor înregistrație tip E.

de referință a regulatorului. Poziția cursorului  $K_2$ , deci valoarea mărimii de referință ( $\Delta U_e = ct$ ), poate fi modificată manual.

Mărimea de referință  $\Delta U_e = ct$  (cuprinsă între valorile 0,4–2 V) este aplicată regulatorului (tip ELC 111 sau EIX 75 – v. cap. 14).

În afara funcțiunilor descrise, aparatelor înregistratoare (indicatoare) din sistemul E mai pot fi prevăzute și cu alte funcțiuni, cum sint: funcțiunea  $H$ , funcțiunea  $I$ , funcțiunea  $Q$ , funcțiunea  $R$ .

- Funcțiunea  $H$  asigură transmiterea semnalului pentru comanda regulatorului bipozitional (X 74) în mai multe puncte.

- Funcțiunea  $I$  asigură transmiterea semnalului pentru comanda elementului totalizator (integrator) de debit.

- Funcțiunea  $Q$  asigură transmiterea semnalului pentru corecția debitului unui fluid în funcție de variațiile presiunii măsurate.

- Funcțiunea  $R$  asigură obținerea unei mărimi proporționale cu rădăcina pătrată a semnalului de intrare etc.

Codul folosit pentru tipul înregistratorului sau indicatorului mai trebuie completat cu un index înaintea celor două cifre, în funcție de traductorul sau elementul cu care este cuplat. Astfel:

0 — pentru termocupluri;

1 — pentru termorezistențe;

5 — pentru pirometrul de radiație și alte elemente cu semnalul în milivolti;

7 — pentru detectoare de umiditate;

IR — pentru elemente cu semnal unificat.

Funcțiile auxiliare sint indicate în continuare, prin litera respectivă.

**Exemplul 1.** Aparat IEA tip E 010 M<sub>2</sub> T:

— aparat cu semnal neunificat (E) pentru termocupluri (O), indicator (10), cu semnalizare la depășirea limitei înforioare (M<sub>2</sub>) și cu transmiterea semnalului proporțional cu valoarea indicată (T).

**Exemplul 2.** Aparat IEA tip ELR 535 C:

— aparat cu semnal unificat (EIR), pentru pirometru (5), înregistrator miniatură cu o penită (35), cu transmiterea semnalului de eroare (C).

#### 4. APARATE INTEGRATOARE TIP E

Industria românească (IEA) realizează două tipuri de apарат (elemente) integratoare pentru semnal de intrare unificat (2–10 mA c.c.), folosind o serie de elemente electronice unificate precum și un contor mecanic având un număr maxim de sase cifre (ranguri).

- Integratorul liniar tip ELI 112 folosește pentru integrare un circuit  $RC^*$ , un generator autoblocat și circuite de comandă și stabilizare.

\*  $D [m^3/h] = K\sqrt{\Delta P} \Rightarrow T(m^3) = K \int_0^t D dt = K \int_0^t \sqrt{\Delta P} \cdot dt.$

Aparatul afișează indicația 100 după o oră, dacă în acest timp semnalul de intrare este menținut la valoarea sa maximă (10 mA).

Precizia de măsurare este de 1%.

Tensiunea de alimentare este  $220 \text{ V} \pm 10\%$ , la 50 sau 60 Hz.

Puterea consumată este de circa 10 VA.

● Integratorul extractor de radical tip ELI 103 este destinat controlizării debitului total  $T$ , al unui fluid, prin măsurarea debitului parțial  $D$  folosind traductoare de presiune diferențială  $P$ . Performanțele tehnice sunt aceleași ca și la tipul precedent.

## R E Z U M A T

1. Sistemele de măsurare automată asigură informarea cantitativă asupra mărimilor — parametri — dintr-un proces tehnologic.

2. Sistemele de control automat constituie un caz particular al celor de măsurare automată, în care interesează nu valoarea absolută a unei mărimi, ci numai dacă mărimea controlată este mai mare (sau mai mică) decât o valoare prescrisă.

3. Prezentarea valorii mărimilor măsurate se poate face prin:

- afișare (indicare);
- înregistrare;
- integrare.

4. Afișarea poate fi:

- continuă sau analogică (folosind aparat cu ac indicator);
- discontinuă sau numerică (folosind aparat cu cifre).

5. Înregistrarea poate fi realizată po:

- diagrame de hîrtie (rulantă sau circulară);
- benzi (cartele) perforate, benzi sau tamburi magnetici, memorii cu ferite sau tranzistoare etc.

6. În sistemul electronic tip E (IEA) se produc: apарате, indicatoare și înregistratoare realizate pe baza sistemelor de măsurare cu circuit închis (compensatoare automate), precum și alte tipuri de aparatе cum sunt: cele de calcul, integratoare etc.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Sistemele de măsurare automată folosesc pentru:

- a) informarea calitativă asupra parametrilor din proces?
- b) informarea cantitativă asupra parametrilor din proces?
- c) semnalizarea funcționării instalațiilor tehnologice?

2. Un sistem de control automat poate fi realizat cu ajutorul unui:
  - a) ampermtru?
  - b) manometru?
  - c) relou?
3. Aparatele electronice înregistratoare tip E funcționează pe baza sistemelor automate:
  - a) cu circuit închis?
  - b) cu surse stabilizate?
  - c) cu circuit deschis?
4. Înregistratoarele tip E au în cadrul sistemelor de măsurare:
  - a) funcția de indicare și înregistrare?
  - b) funcția de înregistrare și calcul?
  - c) funcția de înregistrare și integrare?
5. Printre funcțiile auxiliare ale aparatelor înregistratoare există și aceea de:
  - a) trasare a mărimilor măsurate pe o bandă de hîrtie?
  - b) calculare a sumei, diferenței sau raportului unor mărimi?
  - c) semnalizare a ieșirii din limite a mărimilor măsurate?

## CAPITOLUL 16

### SISTEME DE COMANDĂ — SEMNALIZARE AUTOMATĂ

#### A. COMANDA

Din punctul de vedere al schemei structurale a sistemului automat comanda poate fi: *cu circuit deschis* sau *cu circuit închis*.

După cum s-a mai arătat, funcția de comandă (continuă sau discontinuă) se întâlnește ca parte componentă a sistemelor automate de reglare (v. cap. 17), de protecție, de sortare etc. În cadrul prezentului capitol se va trata comanda ca o funcție independentă.

● Comanda *cu circuit deschis* este aproape intotdeauna discontinuă, având în special o formă bivalentă corespunzătoare celor două stări posibile ale unor elemente: starea 0 (motor oprit, vana închisă, intreruptor deconectat etc.) sau starea 1 (motor pornit, vana deschisă etc.).

De exemplu, pe baza unui domeniu de variație bine definit al presiunii, nivelului, temperaturii etc., se realizează comanda automată de pornire sau oprire a unei pompe sau a unui ventilator, de deschidere sau închidere a unei vane sau a unui intreruptor etc.

După cum se va vedea din exemplele următoare (v. cap. 19) desfășurarea procesului de comandă are caracterul unei succesiuni (secvențe) de operații pe baza unui program simplu bine definit (de exemplu: se închide un contact, după trei secunde se închide un intreruptor...). Din acest motiv, sistemul respectiv mai poartă și numele de *comandă secvențială*.

● Comanda *cu circuit închis* lucrează cu mărimi analogice sau numerice și se desfășoară după un anumit „program“ de lucru, motiv pentru care se mai numește și *comandă după program* sau pe scurt: *comandă program*. Ea și-a găsit un larg câmp de aplicații în domeniul prelucrării pieselor metalice pe mașini-unelte (strung, freze, raboteză, morteză, mașină de găuri etc.), făcind să se dezvolte un domeniu foarte vast al

automatizărilor și anume: comanda program a mașinilor-unelte (v. fig. 19.4 ... 6).

Programul de lucru poate fi materializat sub două forme:

— *model fizic analog (șablon) al piesei* de prelucrat, caz în care avem de-a face cu mașini automate de copiat;

— *model matematic al piesei (operațiilor)* de prelucrat, concretizat sub forma unui program numeric imprimat (ca și la calculatoare — v. cap. 20) pe cartele, benzi magnetice sau de hîrtie. În acest caz avem de-a face cu comanda numerică a mașinilor-unelte.

Indiferent de forma sub care se manifestă, comanda intervine întotdeauna asupra elementelor de execuție, adică modifică cantitatea de substanță sau energie care participă la un anumit proces.

Exemplele de comandă sunt foarte numeroase, ele referindu-se atât la modificarea cantității de substanță (comanda debitului, presiunii, nivelului etc.), cât și la comanda modificării energiei (comanda întrerupătoarelor, a reostatelor etc.).

## B. SEMNALIZAREA

În general, operația de comandă este însotită și de semnalizare, care permite o informare bivalentă asupra poziției sau stării agregatelor, asupra mărimilor din proces etc. Semnalizarea poate fi: *de poziție, de prevenire și de avarie*.

● **Semnalizarea de poziție** reproduce în punctul central de supraveghere (camera de comandă) poziția unor agregate care sunt comandate manual sau automat, adică reprezintă „răspunsul informațional“ produs de comanda discontinuă.

Cea mai simplă semnalizare a poziției se realizează cu lămpi. Astfel, de exemplu, aprinderea unei lămpi de culoare verde înseamnă starea 0 (motor oprit, vană închisă, cazan oprit etc.), iar aprinderea unei lămpi de culoare roșie înseamnă starea 1 (motor pornit, vană deschisă, cazan în funcțiune etc.).

● **Semnalizarea de prevenire** are rolul de a atrage atenția că un anumit proces nu se desfășoară normal și că trebuie luate măsuri urgente „de prevenire“ a unei defecțiuni tehnice (avarii). De exemplu, se semnalizează că temperatura la un cazan de abur este în scădere și că deci trebuie luate măsuri de activare a arderii (de exemplu, să se comande pornirea unor turbosuflante, deschiderea a încă unei vane cu combustibil sau închiderea unor robinete de abur etc.). Semnalizarea de prevenire se realizează optic prin aprinderea unei lămpi și acustic printr-o sonerie.

Semnalizarea de prevenire face parte integrantă din sistemul de control automat al parametrilor.

- Semnalizarea de avarie informează asupra producerii unor defecțiuni în instalația tehnologică, care au contribuit la oprirea parțială sau totală a procesului tehnologic de producție. În general, semnalizarea de avarie se realizează printr-o sau mai multe lămpi care pilpiție (ard intermitent) și printr-un semnal acustic special de hupă (claxon).

Semnalizarea de avarie este asociată sistemelor automate de protecție.

## REZUMAT

1. Comanda automată reprezintă intervenția dispozitivului de automatizare în modificarea poziției sau stării unor agregate sau elemente din instalația tehnologică, în scopul modificării unor parametri din proces.

2. Comanda automată poate fi:

- continuă, cind parametrii sunt variași în mod continuu (de exemplu la sistemele automate de copiat);
- discontinuă, cind elementele (sau mărimile) comandate iau poziții (valori) distincte (de exemplu la sistemele de comandă automată secvențială sau numerică).

3. Semnalizarea este o funcție de informare cu caracter discontinuu asupra poziției sau stării unor agregate. Ea se concretizează:

- optic — prin lămpi sau alte sisteme de indicare;
- acustic — prin hupă (claxon) sau sonerie.

4. În sistemele de comandă automată secvențială, elementele sau mărimile comandate iau numai două poziții sau valori distincte (logică bivalentă: 0 sau 1), operațiile de comandă desfășurîndu-se într-o succesiune (secvență) prestatibilă.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Comanda automată este o funcție care poate fi:

- a) numai continuă?
- b) numai discontinuă?
- c) continuă sau discontinuă?

2. Comanda continuă se folosește:

- a) numai la sistemele cu circuit închis?
- b) numai la sistemele cu comandă numerică?
- c) numai la sistemele secvențiale?

3. Comanda discontinuă (discretă) se aplică:

- a) numai la sistemele numerice?
- b) numai la sistemele secvențiale?
- c) la sistemele secvențiale și numerice?

## CAPITOLUL 17

### SISTEME DE REGLARE

#### A. NOȚIUNI FUNDAMENTALE ASUPRA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

##### 1. OBIECTUL REGLĂRII AUTOMATE

Reglarea automată este *acel proces, îndeplinit — în totalitate — automat, prin care o mărime fizică este fie menținută la o valoare prescrisă constantă, fie își schimbă valoarea la intervale de timp date, conform unui anumit program, luând astfel o succesiune de valori prescrise.*

În cazul instalațiilor sau proceselor industriale la care precizia cerută operațiunilor de reglare este mare sau la care alți indicatori specifici fac imposibilă prezența operatorului uman (de exemplu, la viteze mari de variație a parametrilor reglați la determinarea implicită a variației acestora din variația altor mărimi fizice, în cazul funcționării la valori înalte a unor parametri ca tensiunea electrică, presiunea aburului etc. sau la funcționarea în medii nocive etc.), se impune eliminarea operatorului uman ca intermediar între aparatelor de măsurat și organul de execuție și înlocuirea sa printr-un dispozitiv care să execute automat și în aceeași succesiune operațiile executate mai înainte de către om.

*Acest dispozitiv, care elimină intervenția omului din procesul de reglare și funcționează fără intervenția omului, este regulatorul automat (v. cap. 14).*

Reglarea este o reglare automată, iar sistemul respectiv un sistem de reglare automată (prescurtat *SRA*).

##### 2. MĂRIMILE CARACTERISTICE PENTRU SISTEMELE DE REGLARE

Pentru procesele tehnice, aplicarea reglării are o importanță deosebită. De exemplu, funcționarea mașinilor cu abur, a turbinelor, a motoarelor cu ardere internă etc., este direct legată de reglarea turăriei, a pre-

siunii, a debitului de combustibil, a nivelului unui fluid, a temperaturii, a ungerii etc.

Desigur, o reglare este necesară numai atunci cînd mărimea reglată nu poate rămîne constantă de la sine, la valoarea dorită și are tendința de a-și modifica valoarea, de a se abate mai mult sau mai puțin în urma unor efecte perturbatoare externe sau interne.

În cazul oricărei reglări se deosebește o *mărime reglată* și o *mărime de execuție*.

- Mărimea care trebuie menținută la valoarea prescrisă este *mărimea reglată*.

Mărimi regulate sunt, de exemplu, temperatura, debitul, frecvența, turația, tensiunea, și puterea electrică, nivelul dintr-un rezervor etc.

- *Mărimea de execuție* este mărimea obținută la ieșirea organului de execuție și cu ajutorul căreia se poate influența mărimea reglată, pentru a o aduce la valoarea dorită.

De exemplu, dacă se cere ca *intr-un cupor cu gaz să fie menținută constantă temperatura*, aceasta din urmă poate fi influențată în sensul dorit (creștere sau scădere) prin modificarea debitului de gaz de ardere. În acest caz, mărimea reglată este temperatura, iar mărimea de execuție este debitul de gaz.

Dacă se urmărește menținerea constantă a *turației unui motor electric de curent continuu*, pentru variația turației în sensul dorit se variază curentul de excitație al motorului. Deci, mărimea reglată este, în acest caz, turația, iar mărimea de execuție este curentul de excitație al motorului.

- Influențele externe sau interne care sunt cauzele abaterilor valorilor instantanee ale mărimii regulate de la valoarea prescrisă se numesc, în tehnica reglării, *perturbații* sau *mărimi perturbatoare*.

La reglarea unei anumite mărimi se exercită influența uneia sau a mai multor mărimi perturbatoare.

În cazul menționat al reglării temperaturii *intr-un cupor cu gaz*, se pot considera ca mărimi perturbatoare presiunea variabilă a gazului, puterea calorică variabilă a gazului, temperatura diferită a mediului ambiant, cantitatea variabilă de căldură absorbită de cupor etc.

Analog, în cazul reglării turației motorului de curent continuu se exercită influența unor perturbații diferite: tensiunea variabilă de alimentare a motorului, variația cuplului de sarcină cerut de mașina de lucru antrenată de motorul respectiv, variația rezistenței electrice cu temperatura etc.

De regulă, efectul influenței uneia dintre mărimile perturbatoare este preliminat; această perturbație este considerată ca *perturbație principală* și acțiunea de reglare se manifestă în sensul eliminării abaterii mărimii regulate de la valoarea prescrisă sub influența perturbației principale.

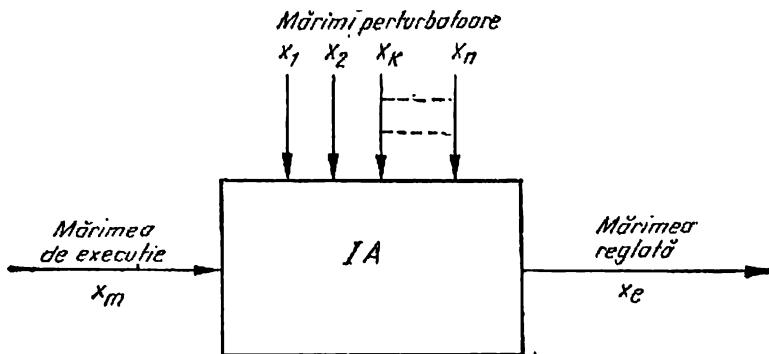


Fig. 17.1. Schema-bloc a obiectului reglării, în general:  
**IA** — obiectul reglării;  $x_e$  — mărimea reglată,  $x_m$  — mărimea de execuție;  
 $X_1, X_2, \dots, X_n$  — mărimi perturbatoare.

În figura 17.1 este reprezentată schema-bloc a obiectului reglării în general (instalația sau procesul supus reglării). La intrarea obiectului reglării, reprezentat simbolic printr-un dreptunghi, se aplică mărimea de execuție  $x_m$ ; la ieșire, rezultă mărimea reglată  $x_e$ . Din exterior, se exercită acțiunea unor mărimi perturbatoare  $X_1, X_2 \dots X_n$ , dintre care urmează a fi selectată perturbația principală.

### 3. EXEMPLE DE SISTENE DE REGLARE

În figura 17.2 s-a reprezentat simplificat o instalație pentru reglarea automată a temperaturii apei la ieșirea din schimbătorul de căldură. Instalația de reglare automată cuprinde: elementul de măsurat, elementul de comparație, regulatorul automat și elementul de execuție.

- Elementul de măsurat (traductorul)  $EM$  este reprezentat de termometrul manometric  $1$ , instalat pe conducta de apă caldă, la ieșirea din incălzitor. Acest element măsoară temperatura  $\theta_e$  a apei la ieșire și transformă energie termică absorbită de la apă caldă într-o variație de presiune, pe care o transmite prin tubul capilar  $2$  la tubul Bourdon  $3$ ; acesta din urmă transformă variația de presiune într-o deplasare, prin care se modifică poziția paletei  $4$ . Elementele  $1, 2, 3$  și  $4$ , la care se poate adăuga și indicatorul  $5$  (atunci cind există), formează împreună elementul de măsurat.

- Elementul de comparație  $EC$  compară temperatura apei la ieșire  $\theta_e$  cu valoarea prescrisă (de consemn)  $\theta_i$ , rezultând abaterea de reglare sau eroarea:  $x_a = \Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$ . În schema din figura 17.2, valoarea

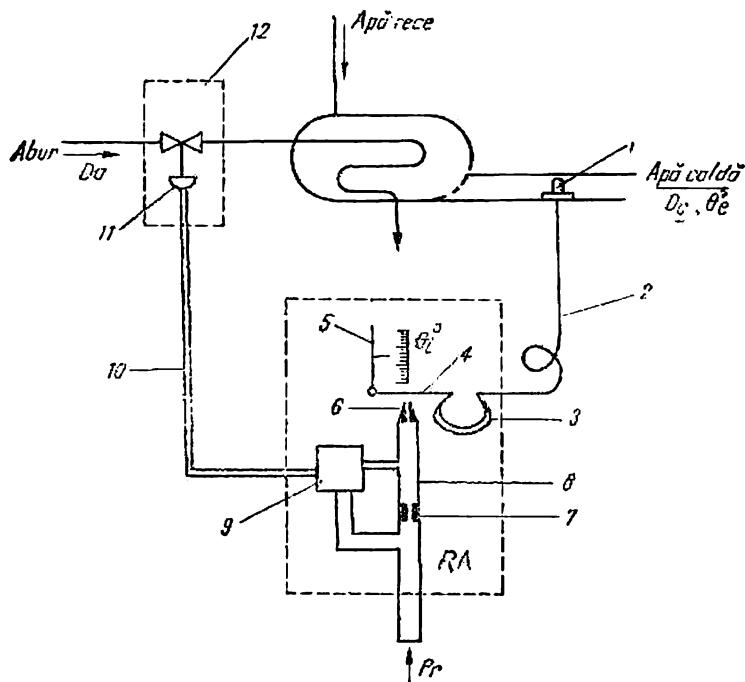


Fig. 17.2. Instalația de reglare automată a temperaturii apei la ieșire din schimbătorul de căldură.

prescrișă a temperaturii  $\theta_i = x_i$  = mărimea de intrare, este reprezentată prin punctul de oscilație al paletei 4. Acest punct poate fi deplasat manual în sus sau în jos cu ajutorul tijei 5. Valoarea măsurată  $\theta_e$  a temperaturii apei la ieșirea din încălzitor este reprezentată prin poziția extremității mobile a tubului Bourdon, articulată cu paleta 4. Atunci cind  $\theta_e \neq \theta_i$  (deci  $\Delta\theta = 0$ ), mijlocul paletei se află exact în dreptul ajutajului conic 6. La orice altă valoare  $\theta_e \neq \theta_i$  (deci  $\Delta\theta \neq 0$ ), poziția punctului de la mijlocul paletei reprezintă o mărime proporțională cu diferența  $(\theta_i - \theta_e)$ . Temperatura  $\theta_e$  reprezintă mărimea de ieșire  $x_o$ , iar deplasarea extremității tubului Bourdon reprezintă mărimea de reacție  $x_r$ . Rezultă eroarea:  $x_a = x_i - x_r = \epsilon$ , mărimea de la ieșirea elementului de comparație EC.

- Regulatorul automat RA, reprezentat simplificat în figura 17.2, îndeplinește numai o funcție de amplificare a semnalului primit de la elementul de comparație.

În spațiul  $\delta$  al amplificatorului pneumatic (sistem duză-paletă), alimentat cu aer sub presiune constantă prin elementul de strangulare  $7$ , se obține o presiune proporțională cu distanța între paletă și ajutaj, deci proporțională cu diferența  $\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$ .

Amplificatorul pneumatic  $9$ , alimentat de la aceeași sursă de aer comprimat, produce în conducta  $10$  o presiune proporțională cu  $\Delta\theta = \theta_i - \theta_e$ . Această presiune reprezintă mărimea de comandă  $x_c$ , adică mărimea de la ieșirea regulatorului  $RA$ . Mărimea de comandă este mărimea de intrare pentru elementul de execuție  $EE$ .

- Elementul de execuție  $EE$  este ventilul  $12$ , care modifică debitul  $D_a$  al aburului de încălzire. Ventilul are o membrană  $11$ , asupra căreia se exercită presiunea de aer din conducta  $10$ , de la ieșirea din regulator. Secțiunea deschiderii ventilului asigură valoarea debitului  $D_a$  (mărimea de execuție  $x_m$ ) care se aplică la intrarea schimbătorului de căldură (instalația reglată sau obiectul reglării  $OR$ ).

- Se observă că un sistem de reglare automată are rolul de a realiza o anumită lege de dependență între mărimea de ieșire  $x_e$ , care caracterizează la un moment dat o instalație sau un proces tehnologic, și mărimea de intrare  $x_i$ , prin care se comandă modificările în funcționarea acestora.

*Ansamblul format din obiectul reglării* (instalația reglată) + *regulator automat + elementele de măsurare și execuție, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces, se numește sistem de reglare automată (SRA).*

#### 4. SCHEMA FUNCȚIONALĂ A UNUI SRA

Pentru studiul reglării automate este folosită o reprezentare simbolică, denumită *schemă funcțională*.

Schema funcțională a unui sistem de reglare automată este acea schemă în care se indică *elementele componente ale sistemului de reglare automată (SRA)*, destinația lor și legăturile funcționale între ele.

Elementele unui sistem de reglare automată sunt reprezentate în schema funcțională prin *blocuri funcționale*.

Schemă funcțională a unui *SRA* conține:

- legătura directă sau principală, care înglobează toate elementele cuprinse între elementul de comparație  $EC$  și ieșirea instalației automatizate;

- legătura inversă sau secundară, numită deseori „cale de reacție”, care cuprinde elementele situate între ieșirea instalației automatizate și elementul de comparație.

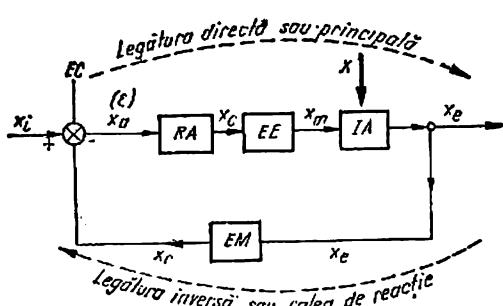


Fig. 17.3. Schema funcțională a SRA din fig. 8.2:  
EC — element de comparație; RA — regulator automat; EE — element de execuție; EM — element de măsurat.

ment, precum și sensul în care un element influențează pe celălalt, adică sensul de transmitere a semnalului (sau informației) în cuprinsul sistemului de reglare automată.

Pentru fiecare element din schemă semnalul se transmite în sens unic, de la intrarea elementului la ieșirea acestuia. În acest fel, pentru fiecare bloc se stabilește o dependență a mărimii de la ieșire de variația mărimii de la intrarea elementului respectiv.

Se obișnuiește a se reprezenta schema funcțională prin însiruirea elementelor componente ale SRA, în ordinea strictă a legăturilor funcționale între ele. De exemplu, pentru instalația de reglare automată din figura 17.2, schema funcțională este reprezentată în figura 17.3 (rezolvarea valabilă și pentru celelalte SRA).

Obiectul reglării (elementul automatizat sau instalația tehnologică reglată), la ieșirea căruia se obține mărimea de ieșire  $x_e$  (în cazul de față, temperatura apei la ieșire  $\theta_e$ ) este supus influenței mărimilor perturbatoare  $X$  din exterior, sub acțiunea căror se produce variații ale mărimii regulate. În cazul sistemului din figura 17.2, mărimea perturbatoare este variația debitului de apă caldă  $D_q$  consumat.

În figura 17.4 sunt reprezentate alte două instalații de reglare, cu schemele funcționale respective.

○ **Observație.** Pentru simplificarea studiului SRA, printr-o alegere convenabilă a unităților de măsură ale mărimilor  $x_r$  și  $x_e$  se poate ajunge la egalitatea:  $x_r = x_e$ . În acest fel este eliminat din reprezentarea schemei funcționale a unui SRA elementul de măsurare  $EM$  de pe calea de reacție.

Transmiterea semnalului (sau informației) se face de la intrare spre ieșirea  $SRA$  pe legătura directă și de la ieșire spre intrarea  $SRA$  pe legătura inversă.

Impreună, cele două legături (directă și inversă) alcătuiesc un circuit închis de reglare automată sau o *bucătă de reglare*.

În schema funcțională se indică mărimile de intrare și de ieșire ale fiecărui element

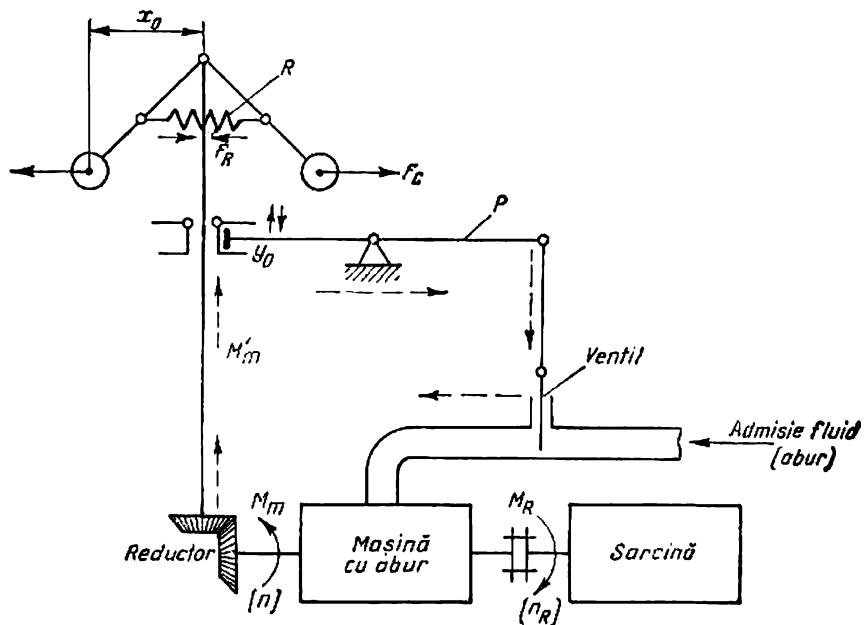
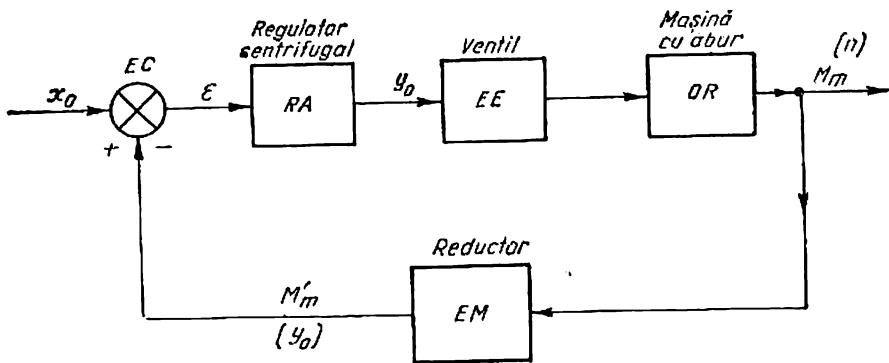


Fig. 17.4, a. Instalație de reglare și schema funcțională.

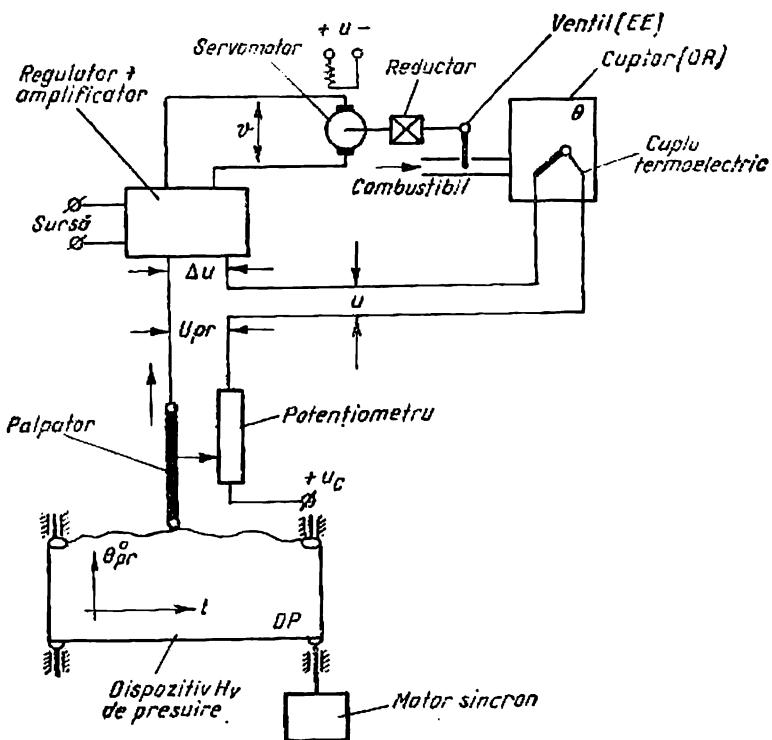
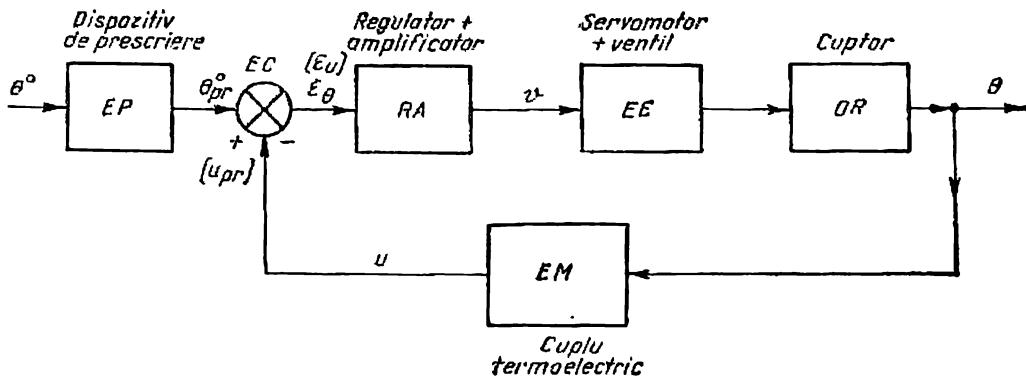


Fig. 17.4, b. Instalație de reglare și schema funcțională.

## B. CLASIFICAREA SISTEMELOR DE REGLARE

Sistemele de reglare automată se pot clasifica în funcție de numărul buclelor de reglare, în funcție de felul mărimii de la intrare, în funcție de viteza de variație a mărimii reglate (sau viteza de răspuns), în funcție de numărul mărimilor reglate și după tipul acțiunii regulatorului automat.

- În funcție de numărul buclelor de reglare se deosebesc:

- *SRA cu o buclă de reglare* (sau cu un singur regulator automat);

- *SRA cu mai multe bucle*

*de reglare* (sau cu mai multe regulatoare automate).

*SRA cu mai multe bucle de reglare* pot fi *sisteme de reglare în cascadă*, care cuprind mai multe regulatoare automate, cu ajutorul cărora, pe lîngă mărimea de ieșire  $x_e$ , sunt reglate și alte mărimi intermediiare din cuprinsul instalației sau procesului reglat, și *sisteme de reglare combinată*, în care, pe lîngă regulatorul automat principal se prevăd unei sau mai multe regulatoare suplimentare, care intră în funcționare numai la apariția anumitor acțiuni perturbatoare.

- În funcție de aspectul variației în timp a mărimii de la intrarea  $x_i$  (deci după variația în timp impusă mărimii de ieșire  $x_e$ ) se deosebesc:

- *sisteme de stabilizare automată* (cind  $x_i = ct$  — de exemplu menținerea constantă a unui parametru — ca în figura 17.5, a; acestea se mai numesc *SRA cu consemn fix sau cu program fix*;

- *sisteme de reglare automată cu program variabil*

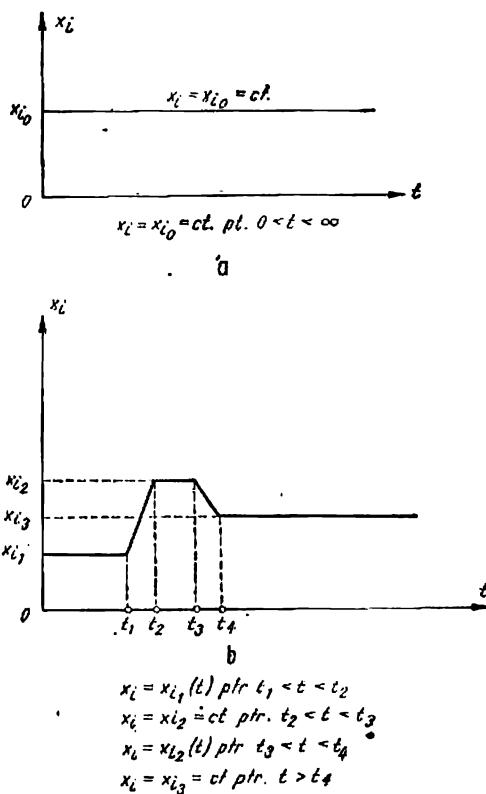


Fig. 17.5. Variația mărimii de la intrarea *SRA*:

a — *SRA cu program fix* (sau *consemn constant*);  
b — *SRA cu program variabil* (sau *consemn programat*).

(cind  $x_i$  variază în timp după o lege prestabilită — de exemplu la cuptoarele industriale pentru tratamente termice — ca în figura 17.5, b; acestea se mai numesc *SRA cu consemn programat*;

— sisteme de reglare automată de urmărire (cind  $x_i$  variază în funcție de un parametru din afara *SRA*, legea de variație în timp a acestui parametru nefiind cunoscută dinainte).

● În funcție de viteza de răspuns a obiectului reglării la un semnal  $x_i$  aplicat la intrare se deosebesc:

— *SRA pentru procese lente* (cele mai răspîndite, instalațiile tehnologice industriale caracterizându-se printr-o anumită inertie), ca, de exemplu, cel din figura 17.2;

— *SRA pentru procese rapide*, cum sunt sistemele de reglare automată aplicate mașinilor și acționărilor electrice (de exemplu reglarea turării motoarelor, reglarea tensiunii generatoarelor etc.).

● După numărul mărimilor de ieșire ale obiectului reglat asupra cărora se exercită acțiunea de reglare automată, se deosebesc:

— *SRA cu o singură mărime reglată* (sau *SRA convenționale*);

— *SRA cu mai multe mărimi reglate simultan* (sau *SRA multivariabile*).

● După tipul acțiunii regulatorului automat se deosebesc:

— *SRA cu acțiune continuă*, la care mărimea de ieșire a fiecărui element component este o funcție continuă de mărimea sa de intrare. Aceste *SRA* conțin fie regulație liniare, la care dependența  $x_e = f(\varepsilon)$  este liniară, fie regulație neliniară, la care această dependență este neliniară;

— *SRA cu acțiune discontinuă (discretă)*, la care mărimea de la ieșirea regulatorului este reprezentată de o succesiune de impulsuri de reglare, fie modulate în amplitudine sau durată (cazul regulațoarelor cu impulsuri), fie codificate (cazul regulațoarelor numerice).

## C. FORMELE FUNDAMENTALE ALE VARIATIEI SEMNALULUI APLICAT LA INTRARE; FUNCȚII TIP PENTRU $x_i(t)$ . RĂSPUNSUL SRA LA FUNCȚIILE DE INTRARE TIP.

În cazul sistemelor de reglare automată, mărimea de la intrare variază într-un mod predeterminat, după un anumit program. În multe situații din practică *SRA*, acest program este reprezentat de o *funcție tip*, adică de o funcție simplă, cu variație specifică, dar comună pentru numeroase sisteme de reglare.

Funcțiile tip ale variațiilor mărimilor de intrare, precum și ale mărimilor de ieșire corespunzătoare, sunt prezentate în figura 17.6. Acestea

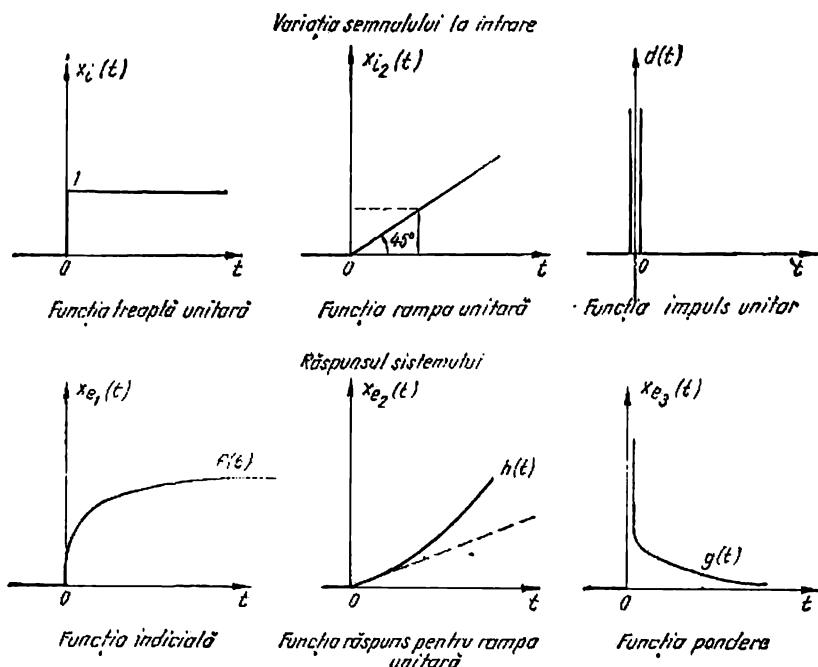


Fig. 17.6. Formele fundamentale ale variației semnalului de la intrare și răspunsul SRA la aceste variații tip.

reprezintă formele fundamentale ale variației semnalului aplicat la intrarea unui SRA.

Pentru mărimile de intrare,  $[x_i(t)]$ , funcțiile tip se numesc: *treapta unitară*, *rampă unitară*, *impuls unitar* și conduc la funcții de ieșire  $[x_e(t)]$  (răspunsuri) denumite respectiv *funcție indicială*, *răspuns pentru rampă unitară*, *funcție pondere*.

- **Functia treapta unitara**  $x_{i1}(t)$  are valoarea zero pentru valori de timp  $t < 0$ , face un salt la valoarea 1 în momentul  $t = 0$  și păstrează această valoare pentru întregul interval  $t > 0$ . Răspunsul sistemului de reglare automată, adică variația mărimii de ieșire  $x_e(t)$  pentru variația treapta unitară la intrarea SRA, se numește *funcție indicială* sau *răspuns indicial*.

- **Functia rampă unitara**  $x_{i2}(t)$  reprezintă o creștere cu viteză de variație unitară:

$$\frac{dx_{i2}(t)}{dt} = 1, \text{ pentru } t > 0. \quad (17.1)$$

Pentru  $t < 0$ ,  $x_2(t)$  este nulă. Dreapta care reprezintă variația lui  $x_i(t)$  face un unghi de  $45^\circ$  cu axa timpului.

- **Funcția impuls unitar**  $x_{i3}(t) = \delta(t)$ , reprezentată în aceeași figură, se definește astfel:

$$\begin{aligned}\delta(t) &= 0 \text{ pentru } t \neq 0; \\ \delta(t) &= \infty \text{ pentru } t = 0.\end{aligned}\tag{17.2}$$

Răspunsul unui sistem automat la funcția  $\delta(t)$  se numește *funcție pondere*.

Cu ajutorul funcțiilor tip, studiul funcționării *SRA* cu comportare liniară la o variație oarecare a mărimii de intrare  $x_i$  se reduce la descompunerea acesteia în funcții tip, la determinarea comportării *SRA* în raport cu fiecare din aceste funcții tip și în cele din urmă, la suprapunerea efectelor, pentru a afla răspunsul global al *SRA*.

## D. PERFORMANȚELE SISTEMELOR DE REGLARE

Se pot defini următoarele performanțe (sau indici de calitate) ce caracterizează funcționarea unui *SRA*:

- eroarea staționară;
- suprareglarea;
- durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere și timpul primului maxim;
- stabilitatea.

### 1. EROAREA STAȚIONARĂ

Eroarea staționară sau abaterea staționară se notează cu  $\varepsilon_{st}$  și caracterizează precizia de funcționare a *SRA* în regim staționar. Acest indice de calitate se poate determina pentru regimul staționar care se stabilește în urma regimului tranzitoriu provocat de variația mărimii de la intrare  $x_i$ .

Considerind un *SRA* liniar, cu parametri constanti, se poate defini eroarea staționară  $\varepsilon_{st}$  ca fiind:

$$\varepsilon_{st} = x_i - x_{e\ st}\tag{17.3}$$

unde  $x_{e\ st}$  reprezintă valoarea staționară (sau stabilizată) a mărimii de la ieșire:

$$x_{e\ st} = \lim_{t \rightarrow \infty} x_e(t).\tag{17.4}$$

iar  $x_i$  — mărimea aplicată la intrare, care în cazul *SRA* coincide cu valoarea de consemn.

Performanța impusă erorii staționare a unui *SRA* este de forma:

$$\epsilon_{st} < \epsilon_{st\ imp} \quad (17.5)$$

unde  $\epsilon_{st\ imp}$  este valoarea impusă (maximă admisibilă) a erorii staționare. Mărimea erorii staționare este exprimată de obicei în procente față de valoarea staționară a mărimii de ieșire  $x_{est}$ . De cele mai multe ori se impune  $\epsilon_{st} = 0$ .

In figura 17.7, a este reprezentat răspunsul  $x_e(t)$  al unui *SRA* la intrarea căruia se aplică o variație treaptă unitară, pentru cazul  $\epsilon_{st} = 0$ , iar în figura 17.7, b — pentru cazul  $\epsilon_{st} \neq 0$ .

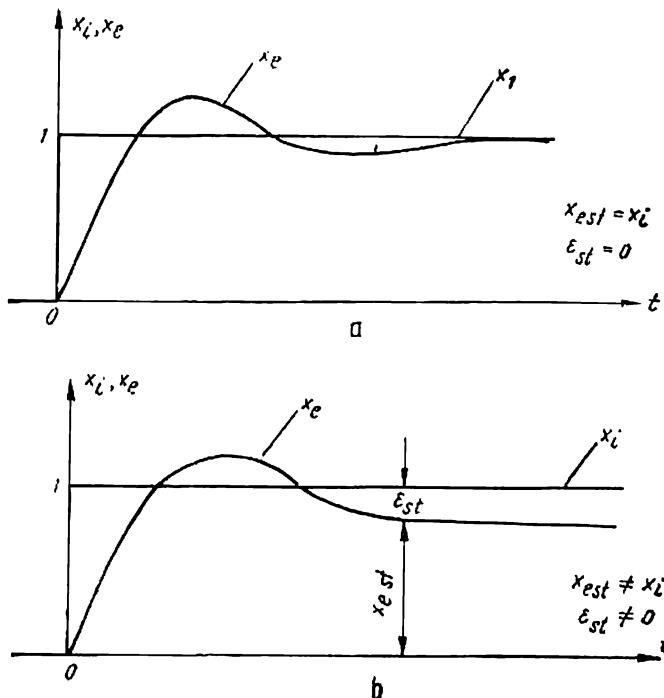


Fig. 17.7. Răspunsul unui *SRA* la intrarea căruia se aplică o variație treaptă unitară, în cazul:  
a —  $\epsilon_{st} = 0$ ; b —  $\epsilon_{st} \neq 0$ .

Dacă se notează cu  $K_{AG}$  factorul total de amplificare al sistemului, eroarea staționară poate fi determinată prin relația:

$$\epsilon_{st} = \frac{1}{1 + K_{AG}} \cong \frac{1}{K_{AG}}, \quad (17.6)$$

deoarece  $K_{AG} \gg 1$ .

Prin urmare, condiția  $\epsilon_{st} \leq \epsilon_{st\,tmp}$  va conduce, în conformitate cu (17.6) la o condiție de formă:

$$K_{AG} \geq K_{AG\,tmp}, \quad (17.7)$$

unde  $K_{AG\,tmp}$  este valoarea admisibilă pentru factorul (coeficientul) de amplificare al SRA din punctul de vedere al performanței erorilor staționare.

## 2. SUPRAREGLAREA UNUI SRA

Suprareglarea  $\sigma$  este un indice de calitate al regimului tranzitoriu al SRA; ea este produsă de o variație a mărimii de intrare  $x_i$ . Se poate spune că  $\sigma$  caracterizează precizia dinamică a SRA.

Suprareglarea  $\sigma$  (fig. 17.8) se definește ca depășirea maximă de către mărimea de ieșire  $x_e(t)$ , în decursul primei oscilații a regimului tranzitoriu, a valorii staționare  $x_{e\,st}$ , care se stabilește după terminarea acestui regim.

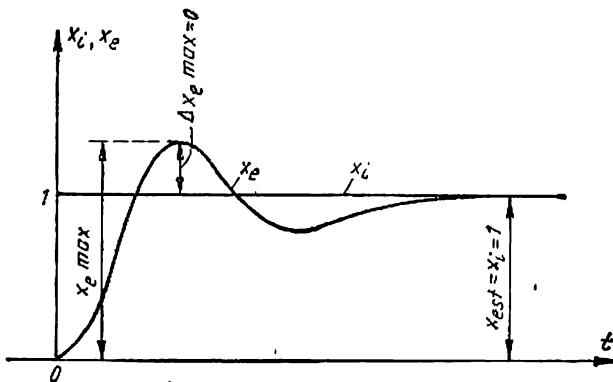


Fig. 17.8. Suprareglarea unui sistem de reglaj automat.

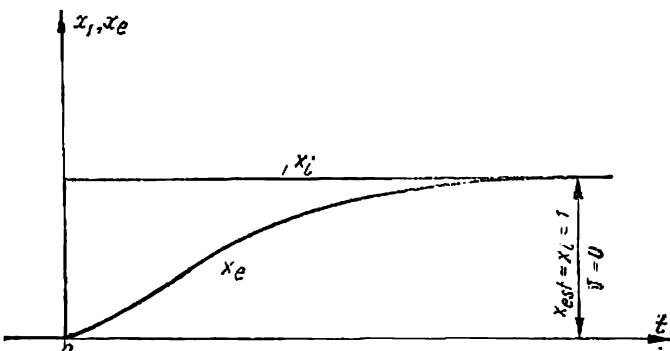


Fig. 17.9. Reglarea în regim tranzitoriu aperiodic.

Depășirea maximă apare în prima semiperioadă a oscilației amortizate  $x_e(t)$ . Dacă regimul tranzitoriu este aperiodic,  $\sigma = 0$  (fig. 17.9).

De obicei, suprareglarea  $\sigma$  se raportează la valoarea staționară a mărimii de ieșire  $x_{e, st}$  și se exprimă procentual:

$$\sigma \% = \frac{x_{e, max} - x_{e, st}}{x_{e, st}} 100 = \frac{\Delta x_{e, max}}{x_{e, st}} 100. \quad (17.8)$$

Deoarece depășirile însemnante ale valorii staționare  $x_{e, st}$  pot provoca suprasolicitări ale elementelor instalației sau ale procesului tehnologic reglat, conducând fie la uzura prematură, fie chiar la deteriorarea acestora (de exemplu, prin străpungerea izolației ca urmare a depășirii tensiunii nominale, în instalațiile electrice), valoarea suprareglării trebuie limitată. Astfel, se impune o condiție restrictivă, exprimată de asemenea procentual:

$$\sigma [\%] \leq \sigma_{imp} [\%], \quad (17.9)$$

unde  $\sigma_{imp} [\%]$  reprezintă valoarea impusă (maximă admisibilă) a suprareglării, în funcție de tipul și condițiile de funcționare ale instalației tehnologice sau ale procesului reglat. De exemplu, pentru sistemele de reglare automate din energetică, valoarea lui  $\sigma_{imp} [\%]$  nu trebuie să depășească 10–15 %.

### 3. DURATA REGIMULUI TRANZITORIU, TIMPUL DE CREȘTERE ȘI TIMPUL PRIMULUI MAXIM

ACEȚI INDICI DE CALITATE CARACTERIZEAZĂ RAPIDITATEA PROCESULUI TRANZITORIU AL REGLĂRII ȘI AU O DEOSEBITĂ ÎNSEMNĂTATE ÎN ANALIZA SRA.

• Durata regimului tranzitoriu  $t_{tr}$  (fig. 17.10), denumită și *timpul de răspuns* al SRA, reprezintă timpul măsurat de la începutul procesu-

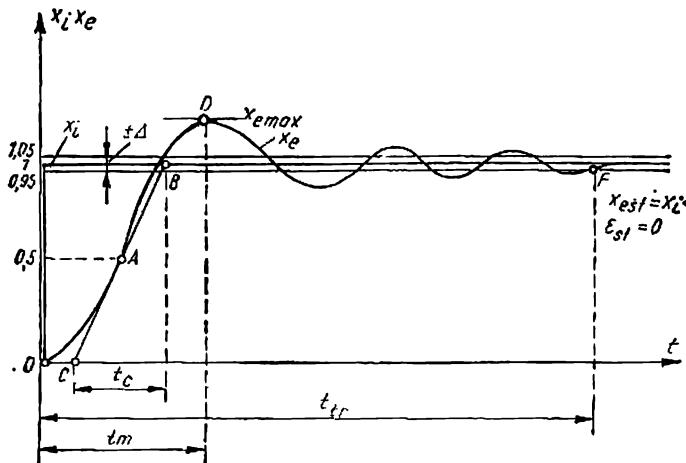


Fig. 17.10. Durata regimului tranzitoriu, timpul de creștere, timpul primului maxim și timpul primei atingeri a valorii staționare.

lui tranzitoriu și pînă la momentul cînd, în valoarea absolută, diferența dintre mărimea de ieșire  $x_e(t)$  și valoarea sa staționară  $x_{e, st}$  scade permanent sub o limită anumită  $\Delta$ :

$$|x_e - x_{e, st}| < \Delta, \quad (17.10)$$

fără ca ulterior să depășească această limită.

În practică, se adoptă de cele mai multe ori:

$$\Delta = 0,05 x_{e, st} = \frac{5}{100} x_{e, st}. \quad (17.11)$$

Pentru ca procesul de reglare automată să se desfășoare cu suficientă rapiditate, trebuie satisfăcută performanța:

$$t_{tr} \leq t_{tr, imp}, \quad (17.12)$$

unde  $t_{tr, imp}$  este valoarea maximă admisibilă a duratei regimului tranzitoriu, impusă de specificul procesului sau de tipul instalației regulate.

● În figura 17.10 s-a notat și momentul primului maxim  $t_m$  (corespunzător punctului  $D$ ).

● Pentru aflarea **timpului de creștere**  $t_c$  pe cale grafică se procedează astfel: se trasează tangenta la curba  $x_e(t)$  în punctul în care are ordonata  $0,5 x_{e, st}$ , în cazul de față punctul  $A$ , cu ordonata  $0,5 \cdot 1 = 0,5$  stabilindu-se punctele de intersecție ale acestei tangente cu axa absciselor

(punctul  $C$ ) și cu orizontală dusă la distanța  $x_e = x_{e\text{st}}$ , în paralel cu axa timpului (punctul  $B$ , deoarece  $x_{e\text{st}} = x_i$ ). Pentru  $t_c$  se adoptă o valoare egală cu proiecția pe axa timpului a segmentului de tangentă  $BC$ , cuprins între cele două puncte de intersecție, stabilite mai sus.

Timpul de creștere oferă un indiciu asupra vitezei de creștere a mărimii de la ieșire  $x_e$  în cursul primei oscilații.

#### 4. STABILITATEA SISTEMELOR DE REGLARE AUTOMATĂ

Din punctul de vedere al stabilității se deosebesc:

— *SRA* la care se poate realiza un regim staționar, și care se numesc *sisteme stable*;

— *SRA* la care mărimea de ieșire  $x_e$  are o variație care nu este controlată de mărimea de intrare sau sistemele de reglare la care mărimea de ieșire fie că execută oscilații autoîntreținute în jurul unei valori staționare  $x_{e\text{st}}$  fie că se depărtează continuu de aceasta, care se numesc *sisteme instabile*.

*Stabilitatea unui SRA reprezintă stabilitatea procesului tranzitoriu al acestuia.* Pentru a vedea dacă un sistem de reglare automată este dinamic stabil, trebuie analizat răspunsul  $x_e(t)$  (deci variația parametrului reglat) pentru o variație la intrarea *SRA*. Deci: un sistem de reglare automată este stabil dacă, după ce își părăsește starea de echilibru stabil, ca urmare a unei variații la intrare, el tinde să revină în regim staționar odată ce variația intrării încetează.

În figura 17.11, a-e sunt reprezentate diferitele tipuri de procese tranzitorii în *SRA* stabile și nestabile. Procesul este descris pentru timpul  $t > t_1$  (timpul  $t_1$  — la care se manifestă variația la intrare sau perturbația).

##### ○ Observație:

Se poate spune că răspunsul  $x_e$  al unui *SRA* este compus din două componente:

— o componentă liberă (sau *tranzitorie*)  $x_{el}(t)$ , variabilă în timp, care caracterizează regimul tranzitoriu al *SRA* și generează de fapt, eroarea tranzitorie  $\varepsilon_{tr}$  (fig. 17.11 a-e);

— o componentă forțată  $x_{ef}$  constantă în timp, care caracterizează valoarea staționară a răspunsului  $x_e$  și constituie partea care rămâne din  $x_e$ , după ce, eventual,  $x_{el}$  a dispărut.

Se poate deci scrie că:

$$x_e(t) = x_{el}(t) + x_{ef}. \quad (17.13)$$

Rezultă că un *SRA* este stabil atunci cind componenta liberă a răspunsului  $x_{el}(t)$  se anulează după un interval de timp acceptabil de la

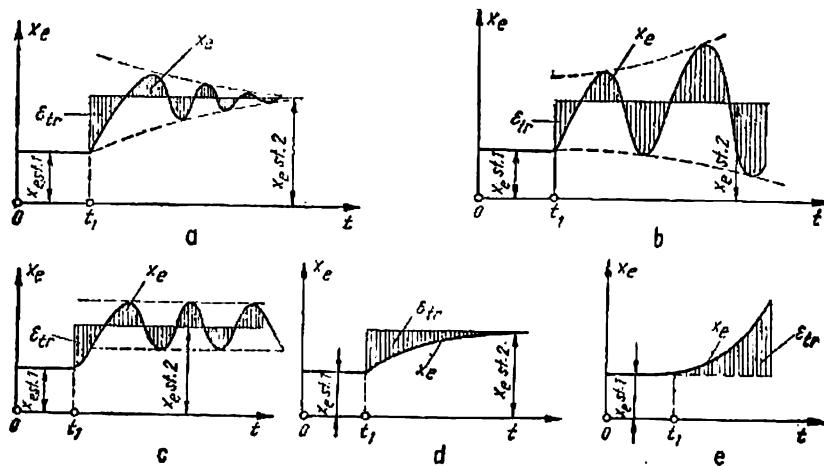


Fig. 17.11. Diferite tipuri de procese tranzitorii în *SRA*:

a — proces amortizat; b și c — procese instabile (cauză c — limită de stabilitate);  
d — proces aperiodic monotон stabil; e — proces aperiodic monotон nestabil.

momentul variației mărimii de intrare (sau de la apariția unei perturbații limitate oarcare, care modifică intrarea *SRA*).

Astfel, condiția matematică de stabilitate a unui *SRA* se poate scrie:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_e(t) = x_{e,ss}. \quad (17.14)$$

La sistemele instabile, componenta liberă nu se anulează și poate fi aperiodică și crescătoare sau oscilație, cu amplitudinea constantă sau crescătoare.

Pentru un astfel de *SRA* instabil se poate scrie că:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x_e(t) \neq x_{e,ss}. \quad (17.15)$$

*Stabilitatea unui SRA este determinată de:*

- stabilitatea proprie a obiectului reglării;
- stabilitatea regulatorului automat.

Obiectul reglării (instalația tehnologică, procesul) este în general stabil prin însăși natura sa, pentru a funcționa sau a se desfășura normal și fără introducerea reglării automate. Din această cauză se spune că obiectul reglării se bucură de aşa-numita stabilitate proprie sau auto-stabilitate. În ceea ce privește regulațoarele automate ele sunt evident, în general, construite în vederea unei funcționări stabile, însă pentru anumiți parametri de acordare ele pot deveni instabile, ceea ce poate

influența SRA în ansamblu. Din această cauză, în domeniul automatizărilor noțiunea de stabilitate, respectiv de instabilitate, se referă la ansamblul sistemului de reglare (regulator + obiectul reglării).

Există o serie de criterii (algebrice, grafice, grafoanalitice), după care se poate determina, în practică, cu suficientă precizie, stabilitatea sau instabilitatea unui SRA.

## REZUMAT

*Reglarea automată* reprezintă un proces (funcție de automatizare) în care o mărime (parametrul reglat) este adusă la o valoare prescrisă (de consumă) și este menținută la această valoare prin intervenții permanente din afară, pe bază de măsurări.

Elementele unui SRA sunt: obiectul reglării (instalația sau procesul reglat), regulatorul automat, elementul de comparație, elementul de măsurat și elementul de execuție.

Se numește *sistem de reglare automată* (prescurtat SRA) ansamblul format din obiectul reglării, regulatorul automat, elementul de comparație, elementul de măsurat și elementul de execuție, realizat în scopul reglării automate a unui anumit proces sau parametru de proces.

Se numește *schema funcțională* a unui SRA acea schemă în care se indică toate elementele componente ale SRA, destinația lor și legăturile funcționale între acestea.

Răspunsul  $x_e(t)$  al unui SRA pentru o variație treaptă unitară la intrarea lui se numește răspuns indicial (sau funcție indicială). Răspunsul unui sistem de reglare automată la o variație impuls unitar la intrare se numește funcție pondere.

Performanțele principale impuse în funcționarea unui SRA sunt: EROAREA STATIONARĂ, SUPRAREGLAREA, DURATA REGIMULUI TRANZITORIU și STABILITATEA FUNCȚIONĂRII.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce este reglarea automată:

- reglarea automată este acel proces prin care se comandă acționarea unui motor?
- reglarea automată este procesul în care o mărime este adusă la valoarea prescrisă și este menținută la această valoare, fără intervenția omului?
- reglarea automată este transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări?

- 2. Ce reprezintă o buclă de reglare:**
- a) buclă de reglare este un circuit închis, în care s-a introdus o sursă de tensiune?
  - b) buclă de reglare este circuitul închis format de legătura directă și legătura inversă a unui *SRA*?
  - c) buclă de reglare este legătura care înglobează elementul de comparație, regulatorul și elementul de execuție?
- 3. Care sunt funcțiile de intrare tip ale unui SRA:**
- a) funcțiile de timp monoton crescătoare?
  - b) funcțiile de timp derivabile în origine (la  $t = 0$ )?
  - c) funcțiile de timp reprezentând variațiile treaptă unitară, rampă unitară și impuls unitar?
- 4. Ce reprezintă „răspunsul indicial” al unui *SRA*:**
- a) răspunsul pentru o variație treaptă unitară la intrarea *SRA*?
  - b) răspunsul pentru o variație impuls unitar la intrarea *SRA*?
  - c) variația în timp a mărimii regulate, indiferent de variația de la intrarea *SRA*?
- 5. Care sunt principalele performanțe impuse funcționării SRA:**
- a) eroarea staționară, suprareglarea, durata regimului tranzistoriu, timpul de creștere, stabilitatea?
  - b) abaterea (sau eroarea la un moment dat), amplitudinea oscilațiilor, coeficientul de transfer și perturbația?
  - c) amplificarea, funcția de transfer, viteza de creștere și eroarea staționară?

## CAPITOLUL 18

### SISTEME TELEMECANICE

#### A. NOTIUNI GENERALE, DEFINIȚII ȘI FUNCȚIUNILE SISTEMELOR TELEMECANICE

**Telemecanica** reprezintă *totalitatea mijloacelor tehnice prin care se asigură transmiterea la distanță a unei informații* (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal).

Pentru a realiza măsurarea, comanda și semnalizarea fără participarea omului sau cu participarea operatorului uman numai în anumite laze ale transmisiei informației, dispozitivele telemecanice transformă informația în semnale și le transmite la distanță, pe linii de transmisie. Conducerea prin telemecanizare presupune, practic, o automatizare, totală sau parțială, a instalațiilor sau proceselor conduse. Ansamblul dispozitivelor telemecanice utilizează formează un sistem telemecanic.

Se pot enumera destule procese de producție în care este necesară utilizarea telemecanicii. Astfel de procese sunt:

— procesele de producție complexe, în care diferite părți sau instalații funcționează în strânsă legătură, deși sunt situate la distanțe mari între ele (cazul centralelor electrice, stațiilor de transformare și liniilor de transport și distribuție din sistemul energetic, al sistemelor de irigație, al cimpurilor de sonde și al rețelelor de distribuție de gaze naturale etc.);

— procesele de producție la care se impune conducedea de la distanță, fie din considerante de securitate și protecție a muncii, fie din imposibilitatea situației omului în locul în care se desfășoară procesul respectiv (cazul lucărărilor de foraj la mare adâncime, controlul și comanda funcționării anumitor instalații cu temperaturi ridicate sau scăzute, în mediul radioactiv, la înaltă tensiune, supravegherea și conducedea de la distanță a reactorilor nucleari, a zborului rachetelor cosmice și sateliștilor etc.);

— procesele la care comanda de la distanță asigură o desfășurare mai operativă și un grad sporit de siguranță în funcționare (ca, de exemplu,

plu, automatizarea triajelor de cale ferată, controlul centralizat al circulației feroviare sau rutiere, supravegherea și dirijarea traficului aerian etc.).

Telemecanica a apărut și s-a dezvoltat continuu pe baza progreselor realizate în automatică, electronică, radiotehnică și telecomunicații, în special odată cu folosirea elementelor fără contacte (diode semiconductoare, tranzistoare, tiratrocene cu catod rece, elemente feromagnetice cu ciclu de histerezis dreptunghiular și a.).

Telemecanica permite realizarea următoarelor funcții:

— *telemăsurarea*, adică transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări (de exemplu, telemăsurarea valorii tensiunii nivelului sau debitului);

— *telecomanda*, adică transmiterea la distanță a unei comenzi (de exemplu, telecomanda pornirii sau opririi unui agregat);

— *telesemnalizarea*, adică transmiterea la distanță a unui semnal (de exemplu, telesemnalizarea unei avarii, telesemnalizarea depășirii unor limite, a poziției închis sau deschis a unui întreruptor etc.).

Sistemele telemecanice de telemăsurare, telecomandă și telesemnalizare asigură comanda totală a diferite instalații sau agregate.

Când instalația de telemecanică permite realizarea unei reglări la distanță, se obține o *telereglare* (ca de exemplu, telereglarea puterii unor centrale electrice).

În figura 18.1 este arătată principial telemecanizarea unui sistem energetic. Astfel, pentru asigurarea producției și distribuției raționale a energiei electrice, deci pentru buna funcționare a sistemului energetic în ansamblu, este necesar să se centralizeze într-un punct de comandă, sau punct dispecer, controlul și comanda întregului sistem.

Punctul dispecer este echipat cu instalații telemecanice pentru măsurarea de la distanță a anumitor mărimi (electrice sau neelectrice) în diverse puncte ale sistemului energetic, pentru comanda de la distanță a aparatelor și instalațiilor principale și pentru semnalizarea situației acestora la punctul central de comandă.

Legătura dintre punctul de comandă sau dispecer (fig. 18.2) și instalațiile controlate sau comandate prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o linie de transmisie. Această legătură se poate realiza, fie *prin conductoare electrice* (linie de telecomunicație prin fire sau linie de transport de energie electrică), fie *fără conductoare de legătură* (canal de telemecanică prin radio).

La rîndul lor, liniile sau canalele de telemecanică prin fire pot fi:

— *circuite fizice propriu-zise* (de exemplu o linie bifilară, prin care trece semnalul de telemecanică, fără a fi supus la transformări intermedii pe parcursul dispecer-obiect telemecanizat);

— canale de curenți purtători pe circuite fizice, care asigură transmisia concomitentă în linie a mai multor semnale sinusoidale „purtătoare“, fiecare din acestea fiind „modulat“ în amplitudine sau frecvență de semnalele telemecanice (de exemplu, semnale telemecanice care cuprind în spectru frecvențe pînă la 80 Hz modulează 24 semnale „sub-purtătoare“ cuprinse între 400 și 3 200 Hz; acestea modulează, la rîndul

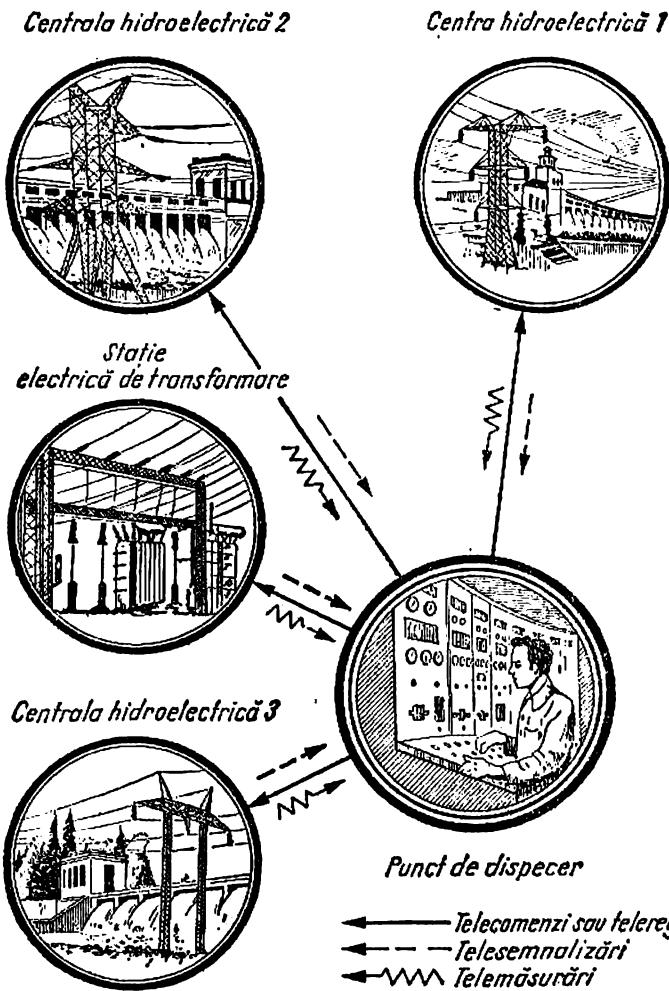


Fig. 18.1. Telemecanizarea unui sistem energetic.

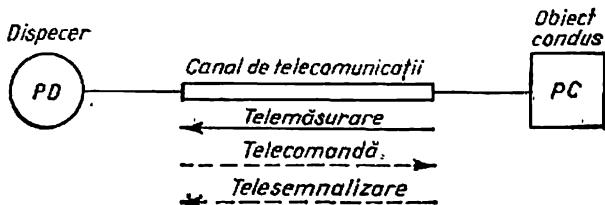


Fig. 18.2. Realizarea legăturii dispecer-obiecto telemecanizate.

lor, o purtătoare de zeci sau sute de kiloherți, rezultind o modulație în două trepte).

Pentru a nu se scumpi instalațiile prin construirea liniilor de transmisie între multe surse și mulți receptori, linia se folosește multiplu cu ajutorul **canalelor de transmisie telemecanică**. De aceea, canalele de curenți purtători (ca și canelele radio) sunt preferate și utilizarea lor s-a impus din ce în ce mai mult. Un argument în plus: curenții purtători pot să transmită și pe liniile de înaltă tensiune de transport și distribuție a energiei electrice, linii care sunt gata construite și se întind pe întreg cuprinsul țării.

## B. STRUCTURA ȘI CLASIFICAREA APARATURII DE TELEMECANICĂ

Orice sistem de telemecanică este alcătuit din cel puțin *două subansamble* sau *terminale* — cel de la postul dispecer și cel (sau cele) de la postul (sau posturile) comandat la distanță, legate între ele prin canale de telecomunicație (sau de telemecanică).

În cazul în care se transmite numai informația de control (telesemnalizarea sau telemăsurarea), postul controlat reprezintă totodată postul de emisie a semnalelor iar postul de comandă (sau dispecer) — postul de recepție. Dacă se transmite numai informația de comandă, emițătorul se află la postul de comandă (sau dispecer) iar receptorul (sau receptoarele) la postul comandat.

În situația în care se prevede atât transmiterea de informații de control, cât și de informații de comandă, ambele terminale trebuie să conțină atât emițătorul, cât și receptorul de semnale telemecanice.

În funcție de modul de transmitere în timp a semnalelor telemecanice, deosebim *transmiterea permanentă a semnalelor*, *transmiterea periodică sau ciclică* și *transmiterea intermitentă* în timp a semnalelor.

Aceasta din urmă se poate efectua fie în mod automat, în momentul apariției unei schimbări în desfășurarea procesului tehnologic condus

de la distanță (de exemplu, la apariția unei avarii), fie la cerere, la comanda dispecerului.

- În figura 18.3 este reprezentat cazul general al structurii aparatului de telemecanică. S-a notat cu  $A$  terminalul situat la dispecer, cu  $B_1, B_2 \dots B_n$  terminalele de la obiectele (sau posturile) telemecanizate și cu  $C_1, C_2 \dots C_n$  — canalele de telemecanică.

Atât la dispecer, cât și la posturile controlate, există instalații de emisie și instalații de recepție a semnalelor. Cu toate că aparatura de telemecanică prezintă o mare diversitate și un grad de complexitate sporit, se pot distinge la structura generală a celor două terminale următoarele blocuri funcționale (v. fig. 18.3):

- *blocuri de conectare externă 1*, care asigură introducerea informației în aparatul de telemecanică pentru emisie (de exemplu, traductoare pentru telemăsurări, butoane pentru telecomenzi, bloc-contacte pentru telesemnalizări etc.) și pentru extragerea informației la recepție (de exemplu, relee de execuție pentru telecomenzi, sisteme de afișare pentru telemăsurări, becuri pentru telesemnalizări etc.);
- *blocuri de prelucrare a informației 2*, care asigură prelucrarea automată a informației obținute la ieșirea blocurilor de conectare externă, ca de exemplu convertoare de semnal, circuite logice etc.;
- *blocuri energetice 3*, care înglobează amplificatoarele și sursele de energie;
- *blocuri de memorizare 4 sau memori*, în care informația (semnalul telemecanic) este înmagazinată în timpul transmisiei altor informații, în timpul executării unor operații de prelucrare etc.;
- *blocuri de organizare automată a funcționării 5*, care realizează comanda după un program dinainte stabilit a diferitelor operații sau

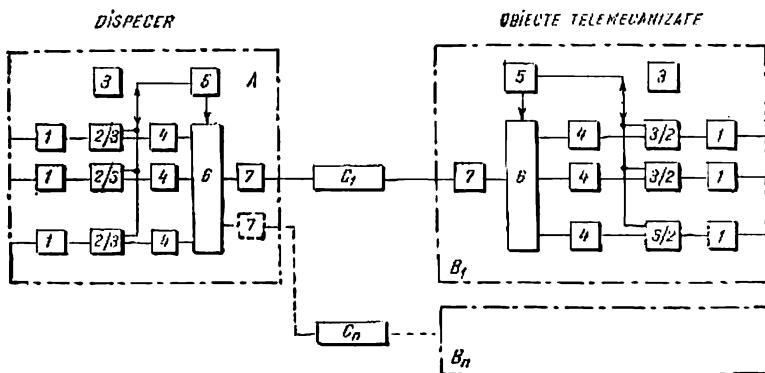


Fig. 18.3. Structura aparatului de telemecanică.

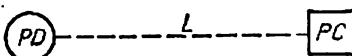


Fig. 18.4. Structură telemecanică cu obiecte concentrate.

funcțiuni telemecanice, restructurarea internă la trecerea de la o funcțiune la alta și de la transmiterea unei informații, la transmiterea altor informații; tot aceste blocuri mai pot indeplini și funcțiuni de protecție, de exemplu în cazul unor regimuri anormale de funcționare sau avarii etc.;

— *blocuri de separare* 6, care permit transmiterea de informații complexe referitoare la mai multe obiecte telemecanizate sau la mai multe stări și funcțiuni ale aceluiași obiect. Blocurile de separare realizează, de exemplu, separarea în timp sau separarea în frecvență a semnalelor emise pe un circuit unic, la recepționarea lor efectuindu-se conversia semnalelor în sens invers;

— *blocuri de cuplare internă* 7, care realizează cuplarea cu canalul de telecomunicație ( $C_1, C_2 \dots C_n$ ). La punctul de emisie aceste blocuri asigură ca semnale telemecanice să fie debitate în forma și la nivelul de putere necesar iar la punctul de recepție asigură reconstituirea semnalelor distorsionate în urma transmisiei și le prezintă în forma necesară pentru prelucrarea în cadrul celorlalte blocuri funcționale, din structura aparatului de telemecanică de la postul controlat.

● În funcție de modul diferit de amplasare a obiectelor telemecanizate în raport cu punctul de dispecer, structura rețelei de canale de telecomunicații variază. Se deosebesc astfel:

— *structuri telemecanice cu obiecte concentrate* (fig. 18.4) în cazul în care obiectele (sau posturile) controlate  $PC$  sunt amplasate teritorial la mică distanță de postul dispecer  $PD$ , astfel încât se poate utiliza o aparatură de telemecanică unică, cu două terminale (de exemplu telemecanizarea instalațiilor din centrale electrice, stații de transformare etc.);

— *structuri telemecanice cu obiecte dispersate*, în cazul în care distanțele între posturile controlate sau comandate sunt mari și necesită legături telemecanice distincte cu postul de dispecer. După modul de amplasare a obiectelor telemecanizate se disting: structuri telemecanice cu obiecte dispersate liniar (fig. 18.5), cu obiecte dispersate arborescent (fig. 18.6) și cu obiecte dispersate radial (fig. 18.7).

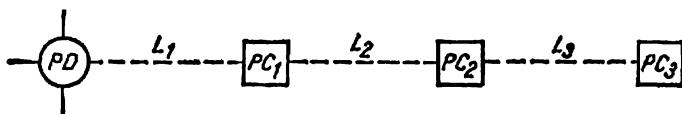


Fig. 18.5. Structură telemecanică cu obiecte dispersate liniar.

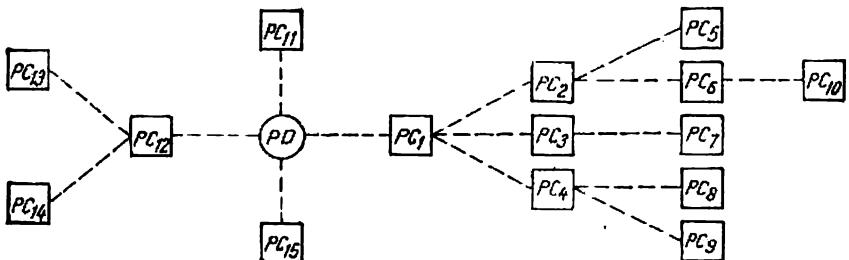


Fig. 18.6. Structură telemecanică cu obiecte disperse arborescent.

Structurile telemecanice cu obiecte disperse se întâlnesc frecvent (cazul cîmpurilor de sonde telemecanizate, a rețelelor de irigații, de transport și distribuție a gazelor naturale, telemecanizarea transporturilor feroviare etc.).

### C. SISTEME DE TELEMASURARE

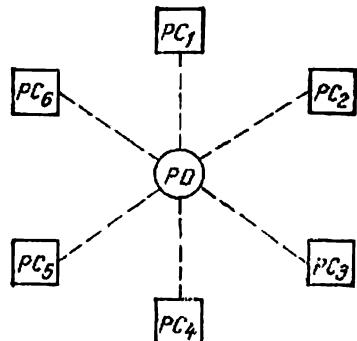


Fig. 18.7. Structură telemecanică cu obiecte disperse radial.

Aparatele obișnuite de măsurat nu permit transmiterea rezultatelor măsurării la mari distanțe, fără intervenția unor dispozitive și instalații speciale. Pentru telemăsurarea unei anumite mărimi fizice (curent, tensiune, debit, presiune, nivel, temperatură etc.) este necesar ca mărimea măsurată să fie convertită într-o mărime auxiliară, de obicei curent sau tensiune electrică aptă de a fi transmisă la distanță prin linia de telecomunicație, care leagă punctul unde se execută măsurarea cu locul unde trebuie transmisă valoarea măsurată. La celălalt capăt al liniei de telecomunicație, această mărime auxiliară este din nou convertită în indicații ale unui aparat de măsurat. Valorile curentului sau tensiunii transmise prin linie sunt foarte mici (cîțiva miliamperi, respectiv cîțiva volți).

- În funcție de variațiile mărimii măsurate se modifică în mod corespunzător caracteristicile unor impulsuri electrice transmise prin linie (*sisteme cu impulsuri*), sau frecvența unui curent alternativ care circulă prin linia de telecomunicație (*sisteme de frecvență*).

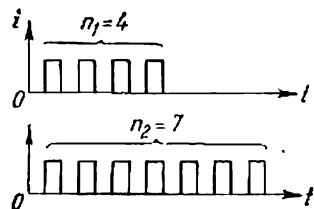


Fig. 18.8. Sisteme de telemăsurare bazate pe numărul impulsurilor.

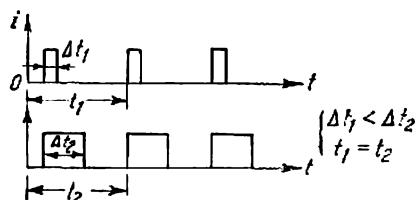


Fig. 18.9. Sisteme de telemăsurare bazate pe durata impulsurilor.

● După modul de obținere a informației (mesajului) de telemăsurare, aceasta poate fi *telemăsurare continuă* (pentru acei parametri cu variație rapidă, asupra cărora este necesară o informare continuă) sau *telemăsurare la cerere* (pentru acei parametri cu variație lentă sau relativ lentă ale căror valori telemăsurate se obțin „la cerere”, în anumite momente — de exemplu, temperatura unui fluid).

Parametrii impulsurilor care se pot modifica sub acțiunea unui mesaj sunt: polaritatea, amplitudinea, durata, poziția sau frecvența. Astfel, la sistemele cu impulsuri funcționarea dispozitivelor de telemăsurare se poate baza: pe numărul impulsurilor (fig. 18.8), pe durata impulsurilor (fig. 18.9), pe frecvența impulsurilor (fig. 18.10) sau pe o anumită codificare a impulsurilor (fig. 18.11).

În figura 18.12 este prezentată schema pentru telemăsurarea nivelului unui lichid realizată cu ajutorul unui dispozitiv bazat pe numărul de impulsuri. La acest sistem, fiecare valoare a mărimii măsurate îi corespunde un număr de impulsuri de curent continuu transmise prin linia de telecomunicație. Cind nivelul lichidului variază, plutitorul se ridică sau coboară și cablul 2 rotește scripetele 3 cu un anumit unghi, proporțional cu variația de nivel. Odată cu scripetele se învârtă și roata dințată 4. Fiecare dintre al roții 4 antrenează pîrghia de contact 5;

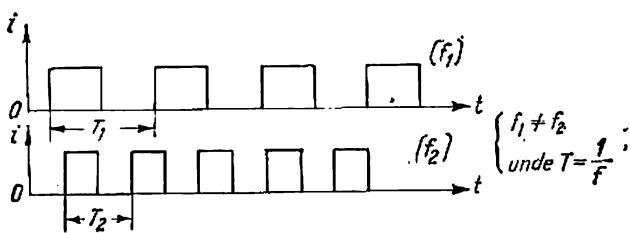


Fig. 18.10. Sisteme de telemăsurare bazate pe frecvența impulsurilor.

aceasta execută o deplasare la dreapta sau la stînga poziției de echilibru și închide unul sau altul din contactele 6, în funcție de sensul de rotație al scripetelui 3. Dacă, de exemplu, nivelul lichidului din rezervor

creste scripetele se rotește în sensul acelor de ceasornic și pîrghia 5 inchide contactul din dreapta, determinînd transmiterea unui impuls pozitiv de curent, de la sursa  $E_1$ , prin linia  $L$ .

Impulsul pozitiv excitană bobina polarizat  $RP$  care închide contactul  $a$ , prin care se aplică tensiunea bateriei  $E_2$  la bobina electro-magnetului din stînga  $EM_1$ . Odată cu atragerea armăturii electromagnetului, elichetul  $c_1$  va deplasa roata cu elichet  $7$  și acul indicator  $8$  cu o diviziune spre partea dreaptă a scalei  $9$ , gradată în unități de nivel. Dacă nivelul scade, pîrghia 5 inchide contactul  $b$  din stînga: prin linia  $L$  va fi trimis un impuls de curent negativ, care va determina închiderea

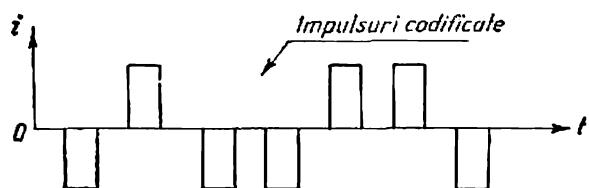


Fig. 18.11. Sisteme de telemăsurare bazate pe codificarea impulsurilor.

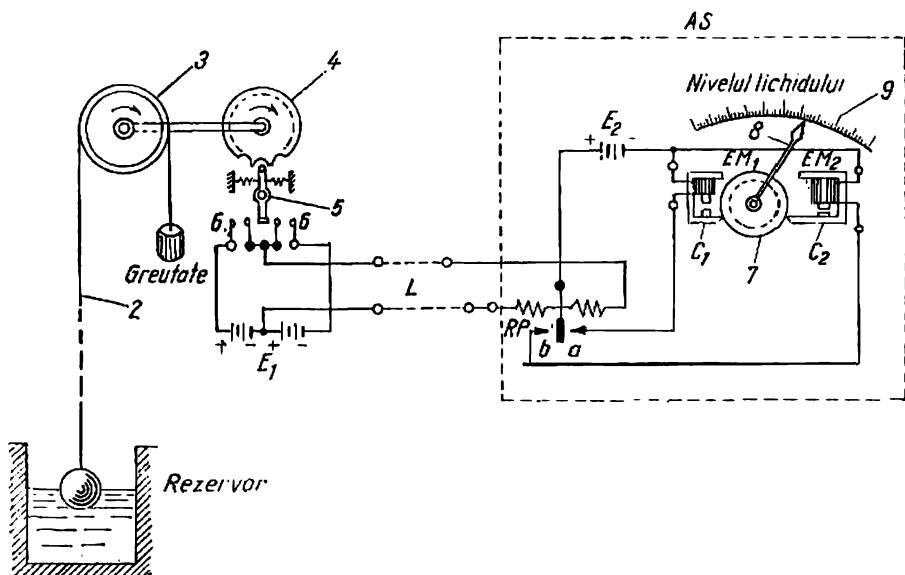


Fig. 18.12. Schemă pentru telemăsurarea nivelului unui lichid.

contactului *b* a lui *RP*, conectarea electromagnetului *EM<sub>2</sub>* și deplasarea indicatorului cu o diviziune spre stînga scalei *g*.

La o variație însemnată a nivelului apei în rezervor, dispozitivul va transmite prin linie mai multe impulsuri de curent, pozitive sau negative, care vor deplasa acul indicator cu un număr corespunzător de diviziuni.

Sistemul descris prezintă însă dezavantajul că în cazul unui deranjament pe linie aparatul secundar de măsurat va indica mereu același nivel; la lichidarea unui deranjament trecător, indicația aparatului secundar diferă de valoarea corectă a nivelului printr-o eroare corespunzătoare numărului de impulsuri care s-au pierdut în timpul intreruperii legăturii.

#### D. SISTENE DE TELECOMANDĂ

Datorită căderii de tensiune în conductoarele de legătură precum și pierдерilor prin disiparea de energie calorică, comanda locală prin cabluri de la un pupitru de comandă la obiectele comandate dă rezultate numai la distanțe mici, care nu depășesc cîteva sute de metri. Pentru distanțe mari se folosesc sisteme de telecomandă.

Instalațiile de telecomandă (cumulate de obicei cu cele de telesemnalizare) cu care sunt prevăzute punctele de dispecer, servesc atât pentru comandarea de la distanță a anumitor instalații principale, cit și pentru controlul îndeplinirii comenziilor, prin semnalizările recepționale la punctul de dispecer asupra situației instalațiilor principale din sistem.

• În figura 18.13 este reprezentat schematic echipamentul dispozitivelor de telecomandă-telesemnalizare instalat la punctul de comandă

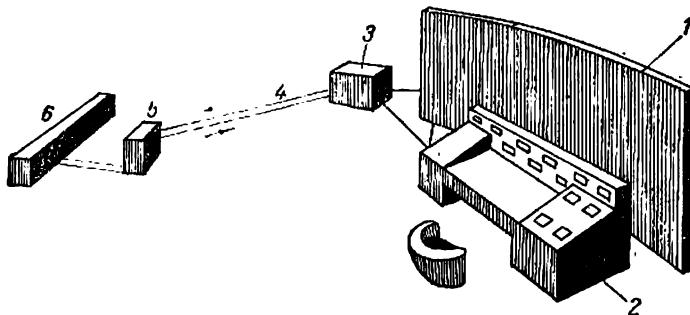


Fig. 18.13. Echipamentul de telecomandă-telesemnalizare pentru telemecanizarea unui sistem energetic.

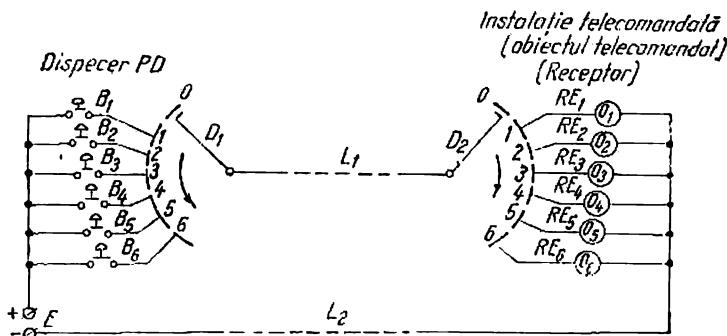


Fig. 18.14. Schema dispozitivului de selecție cu distribuitoare rotative.

(dispecer) și la obiectul comandat, în cadrul unui sistem energetic. La punctul dispecer se găsesc: panoul 1 (cu schema sistemului comandat), pupitrul de comandă 2 și dulapurile 3 cu aparatul de telecomandă și telesemnalizare.

Punctul dispecer este legat de obiectul comandat prin linia de telecomunicații 4. La obiectul telemecanizat se găsesc: dulapurile 5, cu aparatul de telecomandă și telesemnalizare, precum și echipamentul telemecanizat 6.

Pentru ca prin o singură linie de telecomunicație să fie telecomandate mai multe instalații (obiecte) se montează dispozitive de selecție, care au rolul de a alege (selecta) semnalele primite prin linie și de a le repartiza cu precizie instalațiilor cărora le sunt destinate.

- În figura 18.14 este reprezentată schema unui dispozitiv de selecție cu distribuitoare electromagnetice rotative. Cele două distribuitoare rotative  $D_1$  și  $D_2$  se rotesc cu aceeași viteză și în același moment perilelor se găsesc pe aceleasi contacte ( $0, 1, 2 \dots$ ). La punctul de dispecer  $PD$  sunt instalate butoanele de comandă  $B_1, B_2 \dots$  iar la instalația telemecanizată se găsesc releele electromagnetice  $RE_1, RE_2 \dots$  și obiectele telecomandate  $O_1, O_2 \dots$  (de exemplu, motoare electrice, intrerupătoare electrice etc.). O singură linie de telecomunicație, alcătuită din conductoarele  $L_1$  și  $L_2$  stabilește legătura punctului de dispecer cu instalația telemecanizată.

Se presupune că  $O_2$  reprezintă un motor electric. Pentru pornirea acestui motor este suficient ca operatorul aflat la punctul de dispecer să apese butonul  $B_2$ . În acest fel, atunci când perile distribuitoarelor rotative  $D_1$  și  $D_2$  vor „călcă“ pe contactul 2, se va stabili un circuit electric, prin bobina releului electromagnetic  $RE_2$  și acesta va comanda printr-un contactor pornirea motorului  $O_2$ . Semnalul transmis de la punctul

de dispecer este distribuit numai obiectului căruia fi era destinat (în cazul de față  $O_2$ ), deoarece la apăsarea butonului  $B_2$ , nici un alt circuit alimentat de bateria  $E$  nu se poate închide.

Numărul de obiecte care pot fi telecomandate coincide cu numărul contactelor cu care sunt prevăzute cele două distribuitoare rotative. Schema prezentată se mai numește *schemă de telecomandă — telesemnalizare „cu alegere“*.

#### ○ Observație:

În ultimii ani au fost realizate instalații telemecanice electronice, cu comutație statică. La construcția echipamentelor moderne de telemecanică sunt folosite tot mai mult dispozitivele cu tranzistoare și cu mierzi de ferită, cu distribuitoare electronice (cu fascicul liniar sau radial) și cu semiconductoare, circuite integrate etc.

În țara noastră, Întreprinderea pentru rationalizarea și modernizarea instalațiilor energetice (ICEMENERG) și IEA — București fabrică elemente și instalații de telemecanică realizate cu elemente statice.

Astfel, se pot cita: echipamentul pentru automatizarea și telemecanică centralelor hidroelectrice — de pildă, din hidrocentrala Stejarul (Bicaz) se conduce prin telemecanică alte 11 obiective energetice din „aval Bistrița“ (centralele hidroelectrice Pingăraji, Vaduri, Roznov și.a.); echipamentul cuprinde: dispozitive pentru convertirea, memorizarea și repartizarea automată a consumului de putere activă sau reactivă, dispozitive pentru reglarea automată a deschiderii vanelor, pentru reglarea automată a excitării generatoarelor, pentru reglarea automată a nivelului în bazinile de liniștire, pentru pornirea sau oprirea automată a turbinelor etc.); echipamentele de telemecanică cu elemente statice (variantele: „TESECIC“ — pentru telesemnalizare ciclică, „TELECIN“ — pentru telesemnalizare și telemăsurare ciclică numerică, „TELES-TAT“ — pentru telecomandă la cerere, telesemnalizare și telemăsurare ciclică numerică, „TELEMARC“ — pentru telecomandă, telesemnalizare, telemăsurare și telereglare numerică); diverse echipamente de telemecanică cu circuite integrate etc.

## R E Z U M A T

*Telemecanică* reprezintă totalitatea mijloacelor tehnico prin caro se asigură transmiterea la distanță a unei informații (a unei măsurări, a unei comenzi sau a unui semnal). Ea este acea ramură a științei și tehnicii care se ocupă cu metodele și mijloacele tehnico de stabilire a unor legături corespunzătoare între mai multe instalații tehnologice în interdependență funcțională și un punct de conducere (sau dispecer) al sistemului în ansamblu.

Telemecanica permite realizarea următoarelor *funcții*: (telemăsurarea, telecomanda, telesemnalizarea și telereglarea).

Legătura dintre punctul de comandă (sau dispecer) și instalațiile (obiectele) controlate sau comandate prin mijloace telemecanice se realizează pe cale electrică, printr-o *linie de transmisie* (numită și canal de telemecanică), fie prin conductoare electrice, fie prin radio.

*Sistemele de telemăsurare cu acțiune la distanțe mari* se realizează fie ca sisteme cu impulsuri, fie ca sisteme de frecvență. La sistemele cu impulsuri, funcționarea dispozitivelor de telemăsurare se poate baza pe numărul impulsurilor, pe durata în impulsurilor, pe frecvența impulsurilor sau pe o anumită codificare a impulsurilor.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce este telesemnalizarea:
  - a) transmiterea la distanță a unei comenzi?
  - b) transmiterea la distanță a unei informații calitative?
  - c) transmiterea la distanță a rezultatelor unei măsurări?
2. Cum se realizează legătura între postul de comandă (sau dispecer) și posturile telemecanizate:
  - a) pe cale electrică, printr-o linie de telecomunicație (cu fir sau prin radio)?
  - b) prin cuplaj magnetic?
3. Ce sunt blocurile de memorizare (sau memoriile) din structura unui terminal de telemecanică:
  - a) sunt blocurile care înglobează sursele de putere și amplificatoarele?
  - b) sunt blocurile care comandă diforitele oporații sau funcții telemecanice, precum și ordinea în care se execută acestea?
  - c) sunt blocurile în care informația (semnalul telemecanic) este înmagazinată în timpul transmisiiei altor informații, în timpul prelucrării altor semnale etc.?

## CAPITOLUL 19

### EXEMPLE DE PROCESE INDUSTRIALE AUTOMATIZATE

#### A. NOTIUNI GENERALE

Procesele industriale sunt de o mare diversitate atât din punctul de vedere al substanțelor ce intervin, cât și ca formă, dimensiuni și mod de operare. Acest lucru impune o mare diversitate de sisteme de automatizare adecvate proceselor respective.

Trebuie observat faptul că, practic, pentru același proces tehnologic se pot imagina mai multe moduri de automatizare, după cum diverse proceze tehnologice din domenii diferite pot fi automatizate similar; de exemplu, același sistem de reglare automată a temperaturii se poate întâlni în industriile: chimică, energetică, ușoară, alimentară etc.

Procesele industriale automatizate se pot clasifica în mai multe categorii, în funcție de fenomenele fizice care le însoțesc; astfel se disting:

- proceze cu transfer de masă (material);
- proceze cu transfer de energie;
- proceze cu transfer de masă și energie.

Această ultimă categorie este cea mai des întâlnită.

În cele ce urmează vor fi prezentate principal cîteva exemple de automatizări (reglare, comandă, măsurare etc.) din diverse domenii industriale care, aşa cum s-a arătat, se pot aplica și la alte proceze din alte domenii.

#### B. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA CHIMICĂ

##### 1. REGLAREA AUTOMATĂ A REACȚIEI DE RETROADIȚIE

În procesul de fabricare a unor solvenți organici se folosește un procedeu de reacție prin retroadăție, care se desfășoară într-un reactor (fig. 19.1). Reacția se produce în interiorul reactorului, în care unul din-

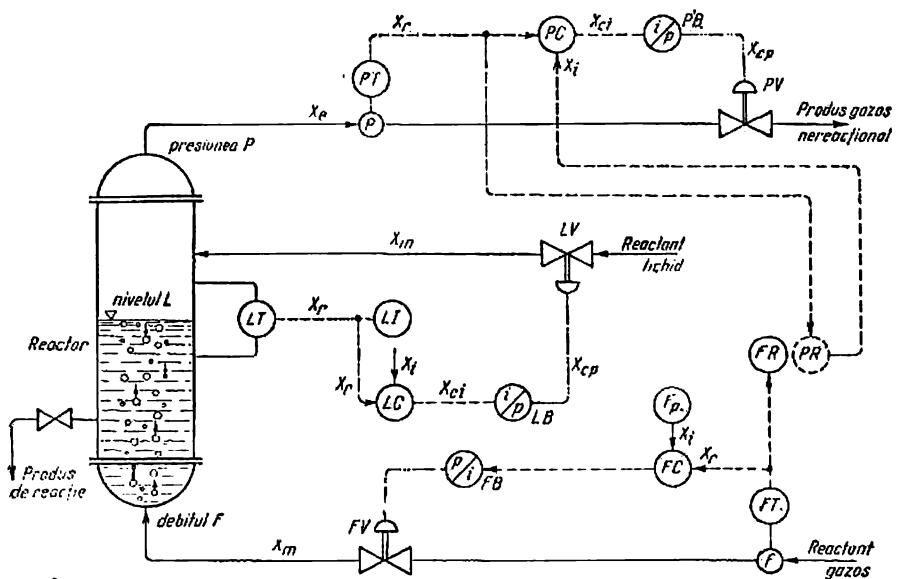


Fig. 19.1. Reglarea automată a reacției de retroadiție.

tre reactanți — în fază lichidă — este introdus prin intermediul unui sistem de reglare automată a nivelului ( $L$ ), iar cel de-al doilea reactant — în stare gazoasă — este introdus printr-un sistem de reglare automată a debitului ( $F$ ) pe la partea inferioară a reactorului. În sfîrșit, produsul nereacțional este evacuat prin intermediul unui sistem de reglare automată a presiunii ( $P$ ) pe la partea superioară a reactorului, urmând a fi recuperat într-o altă fază a procesului.

- Reglarea automată a nivelului  $L$  se realizează cu ajutorul regulatorului  $LC$ , care compară mărimea de consemn  $X_r$  cu mărimea de reacție  $X_{r*}$  (v. cap. 14) obținută de la traductorul diferențial de presiune  $LT$  (v. cap. 11). Mărimea electrică de comandă  $X_{ci}$  este aplicată convertorului electropneumatic  $LB$ , obținând mărimea de comandă pneumatică  $X_{cp}$  care acționează asupra elementului de execuție  $LV$ . Acest element, care este doar o vană prevăzută cu motor pneumatic (capsulă manometrică cu membrană) — v. cap. 13 —, comandă mărimea de execuție  $X_m$  care reprezintă debitul de reactant lichid, reglind implicit nivelul  $L$  al lichidului. Aparatul indicator  $LI$  racordat la mărimea de reacție  $X_r$ , de la traductorul  $LT$ , afișează valoarea instantaneă a nivelului  $L$ .

- Reglarea automată a debitului  $F$  de reactant gazoasă se realizează printr-o buclă de reglare similară celei precedente, folosind traductorul

de debit  $FT$ , regulatorul  $FC$  (care primește mărimea de consum  $X_i$  de la elementul de programare  $F_p$ ), convertorul electropneumatic  $FB$  și elementul de execuție  $FV$ . Mărimea de reacție  $X_r$  se aplică și aparatului înregistrator  $FR$ .

● Reglarea debitului de produs gazos nereactat se realizează pe baza reglării presiunii  $P$  din partea superioară a reactorului — traductorul de presiune  $PT$ , regulatorul  $PC$ , convertorul  $PB$  și elementul de execuție  $PV$ . Mărimea de reacție  $X_r$  se aplică și aparatului înregistrator  $PR$ , care elaborează mărimea de consum  $X_i$  a regulatorului  $PC$ .

## 2. AUTOMATIZAREA PROCESULUI DE DISTILARE

Automatizarea unei coloane de distilare (fig. 19. 2) constă în prevederea unor bucle de reglare ( $SRA$ ) independente sau interdependente, care asigură obținerea unui produs distilat pe bază unei materii prime date.

Distilarea propriu-zisă constă în fierberea materiei prime cu ajutorul unui fierbător folosind abur de încălzire și condensarea vaporilor de produs distilat (care s-a evaporat la o temperatură prescrisă) cu ajutorul unui condensator de produs de vîrf, folosind un agent de răcire oarecare (de exemplu, apă rece).

Automatizarea coloanei de distilare necesită următoarele sisteme de reglare automată  $SRA$  (fig. 19.2):

—  $SRA$  a debitului de materie primă (traductorul de debit  $FT1$ , regulatorul  $FC1$  și elementul de execuție electric  $FV1$ );

—  $SRA$  a debitului de abur pentru alimentarea fierbătorului ( $FT2 + FC2 + FV2$ );

—  $SRA$  pentru menținerea constantă a debitului de reflux, care asigură menținerea unui profil staționar al componiției în interiorul coloanei ( $FT3 + FC3 + FV3$ );

—  $SRA$  pentru menținerea constantă a debitului de produs distilat ( $FT4 + FC4 + FV4$ );

—  $SRA$  pentru menținerea la valoare constantă a componiției reziduurilor, prin menținerea constantă a nivelului  $L$  al materiilor prime (lichide) la baza coloanei de distilare ( $LT + LC + LV$ );

—  $SRA$  pentru menținerea constantă a presiunii  $P$  la vîrful coloanei de distilare (cuprinde traductorul  $PT$  și regulatorul  $PC$  a cărui mărime de comandă  $X_c$  reprezintă mărimea de intrare  $X_i$  a regulatorului  $FC2$ ). Așadar, pentru masa de material conținută în coloana de distilare presiunea  $P$  a vaporilor este reglată indirect prin reglarea cantității de energie (căldură) introduse în proces — implicit reglarea temperaturii de vaporizare.

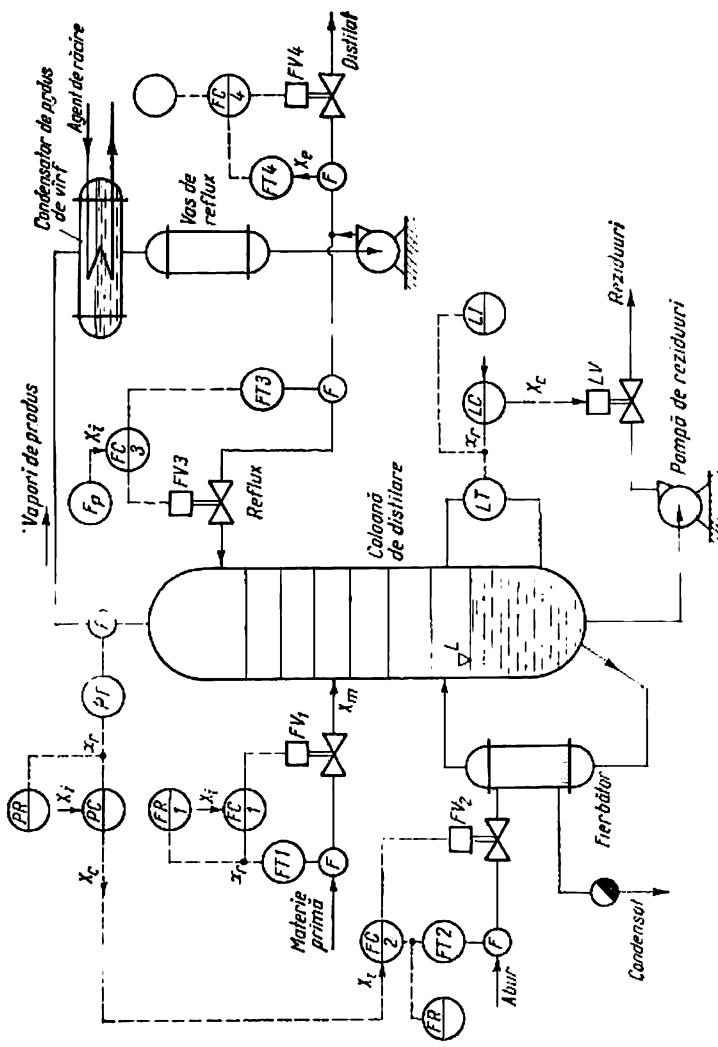


Fig. 19.1. Automatizarea procesului de distilare.

Procesul de producție are loc în felul următor:

Materia primă care urmează a fi distilată este introdusă cu un debit constant în coloana de distilare. Prin fierbere, produsul ușor conținut în materia primă parcurge coloana de jos în sus, în contracurent cu produsul distilat introdus în coloană ca reflux și cu materia primă introdusă pe tulerul de alimentare. Vaporii parcurind coloana, își îmbogățesc compoziția în produs distilat.

Menținerea nivelului constant la baza coloanei are ca efect o compoziție constantă a reziduurilor evacuate.

Sistemele de reglare automată a debitului de materie primă care alimentează coloana, a debitului de distilat produs, a debitului de distilat pe reflux precum și a nivelului la baza coloanei asigură pe ansamblu menținerea la o valoare constantă a bilanțului de material din proces.

În scopul asigurării unui bilanț energetic constant — funcționarea în regim staționar — în coloana de distilare, este necesară menținerea constantă a cantității de energie introdusă în și evacuată din proces. În majoritatea proceselor de distilare din industria chimică se folosește aburul ca agent de încălzire. Pentru menținerea constantă a cantității de energie introdusă în procesul de distilare este necesară menținerea constantă a debitului de abur ce alimentează fierbătorul coloanei. Acest lucru este valabil bineînțeles cu condiția ca temperatura aburului primit să fie constantă, lucru realizat printr-un *SRA* de temperatură prevăzut la cazanul de abur care se află în afara instalației prezentate. Debitul de energie evacuată din proces prin intermediul vaporilor de produs este asigurat la o valoare constantă prin reglarea presiunii la vîrful coloanei\*.

Aceste sisteme de reglare ale procesului de distilare au o largă răspândire atât în industria chimică, cât și în cea alimentară și în petrochimie-

## C. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA CONSTRUCȚIILOR DE MAȘINI

### 1. SISTEME DE COMANDĂ AUTOMATĂ DUPĂ ȘABLON

ACESTE sisteme de automatizare, denumite și *mașini de copiat*, se aplică de obicei strungurilor paralele, fiind folosite deci în procesul de strunjire a unor piese cu profil dat.

Schema principală a unui asemenea sistem este prezentată în figura 19.3. Instalația tehnologică supusă automatizării este un strung din care

\* Conform legii gazelor perfecte  $PV = RT$ , în care  $R$  este constanta generală a gazelor ( $R = 810 \text{ J}/\text{kmol K}$ ) pentru un volum molar dat  $V$ , presiunea  $P$  este proporțională cu temperatura  $T$  (K).

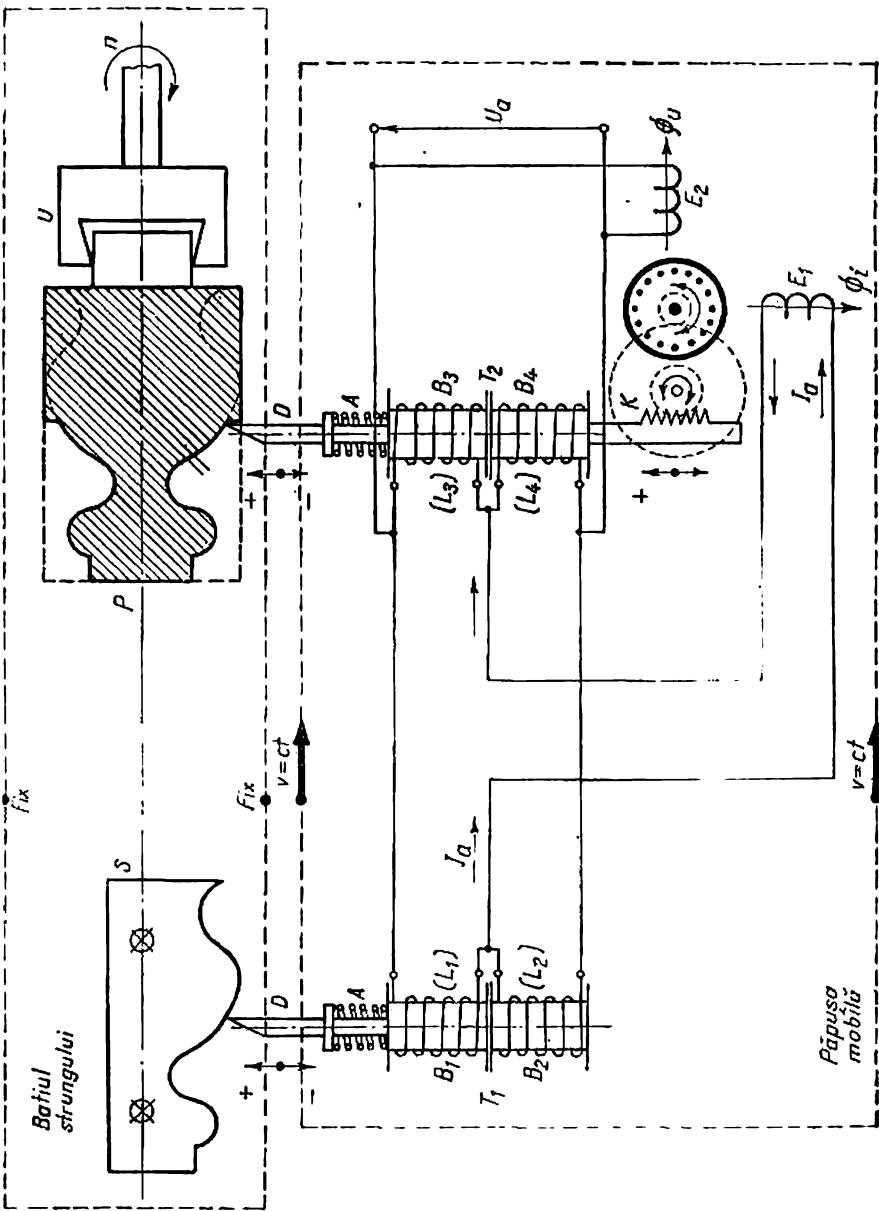


Fig. 19.3. Sistem de comandă automată după săblon.

s-a reprezentat „capul universal“ (de prindere)  $U$ , care se învîrtește cu turăția  $n$  și pe care este fixată piesa de prelucrat  $P$ . Pe batău (masă) mașinii se află fixat şablonul  $S$  având profilul piesei care trebuie prelucrată.

Dispozitivul de automatizare montat pe păpușă mobilă a strungului cuprinde două traductoare identice  $T_1$  și  $T_2$  de tip inductiv diferențial, cu circuit magnetic deschis.

Miezul magnetic al traductorului  $T_1$  este solidar cu un braț „palpatör“  $D$  care calcă pe conturul şablonului  $S$ , fiind apăsat de resortul spiral  $A$ . Similar, miezul magnetic al traductorului  $T_2$  este solidar cu circuitul de așchiere  $C$ , precum și cu cremaliera  $K$ , antrenată prin roți dințate de motorul electric bifazat  $M$ . Bobinele  $B_1$  și  $B_2$  ale traductorului  $T_1$  împreună cu bobinele  $B_3$  și  $B_4$  ale traductorului  $T_2$  constituie cele patru brațe ale unei punți de măsurare alimentată într-o diagonală cu tensiunea alternativă  $U_a$ . În cealaltă diagonală a punții, prin care circulă curentul de dezechilibru  $I_a$ , este intercalată înășurarea  $E_1$  a motorului bifazat  $M$ ; cea de-a doua înășurare  $E_2$  a aceluiși motor este alimentată direct de tensiunea  $U_a$ . Motorul se oprește numai cind curentul  $I_a$  este zero, iar sensul său de rotație depinde de faza curentului  $I_a$  față de tensiunea  $U_a$ .

Cind cuțitul ocupă aceeași poziție cu palpatorul (aceeași distanță față de axa strungului, deci al piesei), miezurile magnetice ale traductoarelor  $T_1$  și  $T_2$  ocupă aceeași poziție în interiorul bobinelor respective. Ca urmare  $L_1 = L_3$  și  $L_2 = L_4$ , prin  $L_1, L_2, L_3$  și  $L_4$  notind inductanțele bobinelor  $B_1, B_2, B_3$  și respectiv  $B_4$ . Aceasta este condiția de echilibru a punții, care se mai poate scrie  $I_a = 0$ . În această situație, una dintre înășurările motorului nefiind alimentată, acesta stă pe loc.

Cind palpatorul  $D$  avansează, de exemplu în sens „+“ (adică spre axul strungului), inductanța  $L_1$  va crește, iar  $L_2$  va scădea. Față de situația de echilibru rezultă deci  $L_1 > L_3$  și  $L_2 < L_4$ , ceea ce va avea ca efect apariția curentului de dezechilibru  $I_a$  care, având o anumită fază față de tensiunea  $U_a$ , produce rotirea motorului în sensul în care cremaliera  $K$  împinge cuțitul  $C$  în același sens „+“ de avansare, adică spre axul strungului. Mișcarea motorului și deci avansarea cuțitului nu se opresc decât atunci cind ocupă aceeași poziție cu  $D$ , adică punctea s-a echilibrat ( $I_a = 0$ ).

Dacă situația se prezintă invers, adică față de poziția de echilibru palpatorul se retrage (sensul „-“), inductanța  $L_1$  va scădea, iar  $L_2$  va crește. Față de poziția de echilibru rezultă  $L_1 < L_3$  și  $L_2 > L_4$  (invers în raport cu situația precedentă), ceea ce are ca efect un curent de dezechilibru  $I_a$  având o fază opusă celei precedente. Ca urmare, motorul se va roti în sens contrar, antrenind prin cremaliera  $K$  cuțitul  $C$  care „urmărește“ aceeași mișcare de retragere ca și palpatorul  $P$ .

În consecință, prin deplasarea păpușii mobile cu viteza constantă ( $v = ct$ ), palpatorul  $D$  explorează profilul şablonului  $S$ , iar cuştitul  $C$  strunjeşte (copiază) acest profil pe piesa de prelucrat  $P$ .

● **Observație.** După cum a rezultat din cele arătate, funcționarea sistemului descris asigură „urmărirea“ de către cuştitul  $C$  a deplasărilor longitudinale ale palpatorului  $D$  și ca atare asemenea sisteme se mai numește și *sisteme automate de urmărire*.

Sistemele automate de urmărire (de comandă) funcționând cu un circuit închis sunt similare sistemelor de reglare automată (v. cap. 17), la care mărimea de intrare variază aleatoriu (oricum), deci se supun aceleorași principii de studiu ca și sistemele de reglare.

## 2. SISTEME DE COMANDĂ (PROGRAM) NUMERICĂ

Comanda-program numerică constituie un sistem de comandă automată a unui proces pe baza unui program prestabilit utilizând mărimi numerice, în sensul că toate mărimele care intră în sistemul de comandă sunt de tip discret.

Comanda (program) numerică are un domeniu larg de aplicabilitate și anume: comanda mașinilor-uneițe, comanda unor procese în industria chimică (instalații de dozare și amestec) în industria materialelor de construcții (prepararea betoanelor), în tehnica militară etc. Dintre aceste domenii, cel care oferă o aplicabilitate mai largă a comenzi numerice este cel al mașinilor-uneițe și la el ne vom referi în cele ce urmează.

Dintre mașinile-uneițe cu comandă numerică se menționează în primul rînd strungurile, mașinile de găurit, de frezat, de alezat etc.

• În mod asemănător sistemelor de calcul numeric (v. cap. 20), și în cazul comenzi numerice, mărimele aplicate sistemului de comandă vor fi mărimi sub formă de numere folosind sistemul de numerație în cod binar.

În figura 19.4 este prezentată schema bloc a unui *sistem de comandă numerică pentru comanda liniară*.

Din analiza schemei respective se pot face următoarele observații preliminare:

Sistemul de comandă numerică cuprinde două părți distincte:

- instalația tehnologică (mașina-unealtă);
- dispozitivul de automatizare (echipamentul de comandă numerică).

Conectarea între cele două părți principale este asigurată prin două legături:

- legătura de comandă (directă);
- legătura de măsurare (inversă sau de reacție).

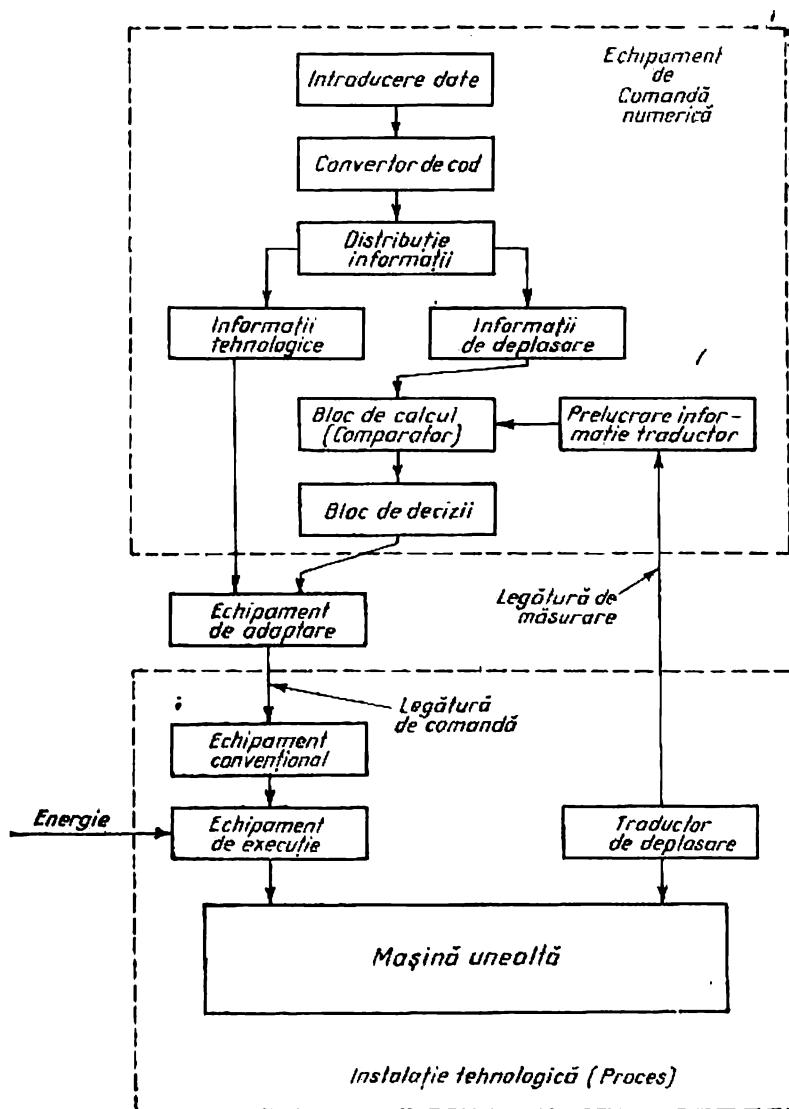


Fig. 19.4. Sistem de comandă automată numerică.

Indiferent de tipul construc-  
tiv și de natura procesului de  
prelucrare, orice mașină-unealtă  
posedă trei axe rectangulare, no-  
tate arbitrar cu  $X$ ,  $Y$  și  $Z$ , în  
raport cu care pot exista mișcări  
de translație și de rotație no-  
tate  $A$ ,  $B$  și respectiv  $C$ .

Atribuirea axelor de coordo-  
nate unei mașini-unealte este nor-  
malizată. De exemplu, în țara  
noastră sistemul normal de coor-  
donate (fig. 19.5) este reglemen-  
tat prin STAS 8902-71.

Mișcările de rotație li se aso-  
ciază literele  $A$ ,  $B$  și respectiv  $C$ ,  
sensul pozitiv de rotație corespunzînd sensului de rotație al șurubului  
„dreapta” (normal) pentru a se deplasa în sensul pozitiv al axelor de  
coordonate  $X$ ,  $Y$  și respectiv  $Z$  (fig. 19.5).

Mașina-unealtă este echipată cu motoare electrice (elemente de ex-  
ecuție) care permit diverse deplasări ale piesei (de poziționare, de pre-  
lucrare etc.).

Pentru măsurarea diverselor deplasări care au loc în mașina-unealtă,  
se folosesc traductoare de deplasare (liniară sau unghiulară). De obicei  
sunt folosite traductoare numerice, la care mărimea de ieșire este, evi-  
dent, un număr prezentat în cod binar.

In componența mașinii-unealte intră și echipamentul electric conven-  
țional, care permite ca funcția de comandă să se desfășoare fie automat,  
prin informațiile primite de la echipamentul de automatizare, fie „convențional“ adică prin intervenția omului (de exemplu: la reglări, puneri  
în funcțiune, avarii etc.). Ieșirile din echipamentul convențional repre-  
zintă, deci, circuite pentru alimentare cu energie a elementelor de acțio-  
nare: motoare electrice, ventile electrice, hidraulice sau pneumatice,  
cuplaje electromagnetice etc.

Echipamentul de adaptare asigură adaptarea semnalelor primite de  
la echipamentul de comandă numerică cu cerințele impuse echipamen-  
tului de conducere a mașinii-unealte înainte de a fi automatizată.

Printre funcțiile echipamentului de adaptare se pot menționa cele  
de convertire a codului informației de ieșire din echipamentul de comandă  
numerică, cele de amplificare a semnalelor care caracterizează informa-  
ția, unele impulsuri de interblocări și confirmări etc.

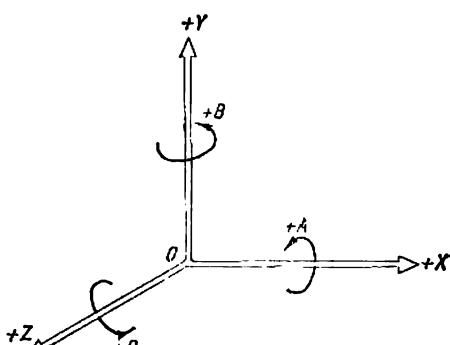


Fig. 19.5. Sistem formal de axe de  
coordonate.

**Echipamentul de comandă numerică** cuprinde o serie de elemente componente interconectate prin legături informaționale simple.

*Introducerea datelor* poate fi făcută manual sau automat. Introducerea automată a datelor presupune — ca și în cazul sistemelor electronice de calcul — memorarea acestora pe un mediu suport-purtător de informații: cartele perforate, bandă magnetică, bandă perforată etc. Dintre acestea, cea mai largă răspindire o are banda perforată. Ea este formată dintr-o bandă de hârtie sau material plastic pe care sunt înscrise datele din program, după unele reguli stabilite la nivel internațional, într-un cod standardizat (STAS 9210-73), (fig. 19.6).

*Cititoarele de bandă* sunt fie electromecanice, adică cu contacte care se inchid în dreptul unei perforații, fie fotoelectrice.

Convertorul de cod transformă (converteste) informațiile primite, din cod binar într-un cod zecimal realizat cu relee, cu elemente de comunicație statică sau matricial cu diode (v. fig. 15.3).

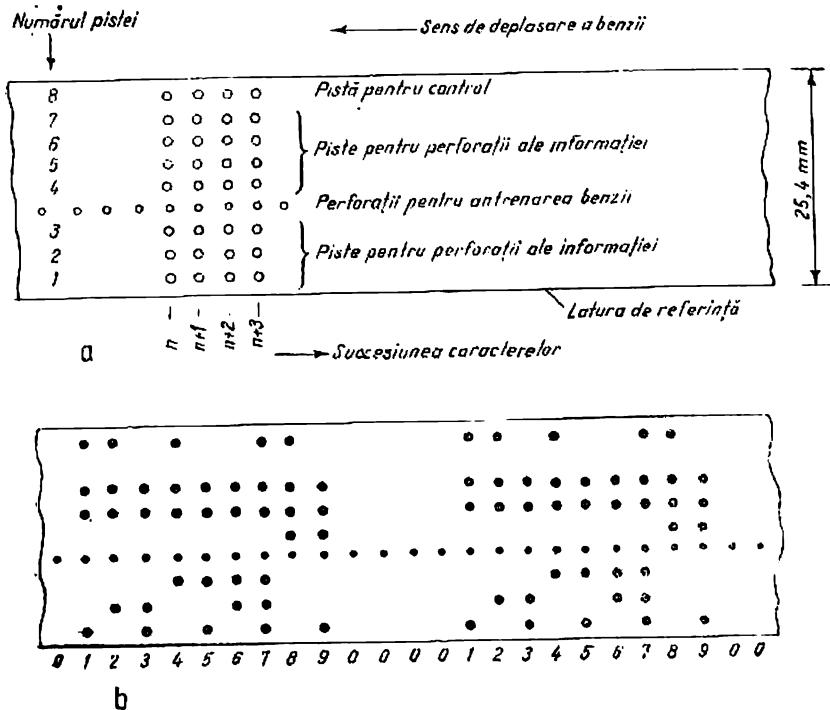


Fig. 19.6. Banda perforată pentru comandă numerică:  
a — formatul benzii perforate; b — exemplu de înscruire a unei informații.

Echipamentul de comandă numerică transmite mașinii-unelte două feluri de informații și anume:

- informații de deplasare (cantitative);
- informații tehnologice (calitative).

Datele introduse sint formate dintr-o așa-numită adresă, urmată de o parte numerică. Adresa este întotdeauna exprimată printr-o literă urmată de un număr care arată mărimea deplasării. De exemplu: Z2—7 — 5 înseamnă deplasare pe axa Z cu 275 mm.

Această informație este distribuită:

- pe canalul informațiilor tehnologice (Z);
- pe canalul informațiilor de deplasare (275).

*Blocul de distribuție a informației* are aşadar rolul de a separa informațiile tehnologice de informațiile de deplasare.

*Blocul de calcul* realizează funcția „comparatorului“ din sistemele de reglare automată (v. cap. 14 și 17), adică compară semnalele de comandă primite la intrare cu semnalele reale primite de la traductorul (traducătoarele) de deplasare.

Informațiile primite de la traductorul de deplasare sunt prelucrate astfel încit să poată fi comparate (compatibile) cu cele primite de la intrare.

*Blocul de decizii* primește informațiile de la blocul de calcul și dă comenzi adecvate instalației tehnologice în sensul compensării (anulării) abaterilor mașinii-unelte de la pozițiile sau instrucțiunile impuse de program.

Comenziile pot fi discrete sau continui, astfel ca mașina-unealta să descrie acele prelucrări care ar fi efectuate de către un operator perfect (funcționare optimă).

## D. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA ENERGETICĂ

### 1. REGLAREA AUTOMATĂ A TENSIUNII ȘI PUTERII REACTIVE (RAT)

Pentru a stabili scopul și fazele succesive ale procesului de reglare, se va considera un exemplu referitor la modificarea tensiunii unui generator sincron trifazat. Generatorul  $G$ , antrenat de turbină  $T$  cu viteza sincronă  $n_0$ , debitează pe bare o putere aparentă  $S$  sau un curent  $I$  (fig. 19.7, a). După cum se știe, tensiunea electromotoare  $E$  produsă de generator este proporțională cu fluxul de excitație  $\Phi_e$  (sau curentul de excitație din rotor  $I_e$ ), deci cu curentul de excitație  $i_e$  al excitatoarei  $E_z$ . Rezultă că atât timp cît  $i_e$  este constant, și  $E$  este constant. Curentul

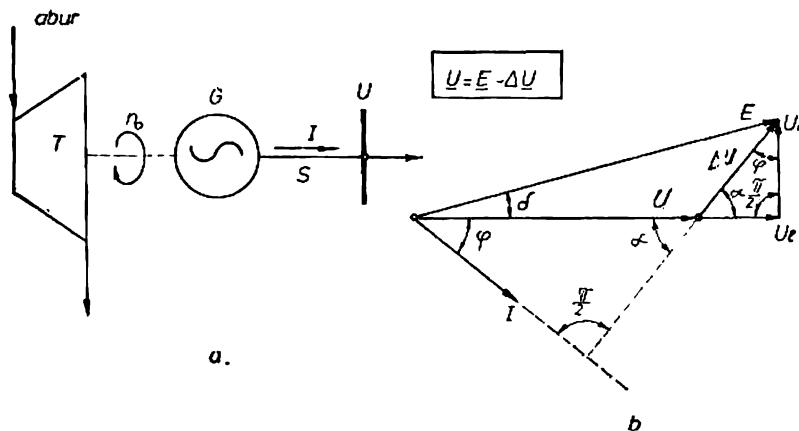


Fig. 19.7. Variația tensiunii la generatoarele sincrone:  
a — schema electrică; b — diagrama fazorială.

debitat  $I$  produce pe reactanța  $X_G$  a generatorului o cădere de tensiune  $\Delta U$ , astfel că tensiunea\*  $U$  pe borne are valoarea:

$$\underline{U} = \underline{E} - \underline{\Delta U} = \underline{E} - X_G \underline{I}. \quad (19.1)$$

Din diagrama fazorială a tensiunilor (fig. 19.7, b) se constată că, proiecțind căderea de tensiune  $\Delta U$  pe direcția tensiunii  $U$  și pe o direcție perpendiculară pe această, se obține:

$$\Delta U_l = \Delta U \cos \alpha = \Delta U \cdot \sin \varphi = X_G I \sin \varphi = X_G I_r, \quad (19.2)$$

$$\Delta U_t = \Delta U \sin \alpha = \Delta U \cos \varphi = X_G I \cos \varphi = X_G I_a. \quad (19.3)$$

Pe baza celor arătate se pot face următoarele observații:

— Căderea de tensiune longitudinală  $\Delta U_l$  este produsă de curentul reactiv  $I_r = I \sin \varphi$ , deci modificarea acestuia produce, conform relației (19.1), modificarea valorii (amplitudinii) tensiunii  $U$  la bornele generatorului\*\* în cazul în care  $E = \text{const}$ , adică  $i_e = \text{const}$ .

— Căderea de tensiune transversală  $\Delta U_t$  este produsă de curentul activ  $I_a = I \cos \varphi$ , însă modificarea acestuia nu produce modificarea valorii (amplitudinii) tensiunii  $U$ , ci numai a fazei acesteia, lucru care, practic, nu prezintă importanță.

— Pentru a menține constantă tensiunea  $U$  la bornele generatorului în cazul cînd variază curentul reactiv, este necesară modificarea cores-

\* Tensiunile  $U$  și  $E$ , ca și reactanța  $X_G$  sunt considerate pe fază.

\*\* Cînd  $I$  crește,  $U$  scade și invers.

punzătoare a curentului de excitație  $i_e$ , deci reglarea automată a tensiunii (*RAT*).

Funcționarea principală a *RAT* poate fi urmărită în figura 19.8. El cuprinde un reostat circular  $R$ , cu cursorul  $C$  deplasat pe pîrghia  $B$ , articulată în punctul  $a$ . Asupra pîrghiei actioneză în capătul  $b$  motorul (solenoidal)  $M$ , care alimentat cu tensiunea  $u$  (proporțională cu  $U$ ), produce forță activă  $F_a$ . În sens contrar și articulat în același punct  $b$ , trage resortul spiral  $S$ , care produce o forță de întindere  $F_r$ . Rezistența  $R_e$  a reostatului, cuprinsă între cursorul  $C$  și capătul  $d$ , este străbătută, ca și în cazul reglării manuale, de curentul de excitație  $I_e$ .

*În funcționare normală*, regulatorul are o poziție de echilibru determinată de relația:

$$F_a = F_r, \quad (19.4)$$

cînd tensiunea la bornele generatorului are chiar valoarea de cîtiv:

$$U = U_0. \quad (19.5)$$

*Cînd curentul reactiv  $I_r$  (mărimea perturbatoare) absorbit de rețea crește*, tensiunea la borne va scădea (relațiile 19.1 și 19.2), adică apare

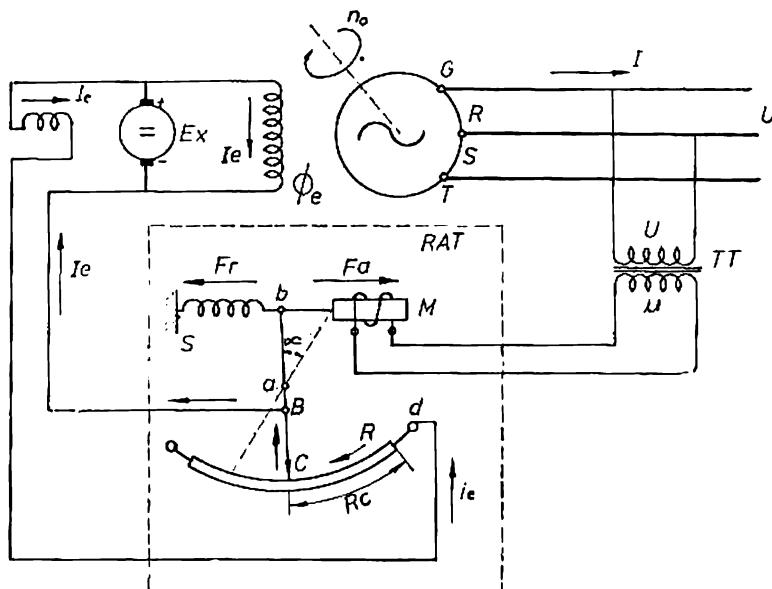


Fig. 19.8. Sistem de reglare automată a tensiunii generatoarelor sincrone (*RAT*).

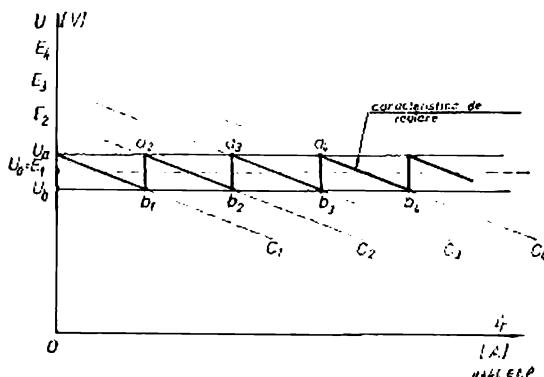


Fig. 19.9. Diagrama de reglare automată a tensiunii.

În  $F_r$ ,  $u$  resortului  $S$  nu se modifică cu alungirea, adică cu deplasarea punctului  $b$  ( $E_a = \text{const}$ ), rezultă că acțiunea regulatorului nu înțețează ( $R_s$  scade continuu) pînă ce  $U$  crește din nou la valoarea  $U_0$  (relația 19.5), respectiv pînă ce  $F_a = F_r$  (relația 19.4).

Cele arătate pot fi prezentate simbolice\* astfel:

$$I_r \nearrow U \searrow u \searrow F_a \searrow R_s \searrow i_e \nearrow I_e \nearrow \Phi_e \nearrow E \nearrow U \nearrow$$

Cind curentul reactiv absorbit de rețea scade, procesul de reglare are loc în sens invers, astfel că el poate fi urmărit pe baza următoarei reprezentări simbolice:

$$I_r \searrow U \nearrow u \nearrow F_a \nearrow R_s \nearrow i_e \searrow I_e \searrow \Phi_e \searrow E \searrow U \searrow$$

Modul de reglare automată a tensiunii poate fi urmărit și în figura 19.9, în care s-a trasat caracteristica externă  $C_1$  a generatorului avînd tensiunea de gol  $E_1 = U_0$  pentru  $I_r = 0$  (generator funcționînd în gol). Prin  $U_0$  s-a notat tensiunea de consemn sau tensiunea prescrisă, adică valoarea impusă a mărimi de ieșire a SRA (de exemplu,  $U_0 = 6\ 300$  V). Tensiunea de consemn nu poate fi menținută riguros constantă, ci reprezintă o valoare medie, cuprinsă între două valori apropiate,  $U_a$  și  $U_b$  (de exemplu,  $U_a = 6\ 350$  V, iar  $U_b = 6\ 250$  V).

\* Se notează cu simbolul  $\nearrow$  tendința de creștere a unui parametru, respectiv cu simbolul  $\searrow$  tendința de scădere.

o abatere  $\Delta U$  negativă ( $U < U_0$ ). Ca urmare, echilibrul stabilit prin relația (19.5) se modifică,  $u$  scade proporțional cu  $U$ , deci forța  $F_a$  va scădea ( $F_a < F_r$ ), ceea ce va avea ca efect deplasarea punctului  $b$  spre stînga, adică o nouă poziție a cursorului  $C$ . În consecință, rezistența  $R_s$  scăzînd, curentul  $i_e$  crește, deci  $E$  și implicit  $U$  vor crește.

Deoarece printr-o construcție specială for-

ță  $R_s$  scade continuu, rezistența  $R_s$  scăzînd, curentul  $i_e$  crește, deci  $E$  și implicit  $U$  vor crește.

Cind curentul  $I_r$  crește, tensiunea scade după caracteristica externă pînă la valoarea  $U = U_b$  (punctul  $b_1$  din figura 19.9). Regulatorul sesizînd abaterea de reglare sau eroarea ( $\epsilon_1$ ):

$$\epsilon_1 = x_i - x_e = U_0 - U_b = \text{eroare pozitivă}, \quad (19.6)$$

(de exemplu,  $\epsilon_1 = 6\ 300 - 6\ 250 = +50$  V), acționează asupra excitării, mărind tensiunea electromotoare la valoarea  $E = E_2$ . În acest mod punctul de funcționare trece în  $a_2$  pe noua caracteristică naturală  $C_2$  și se poate deplasa în continuare pe măsura creșterii curentului  $I_r$ , pînă în punctul  $b_2$ , cind regulatorul intervine din nou și așa mai departe. Acțiunea regulatorului este similară la scăderea curentului  $I_r$ , cind acesta intervine invers, dezexcitînd treptat generatorul, ori de cîte ori tensiunea crește la valoarea  $U_a$ . În acest caz eroarea este ( $\epsilon_2$ ):

$$\epsilon_2 = x_i - x_e = U_0 - U_a = \text{eroare negativă}, \quad (19.7)$$

(de exemplu,  $\epsilon_2 = 6\ 300 - 6\ 350 = -50$  V).

## 2. REGLAREA AUTOMATĂ A FRECVENȚEI ȘI PUTERII ACTIVE (RAF)

Menținerea constantă a frecvenței reprezintă un deziderat major în funcționarea normală a unui sistem energetic. Se demonstrează că menținerea constantă a frecvenței este necesară în scopul asigurării funcționării motoarelor în condiții optime, cuplul motor, deci puterea absorbită variind proporțional cu frecvența  $f$  la o putere oarecare.

Reglarea frecvenței mai este de asemenea necesară în scopul reducerii pierderilor în rețelele de transport al energiei, precum și pentru asigurarea desfășurării anumitor procese tehnologice în condiții optime, reclamate de funcționarea motoarelor sincrone la o turăție riguros constantă  $n_0$  (turăția sincronă) care, după cum se știe, este dependentă de frecvență după relația:

$$n_0 = \frac{60f}{p}. \quad (19.8)$$

În care  $p$  este numărul de perechi de poli.

Turbinele care antrenează generatoare sincrone sunt prevăzute cu regulatoare automate de turăție (viteză), denumite prescurtat RAV.

Deoarece frecvența  $f$  depinde de turăția  $n$ , conform relației:

$$f_0 = \frac{f \cdot n}{60}. \quad (19.9)$$

$p$  fiind numărul de perechi de poli, s-ar părea că este lipsit de sens să mai vorbim de o reglare a frecvenței atît timp cît se regleză turăția.

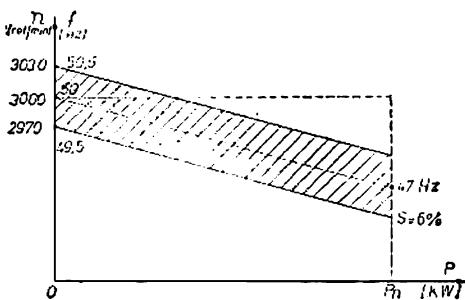


Fig. 19.10. Caracteristica statică a R.A.V.

— Datorită frecările mecanice, regulatorul prezintă o oarecare insensibilitate mecanică adică, de exemplu, dacă regulatorul are o turație de consemn de 3 000 rot/min (50 Hz), el poate realiza între 2 970 rot/min (49,5 Hz) și 3 030 rot/min (50,5 Hz). El menține deci o turație de consemn cu o eroare de  $\pm 30$  rot/min sau  $\pm 0,5$  Hz, adică  $\pm 1\%$ . Caracteristica de reglare a turației este deci nu o dreaptă, ci o bandă de o anumită lățime, de exemplu 1 Hz (fig. 19.10).

— Se demonstrează că datorită insensibilității regulatorului și în scopul asigurării unei repartiții dorite a unei sarcini active pe mai multe generatoroare funcționând în paralel, este necesar ca regulatoarele de turație să aibă o caracteristică de reglare statică având un grad de statism  $s = 5 \dots 6\%$ . Aceasta înseamnă, de exemplu că, chiar dacă turația de consemn este  $n_0 = 3 000$  rot/min ( $f_0 = 50$  Hz), adică fără abatere datore insensibilității, iar statismul  $s = 6\%$  și generatorul debitează puterea nominală  $P_n$ , turația scade la  $n_n = 2 820$  rot/min. La această turație, frecvența curentului electric devine 47 Hz, adică mult sub valoarea sa de avarie. În practică se consideră necesară o abatere maximă admisibilă de  $0,6\%$ , deci frecvența trebuie menținută în limitele:  $f_0 = 50 \pm 0,3$  Hz (49,7–50,3 Hz).

Așadar, reglajul de frecvență (RAF) reprezintă o automatizare care printr-o măsurare foarte precisă a frecvenței rețelei comandă modificarea caracteristicilor de funcționare ale regulatoarelor automate de turație (RAV). Schema de principiu a unui sistem de reglare automată a frecvenței este reprezentată în figura 19.11. Frecvența  $f$  este preluată din rețea la generatorului  $G$  prin transformatorul de tensiune  $TT$  și este aplicată regulatorului automat de frecvență  $RAF$ , care trebuie să mențină frecvența de consemn  $f_0$  ( $50$  Hz  $\pm 0,3$  Hz). Abaterea de frecvență  $\Delta f = f_0 - f$  este pusă în evidență printr-o tensiune  $U_{\Delta f}$ , care comandă servomotorul  $S$ . Acesta, printr-o roditre stingă-dreapta, stringe sau slăbește întinderca unor resorturi din regulatorul automat de turație  $RAV$ .

Intr-adevăr, la un grup generator avind, de exemplu, o perioadă de poli ( $p = 1$ ), dacă turbogeneratorul are turația  $n = 3 000$  ture/min, frecvența rezultă riguros:  $f = 50$  Hz.

Rațiunea introducerii reglajului de frecvență este aceea că regulatoarele de turație având piese mecanice în mișcare, prezintă următoarele particularități:

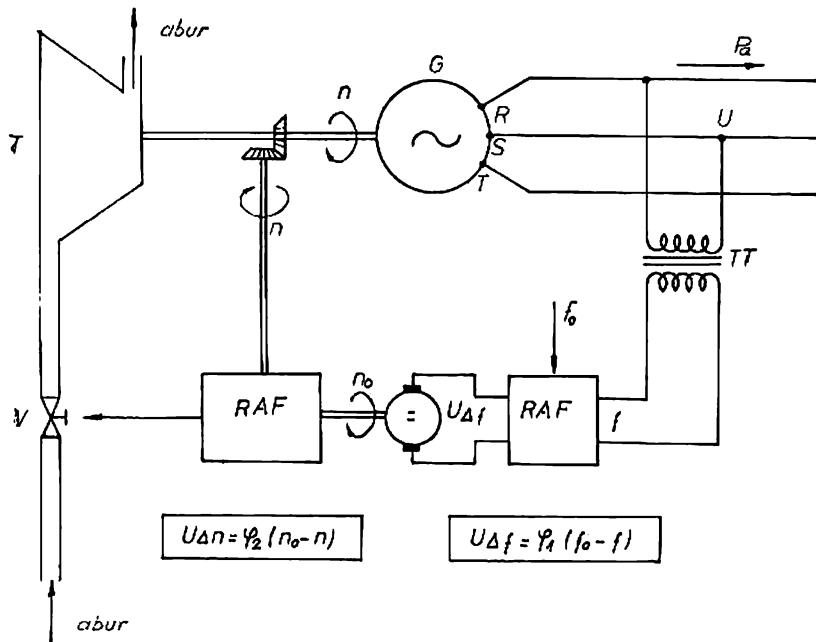


Fig. 19.11. Sistem de reglare automată a frecvenței (RAF).

modificând astfel mărimea de consum  $n_0$  ( $n_{01}, n_{02} \dots$ ). Prin urmare regulatorul de turație intră în acțiune și, sesizind o abatere de turație  $\Delta n = n_0 - n$ , produce o comandă  $U_{\Delta n}$ , care modifică prin vana  $V$  admisia aburului în turbina  $T$ . În final turația  $n$ , deci frecvența  $f$ , se modifică în consecință.

Schema bloc a sistemului de reglare a frecvenței este prezentată în figura 19.12. Se observă că sistemul de ansamblu este, de fapt, un *SRA*

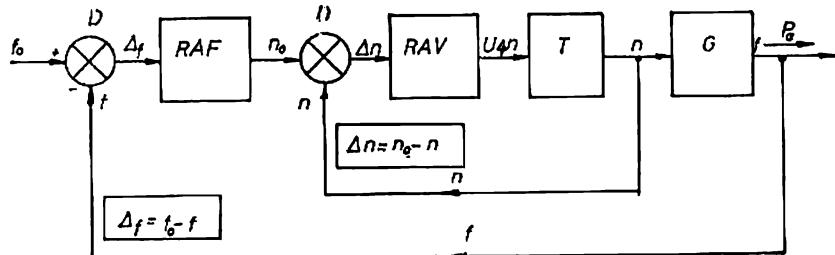


Fig. 19.12. Schema bloc a unui sistem *RAF*.

cu două bucle de reglare, avind deci două comparatoare diferențiale:  $D_F$ , al regulatorului de frecvență, și  $D_T$ , al celui de turație.

Procesul de reglare a frecvenței, adică dependența  $f = \Phi(P_a)$  poate fi urmărit în figura 19.13, care se explică într-un mod asemănător ca și figura 19.9. În acest caz, în ipoteza creșterii puterii active  $P_a$  (sau a curentului  $I_a$ ) debităte, regulatorul de frecvență **RAF** asigură funcționarea într-o anumită bandă de frecvență (de exemplu, 49,7–50,3 Hz) în jurul frecvenței de consum  $f_{01}$  (50 Hz), deplasând paralel caracteristicile de reglare a turației. Ca urmare, caracteristicile **RAV**, care au un anumit grad de statism (pe care și-l păstrează), își modifică mărimea de mers în gol (turația sau frecvența) la valorile  $n_{02}(f_{02})$ ,  $n_{03}(f_{03})$  ... în punctele  $b_1$ ,  $b_2$  ...

Trebuie subliniat faptul că, spre deosebire de tensiune, frecvența este riguros aceeași în orice punct al sistemului energetic. Ca urmare, în sistemele moderne de **RAF**, regulatorul de frecvență este plasat în punctul central de dispecer, unde se primesc informații complexe asupra puterilor produse de grupurile mari (grupuri „reglante“) și a puterilor consumate. În consecință, informațiile sunt prelucrate de către un calculator (v. cap. 20) care stabilește pentru fiecare centrală în parte modificarea caracteristicilor de **RAV**. În acest mod reglarea frecvenței este un proces complex, de automatizare care se realizează la nivelul sistemului energetic.

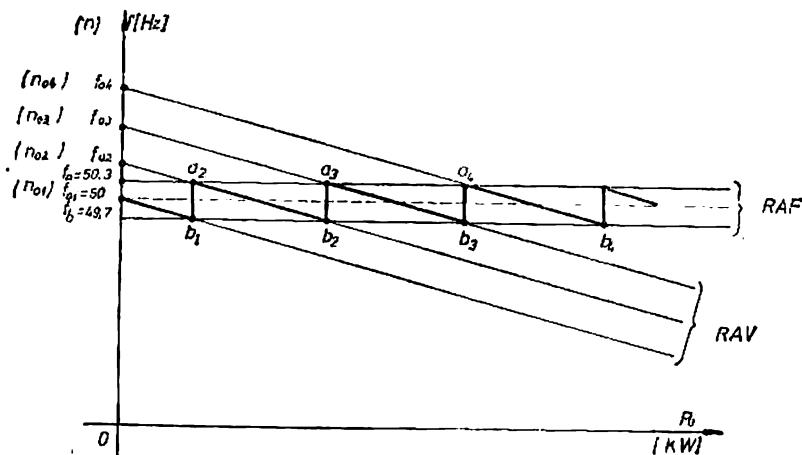


Fig. 19.13. Diagrama de reglare automată a frecvenței.

## E. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA MATERIALELOR DE CONSTRUCȚIE

### Automatizarea cuptoarelor rotative de ciment (clinker)

În linii mari, procesul tehnologic constă în încălzirea într-un cupor rotativ (fig. 19.14) a pastei de clinker cu ajutorul arderii gazului combustibil, gazele arse fiind eliminate prin coșul de fum.

Pentru conducerea unui asemenea proces tehnologic se folosesc o serie de bucle de reglare automată pe baza măsurării unor parametri, cum sint: temperaturile, presiunile, debitele, compoziția gazelor arse, turăriile, mărimele electrice etc.

- Temperaturile se măsoară în următoarele puncte (fig. 19.14):

- la capătul cald al cuporului (punctul 1), în zona de clinkerezare ( $1\ 300$ — $1\ 600^{\circ}\text{C}$ ), unde se folosește un pirometru de radiație (v. fig. 11.21) sau cu celulă fotoelectrică;

- în zona de uscare (2) și la începutul zonei de calcinare (3), precum și în camera de fum (4) — temperatura gazelor arse, circa  $300^{\circ}\text{C}$  — în care scop se folosesc traductoare cu termocupluri (v. fig. 11.24);

- la ieșire din ventilatorul de aer primar 5, unde se măsoară temperatura aerului de ardere cu ajutorul unui termometru cu rezistență (v. fig. 11.12) sau manometric;

- la lagărele (6) cuporului rotativ, în scopul semnalizării încălzirii excesive (peste  $60^{\circ}\text{C}$ ) ale acestora.

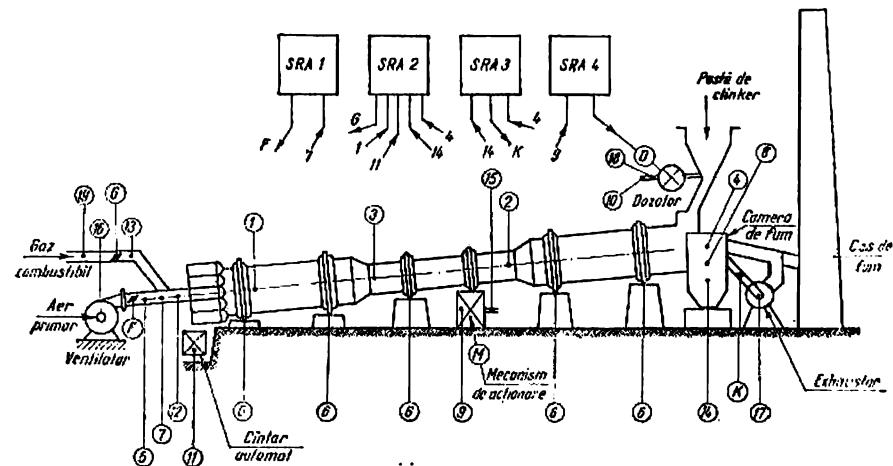


Fig. 19.14. Automatizarea cuptoarelor rotative de ciment (clinker).

● Presiunile se măsoară în următoarele puncte: la ieșirea din ventilator (7), la intrarea gazelor de combustie (19), în camera de fum (8), la reductorul mecanic al sistemului de antrenare (9).

● Debitele măsurate sint următoarele:

— debitul de pastă — se măsoară prin contoare de impuls montate pe axul dozatorului (10);

— debitul de clinker — se măsoară tot cu contoare de impuls acționate de cîntarul automat cu bandă (11);

— debitul de aer primar — se măsoară cu un traductor de debit cu diafragmă (12);

— debitul de gaz combustibil (13).

● Analiza gazelor arse este necesară în scopul conducerii optimale a procesului și se efectuează la camera de fum (14), unde se determină conținutul de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO} + \text{H}_2$  și  $\text{O}_2$ . O ardere incompletă se traduce prin creșterea conținutului în  $\text{CO} + \text{H}_2$ , în timp ce excesul în aer primar produce creșterea conținutului de  $\text{O}_2$ .

● Turațiile se măsoară cu ajutorul traductoarelor tahogeneratoare la următoarele sisteme în rotație: cuporul rotativ (15), ventilatorul de aer primar (16), exhaustorul de gaze arse (17) și dozatorul de pastă (18).

Pe baza volumului de informații obținut de la traductoarele indicate mai sus, conducerea procesului de producție constă în influențarea următoarelor mărimi principale: tirajul la coș (aer secundar), aerul primar, alimentarea cu pastă, alimentarea cu combustibil și rotirea cuporului.

● În acest scop sunt prevăzute o serie de bucle de reglare, dintre care cele mai importante sint (fig. 19.14) următoarele:

— Regulatorul de aer primar SRA 1 acționează asupra vanei flutură F din circuitul de resulare al aerului primar pe baza măsurării presiunii determinată cu ajutorul traductorului 7.

— Regulatorul de temperatură SRA 2 acționează asupra vanei G de admisie a gazului combustibil pe baza temperaturilor măsurate cu ajutorul traductoarelor 1 (zona de clinkerezare) și 4 (camera de gaze arse) a valorii greutății volumetrice a clinkerului, — traductor 11 — precum și a valorii conținutului de  $\text{O}_2$  în gazele arse — traductor 14. —

— Regulatorul de gaze arse SRA 3 acționează asupra clapetei de intrare în exhaustorul de gaze arse, pe baza măsurării temperaturii gazelor arse — traductor 4 — și a conținutului de  $\text{O}_2$  în gazele arse — traductor 14. —

— Regulatorul de alimentare SRA 4 acționează asupra dozatorului D, modificând debitul de pastă de clinker în funcție de viteza de rotire a cuporului — traductor 9. —

De menționat că viteza de rotire a cuporului este ea însăși reglată automat, utilizind în acest scop acționarea cu grup generator-motor Ward-Leonard.

Automatizarea procesului de fabricare a cimentului în cuplare rotative mai cuprinde în plus o serie de apărate de măsurat și control indica-toare, înregistratoare, integratoare etc. pentru toate mărimile din proces.

## F. AUTOMATIZĂRI ÎN INDUSTRIA METALURGICĂ

### Măsurarea automată a grosimii unor benzi laminate

Grosimea  $d$  a unei benzi laminate (fig. 19.15) — de exemplu tablă — poate fi măsurată în mod automat cu ajutorul unui traductor capacativ diferențial  $C_1 - C_2$  conectat într-un montaj în punte.

Banda laminată este trecută cu o viteză constantă  $v$  printre două role:  $A_1$  este fixă iar  $A_2$  este palpatoare, fiind solidară cu tija  $D$  și apăsată pe bandă prin resortul spiral  $B$ .

Tija  $D$  deplasabilă cu rolă  $A_2$  antrenează armătura comună a condensatoarelor  $C_1$  și  $C_2$  (elementul sensibil al traductorului) care se deplasează ca o pîrghie în jurul punctului  $c$ .

Total este astfel reglat că atunci *cind banda laminată are grosimea dorită* ( $d = d_0$ ), distanțele  $d_1$  și  $d_2$  între armăturile celor două condensatoare sunt egale ( $h_1 = h_2$ ) și deci  $C_1 = C_2$ .

În acest caz puntea Wheatstone formată în plus cu ajutorul a două condensatoare de capacitați egale  $C_0$  și alimentată cu tensiunea  $U_0$  de la sursa stabilizată  $S$  se va afla la echilibru ( $I_1 = I_4$  și  $I_2 = I_3$ ).

Că urmare, punctele  $a$  și  $b$  vor avea același potențial și miliampmetrul  $mA$  aflat în diagonala de măsurare a punții va arăta zero ( $d = d_0$ ).

*Dacă grosimea  $d$  crește* ( $d > d_0$ ), tija  $D$  se va deplasa în sus astfel că  $h_1 > h_2$ , deci  $C_1 < C_2$ .

În consecință, curentul  $I_2$  va crește iar  $I_1$  va scădea, ceea ce va avea ca efect creșterea potențialului punctului  $a$  în raport cu  $b$ . Curentul  $I_A$  prin miliampmetru — redresat cu ajutorul diodelor  $D_1$  și  $D_2$  — va avea în acest caz polaritatea pozitivă și o valoare proporțională cu abaterea  $\Delta d$  a grosimii de la valoarea de cernin  $d_0$ . Scara miliampmetrului  $mA$  este etalonată direct în milimetri.

*Dacă grosimea  $d$  scade* ( $d < d_0$ ), procesul are loc în mod invers:  $h_1 < h_2$ , deci  $C_1 > C_2$  și  $I_1 > I_2$ .

Curentul  $I_A$  va avea polaritate negativă, indicând valoarea abaterii —  $\Delta d$ .

În locul miliampmetrului se poate folosi un releu polarizat (electromecanic sau electronic) avind un prag de sensibilitate  $\pm \Delta I_A$  de o valoare corespunzătoare unei abateri de grosime  $\pm \Delta d$  tolerată. În acest caz se

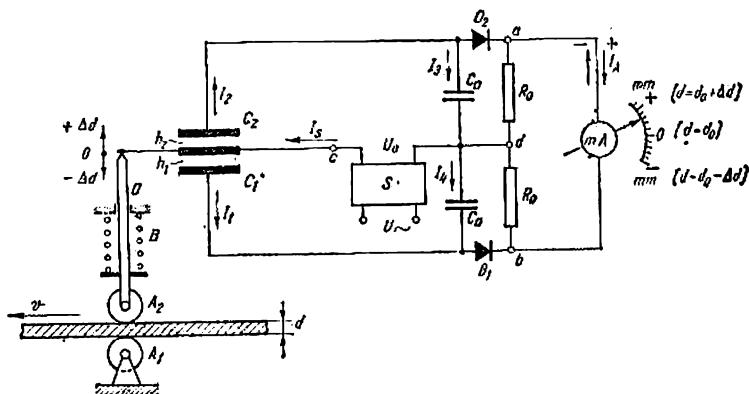


Fig. 19.15. Măsurarea automată a grosimii unor benzi laminate.

obține un sistem de control automat al benzii laminate, reteleul semnalizând printr-un contact sau altul ieșirea din limite a produsului controlat.

În sfîrșit, abaterea  $\pm \Delta I_A$  poate fi folosită ca mărime de intrare într-un regulator automat avînd rolul de a modifica direct — printr-un motor de execuție — forța de apăsare de la cilindrii laminorului.

S-a realizat astfel un sistem de reglare automată a grosimii de lamine.

Sistemul descris (fig. 19.15) mai poate fi folosit și în alte industrii (masă plastice, hîrtie etc.).

## REZUMAT

1 Automatizarea proceselor de producție se întâlnește în toate domeniile industriale, iar în cadrul același domeniu automatizarea se extinde în mod permanent.

2 Aceeași funcție de automatizare — de exemplu reglarea automată — poate fi realizată în mod diferit pentru același proces de producție.

3 Același sistem de automatizare folosind elemente structurale identice poate fi întărit în industrii diferite; de exemplu procesul de automatizare a distilării se poate întări realizat în mod similar în industriile chimică, alimentară, petrolieră etc.

## CAPITOLUL 20

# CALCULATOARE DE PROCES ȘI SISTEME DE CALCUL

### A. CONSIDERĂȚII GENERALE

Utilizarea calculatoarelor pentru conducederea proceselor industriale a cunoscut în ultimul timp o dezvoltare rapidă datorită pe de o parte îmbunătățirii performanțelor calculatoarelor privind: viteza de lucru (zece de mii de operații pe secundă), capacitatea memoriei, siguranța în funcționare etc., iar pe de altă parte datorită elaborării unor procedee mai exacte de identificare a proceselor. Se precizează că prin identificarea proceselor se înțelege determinarea modelului matematic al unui proces, adică al modului de comportare în regim static și dinamic a procesului respectiv.

În conducederea proceselor se folosesc în principal *calculatoare numerice specializate* și, în anumite cazuri, și *calculatoare universale*.

Datorită rolului esențial al informației în conducedere (île că este vorba de conducederea unui singur parametru, al unui proces, a unei întreprinderi sau a unui combinat), calculatorul reprezintă o entitate logică, caracteristică principală a unui sistem de conducedere, având capacitatea de a colecta, memora, prelucra și difuza o cantitate mare de informație cu mare viteză, precizie și siguranță.

Rolul calculatorului în dirijarea unui proces poate fi considerat ascăndător cu acela al dispozitivelor de automatizare convențională, cu mențiunea că există o diferență cantitativă și calitativă esențială în ceea ce privește complexitatea instalațiilor și a performanțelor obținute. Acesta este motivul pentru care conducederea prin calculator se mai numește și *automatizare complexă*.

Conducederea proceselor cu ajutorul calculatoarelor (automatizarea complexă) reprezintă o noțiune cu o sferă largă, cuprinzând diverse con-

configurații pentru sistemele calculator — om — proces, precum și diverse concepte, de complexități diferite, de folosire a calculatorului în conducerea proceselor tehnologice.

## B. CONFIGURAȚIILE SISTEMELOR CALCULATOR-OM-PROCES

### 1. CALCULATOARE „OFF-LINE”

Cea mai simplă configurație posibilă (fig. 20.1) este aceea în care calculatorul se află „în afara liniei” (*off-line*), adică el primește informații asupra procesului prin intermediul omului și în mod similar, rezultatele calculelor sale sint concretizate sub formă unor comenzi efectuate de către un operator uman, pe baza unui proces de găndire efectuat de acesta.

La funcționarea *off-line* a calculatorului are loc acumularea datelor și, din timp în timp, acestea sint transmise și prelucrate de calculator. Un asemenea regim este adecvat la procesele lente, unde întârzierile nu contează.

De menționat că în modul de conectare „*off-line*” pot fi folosite și calculatoare universale. Trebuie observat de asemenea că folosirea intermitentă a calculatorului permite o utilizare intensivă a acestuia printr-o multiprogramare, adică conectarea succesivă a acestuia la diverse programe de calcul (de exemplu conducederea „*off-line*” a mai multor procese). În acest caz, regimul de funcționare al calculatorului se numește „divizarea timpului” („*time sharing*”).

### 2. CALCULATOARE „IN-LINE”

Și în acest caz omul este interpus complet între proces și calculator (fig. 20.2), însă în acest caz operatorul introduce datele privind procesul în mod rapid și continuu, direct în calculator cu ajutorul unei console adecvate (imprimantă, claviatură, disc etc.). Și în acest caz, pe baza

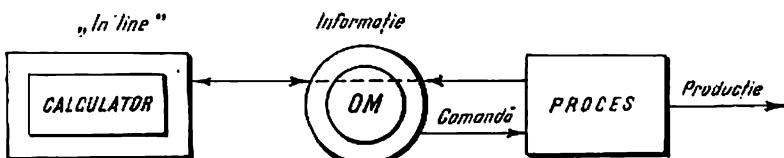


Fig. 20.1. Conectarea „*off-line*” calculator-proces.

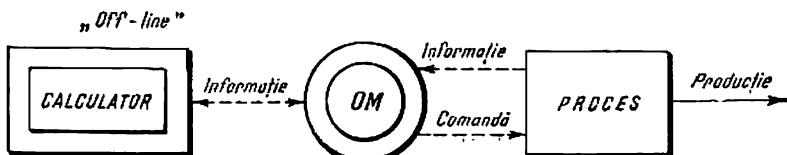


Fig. 20.2. Conectare „in-line“ calculator-proces.

rezultatelor ce se obțin în mod continuu, operatorul uman efectuează o serie de comenzi adecvate asupra procesului. Un asemenea calculator („in-line“), care urmărește îndeaproape în timp o anumită activitate fizică externă se numește și *sistem cu funcționare în timp real* (calculator cu uniprogramare).

### 3. CALCULATOARE „ON-LINE”

Termenul de „on-line“ arată că calculatorul este conectat „pe linie“ direct la fluxul informațional (fig. 20.3) fără intervenția omului și fără întârziere, mărimile măsurate fiind convertite direct într-o formă adecvată pentru a fi prelucrată.

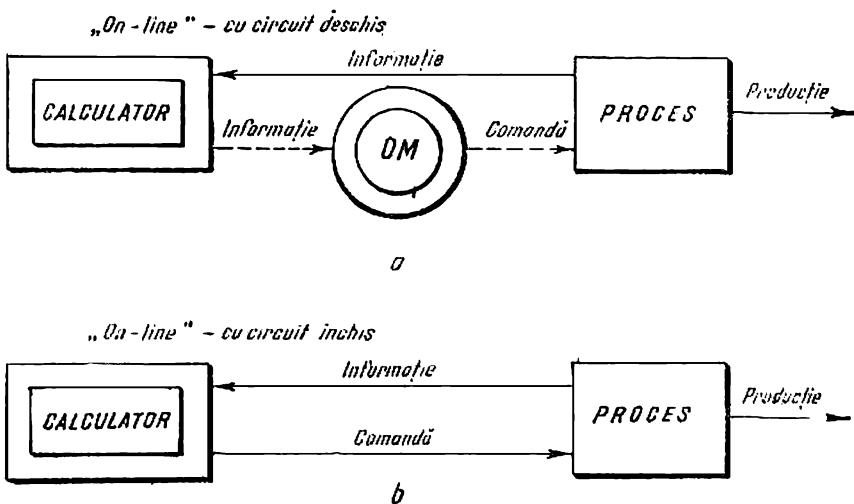


Fig. 20.3. Conectare „on-line“ calculator-proces:  
a – cu circuit deschis; b – cu circuit inchis.

In ceea ce privește legătura de comandă, se folosesc două variante de conectare „on-line“ și anume:

— sistem „on-line“ cu circuit deschis (fig. 20.3, a), la care comanda procesului este dată de om pe baza rezultatelor elaborate de calculator;

— sistem „on-line“ cu circuit închis (fig. 20.3, b) la care deciziile de comandă sunt efectuate direct de către calculator pe baza unui program prestabilit de om.

In această variantă, modul de intervenție în proces al calculatorului poate fi diferit în funcție de structura sistemelor de automatizare convenționale cu care sunt echipate instalațiile tehnologice.

## C. ECHIPAMENT DE INTRARE-IEȘIRE

### 1. INTRODUCERE

Pentru adaptarea mărimilor din proces care de obicei sunt analogice, la mărimile necesare calculatorului care poate fi analogic sau numeric sau adaptarea mărimilor în sens invers, de la calculator către proces, se folosesc o serie de echipamente specifice, dintre care amintim: *convertoarele, multiplexoarele, elementele de calcul* etc.

### 2. CONVERTOARE NUMERIC-ANALOGICE ȘI ANALOG-NUMERICE

Informația care se primește de la traductoarele din proces (presiune, temperatură, debit etc.), precum și cea furnizată de un calculator numeric elementelor de execuție, are un caracter analogic. Pe de altă parte, informațiile introduse precum și cele extrase din calculator au un caracter numeric.

Pentru transformarea (convertirea) mărimilor care intervin, din forma lor numerică în forma analogică sau invers, se folosesc tipuri speciale de elemente numite *convertoare analog-numerice (A/N)* sau *numeric-analogice (N/A)*.

### 3. MULTIPLEXOARE

Pentru folosirea acelorași convertoare analog-numerice sau numeric-analogice în scopul convertirii în timp a mai multor parametri de la o formă la alta se folosesc *multiplexoare*. Aceste elemente, similare distri-buitoarelor din automatică, sunt plasate la intrarea și ieșirea unui con-

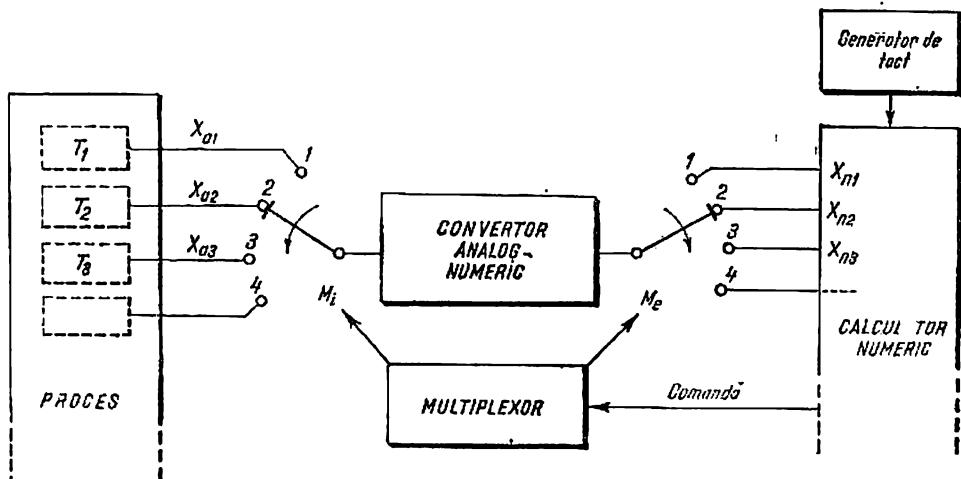


Fig. 20.4. Multiplexor.

vertor (exemplul din figura 20.4) și se comută sincron (cu aceeași viteză) și sинфазат ( $M_i$  și  $M_e$  sunt simultan pe același plot).

În exemplul din figura 20.4, mărurile analogice  $X_{a1}, X_{a2} \dots$  obținute de la traductoarele din proces  $T_1, T_2 \dots$  sunt convertite în mărurile numerice  $X_{n1}, X_{n2} \dots$  care sunt introduse în calculator de către același convertor analog-numeric.

Multiplexoarele sunt realizate cu relee electromecanice sau electronice, funcționarea sincronă și sинфазată fiind asigurată de la un monitor de timp („generator de tact”) prin intermediul calculatorului (fig. 20.4).

#### 4. ELEMENTE (APARATE) ELECTRONICE DE CALCUL ANALOGIC

Instalațiile industriale de automatizare cuprind, uneori, o serie de aparate de calcul analogice destinate fie convertirii, fie combinării unor măruri cu ajutorul unor relații algebrice de calcul (adunare, scădere, înmulțire, împărțire, extragere de radical, integrare etc.). Aparatele respective pot fi folosite fie ca atare, fie ca elemente periferice (de intrare) într-un calculator de proces.

În cele ce urmează vor fi prezentate cîteva aparate electronice de calcul analogice din sistemul unificat E (IEA).

Funcționarea sistemului unificat de calcul se bazează pe utilizarea semnalelor cu „zero viu suprimat” și introducerea unui „zero real”.

Aceasta înseamnă că semnalul unificat 2 ... 10 mA înainte de a fi prelucrat este convertit în semnal cu zero real 0 ... 100%.

○ Observație. De exemplu, dacă unui traductor de presiune i se aplică la intrare presiunea zero ( $P = 0$ ), semnalul unificat la ieșire este 2 mA („zero viu“) care, înainte de a fi introdus în blocul de calcul propriu-zis, este transformat în 0 mA („zero real“). Ieșirea din elementul de calcul este tot un semnal unificat cu zero viu (2 ... 10 mA), ceea ce înseamnă că după efectuarea calculelor semnalul cu zero real (0 ... 100%) a fost convertit din nou în semnal unificat.

### a. Element de adunare-scădere tip ELX 210

Este destinat adunării și (sau) scăderii\* a 2, 3 sau 4 semnale unificate 2 ... 10 mA, furnizând la ieșire un semnal unificat 2 ... 10 mA, corespunzător operațiilor efectuate.

Formula de calcul după care se fac operațiile de însumare este următoară:

$$I_0 = \pm K_1 I_1 \pm K_2 I_2 \pm K_3 I_3 \pm K_4 I_4, \quad (20.1)$$

în care:

$I_0$  este semnalul de ieșire 2 ... 10 mA;

$I_1 \dots I_4$  sunt semnale de intrare 2 ... 10 mA;

$K_1 \dots K_4$  — coeficienți de pondere, subunitari, stabiliți prin calcul.

Schema bloc a elementului respectiv este prezentată în figura 20.5.

Ponderea este reglată cu ajutorul rezistențelor variabile (potențiometre)  $R_3$ ,  $R_5$ ,  $R_7$  și  $R_9$ .

Semnalele prelucrate în rețeaua de rezistențe  $R_3 \dots R_{10}$  sunt însumate și amplificate într-un amplificator de curent continuu cu modulator magnetic. Semnalul obținut din modulatorul magnetic  $M$  (tensiune alternativă) este amplificat, redresat și apoi aplicat unui amplificator de putere (din cadrul blocului H 211), la ieșirea căruia se obține un semnal unificat de curent  $I_0 = 2 \dots 10$  mA curent continuu.

Elementele H 52 sunt stabilizatoare de curent continuu care realizează suprimarea zeroului viu la intrare și suprimarea zeroului real la ieșire.

\* Practic spus, este vorba despre un sumator a unor mărimi de polarități diferite.

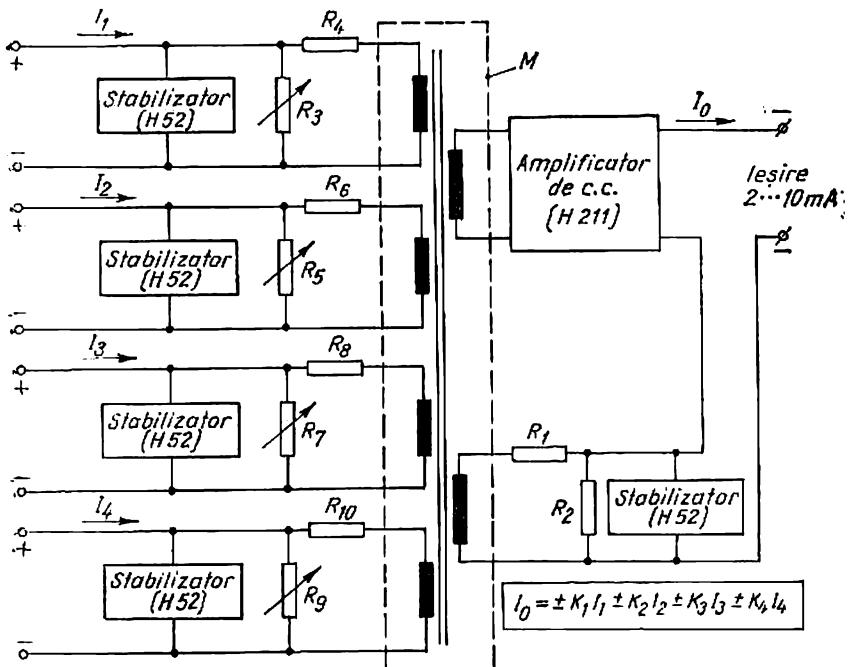


Fig. 20.5. Schema bloc a elementului de adunare-scădere tip ELX 210.

### b. Extractor de radical tip ELX 220

Aparatul ELX 220 este folosit în instalațiile de automatizare pentru măsurarea (reglarea) debitelor ( $D$ ), în cazul folosirii traductoarelor care transformă presiunea diferențială ( $\Delta P$ ) într-un semnal proporțional cu debitul măsurat.

Se demonstrează că între diferența de presiune  $\Delta P$  și debitul  $D$  de fluid există o relație de forma:

$$\Delta P = K D^2, \quad (20.2)$$

sau:

$$D = \frac{1}{K} \sqrt{\Delta P}. \quad (20.3)$$

Rezultă, deci, că pentru a obține un semnal proporțional cu debitul este necesar să se extragă radicalul din valoarea semnalului de presiune diferențială.

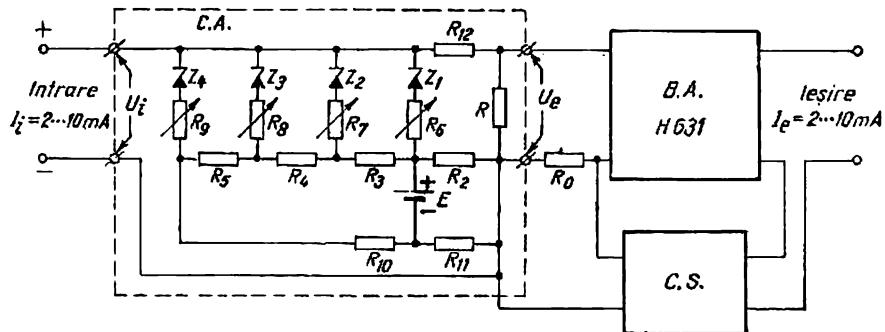


Fig. 20.6. Schema bloc a extractorului de radical tip ELX 220.

Schema bloc (fig. 20.6) cuprinde următoarele blocuri funcționale:

- circuit de aproximare a rădăcinii pătrate (CA);
- circuit de stabilizare a punctului de zero (CS);
- bloc amplificator de curent continuu cu chopper (BA).

Semnalul de intrare se aplică circuitului de aproximare a rădăcinii pătrate, care cuprinde, de exemplu, patru diode Zener  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  polarizate diferit cu ajutorul sursei  $E$ , în scopul deschiderii lor succesive. Cit timp nici una dintre ele nu conduce, caracteristica de funcționare este reprezentată de porțiunea  $O-A$  din figura 20.7. Pe măsura creșterii curentului de intrare  $I_i$ , tensiunea de ieșire  $U_e$  crește, deci diodele  $Z_1 \dots Z_4$  încep să conducă succesiv obținându-se segmentele  $A-B$  (conduc  $Z_1$ ),  $B-C$  (conduc  $Z_1 \text{ și } Z_2$ ),  $C-D$  (conduc  $Z_1 \dots Z_3$ ),  $D-E$  (conduc  $Z_1 \dots Z_4$ ).

Pantele porțiunilor de caracteristică sint determinate de valorile rezistențelor  $R_6 \dots R_9$ , iar coordonatele punctelor de inflexiune — de valorile rezistențelor  $R_2 \dots R_5$ . În acest mod se obține o curbă (segment de dreaptă) care aproximează suficient de fidel relația:

$$U_e = K \sqrt{I_i} \quad (20.4)$$

În continuare, tensiunca  $U_e$  este amplificată obținându-se la ieșire un curent  $I_e$  proporțional cu radicalul curentului de intrare  $I_i$ .

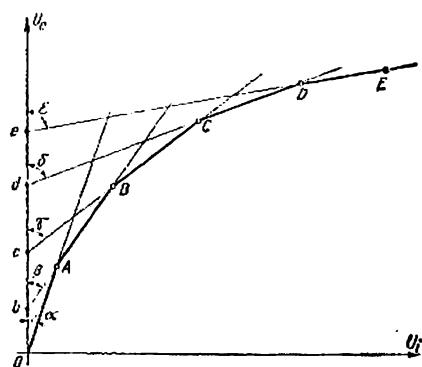


Fig. 20.7. Caracteristica de aproximare a rădăcinii pătrate.

- **Notă.** Extractorul de radical tip EIX 221 este similar tipului EIX 220, cu observația că extragerea rădăcinii pătrate se realizează cu un element Hall.

### c. Element de înmulțire-împărțire tip ELX 230

Aparatul este destinat înmulțirii și (sau) împărțirii a doi sau trei parametri de semnal unificat, având în structura sa un multiplicator Hall și cîteva amplificatoare.

Caracteristicile tehnice principale sunt următoarele:

- semnale de intrare ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ): 2 ... 10 mA curent continuu;
- semnalul de ieșire ( $I_e$ ): 2 ... 10 mA curent continuu;
- relația de calcul:  $I_e = \frac{K_1(I_1 - 2)(I_2 - 2)}{K_2(I_3 - 2)} + 2$  (mA c.c.),

în care  $K_1$ ,  $K_2$  sunt coeficienți funcționali condiționați de relația:

$$0,5 \leq \frac{K_1}{K_2} \leq 2.$$

## D. CONCEPTE DE UTILIZARE A CALCULATOARELOR ÎN CONDUCEREA PROCESELOR

### 1. INTRODUCERE

Pentru același configurații ale sistemului calculator-om-proces, funcția calculatorului în conducerea proceselor poate fi diferită, în sensul că acesta poate prelua mai mult sau mai puțin din sarcinile unor elemente convenționale din conducerea procesului. De exemplu, aşa cum va rezulta din cele ce urmează, calculatorul poate impune numai valorile de consemn (referință) ale regulatoarelor automate (v. cap. 14 și 17) sau poate prelua integral funcțiunile acestora, regulatoarele respective fiind eliminate. Astfel, în actualul stadiu de dezvoltare a tehnicii se aplică următoarele concepte în ceea ce privește folosirea calculatoarelor în conducerea proceselor:

- *regim „ghid operator”;*
- *control (supraveghere) centralizat;*
- *comenzi de referință;*
- *optimizare;*
- *conducerea numerică directă (CND).*

## 2. FUNCȚIA DE „GHID OPERATOR”

În cazul în care omul se interpune în circuitul de comandă al procesului, fie că este vorba de o configurație „off-line” sau „in-line” calculatorul, prin prelucrarea parametrilor din proces și pe baza programului stabilit, are funcția de a stabili („a ghida”) modul în care trebuie condus procesul. Ca urmare, funcția calculatorului este aceea de ghid operator, el putind fi în acest caz și un calculator universal, și unul specializat, funcționând cu divizarea timpului.

## 3. FUNCȚIA DE CONTROL CENTRALIZAT

Această funcție presupune utilizarea unui calculator specializat conectat „on-line” în circuit deschis, care are rolul de a recepționa, preluarea, înregistra sau afișa un număr bine stabilit de parametri, eventual de a semnaliza optic și acustic ieșirea din limite a anumitor parametri.

Acest tip de calculator (de proces) conectat „on-line” funcționează deci în timp real, deservind o anumită instalație tehnologică. Industria românească (IEA) realizează un asemenea tip de calculator de proces denumit MCC 200 și cunoscut sub numele de „instalație de control centralizat”. Numărul parametrilor controlați este de 200. Conectarea acestui calculator la parametrii din proces se realizează prin intermediul unor elemente de calcul din cele descrise în paragraful C (ELX 210, ELX 220 etc.).

## 4. FUNCȚIA DE COMANDĂ A MĂRIMILOR DE REFERINȚĂ

În această situație (fig. 20.8), instalația tehnologică este prevăzută cu regulatoare automate proprii pentru diversele variabile  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ , iar calculatorul de proces — pe baza valorii unui parametru general  $y_4$  — modifică mărimile de referință (de intrare) ale regulatorelor (v. cap. 14 și 17).

Sistemul de conectare a calculatorului pentru acest mod de funcționare este „on-line” cu circuit închis.

## 5. FUNCȚIA DE OPTIMIZARE

Conducerea optimală prin calculator constituie forma cea mai avansată de automatizare complexă „on-line” cu circuit închis. Un asemenea mod de conducere ține seamă de implicațiile economice globale ale acțiunii de conducere. În felul acesta calculatorul urmărește scopuri

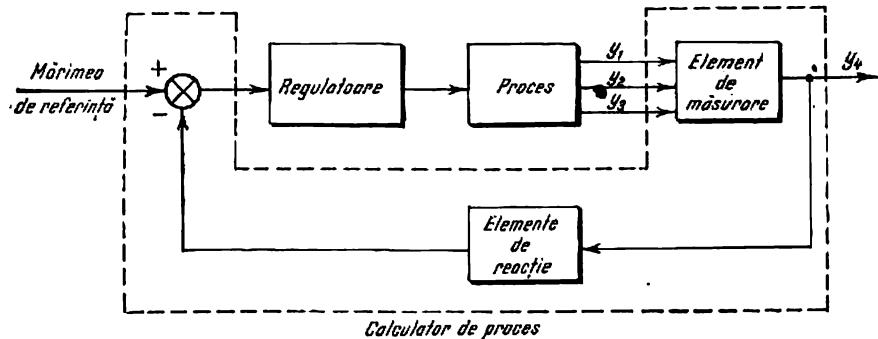


Fig. 20.8. Calculator având funcția de comandă a mărimilor de referință.

finale, cum ar fi de exemplu beneficiul maxim sau volumul maxim de producție, bineînteleș în cadrul unor condiții restrictive ca de exemplu costul sau alți indici de calitate.

Schema principală a unei automatizări complexe cu funcția de optimizare este prezentată în figura 20.9.

Calculatorul primește informații de la intrarea (parametrii materialului și ai energiei) și de la ieșirea procesului (parametrii produsului), precum și de la proces (instalația tehnologică de producție). Totodată procesului i se impune și un program de conducere în care sunt incluse criteriile de optimizare, inclusiv restricțiile impuse. Conducerea optimală se efectuează de obicei pe baza unui model matematic al procesului care reprezintă de fapt relațiile matematice existente între parametrii procesului în regim dinamic și staționar.

Conducerea optimală prin calculator comportă trei funcții (etape) de calcul distincte, dar corelate: *identificarea, optimizarea și comanda* (conducerea).

- **Identificarea.** Etapa de identificare, denumită uneori și modelul stării prezente, constă în determinarea („identificarea”) va-

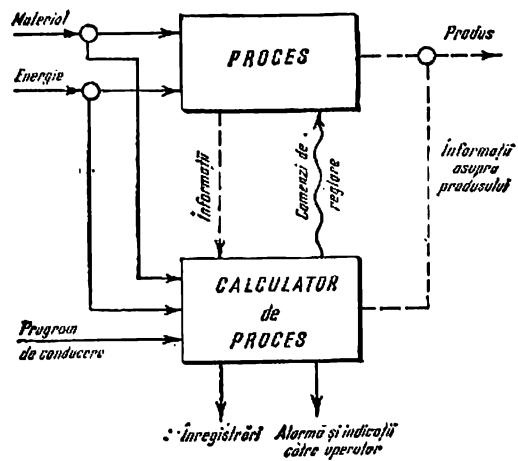


Fig. 20.9. Conducerea optimală cu calculator.

lorilor curente ale tuturor variabilelor independente și dependente din proces.

Identificarea este punctul de plecare necesar pentru funcția de optimizare.

● **Optimizarea.** Pe baza modelului matematic impus și a modelului stării prezente (identificate), se efectuează calculul de optimizare pentru determinarea valorilor necesare variabilelor de conducere (comandă).

● **Conducerea.** Din punctul de vedere al valorilor de funcționare al variabilelor din proces, calculul de identificare răspunde la întrebarea: „În ce stare se află procesul“? iar calculul de optimizare răspunde la întrebarea: „În ce stare ar trebui el să fie“? Calculul de conducere răspunde la întrebarea: „Cum se aduce procesul din situația în care este în ceea care ar trebui să fie“? Așadar, sarcina conducerii este de a determina strategia necesară pentru a ghida procesul (printr-o serie de comenzi de reglare) din regimul de funcționare real spre regimul optim dorit.

Totodată, calculatorul de proces transmite o serie de înregistrări, semnalizări sau indicații către operator asupra parametrilor din proces.

## 6. FUNCȚIA DE CONDUCERE NUMERICĂ DIRECTĂ (CND)

După cum a rezultat din capituloarele 14 și 17, variabilele principale ale procesului se regleză cu ajutorul sistemelor de reglare automate (*SRA*), adică cu ajutorul regulatoarelor. În cadrul funcției de conducere numerică directă (*CND*) prin calculator, o mare parte din echipamentul analogic precum și sistemele de reglare convenționale (regulatoarele) sunt eliminate, atribuțiile respective fiind preluate de către calculatorul de proces. Problemele generale de reglare (stabilitate, performanță, răspuns indicial etc.) tratate în capituloarele 14 și 17 rămân valabile și în acest caz, însă cu aplicație nu la regulatoarele obișnuite, ci la structurile incluse în calculator. În figura 20.10 se dă un exemplu de *CND* pentru trei debite de substanță dintr-un proces oarecare.

După cum se observă, funcția de *CND* constituie o conectare „on-line“ cu circuitul închis a unui calculator de proces. Valorile parametrilor măsurăți prin intermediul traductoarelor sunt aplicate ciclic printr-un multiplexor de intrare unui convertor analog-numeric care le introduce în blocul de prelucrare cu program *CND*. Aceasta, primind programul de lucru (de exemplu răspunsul indicial și ecuația de funcționare a *SRA* —

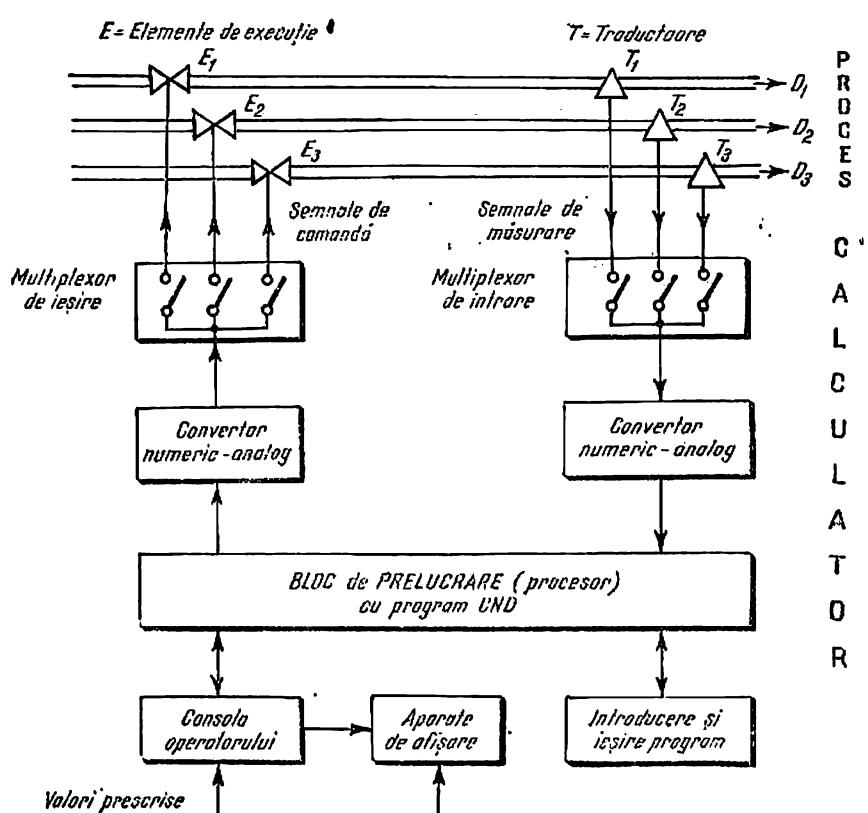


Fig. 20.10. Conducerea numerică directă cu calculator.

v. cap. 17) precum și alte valori prescrise introduse prin consola operatorului uman, elaborează mărimile de comandă, care sunt mărimi numerice. Aceste mărimi convertite în formă analogică sint distribuite prin multiplexorul de ieșire al elementelor de execuție  $E$ .

#### E. EXEMPLE DE PROCESE INDUSTRIALE CONDUSE CU CALCULATOARE

În prezent, calculatoarele de proces și-au găsit practic aplicație în toate domeniile industriale.

## **1. INDUSTRIA PETROLIERĂ**

1. Conducerea cîmpurilor de sonde se poate utiliza printr-un calculator de proces folosind sisteme telemecanice (v. cap. 18) care determină debitul de extragere, determinînd volumele de apă, țălei și gaz, precum și timpul de producție al sondelor, și conduce instalația de epurare, măsurare și transportul țăleiului brut pe conductă etc.

2. În rafinarea petrolului, care cuprinde distilarea brută, cracarea catalitică și reformarea catalitică, se folosesc calculatoare de proces în funcționare *on-line* cu optimizare.

3. În exploatarea conductelor și stațiilor de pompare finală, se poate folosi conducerea prin calculator.

## **2. INDUSTRIA CHIMICĂ**

1. În producerea acetilenei se pot folosi calculatoare cu optimizare, care să asigure beneficiul maxim în cadrul mai multor restricții: debit maxim, viteza de formare a coacșului în cuptor și temperaturile la suprafețele exterioare ale tuburilor cuptorului. Calculatorul poate determina de asemenea randamentul maxim al compresoarelor, poate îmbunătăți performanțele în secția de hidrogenare a acetilenei; în sfîrșit, calculatorul poate stabili temperatura optimă a gazelor din cuptor în funcție de depunerile de cocs pe tubulatura cuptorului.

2. În producerea amoniacului, calculatorul conduce producția sub-unităților (reformatoare) care produc catalitic hidrogenul, azotul și bioxidul de carbon; de asemenea, conduce secția de purificare (eliminare CO) și pe cea de sinteză a amoniacului (de exemplu, calculatorul ajustează raportul dintre hidrogen și azot la variațiile de funcționare ale convertorului).

## **3. INDUSTRIA ENERGETICĂ**

1. Conducerea cu calculatoare a centralelor termoelectrice are ca obiective: economia de combustibil, securitatea în funcționare, reducerea timpilor de oprire, conducerea procesului de pornire și oprire etc.

2. Conducerea centralelor nucleare-electrice cu ajutorul calculatoarelor în perioadele de încercare (6–18 luni), ca și în exploatare, are în vedere atât aspectul economic, cât și securitatea muncii în asemenea instalații.

3. În centralele hidroelectrice, funcțiile calculatoarelor sunt acelea de supraveghere a elementelor hidrocentralei, conducere sevențială a pornirii și opririi grupurilor, utilizare optimală a apei în funcție de debit, nivel și cererile de putere etc.

4. În sistemul electroenergetic calculatorul se folosește, în combinație cu sistemele telemecanice, pentru reglarea frecvență-putere ținând seamă de circulația optimală a puterilor de schimb pe linii (minimizarea pierderilor de putere și a căderilor de tensiune).

#### 4. INDUSTRIA SIDERURGICĂ ȘI METALURGICĂ

1. În industria oțelului, conducerea cu calculator se aplică începînd cu minele de extractie apoi la producerea fontei, la aglomerare, la conducerea furnalului înalt, la elaborarea oțelurilor, turnarea continuă la laminare etc.

2. În industria metalelor neferoase se utilizează calculatoare la flotația minereurilor, la conversia cuprului, la reducerea electrolitică a aluminei etc.

#### 5. INDUSTRIA CIMENTULUI

Calculatorul poate fi folosit la amestecarea și măcinarea materiilor prime și obținerea clincherului în cuploarele rotative.

#### 6. INDUSTRIA HÎRTIEI

Calculatorul se utilizează în conducerea proceselor de fierbere a pastei de celuloză, de regenerare și recirculare a substanțelor chimice, de albire, dar mai ales la fabricarea fibrei de hîrtie.

#### 7. ALTE INDUSTRII

Calculatoarele de proces își găsesc astăzi cîmp larg de aplicare, practic, în toate activitățile industriale și economice, (în industria alimentară la rafinarea zahărului, la diverse procese de uscare și coacere,

în procesul de obținere a viscozei, la vopsirea textilelor, la dirijarea circulației în transporturi aeriene, navale și rutiere etc.). De asemenea, calculatoarele sunt folosite în cercetare și proiectare, în speță în cercetări aerospațiale, în științele fizice, în biomedicină și în diferite alte domenii.

## REZUMAT

Conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor reprezintă cea mai avansată formă de organizare a producției.

Configurațiile sistemelor calculator-om-proces sunt: „off-line“, „in-line“ sau „on-line“ (cu circuit deschis sau închis).

Pentru adaptarea mărimilor din proces la cele necesare calculatorului, se folosesc o serie de echipamente de intrare-ieșire cum sunt: convertoarele (numeric-analogice și analog-numerice), multiplexoarele, elementele de calcul etc.

În conducerea proceselor cu ajutorul calculatoarelor, acestea îndeplinesc diferite funcții, cum sunt:

- regim de „ghid operator“;
- control (supraveghere) centralizat;
- comenzi de referință;
- optimizare;
- conducere numerică directă (CND).

Industria românească (IEA) realizează o serie de elemente de calcul (tipurile ELX), precum și un calculator de proces pentru control centralizat denumit MCC 200.

Calculatoarele de proces își găsesc o largă aplicație în toate activitățile industriale și economice.

## VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. În conducerea „off-line“ a procesului prin calculator, operatorul uman:
  - a) este complet înlocuit?
  - b) este plasat numai în circuitul de comandă?
  - c) este plasat integral între proces și calculator?
2. În conducerea „on-line“ a procesului prin calculator informațiile de măsurare sunt introduse:
  - a) direct în calculator?
  - b) operate în mod continuu de către om?
  - c) introduse periodic în calculator prin divizarea timpului?

3. Funcția de control centralizat se realizează prin conectarea proces-calculator în regim:
  - a) *off-line*?
  - b) *in-line*?
  - c) *on-line*?
4. În cazul folosirii calculatorului pentru comenzi de referință, regulatoarele automate:
  - a) sunt eliminate complet?
  - b) sunt eliminate parțial?
  - c) rămână în funcțiune?
5. Prin conducerea numerică directă, calculatorul îndeplinește și funcția de:
  - a) reglare?
  - b) execuție?
  - c) măsurare?



## C U P R I N S

CAP. 1	<i>Aparate pentru acționări electrice</i> .....	3
	A. Aparate electrice de conectare neautomate .....	3
	B. Releu de protecție .....	5
	C. Aparate electrice de conectare automată.....	6
	D. Aparate de pornire, reglare, frânare și automatizare.....	8
	E. Aparate cu destinație specială.....	12
	F. Ansambluri statice pentru alimentarea acționărilor electrice	13
CAP. 2	<i>Cinematica și dinamica acționărilor electromagnetice</i> .....	17
	A. Schema de acționare. Cupluri .....	17
	B. Ecuația fundamentală a mișcării.....	18
	C. Momente de inerție, energie cinetică, moment de volant....	19
	D. Reducerea cuplurilor la axul motorului.....	20
CAP. 3	<i>Caracteristicile mecanice ale mașinilor de lucru</i> .....	23
	A. Tipuri de mașini de lucru.....	23
	B. Determinarea graficului caracteristicii mecanice de sarcină	25
CAP. 4	<i>Caracteristicile mecanice ale motoarelor electrice</i> .....	28
	A. Considerații generale .....	28
	B. Motorul de c.c. cu excitație separată și cu excitație dorivajie	29
	C. Motorul de c.c. cu excitație serie.....	36
	D. Motorul de c.c. cu excitație mixtă. (Compound) .....	41
	E. Motorul asincron trifazat.....	42
	F. Motorul sincron .....	57
CAP. 5	<i>Regimuri tranzitorii în acționările electrice</i> .....	60
	A. Noțiuni generale .....	60
	B. Procese tranzitorii ale acționărilor cu motoare de curent continuu	61
	C. Procese tranzitorii ale acționărilor cu motoare asincrone....	64

<b>CAP. 6 Alegerea motoarelor electrice de acționare.....</b>	<b>65</b>
A. Criterii care stau la baza alegerii motoarelor electrice de acționare .....	65
B. Regimuri de funcționare .....	65
C. Alegerea și verificarea motorului în funcție de încălzire.....	66
D. Alegerea tipului constructiv al motorului.....	73
<b>CAP. 7 Acționări cu grupuri de mașini.....</b>	<b>77</b>
<b>CAP. 8 Scheme de alimentare și comandă a acționărilor electrice.....</b>	<b>81</b>
A. Pornirea și inversarea sensului de rotație a motorului asincron în securcircuit, de putere mică.....	82
B. Pornirea cu rezistențe de pornire în circuitul rotoric, în funcție de timp, a motorului asincron cu inele.....	83
C. Frânarea motorului asincron în securcircuit.....	84
D. Varierea turării cu rezistență de reglare la motorul asincron cu inele .....	87
E. Pornirea cu rezistență de pornire a motorului derivativ de curent continuu .....	89
F. Pornirea motorului sincron de joasă tensiune, în funcție de viteză, cu autotransformator de pornire.....	93
<b>CAP. 9 Acționări hidraulice și pneumatice.....</b>	<b>98</b>
A. Noțiuni generale .....	98
B. Elementele sistemelor de acționare hidraulică.....	99
C. Elementele sistemelor de acționare pneumatică.....	106
D. Surse de alimentare.....	108
E. Exemple de acționări hidraulice și pneumatice.....	112
<b>CAP. 10 Introducere în automatiză.....</b>	<b>117</b>
A. Obiectul și importanța automatizării.....	117
B. Necesitatea și avantajele automatizării producției .....	122
C. Fazele evolutive ale proceselor de producție.....	122
D. Elementele componente ale sistemelor automate.....	125
<b>CAP. 11 Traductoare .....</b>	<b>129</b>
A. Noțiuni generale .....	129
B. Convertoare .....	133
C. Adaptoare .....	137
D. Tipuri de traductoare.....	142

CAP. 12	<i>Amplificatoare și relee</i> .....	157
	A. Amplificatoare .....	157
	B. Relee .....	166
CAP. 13	<i>Elemente de execuție</i> .....	174
	A. Noțiuni generale .....	174
	B. Elemente de execuție electrice.....	176
	C. Elemente de execuție pneumatică.....	177
	D. Elemente de execuție hidraulice.....	178
CAP. 14	<i>Regulatoare</i> .....	180
	A. Noțiuni generale privind regulatoarele automate.....	180
	B. Regulatoare cu acțiune continuă.....	182
	C. Regulatoare specializate și regulatoare unificate.....	188
	D. Alegerea și acordarea regulatoarelor.....	190
CAP. 15	<i>Sisteme de măsurare și control automat</i> .....	197
	A. Noțiuni generale .....	197
	B. Prezentarea valorii mărimilor măsurate.....	198
	C. Aparate electronice de măsurare în sistemul E (IEA) .....	204
CAP. 16	<i>Sisteme de comandă – Semnalizare automată</i> .....	214
	A. Comanda .....	214
	B. Semnalizarea .....	215
CAP. 17	<i>Sisteme de reglare</i> .....	217
	A. Noțiuni fundamentale asupra sistemelor de reglare automată	217
	B. Clasificarea sistemelor de reglare.....	225
	C. Formele fundamentale ale variației semnalului aplicat la intrare; funcții tip pentru $x_i(t)$ . Răspunsul SRA la funcțiile de intrare tip .....	226
	D. Performanțele sistemelor de reglare.....	228
CAP. 18	<i>Sisteme telemecanice</i> .....	237
	A. Noțiuni generale, definiții și funcțiunile sistemelor telemecanice	237
	B. Structura și clasificarea aparaturii de telemecanică.....	240
	C. Sisteme de telemăsurare.....	243
	D. Sisteme de telecomandă.....	246

<b>CAP. 19</b>	<i>Elemente de procese industriale automatizate.....</i>	250
A.	Noțiuni generale .....	250
B.	Automatizări în industria chimică.....	250
C.	Automatizări în industria construcțiilor de mașini.....	254
D.	Automatizări în industria energetică .....	261
E.	Automatizări în industria materialelor de construcție.....	269
F.	Automatizări în industria metalurgică.....	271
<b>CAP. 20</b>	<i>Calculatoare de proces și sisteme de calcul.....</i>	273
A.	Considerații generale.....	273
B.	Configurațiile sistemelor calculator-Om-Proces.....	274
C.	Echipament de intrare- ieșire.....	276
D.	Concepțe de utilizare a calculatoarelor în conducederea proceselor	281
E.	Exemple de procese industriale conduse cu calculatoare....	285

Nr. colilor de tipar : 18,5

Tiraj : 97 065 ex.

Bun de tipar : 18.VIII.1977.



Coin. nr. 70 329/11 341

Combinatul Poligrafic

„CASA SCINTEII“

Bucureşti — R.S.R.