

C. BUZATU  
I. CODRU

I. CORODEANU  
P. MANOLESCU

# ELECTROTEHNICA GENERALĂ

EDITURA DE STAT DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ  
BUCUREȘTI — 1960

Ing. I. CORODEANU  
Ing. P. MANOLESCU

Ing. C. BUZATU  
Ing. I. CODRU

# ELECTROTEHNICA GENERALĂ

MANUAL PENTRU ȘCOLILE DE MAÎȘTRI  
NESPECIALIȘTI

EDITURA DE STAT DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ  
BUCUREȘTI 1960

## Introducere

Industrializarea țării constituie unul dintre factorii determinanți în construcția socialismului. Pentru industrializare este însă nevoie de energie electrică, care să pună în mișcare utilajele fabricilor și ale atelielor. Energia electrică este de asemenea utilizată pentru iluminat, transport, agricultură, trebuințe casnice etc. Ea are marele avantaj de a putea fi produsă, transportată, distribuită, utilizată și transformată după nevoie, prin mijloace tehnice economice și practice.

Energia electrică este produsă în centrale termoelectrice, hidroelectrice, atomoelectrice și eoliene, iar transportul și distribuția se fac prin rețele electrice.

Energia electrică se utilizează sub forme foarte variate: de exemplu, motoarele electrice transformă energia electrică primită în lucru mecanic pentru punerea în funcțiune a diverselor mașini; lămpile electrice transformă energia electrică în energie luminoasă; cuptoarele electrice transformă energia electrică în energie termică etc.

Fenomenele electrice sînt utilizate în tehnică nu numai pentru a transforma energia electrică într-o energie de altă formă în scopuri energetice propriu-zise, dar și pentru faptul că permit să se realizeze o serie de operații de control, de reglaj, de automatizare etc., care altfel ar fi foarte dificil sau cu neputință de realizat. Ramura electrotehnicii denumită *electronica* aduce neprețuite servicii în aceste domenii și, în special, în forma cea mai nouă a automatizării, numită *cibernetică*; o serie întreagă de operații care necesită intervenția minții omenești (calcul, comenzi ș.a.) se pot realiza de către anumite mașini, adevărate *creiere electronice*. În alte cazuri, de exemplu în electrocomunicații (radio, telefon, telegraf, televiziune), nu transmiterea unei anumite cantități de energie are importanță, ci realizarea rapidă a unor comunicații. Importanța electrificării a fost genial intuită de marele Lenin încă din primele momente ale existenței Uniunii Sovietice. Istorică formulare *comunism înseamnă puterea sovietică plus electrificarea întregii țări* a fost firul călăuzitor

al primului plan de electrificare a U.R.S.S., numit planul G.O.E.L.R.O. și al tuturor planurilor de electrificare care au urmat.

Pe baza acestora s-au realizat numeroase centrale, linii de transport și de distribuție a energiei electrice. Totodată s-au construit și nenumărate fabrici pentru materialele necesare, atât producerii, transportului și distribuției energiei electrice, cât și utilizării acestei energii.

Problema electrificării țării s-a pus pentru prima oară la noi în cadrul Conferinței naționale a P.C.R. din anul 1945.

Ulterior, pe baza experienței Uniunii Sovietice, Partidul Muncitoresc Român a trecut la elaborarea planului de electrificare pe 10 ani — care a devenit pirghie principală pentru dezvoltarea continuă a industriei noastre socialiste.

În țara noastră, în anii de democrație populară s-au construit și continuă să se construiască într-un ritm foarte viu centrale și linii electrice. Se menționează în special termocentralele *Paroșeni, Doicești, Stângiorgiu, Borzești, Ovidiu*, precum și hidrocentralele *V. I. Lenin—Bicaz, Moroieni, Sadu*.

Fabricile de produse electrotehnice din R.P.R. satisfac necesitățile interne mereu crescînde, livrînd totodată produse și pentru export. Dintre fabricile importante construite în anii de democrație populară se pot menționa: *Electroputere, Klement Gottwald, Electronica, Electroprecizia, Electromotorul, Electroaparataj, Grigore Preoteasa, Acumulatorul, Automatica, Fabrica de cabluri și materiale izolante, Electroceramica, Electrofarul* etc.

Puterea totală instalată în generatoarele electrice ale centralelor din țara noastră se ridică în 1958 la 1 507 000 kW (501 000 kW în 1938), iar energia electrică totală produsă în 1958, la 6 184 000 000 kWh (1 130 000 000 kWh în 1938) din care 281 000 000 kWh energie hidroelectrică (față de 148 000 000 kWh în 1938) și 5 903 000 000 kWh energie termoelectrică (față de 982 000 000 kWh în 1938). Centralele electrice sînt interconectate prin linii de transport de înaltă tensiune, cum sînt, de exemplu, linia aeriană de 110 kV care leagă Ardealul cu Muntenia, realizată în anul 1954, și linia care leagă Muntenia cu Moldova, realizată în 1960. Tot prin linii de transport se leagă sistemul de centrale cu regiunile industrializate din țara noastră. În afară de linii de 110 kV, există și linii de 60 kV, 35 kV, 25 kV, 15 kV, 6 kV, precum și rețele de distribuție de joasă tensiune.

Din Directivele Congresului al III-lea al P.M.R., care a avut loc în iunie 1960, rezultă că puterea nouă ce se va instala în centralele electrice în perioada 1960—1965 va fi de 2 380 000 kW,



și anume: 540 000 kW prin amplificarea unor centrale existente (Borzești, Paroșeni, Grozăvești ș.a.) și 1 840 000 kW în centrale noi (Bicaz, Ploiești, Luduș, Craiova, Oradea, Tg. Mureș, Iași ș.a.).

În ceea ce privește producția de energie electrică, va crește de la 6 824 000 000 kWh în 1959 la 18 500 000 000 kWh în 1965, adică de 2,7 ori. Se prevede că această producție va atinge circa 70 000 000 000 kWh în 1975, adică se va produce aproximativ de zece ori mai mult decât în 1959.

Trebuie relevat că politica P.M.R. în domeniul energetic constă în mărirea continuă și rapidă a producției de energie electrică pe cap de locuitor și, în același timp, într-o distribuție a acestei energii care să satisfacă toate regiunile țării.

Tinăra noastră industrie electrotehnică a făcut de asemenea importante și rapide progrese. În anul 1958 s-au construit motoare electrice cu o putere totală de 373 731 kW (2 380 kW în 1938), generatoare electrice de 55 315 kVA (3 430 kVA în 1938), transformatoare de 788 591 kVA (11 215 kVA în 1938), conductori electrici în lungime totală de 97 260 km (32 195 km în 1938), 13 577 mașini electrice de spălat rufe (nici una în 1938) și 138 642 aparate de radio (nici unul în 1938).

Printre marile succese obținute de către industria noastră electrotehnică menționăm construcția unor turbogeneratoare de 3 000 kVA, transformatoare de 15 MVA, motoare de 1 008 kW, compensatoare sincrone de 5 000 kvar, întreruptoare automate în ulei, cu mare putere de rupere, centrale telefonice, agregate de călire de 8 000 kh, materiale izolante de clasă superioară ș.a.

Directivile Congresului al III-lea al P.M.R. arată că industria noastră electrotehnică va face progrese rapide. Astfel, de exemplu, puterea totală a motoarelor electrice fabricate în R.P.R. va crește de la 467 000 kW în 1959 la 1 100 000 kW în 1965, adică de 2,4 ori, numărul de aparate de radio de la 167 000 în 1959 la 300 000 în 1965, adică de 1,8 ori, numărul televizoarelor de la nici unul în 1959, la 130 000 în 1965.

Din cele arătate rezultă limpede importanța însușirii noțiunilor fundamentale de electricitate și electrotehnică, care sînt necesare nu numai specialiștilor din ramura energiei electrice și a industriei electrotehnice, dar și nespecialiștilor, deoarece toți muncitorii vin în legătură mai mult sau mai puțin directă cu instalațiile de producere, transport, distribuție și mai ales de utilizare a energiei electrice.

Manualul, de faţă este destinat elevilor şcolilor tehnice de muncitori calificaţi şi ai şcolilor tehnice de maiştri din diversele ramuri industriale, în afară de ramura electrotehnică.



Energia electrică constituie una dintre formele sub care se prezintă energia în natură. Unele fenomene electrice sînt cunoscute din antichitate. Cuvîntul *electricitate* vine de la cuvîntul grecesc *electron*, care înseamnă chihlimbar, deoarece prima experienţă (efectuată cu aproape 600 de ani înaintea erei noastre) prin care s-a obţinut energie electrică a constat în frecarea unor bucăţi de chihlimbar. Prin frecare, chihlimbarul capătă proprietatea de a atrage mici corpuri, de pildă bucăţele de soc, paie etc. Mai tîrziu au fost descoperite alte fenomene de natură electrică, precum şi fenomenele înrudite, numite magnetice. Se presupune că denumirea *magnetic* vine de la localitatea Magnesia din Grecia, unde a fost găsit un minereu care avea proprietatea de a atrage mici bucăţi de oţel. Cu studiul legilor care guvernează fenomenele electrice se ocupă disciplina numită *electricitatea*, iar cu studiul legilor care guvernează fenomenele magnetice se ocupă disciplina numită *magnetismul*. Electricitatea şi magnetismul sînt ramuri ale fizicii.

Disciplina care se ocupă cu utilizarea fenomenelor electrice şi magnetice pentru diferite aplicaţii tehnice se numeşte *electrotehnica*. Dezvoltarea electrotehnicii este strîns legată de progresele realizate în cunoaşterea fenomenelor electrice şi magnetice, precum şi în construcţia de maşini şi aparate.

În disciplina electricităţii, progrese mai vizibile au început să apară la începutul secolului al XVII-lea, iar în electrotehnică, la jumătatea secolului al XIX-lea.

În anul 1746 se realizează *butelia de Leyda*, primul aparat cu care se putea acumula electricitatea.

În anul 1752, Benjamin Franklin experimentează captarea electricităţii atmosferice cu ajutorul unui zmeu şi tot în aceeaşi perioadă academicienii ruşi Lomonosov şi Rihman întreprind o serie de cercetări asupra electricităţii atmosferice (în urma acestora, Rihman îşi pierde viaţa).

Coulomb inventează un aparat cu care stabileşte în anul 1785 legea de atracţie şi de respingere între corpurile electrizate, numită *legea lui Coulomb*. În anul 1791, Galvani publică o lucrare despre electricitatea animală. Pe baza experienţelor lui Galvani, în anul 1800 este realizată, de către Volta, prima sursă de curent electric.

La începutul secolului al XIX-lea, Faraday şi profesorul rus Grotgus stabilesc legile electrolizei. În aceeaşi perioadă, Petrov

— membru al Academiei din Petersburg — descoperă arcul electric, iar Oersted, Ampère, Biot și Savart se ocupă în special cu lucrări în domeniul electromagnetismului.

În anul 1827, doctorul Ohm stabilește legea care-i poartă numele, iar în 1831, Faraday descoperă legea inducției electromagnetice, lege având multe aplicații în electrotehnică.

Tot în prima jumătate a secolului al XIX-lea, Lenz, membru al Academiei din Petersburg, și Joule stabilesc importanța legei Lenz-Joule, privitoare la cantitatea de căldură degajată de conductoarele parcurse de curent electric.

Iacobi — membru al Academiei din Petersburg — are în intervalul 1834—1850 o serie de realizări privind mai ales motorul electric și telegraful electromagnetic, iar în 1845, Kirchhoff stabilește legile care îi poartă numele. De asemenea, Planté construiește în 1859 acumulatorul electric cu plăci de plumb.

Lodighin realizează în 1873 prima instalație de iluminat electric cu ajutorul lămpilor cu incandescență. Mai târziu, în 1877, Edison a adus unele modificări acestor lămpi, obținând patentul pentru S.U.A. și alte țări. În 1876, Iabločikov are realizări importante în domeniul lămpilor electrice cu arc și al transformatoarelor.

Z. Gramme construiește în 1877 generatorul electric de curent continuu. Maxwell publică în 1873 o lucrare teoretică asupra electromagnetismului, confirmată mai târziu prin experiențele lui Hertz.

În jurul anului 1888, Dolivo-Dobrovolski realizează prima linie de energie electrică cu curent alternativ trifazat. Tot Dolivo-Dobrovolski inventează motorul electric asincron și transformatorul trifazat.

La sfârșitul secolului al XIX-lea, Stoletov — profesor la Universitatea din Moscova — studiază și explică fenomenele fotoelectrice, iar Popov — profesor la Institutul electrotehnic din Petersburg — inventează telegraful fără fir.

La începutul secolului al XX-lea, Rozing — profesor la Institutul tehnologic din Petersburg — efectuează primele experiențe în domeniul televiziunii, iar Lorenz creează teoria electronică a electricității.

În ultimul timp s-au obținut mari progrese în domeniul cercetărilor și realizărilor privind fenomenele electrice sau legate de aceste fenomene. În special descoperirile referitoare la imensele energii care se eliberează atunci când se desfac (fisionează) sau se unesc (fuzionează) nucleele atomice ale anumitor corpuri vor permite întregii omeniri îndeplinirea pașnice de o importanță covârșitoare pentru bunul trai al tuturor.



# Electrostatica

## 1. Natura electricității și structura materiei

Din fizică se știe că cea mai mică parte dintr-un corp care *păstrează proprietățile corpului* se numește *moleculă*, iar moleculele sînt constituite din *atomi*. La rîndul său, atomul este constituit dintr-un nucleu (miez) central încărcat cu electricitate pozitivă și una sau mai multe particule, mult mai mici, încărcate cu electricitate negativă, numite *electroni*. Electronii se deplasează în jurul nucleului pe anumite *orbite* (drumuri închise).

Electronul conține sarcina electrică cea mai mică ce poate exista în natură. Sarcina electrică se măsoară cu o unitate de măsură numită coulomb<sup>1</sup>. Un electron are totdeauna o sarcină negativă de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C. *În mod normal, sarcina pozitivă a nucleului dintr-un atom este egală cu sarcina negativă a electronilor din același atom*, astfel încît atomul, ca și corpul din care face parte, este *neutru*.

Dacă față de starea neutră, atomii unui corp au un număr mai mare de electroni, *corpul este încărcat negativ*, adică are o *sarcină electrică negativă*. Dacă, dimpotrivă, față de starea neutră numărul electronilor este mai mic, *corpul este încărcat pozitiv*, adică are o *sarcină electrică pozitivă*.

---

Se citește *coulomb* și se notează cu litera C.

Această unitate de măsură face parte dintr-un sistem de unități numit MKSA care va fi explicat la capitolul VI. De altfel, toate unitățile utilizate în acest manual — în afara unei mențiuni contrare — fac parte din sistemul MKSA — raționalizat.

$$1,6 \cdot 10^{-19} = \frac{1}{10^{19}} \text{ și în general } X^{-a} = \frac{1}{X^a}.$$

## 2. Electrizare, sarcini și forțe electrice

Se consideră o bobită  $B$  din măduvă de soc suspendată printr-un fir  $F$  de mătase, de un cîrlig sprijinit pe un suport de lemn (fig. 1—1). Acest dispozitiv se numește *pendul electric*. Dacă se freacă cu o bucată de piele un baston  $A$  de sticlă și se apropie de bobită, se constată că bobita este *atrăsă* de baston. Cînd atracția este mare, bobita atinge bastonul, după care este *respinsă*. Cînd bastonul de sticlă a fost frecat, el *s-a încărcat* cu electricitate (s-a electrizat, s-a încărcat cu o anumită sarcină electrică). În această stare, el exercită o forță de atracție asupra bobitei. La atingerea cu bastonul (electrizare prin contact), bobita s-a încărcat și ea cu electricitate, fiind apoi respinsă.

În figura 1—2 se consideră două pendule electrice. Dacă se încarcă cu electricitate ambele bobite (se ating cu bastonul de sticlă frecat cu piele) și se apropie, ele se resping, așezîndu-se în pozițiile  $a-a$ .

Se ating acum bobitele altor două pendule cu un baston de rășină frecat cu o stofă de lînă și se apropie. Și de data aceasta bobitele se resping.

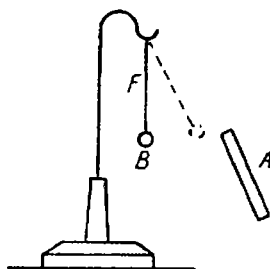


Fig. 1—1. Pendul electric:  
 $A$  — baston de sticlă sau de rășină;  $B$  — bobită din măduvă de soc;  $F$  — fir de mătase.

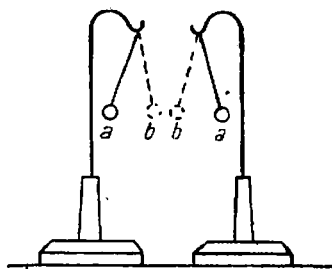


Fig. 1—2. Atracția și respingerea corpurilor electrizate:  
 $a - a$  — poziție de respingere;  
 $b - b$  — poziție de atracție.

Dacă se apropie acum o bobită electrizată cu bastonul de sticlă, de una electrizată cu bastonul de rășină, se observă că ele se atrag.

Deci, electricitatea provenită de la bastonul de sticlă este diferită de aceea provenită de la bastonul de rășină. Primul fel

de electricitate s-a numit sticloasă sau *pozitivă* (notată cu semnul +), iar al doilea fel electricitate — rășinoasă sau *negativă* (notată cu semnul —).

Electrizarea bastonului de sticlă prin frecare corespunde pierderii unui anumit număr de electroni, care trec pe bucata de piele cu care a fost frecat. De asemenea, electrizarea prin frecarea bastonului de rășină corespunde primirii unui număr de electroni de pe stofa cu care a fost frecat.

Din aceste experiențe rezultă următoarea concluzie: *corpurile încărcate cu electricitate de același fel se resping, iar cele încărcate cu electricitate de nume diferit se atrag.*

### 3. Legea lui Coulomb

Se consideră două corpuri punctiforme (de dimensiuni foarte reduse) încărcate cu sarcinile electrice  $Q_1$  și  $Q_2$  (fig. 1–3).

Experiența arată că forța de atracție sau de respingere între aceste corpuri are direcția dreptei care unește corpurile, iar valoarea ei este dată de relația:

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi \varepsilon r^2}, \quad (1.1)$$

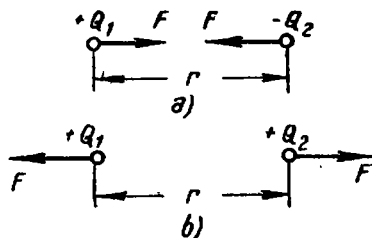


Fig. 1–3. Forțele de atracție sau de respingere între două corpuri electrizate.

în care:

- $r$  este distanța dintre cele două corpuri, măsurată în metri;
- $Q_1, Q_2$  — sarcinile electrice ale corpurilor, în coulombi;
- $\varepsilon$  — (literă grecească care se citește *epsilon*) o mărime numită *permițivitate* sau *constantă dielectrică* și care depinde de mediul (aer, apă etc.) în care se găsesc corpurile;
- $F$  — forța, măsurată în newtoni.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Se citește *niuton*; 1 kilogram-forță = 9,81 newtoni. Newtonul se notează cu litera N.

Relația (1.1) se numește *legea lui Coulomb* și se poate exprima astfel: *Forța de atracție sau de respingere dintre două corpuri încărcate cu sarcini electrice este direct proporțională cu produsul sarcinilor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre corpuri; dacă sarcinile sînt de același fel, forța este de respingere, iar dacă sînt de nume diferit, forța este de atracție.*

Cînd corpurile se găsesc în vid, permitivitatea are valoarea:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ unități de permitivitate.}$$

Raportul  $\epsilon_r$ , dintre permitivitatea  $\epsilon$  a unui material și permitivitatea  $\epsilon_0$  a vidului se numește *permitivitate relativă* a materialului (tabela 1-1).

Tabela 1-1

Permitivități relative ale unor materiale

Denumirea materialului	$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$	Denumirea materialului	$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$
Aer	1	Mică .....	4...8
Hirtie .....	1,8...2,6	Porțelan	5,5...6
Ulei de transformator	2,3...2,5	Parafină	6
Cauciuc moale	2,6...3,2	Sticlă .....	7...8
		Apă distilată.....	80

Cunoscînd permitivitatea relativă  $\epsilon_r$ , se poate deduce permitivitatea absolută cu ajutorul relației:  $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ . ]

*Aplicația 1-1.* În vîrfurile unui pătrat cu latura  $l = 3$  m se găsesc corpuri punctiforme încărcate cu următoarele sarcini electrice (fig. 1-4):

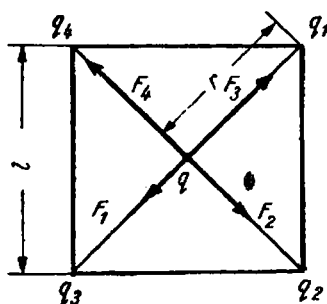


Fig. 1-4. Forțe electrice.

$$\begin{aligned} q_1 &= +10^{-4}\text{C} & q_3 &= +3 \cdot 10^{-4}\text{C} \\ q_2 &= -2 \cdot 10^{-4}\text{C} & q_4 &= -4 \cdot 10^{-4}\text{C} \end{aligned}$$

Să se determine forța care acționează asupra unui corp punctiform situat în aer, în centrul pătratului și încărcat cu sarcina electrică  $q = +5 \cdot 10^{-4}\text{C}$ .

**R e z o l v a r e.** Cu notațiile din figura 1-4 se poate scrie:

$$l^2 = 2 r^2,$$

de unde:

$$r^2 = \frac{l^2}{2} = \frac{3^2}{2} = 4,5 \text{ m}^2.$$



Conform legii lui Coulomb:

$$F_1 = \frac{q \cdot q_1}{\epsilon_{r\text{a}o} \cdot 4\pi r^2} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4}}{\frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot 4,5} = 100 \text{ N.}$$

Sarcinile  $q$  și  $q_1$  fiind de același semn,  $F_1$  este o forță de respingere.

În mod analog se găsesc, conform figurii:

$$F_2 = 200 \text{ N}; \quad F_3 = 300 \text{ N}; \quad F_4 = 400 \text{ N.}$$

Conform semnelor sarcinilor electrice,  $F_2$  și  $F_4$  sînt forțe de atracție, iar  $F_3$  forță de respingere.

Prin compunerea forțelor  $F_3$  cu  $F_1$  se găsește rezultanta:

$$F_{31} = F_3 - F_1 = 300 - 100 = 200 \text{ N,}$$

după direcția și sensul forței  $F_3$ , care este mai mare decît  $F_1$ .

Prin compunerea forțelor  $F_4$  cu  $F_2$  se găsește rezultanta:

$$F_{42} = F_4 - F_2 = 400 - 200 = 200 \text{ N}$$

după direcția și sensul forței  $F_4$ .

Cele două forțe  $F_{31}$  și  $F_{42}$  sînt perpendiculare între ele, iar rezultanta lor este:

$$F = \sqrt{F_{31}^2 + F_{42}^2} = \sqrt{200^2 + 200^2} = 282,8 \text{ N} = 28,8 \text{ kgf.}$$

## 4. Cîmp electric

Forțele care se exercită între corpurile încărcate cu electricitate se transmit de la un corp la celălalt, *din aproape în aproape* cu o viteză foarte mare, egală cu viteza luminii. Un corp încărcat cu electricitate creează în jurul său o stare electrică specială, numită *cîmp electric*, prin intermediul căruia se transmit forțele de interacțiune cu alte corpuri încărcate cu electricitate.

Cîmpul electric se caracterizează în fiecare punct al său printr-o mărime vectorială, numită de obicei tot cîmp electric. Această mărime vectorială are o intensitate (valoare), o direcție și un sens.

În figura 1—5, *a* se presupune un corp punctiform cu sarcina

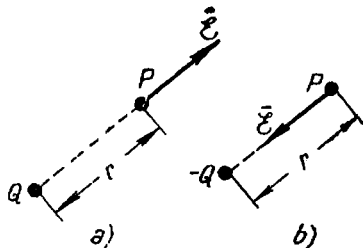


Fig. 1—5. Cîmp electric.

electrică  $+Q$ , iar în figura 1-5, *b*, cu sarcina  $-Q$ . Se cere să se determine cîmpul electric în punctul  $P$  la distanța  $r$  de sarcina  $Q$ .

Se va presupune că în punctul  $P$  se găsește o particulă încărcată cu o mică sarcină *pozitivă*  $+q$ . Legea lui Coulomb se poate scrie:

$$\vec{F} = \vec{\mathcal{E}} \cdot q,$$

unde:

$$\vec{\mathcal{E}} = \frac{Q}{4\pi \epsilon r^2} \cdot \quad (1.2)$$

Se vede că forța  $\vec{F}$  care se exercită asupra particulei este proporțională cu mărimea vectorială  $\vec{\mathcal{E}}$ . Această mărime vectorială caracterizează tocmai cîmpul electric în punctul  $P$ . Din această cauză,  $\vec{\mathcal{E}}$  se numește *intensitatea cîmpului electric* în  $P$ .

Direcția mărimii vectoriale  $\vec{\mathcal{E}}$  coincide cu aceea a forței  $\vec{F}$ , fiind direcția drepte care unește  $Q$  cu  $P$ . Sensul mărimii vectoriale  $\vec{\mathcal{E}}$  este sensul forței  $\vec{F}$  care se exercită asupra particulei încărcate cu sarcina pozitivă  $+q$ . De aici rezultă că, dacă sarcina  $Q$  este pozitivă (fig. 1-5, *a*), sensul vectorului  $\vec{\mathcal{E}}$  este *dinspre* sarcina  $Q$ , iar dacă sarcina  $Q$  este negativă (fig. 1-5, *b*), sensul este *înspre* această sarcină.

În cazul mai multor sarcini electrice, ca de exemplu  $+Q_1$  și  $-Q_2$  (fig. 1-6), cîmpul electric  $\vec{\mathcal{E}}$  într-un punct oarecare  $P$  rezultă din compunerea cîmpului electric  $\vec{\mathcal{E}}_1$ , datorit sarcinii  $Q_1$  cu cîmpul electric  $\vec{\mathcal{E}}_2$ , datorit sarcinii  $-Q_2$ . Dacă sînt mai mult decît două sarcini electrice, cîmpul rezultat al primelor două sarcini se compune cu cîmpul electric al sarcinii a treia, rezultanta corespunzătoare celor trei sarcini electrice se compune cu cîmpul electric al sarcinii a patra ș.a.m.d., pînă cînd se obține rezultanta corespunzătoare tuturor sarcinilor.

Se observă că legea lui Coulomb — relația (1.1) — pentru corpurile electrizate din figura 1-3 se poate scrie și astfel:

Fig. 1-6. Cîmp electric rezultat.

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon \cdot r^2} = \mathcal{E}_1 \cdot Q_2 = \mathcal{E}_2 \cdot Q_1, \quad (1.3)$$

în care:

- $\mathcal{E}_1$  este intensitatea cîmpului electric produs de sarcina  $Q_1$  în punctul unde se găsește sarcina  $Q_2$ ;
- $\mathcal{E}_2$  — intensitatea cîmpului electric produs de sarcina  $Q_2$  în punctul unde se găsește sarcina  $Q_1$ .

Rezultă deci următoarea concluzie: *Valoarea forței care se exercită asupra unui corp electrizat situat într-un cîmp electric este egală cu intensitatea cîmpului electric în punctul unde se găsește corpul, multiplicată cu valoarea sarcinii electrice a aceluia corp.*

## 5. Potențial electric. Diferență de potențial

Se consideră în cîmpul electric al sarcinii  $+Q$  o altă sarcină de același semn  $+q$  la distanța  $r$  (fig. 1-7). Conform legii lui Coulomb, corpul cu sarcina electrică  $+q$  va fi respins cu o anumită forță, și anume pînă la o distanță foarte mare, sub influența cîmpului electric produs de  $+Q$  (teoretic se consideră această distanță infinită). Prin această deplasare pe direcția forței se efectuează un anumit lucru mecanic. Există deci o anumită energie, numită *energie electrică potențială*, care permite să se efectueze lucrul respectiv. Dacă se calculează această energie se găsește că ea este egală cu:

$$\frac{Q \cdot q}{4\pi \cdot s \cdot r} \quad (1.4)$$

Dacă în loc de sarcina de  $q$  coulombi se consideră o sarcină de 1 coulomb, energia potențială este:

$$\frac{Q \cdot 1}{4\pi \cdot s \cdot r}$$

Expresia:

$$V = \frac{Q}{4\pi \cdot s \cdot r}$$

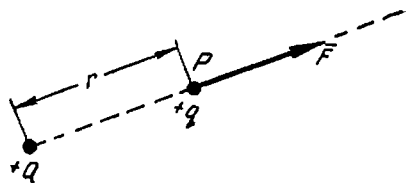
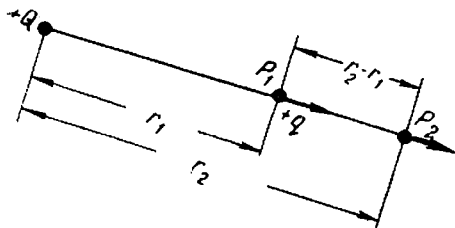


Fig. 1-7. Sarcina electrică  $+q$  în cîmpul electric al sarcinii  $+Q$ .

se numește *potențialul electric* produs de sarcina  $Q$  în punctul  $P$  la distanța  $r$  de  $Q$ . Relația (1.4) arată că prin simpla înmulțire a potențialului electric dintr-un punct cu sarcina electrică  $q$  din acel punct se poate obține energia electrică potențială respectivă.

Potențialul se măsoară cu o unitate de măsură numită *volt* (V).

În figura 1—8 se consideră o sarcină electrică  $+q$  într-un câmp electric produs de sarcina  $+Q$ . În punctul  $P_1$  la distanța  $r_1$  de  $Q$ , energia electrică potențială este:



$$W_1 = \frac{Q \cdot q}{4\pi \epsilon \cdot r_1} = V_1 \cdot q \quad (1.5)$$

în care  $V_1$  este potențialul electric în  $P_1$ .

În punctul  $P_2$  la distanța  $r_2$  de  $Q$ , energia electrică potențială este:

$$W_2 = \frac{Q \cdot q}{4\pi \epsilon \cdot r_2} = V_2 \cdot q, \quad (1.6)$$

Fig. 1—8. Diferența de potențial electric între punctele  $P_1$  și  $P_2$ .

în care  $V_2$  este potențialul electric în  $P_2$ .

Deoarece  $W_1$  este lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii  $q$  din  $P_1$  la infinit, iar  $W_2$  este lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii  $q$  din  $P_2$  la infinit, înseamnă că  $W_1 - W_2$  va fi lucrul mecanic care se obține la deplasarea sarcinii între punctele  $P_1$  și  $P_2$ . Ținând seama de relațiile (1.5) și (1.6) se poate scrie:

$$W_1 - W_2 = V_1 \cdot q - V_2 \cdot q = (V_1 - V_2) \cdot q. \quad (1.7)$$

Expresia:

$$U = V_1 - V_2$$

se numește *diferența de potențial* sau *tensiunea electrică* între punctele  $P_1$  și  $P_2$ . Din relația (1—7) se obține:

$$W_1 - W_2 = U \cdot q \quad (1.8)$$

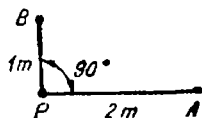
ceea ce arată că diferența dintre energiile potențiale  $W_1$  și  $W_2$ , care se transformă în lucru mecanic prin deplasarea sarcinii  $q$  între cele două puncte  $P_1$  și  $P_2$ , este egală cu diferența de potențial  $U$  dintre cele două puncte înmulțită cu valoarea sarcinii  $q$ .

Dacă între două puncte  $P_1$  și  $P_2$  (fig. 1—8) dintr-un câmp electric între care există diferența de potențial  $V_1 - V_2$  se așază un corp electrizat, acest corp se va găsi sub acțiunea unei forțe care-l va deplasa, și anume: cînd corpul este electrizat pozitiv (ca în fig. 1—8), deplasarea se va face dinspre punctul cu potențialul mai mare ( $V_1$  în  $P_1$ ) înspre punctul cu potențialul mai mic ( $V_2$  în  $P_2$ ); dacă corpul este electrizat negativ, deplasarea se va face în sens contrar.

Notînd distanța dintre cele două puncte cu  $d$ , se poate demonstra pe baza formulelor anterioare, că intensitatea medie a câmpului electric pe distanța  $d$  este dată de relația:

$$\mathcal{E} = \frac{U}{d}.$$

Unitatea de măsură a diferenței de potențial este tot voltul, ca și unitatea potențialului. Unitatea de măsură pentru intensitatea câmpului electric este egală cu unitatea de măsură a diferenței de potențial, împărțită prin unitatea de măsură a lungimii, adică volt pe metru (V/m).



*Aplicația 1-2.* În punctul  $P$  (fig. 1-9) se găsește un corp punctiform încărcat cu sarcina electrică  $q = 2 \cdot 10^{-8}$  coulombi.

Să se determine diferența de potențial  $V_B - V_A$  între punctele  $B$  și  $A$  arătate pe figură, precum și intensitatea câmpului electric în  $B$  și  $A$ . Mediul înconjurător este aerul.

Fig. 1-9. Aflarea diferenței de potențial.

**R e z o l v a r e.** Potențialul în punctul  $A$  este:

$$V_A = \frac{q}{4\pi \epsilon_r \epsilon_0 \cdot PA} = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 1 \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot 2} = 90 \text{ V.}$$

În mod analog, potențialul în punctul  $B$  este:

$$V_B = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot 1} = 180 \text{ V.}$$

Diferența de potențial dintre punctele  $B$  și  $A$  este:

$$V_B - V_A = 180 - 90 = 90 \text{ V.}$$

Intensitatea cîmpului electric în A este:

$$\mathcal{E}_A = \frac{q}{4\pi \epsilon_r \epsilon_0 \cdot PA^2} = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 1 \cdot 9 \cdot 10^9}} = 45 \text{ V/}$$

În mod analog, se găsește:

$$\mathcal{E}_B = 180 \text{ V/m.}$$

## 6. Linii de forță și suprafețe echipotențiale

Dacă pentru fiecare punct dintr-un cîmp electric s-ar trasa vectorul corespunzător punctului respectiv, s-ar constata că acest vector rămîne tangent la niște curbe numite *linii de forță* ale cîmpului electric. În figura 1—10, curba C reprezintă o asemenea linie de forță. Liniile de forță au sensul cîmpului electric.

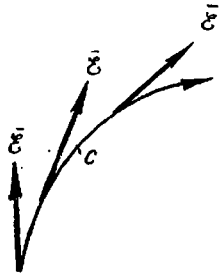


Fig. 1—10. Linie de forță.

În figura 1—11 sînt reprezentate în trăsături pline liniile de forță ale cîmpului unei sarcini pozitive, iar în figura 1—12, acelea ale unei sarcini negative.

Suprafețele față de care liniile de forță sînt perpendiculare au toate punctele lor la același potențial și, din această cauză, se numesc *suprafețe echipotențiale* (adică de același potențial). Pentru o sarcină punctiformă, suprafețele echipotențiale sînt sfere cu centrul în punctul unde se găsește sarcina electrică (fig. 1—11 și 1—12).

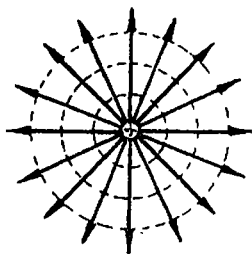


Fig. 1—11. Liniile de forță și suprafețele echipotențiale ale unei sarcini pozitive.

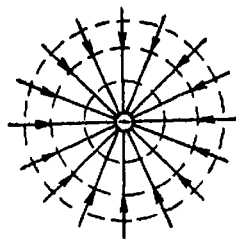


Fig. 1—12. Liniile de forță și suprafețele echipotențiale ale unei sarcini negative.

În cazul a două sarcini de nume diferit, liniile de forță se prezintă ca în figura 1-13, iar în cazul a două sarcini pozitive, ca în figura 1-14.

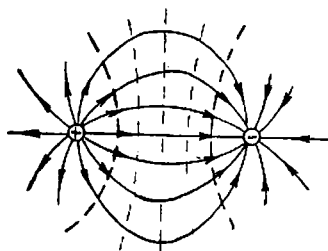


Fig. 1-13. Liniile de forță și suprafețele echipotențiale pentru două sarcini electrice de nume diferit.

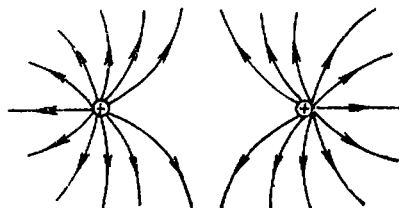


Fig. 1-14. Liniile de forță pentru două sarcini electrice de același fel.

Liniile de forță pot da și o indicație asupra intensității câmpului electric: *cu cât liniile de forță sînt mai dese cu atât intensitatea câmpului electric este mai mare și invers.*

## 7. Corpuri conductoare, izolante și semiconductoare

Unele corpuri neutre din punct de vedere electric conțin *electroni liberi* (adică sarcini libere negative), nefixați în atomi și care au continuu o mișcare dezordonată, ca și moleculele unui gaz. Aceste sarcini negative libere sînt neutralizate de un număr corespunzător de sarcini pozitive, adică de particule atomice avînd fiecare un nucleu pozitiv și electroni cu o sarcină totală negativă *mai mică* decît sarcina pozitivă a nucleului. Dacă între două puncte ale unui asemenea corp (un fir metalic de exemplu) se realizează o diferență de potențial și deci apare un cîmp electric, electronii liberi sînt împinși într-o mișcare generală după direcția cîmpului electric. Asemenea corpuri se numesc *bune conducătoare de electricitate* sau *conductoare*.

La alte corpuri, numite *rele conducătoare de electricitate*, *dielectrice* sau *izolante*, nu există astfel de electroni liberi, care să poată fi puși în mișcare de o diferență de potențial.

Metalele și unele lichide sînt conductoare. Pămîntul este de asemenea un conductor. Sticla, porțelanul, cauciucul, lemnul uscat, gazele ș.a. sînt izolante.

Există și corpuri solide numite *semiconductoare*, care au proprietăți conductoare sau izolante, numai în anumite condiții (ca de exemplu seleniul, germaniul, siliciul).

## 8. Diferite feluri de electrizări. Inducție electrică

Aparatul cu care se poate constata electrizarea unui corp se numește *electroscop* (fig. 1—15). El este constituit din vasul de sticlă *S* cu dopul izolant *D*, prin care trece vergea metalică *V* terminată în interior prin foițele *F* și în exterior, prin sfera *B*.

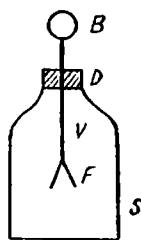


Fig. 1-15.  
Electroscop.

Foițele și sfera sunt de asemenea metalice. Dacă sfera *B* este electrizată cu un anumit fel de electricitate, sarcinile electrice, răspîndindu-se, ajung la foițe și exercită între ele forțe de respingere, care îndepărtează aceste foițe, după cum se poate vedea în figură. Sfera *B* poate fi electrizată atingînd-o cu un alt corp electrizat. În felul acesta, sfera se electrizează *prin contact*, adică într-un mod diferit de cel de electrizare *prin frecare*, descris la paragraful 1—1.

Se presupune că sfera *B* a fost electrizată prin contact cu electricitate pozitivă, de exemplu. Aceasta înseamnă că un anumit număr de electroni liberi de pe partea conductoare a electroscopului (sferă, vergea și foițe) a trecut pe corpul cu care a fost pusă în contact sfera.

Dacă se leagă sfera printr-un fir metalic cu pămîntul, un număr de electroni liberi trec de la pămînt prin fir și completează lipsa de electroni de pe conductorul electroscopului. Acesta, devenind neutru din punct de vedere electric, foițele se apropie una de alta.

Se consideră, în figura 1—16, o sferă *A* încărcată, de exemplu, pozitiv, care se apropie de conductorul neutru *B* așezat pe un suport izolant. Sarcinile libere negative (electronii liberi) din conductorul *B* se dirijează spre extremitatea din apropierea sferei *A*, fiind atrase de sarcinile pozitive ale acesteia, iar sarcinile

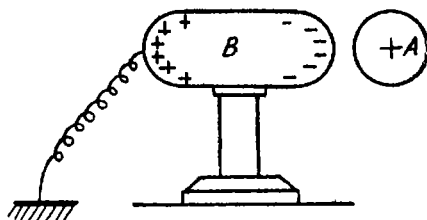


Fig. 1-16. Electrizare prin influență.



pozitive din conductorul *B* rămân în extremitatea opusă. Dacă această din urmă extremitate se leagă la pământ printr-un fir conductor, un număr de electroni liberi din pământ sînt atrași prin fir de conductorul *B*. Întrerupind legătura la pământ și îndepărtînd sfera *A*, corpul *B* rămîne încărcat negativ. Electrizarea în modul arătat a corpului *B* se numește electrizare *prin influență* sau *prin inducție electrică*.

## 9. Densitate electrică. Paratrăsnet

Un conductor electrizat nu poate conține, în interiorul său sarcini electrice de același semn, libere. În adevăr, dacă ar exista asemenea sarcini, ele s-ar respinge pînă cînd ar ajunge la suprafața conductorului. (Dacă sarcinile ar fi de semne contrare, ele s-ar neutraliza.) În consecință, un conductor electrizat are sarcini electrice numai la suprafața sa. La corpurile cu suprafața neregulată, aceste sarcini nu se repartizează uniform pe supra-

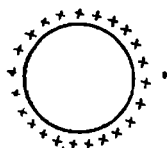


Fig. 1-17. Sferă conductoare electrizată pozitiv.



Fig. 1-18. Conductor în formă de pară, electrizat negativ.

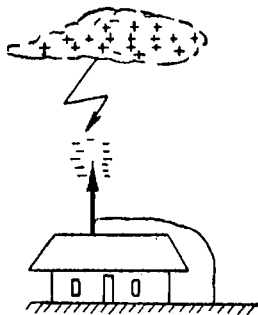


Fig. 1-19. Paratrăsnet.

fața conductorului (cu aceeași *densitate electrică*). Acolo unde corpul prezintă vîrfuri, sarcinile electrice se îndesesc (densitatea electrică mare) și uneori sînt chiar *expulzate* din corp; la o sferă însă, repartiția este uniformă (fig. 1-17). La un corp, avînd forma unei pere (fig. 1-18), sarcinile se îndesesc spre vîrf cu atît mai mult, cu cît vîrfurile sînt mai ascuțite. Pe această proprietate se bazează funcționarea paratrăsnetului, care este o vergea metalică, cu vîrf ascuțit, așezată pe acoperișul unei construcții și legată printr-un conductor la pământ (fig. 1-19).

Cînd un nor încărcat, de exemplu, pozitiv se apropie de regiunea paratrăsnetului, acesta lasă să se scurgă prin vîrfurile sale sarcini negative (electrizare prin influență), care neutralizează

sarcinile pozitive din nor. Prin conductorul legat la pământ trec, de la pământ la paratrăsnet, sarcini negative în mare număr pentru neutralizarea sarcinilor pozitive din nor. Trecerea bruscă și în mare cantitate a sarcinilor electrice de la nor la pământ sau invers se numește *trăsnet*; în lipsa paratrăsnetului, sarcinile electrice trec de obicei între nor și obiectele mai înalte (case, turnuri, arbori). Alteori, sarcinile pozitive dintr-un nor sînt atrase de sarcinile negative din alt nor, iar neutralizarea bruscă a unor mari cantități de asemenea sarcini se manifestă printr-un *fulger* între cei doi nori. Apariția trăsnetului și a fulgerului este însoțită de o lumină și un zgîmot caracteristic (tunet).

## 10. Fenomene electrostatice și electrocinetice

În figura 1—20, prin  $A$  și  $B$  s-au reprezentat două plăci metalice la distanța  $d$ , una încărcată cu sarcina pozitivă  $+Q$ , iar cealaltă cu sarcina negativă  $-Q$ . Placa  $B$  are un surplus de electroni, iar placa  $A$ , o lipsă de electroni față de starea neutră. În jurul plăcilor se creează un câmp electric. Dacă cele două plăci se

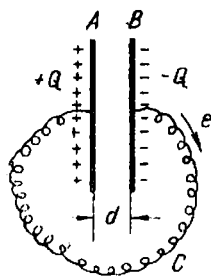


Fig. 1—20. Circulația electronilor printr-un conductor.

leagă între ele, ca în figură, printr-un fir conductor  $C$ , surplusul de electroni de pe placa  $B$  (la potențialul  $V_B$ ) se va deplasa sub influența forțelor electrice, prin conductorul  $C$ , la placa  $A$  (cu potențialul  $V_A$ ) unde va completa lipsa de electroni.

După ce surplusul de electroni de pe placa  $B$  a completat lipsurile de pe placa  $A$  (amîndouă plăcile s-au neutralizat), diferența dintre potențialele  $V_A$  și  $V_B$  s-a anulat, circulația de electroni în conductorul  $C$  a încetat, iar câmpul electric a dispărut.

Dacă ar exista un dispozitiv care să mențină permanent surplusul de electroni pe placa  $B$  și lipsa de electroni pe placa  $A$ , între aceste plăci ar exista mereu o diferență de potențial  $V_A - V_B$ , iar electronii vor circula în permanentă în sensul săgeții  $e$  din figură. Dispozitivele care au proprietatea de a crea permanent o diferență de potențial între bornele (extremitățile) lor se numesc *surse electrice*, iar circulația continuă a electronilor printr-un conductor care leagă aceste borne constituie un *curent electric*. Curentul electric și sursele pentru producerea lui vor fi studiate în alte capitole.

Fenomenele în care electronii, sub influența unui câmp electric, au o mișcare permanentă într-un conductor se numesc *fenomene electrocinetice*, adică de *mișcare a electricității*. (Pe grecește, *kine-matos* înseamnă mișcare.) În afară de fenomenele electrocinetice, există fenomene *electrostatice*, când electronii *stau* în nemișcare, în echilibru, sau au mișcări limitate, după care revin în echilibru. Plăcile *A* și *B* din figura 1—20, încărcate cu sarcinile  $+Q$  și  $-Q$ , nelegate prin conductorul *C*, produc un câmp electric, dar electronii rămân nemișcați. Acesta constituie un exemplu de *fenomen electrostatic*. Cu fenomenele electrostatice se ocupă *electrostatica*, o parte din știința electricității.

## 11. Condensatorul electric

Condensatorul electric este un aparat format din două corpuri conductoare (armături) separate printr-un izolanț (dielectric) (fig. 1—21) și funcționează pe baza celor arătate la paragraful 10 (fig. 1—20).

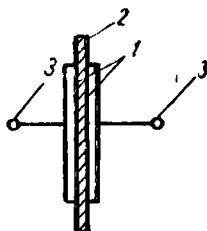


Fig. 1-21. Condensator electric:  
1 — armături; 2 — dielectric;  
3 — borne.

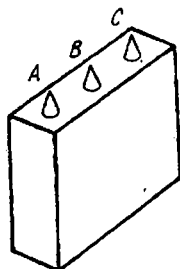


Fig. 1-22. Condensator electric industrial (tri-fazat), vedere.

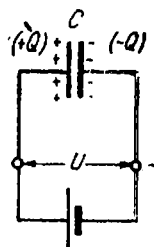


Fig. 1-23. Încărcarea unui condensator electric.

În practică, armăturile condensatorului sînt executate din cite o fișie de staniol; ca izolanț se folosește hirtie impregnată cu ulei. Ansamblul lor este împăturit, pentru a ocupa un spațiu cît mai mic și apoi este închis într-o cutie metalică prevăzută cu borne de ieșire.

Legind un condensator la o sursă de energie electrică de curent continuu <sup>1</sup> (fig. 1—23), armăturile condensatorului se încarcă

<sup>1</sup> Sursele de curent continuu sînt explicate în capitolul II.

fiecare cu cantitatea de electricitate  $Q$  (pozitivă pe o armătură și negativă pe cealaltă). Prin circuit trece un curent electric numai atît timp cît durează încărcarea armăturilor. După încărcarea acestora, deși condensatorul rămîne legat la sursă, prin circuit nu mai trece nici un curent.

Dezlegîndu-l de la sursă, condensatorul rămîne încărcat. Dacă se leagă bornele printr-un conductor, condensatorul se descarcă; prin conductor trece un curent electric format de deplasarea sarcinilor  $Q$  negative de pe armătura negativă spre armătura pozitivă, unde neutralizează sarcina pozitivă.

Între tensiunea  $U$  de la bornele armăturilor și sarcina  $Q$  de pe armături există relația:

$$Q = CU \quad (1.9)$$

În care  $C$  este o mărime fizică numită *capacitatea electrică* a condensatorului (să nu se confunde cu capacitatea pilelor și a acumulatorilor). Ea depinde numai de dimensiunile armăturilor, de distanța dintre ele și de natura dielectricului. Capacitatea unui condensator plan (format de două armături plane paralele, între care dielectricul are o grosime constantă) se calculează folosind relația:

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1.10)$$

În care, în sistemul MKSA:

- $C$  este capacitatea, în F (farazi);
- $\epsilon$  — permitivitatea dielectricului;
- $S$  — suprafața uneia dintre armături, în  $m^2$ ;
- $d$  — distanța dintre armături (grosimea dielectricului), în m.

În cîmpul electric care ia naștere între armăturile condensatorului la încărcarea acestuia este înmagazinată o cantitate de energie, absorbită de la sursă:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}. \quad (1.11)$$

Această energie reapare în circuitul electric la descărcarea condensatorului.

## 12. Legarea condensatoarelor electrice

Condensatoarele electrice pot fi legate în serie, în derivație sau mixt, alcătuind baterii de condensatoare.

**Condensatoare în serie** (fig. 1-24). Capacitatea echivalentă  $C$  a unei baterii formate din condensatoarele  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , legate în serie se calculează din relația:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{C_i} \quad (1.12)$$

Relația 1.12 se deduce plecând de la relația dintre diferențele de potențial (tensiunile electrice):

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n. \quad (a)$$

Se observă apoi că la legarea în serie a condensatoarelor

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q. \quad (b)$$

Cum:

$$U = \frac{Q}{C}; \quad U_1 = \frac{Q_1}{C_1};$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2}; \quad U_n = \frac{Q_n}{C_n}, \quad (c)$$

rezultă:

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}. \quad (d)$$

Din relațiile (b) și (d) rezultă relația (1.12).

**Condensatoare în derivație** (fig. 1-25). Capacitatea echivalentă  $C$  a unei baterii for-

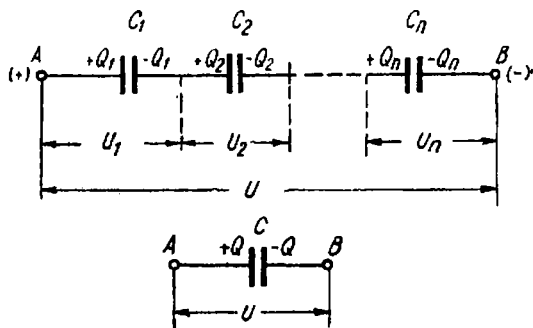


Fig. 1-24. Condensatoare legate în serie.

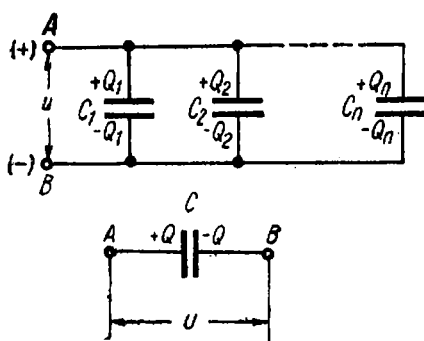


Fig. 1-25. Condensatoare legate în derivație.

mate din condensatoarele  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , legate în derivație, se calculează cu ajutorul relației:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

sau:

$$C = \sum_{i=1}^{i=n} C_i. \quad (1.13)$$

În cazul condensatoarelor legate în derivație, se observă că sarcina electrică a bateriei este:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n. \quad (a)$$

Cum:

$$Q = CU; \quad Q_1 = C_1 U_1; \quad Q_2 = C_2 U_2; \dots; \quad Q_n = C_n U_n \quad (b)$$

iar:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (c)$$

rezultă ușor relația (1.13).

Condensatoarele pot fi legate și mixt, adică în combinație de legături serie și derivație; în acest caz, capacitatea bateriei se determină din aproape în aproape.

### 13. Străpungerea dielectricului. Rigiditate dielectrică

Dacă diferența de potențial aplicată la bornele unui condensator crește mereu, se produce la un moment dat o străpungere a dielectricului (trecerea bruscă a sarcinilor electrice de pe o armătură pe cealaltă, prin dielectric), în urma căreia dielectricul se deteriorează de obicei. Străpungerea dielectricului depinde nu numai de valoarea diferenței de potențial, dar și de grosimea dielectricului. Cu cât grosimea dielectricului este mai mică, cu atât el poate fi străpuns la o diferență de potențial mai redusă. Valoarea cea mai mică a raportului dintre diferența de potențial și grosimea la care poate fi străpuns dielectricul se numește *rigiditate dielectrică*. Altfel spus, rigiditatea dielectrică este valoarea minimă a cimpului electric la care poate fi străpuns un dielectric.

Dacă se măsoară diferența de potențial în volți, și grosimea dielectricului în metri, rigiditatea dielectrică se va măsura în

volți pe metru (V/m). În practică, este mai comod însă să se măsoare în mii de volți pe centimetru (kV/cm). În tabela 1-2 se dă valoarea rigidității dielectrice pentru unele materiale.

Tabela 1-2

Rigiditatea dielectrică a citorva materiale

Materialul	Rigiditatea dielectrică, în kV/cm	Materialul	Rigiditatea dielectrică, în kV/cm
Aer	32	Sticlă .....	70—300
Petrol	65	Hirtie impregnată	400—1000
Hirtie	40—100	Mică	600—750

## 14. Condensatoare industriale și fabricarea lor

Condensatoarele își găsesc întrebuințare în instalațiile de telefonie, telegrafie, radio, televiziune, pentru ameliorarea factorului de putere în cazul rețelilor de curent alternativ (după cum se va explica la capitolele VII și XX) etc. Din punct de vedere constructiv, condensatoarele sînt de mai multe tipuri. De multe ori, dielectricul este realizat din hirtie parafinată sau din foiță de mică. Pentru mărirea capacității se montează de obicei la un loc mai multe condensatoare în paralel. În figura 1-26 se arată aspectul unui condensator cu armături din staniol și dielectric din mică, avînd o capacitate de 200 pF (picofarazi)<sup>1</sup>.

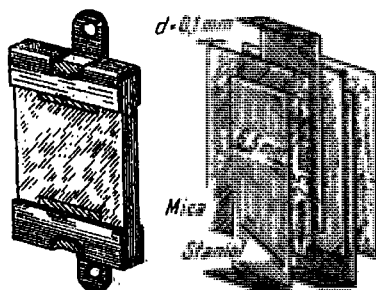


Fig. 1-26. Condensator cu armături din staniol și dielectric din mică.

În figura 1-27 este reprezentat un condensator de asemenea cu armături din staniol, dar cu dielectric din hirtie parafinată, avînd o capacitate de 2  $\mu$ F.

Figura 1-28 reprezintă un condensator cu capacitate variabilă, constituit dintr-o serie de plăci metalice mobile, care prin rotire

<sup>1</sup> 1 pF =  $10^{-9}$  F.

pătrund între alte plăci tot metalice, dar fixe. Dielectricul acestui condensator este aerul. Plăcile constituie armăturile și sînt fabricate din aluminiu sau din cupru. Pe măsură ce plăcile mobile se introduc între plăcile fixe, capacitatea crește, deoarece se

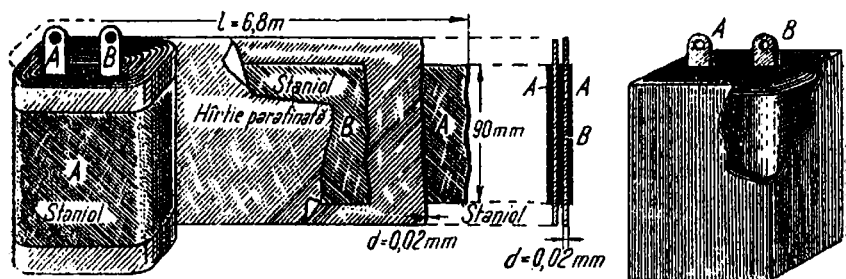


Fig. 1-27. Condensator cu armături din staniol și dielectric din hirtie parafinată.

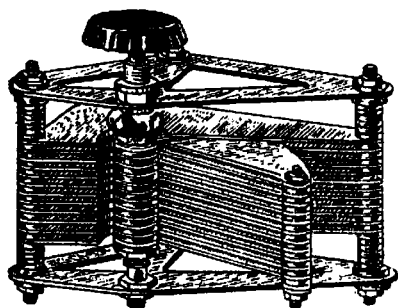


Fig. 1-28. Condensator cu capacitate variabilă.

radio și de 380 V de  $3 \times 110 \mu\text{F}$  în ulei, pentru ameliorarea factorului de putere în rețele de curent alternativ trifazat<sup>1</sup>.

mărește suprafața armăturilor, care se găsesc față în față.

În R.P.R. se fabrică diverse tipuri de condensatoare, și anume: de 150 V și  $0,5-5 \mu\text{F}$  cu armături din aluminiu și dielectric din hirtie parafinată, pentru instalațiile telefonice; de 1000 V cu capacități de la câteva sute pînă la câteva mii de picofarazi, tot cu armături din aluminiu și dielectric din hirtie parafinată, pentru instalațiile de

<sup>1</sup> Circuitele de curenți alternativi trifazați sînt studiate în capitolul VIII..



# Circuite de curent continuu

## 1. Curentul electric

Într-un conductor există electroni liberi în mișcare dezordonată. În mod normal, în orice moment, numărul de electroni (cantitatea de electricitate) care trec printr-o secțiune transversală a conductorului într-un sens este egal cu al celor care trec în sens contrar, sau, cu alte cuvinte, cantitatea de electricitate care trece printr-o secțiune a conductorului este în medie egală cu zero.

Dacă, prin intermediul unei cauze oarecare dinafară, se imprimă sarcinilor electrice o deplasare într-un sens, printr-o secțiune a conductorului va trece o anumită cantitate de electricitate sau prin conductor va lua naștere *un curent electric*. Curentul electric este caracterizat prin *intensitatea* și prin *sensul* său.

*Intensitatea curentului electric* sau, pe scurt, *curentul electric*  $I$  este cantitatea de electricitate care trece printr-o secțiune transversală a conductorului în unitatea de timp, adică

$$I = \frac{Q}{t}, \quad (2.1)$$

în care  $Q$  este cantitatea de electricitate, iar  $t$  timpul. În sistemul MKSA,  $I$  se măsoară în amperi (A),  $Q$  în coulombi (C), iar  $t$  — în secunde (s).

Sensul de circulație al curentului sau, pe scurt, *sensul curentului*, este ales, în mod convențional, opus sensului în care se deplasează electronii prin conductor; în consecință, în circuitul exterior al unei surse de energie se consideră că sensul curentului este de la polul pozitiv spre polul negativ al sursei.

Curentul electric poate fi *continuu* (când are mereu același sens), sau *alternativ* (când își schimbă periodic sensul de circulație).

Curentul electric se măsoară în practică cu ajutorul aparatului numit *ampermetru*.

*Densitatea de curent  $\delta$*  este raportul dintre curentul  $I$  și secțiunea  $s$  a conductorului prin care trece curentul.

$$\delta = \frac{I}{s}. \quad (2.2)$$

În sistemul MKSA, densitatea de curent se măsoară în  $A/m^2$ . În mod curent ea se măsoară însă în  $A/mm^2$ .

Densitatea de curent nu se poate măsura cu aparate, ea se determină prin calcul, folosind relația (2.2).

## 2. Forța electromotoare

*Forța electromotoare* este mărimea fizică capabilă să producă și să mențină un curent electric într-un circuit închis, creînd o tensiune electrică (o diferență de potențial electric) între două puncte oarecare ale circuitului.

Forța electromotoare este produsă de o sursă sau generator de energie electrică. Ea se notează de obicei cu litera  $E$ .

În sistemul MKSA, forța electromotoare se măsoară în volți (V).

## 3. Rezistența electrică

Dacă la bornele unei surse de energie electrică se leagă un conductor, formînd astfel un circuit electric închis, prin întregul circuit, deci și prin conductor, va trece un curent mai mare sau mai mic, după cum conductorul se opune mai puțin sau mai mult trecerii curentului. Această proprietate a conductorilor de a se opune mai mult sau mai puțin la trecerea curentului electric este caracterizată prin mărimea denumită *rezistența electrică a conductorului*.

Rezistența electrică  $R$  a unui conductor de lungime  $l$  cu secțiunea constantă  $s$ , se calculează folosind relația:

$$R = \rho \frac{l}{s}, \quad (2.3)$$

în care  $\rho$  este o mărime caracteristică a materialului din care este construit conductorul, denumită *rezistivitate* (tabela 2-1).

**Valoarea rezistivității și a coeficienților de variație a rezistivității  
cu temperatura pentru diferite materiale uzuale, la 20°C**

Denumirea materialului	$\rho_{20}$ mm <sup>2</sup> /m	$\alpha_{20}$ grd <sup>-1</sup>
Aluminiu	0,029	0,0040
Argint	0,0165	0,0036
Cupru	0,01724	0,00393
Constantan	0,4...0,51	0,000005
Crom-nichel	1	0,0003
Manganină	0,42	0,00001
Nichelină	0,4...0,44	0,00018... ...0,00021
Oțel	0,24...1,1	0,0052
Zinc	0,063	0,0037

În sistemul MKSA se măsoară:  $R$  — în ohmi ( $\Omega$ );  $l$  — în metri (m);  $s$  — în metri pătrați (m<sup>2</sup>);  $\rho$  — în  $\frac{\text{ohm} \cdot \text{metru}}{\text{metru pătrat}}$  ( $\frac{\Omega \text{m}}{\text{m}^2}$ )

De obicei, în practică, pentru calculul rezistențelor se folosesc următoarele unități de măsură (care nu aparțin aceluiași sistem):  $R$  — în  $\Omega$ ;  $l$  — în m;  $s$  — în mm<sup>2</sup>;  $\rho$  — în  $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$ .

Rezistivitatea și, prin urmare, rezistența unui conductor variază cu temperatura. În general, rezistența unui conductor crește cu temperatura.

Rezistivitatea  $\rho_{t_2}$  la temperatura  $t_2$ , în funcție de rezistivitatea  $\rho_{t_1}$  la temperatura  $t_1$ , este dată de relația:

$$\rho_{t_2} = \rho_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)], \quad (2.4)$$

în care  $\alpha$  este coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura (tabela 2-1).

Rezistența  $R_{t_2}$  la temperatura  $t_2$  se determină printr-o relație asemănătoare:

$$R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)]. \quad (2.5)$$

În realitate, variația rezistivității și rezistenței cu temperatura este mai complicată decât apare din relațiile (2.4) și (2.5),

deoarece și  $\alpha$  depinde de temperatură. De aceea, relațiile de mai sus sînt practic aplicabile pentru temperaturi cuprinse între 20°C și 100°C; pentru  $\alpha$  se ia de obicei valoarea corespunzătoare la 20°C.

În unele cazuri, cum este cărbunele și cum sînt anumiți electroliți, rezistența scade pe măsură ce temperatura crește (coeficientul  $\alpha$  este negativ).

Inversul rezistenței unui conductor se numește *conductanța*  $G$  a conductorului:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \frac{s}{l} = \gamma \frac{s}{l}, \quad (2.6)$$

în care  $\gamma = \frac{1}{\rho}$  este *conductivitatea* materialului din care este făcut conductorul. În sistemul MKSA conductanța se măsoară în *siemens* (S).

*Aplicație.* Să se calculeze rezistența unui conductor de cupru cu o secțiune de 16 mm<sup>2</sup> al unei linii electrice lungi de 500 m.

*R e z o l v a r e.* Se folosește formula (2.3) în care  $l = 500$  m;  $s = 16$  mm<sup>2</sup>

$$\rho = 0,0175 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}.$$

Deci:

$$R = \rho \frac{l}{s} = 0,0175 \frac{500}{16} = 0,548 \Omega.$$

## 4. Legea lui Ohm

Curentul  $I$  care trece printr-un circuit închis format dintr-o sursă de energie electrică, cu o forță electromotoare  $E$  și o rezistență interioară  $r$ , și dintr-o rezistență  $R$  legată la bornele  $a$  și  $b$  ale sursei<sup>1</sup> (fig. 2-4) se calculează cu ajutorul relației:

$$I = \frac{E}{R + r}. \quad (2.7)$$

<sup>1</sup> Acest circuit este denumit circuit simplu.

În sistemul MKSA:  $I$  se măsoară în A;  $E$  — în V;  $R$  — în  $\Omega$ ;  $r$  — în  $\Omega$ .

Curentul electric  $I$  care trece printr-o rezistență  $R$  la capetele căreia se aplică o tensiune electrică (o diferență de potențial)  $U$  (fig. 2-2) se calculează folosind relația:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.8)$$

În sistemul MKSA  $I$  se măsoară în A;  $U$  — în V;  $R$  — în  $\Omega$ .

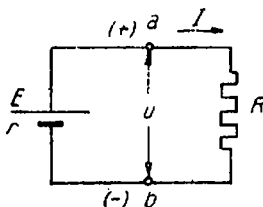


Fig. 2-1.  
Circuit electric simplu.

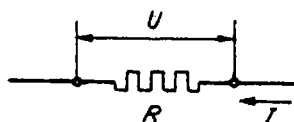


Fig. 2-2. Căderea de tensiune într-o rezistență.

*Produsul  $RI$  este căderea de tensiune* produsă de trecerea curentului  $I$  prin rezistența  $R$ . Căderea de tensiune într-o rezistență este egală cu tensiunea aplicată la capetele ei:

$$U = RI. \quad (2.9)$$

Ținându-se seama de relațiile de mai sus, se deduce tensiunea  $U$  la bornele unei surse de energie electrică, când ea debitează curentul  $I$ , și anume:

$$U = RI = E - rI, \quad (2.10)$$

adică, tensiunea la bornele unei surse este egală cu căderea de tensiune pe circuitul exterior al sursei, sau cu forța electromotoare din care se scade căderea de tensiune din interiorul sursei.

*Aplicație.* Un acumulator electric avînd o forță electromotoare  $E = 2\text{V}$  și o rezistență interioară  $r = 0,15\ \Omega$ , alimentează cu energie electrică un circuit cu o rezistență  $R = 1,1\ \Omega$ . Să se determine curentul care trece prin circuit și tensiunea la bornele circuitului.

**Rezolvare.** Curentul care trece prin circuit este:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{2}{1,1 + 0,15} = 1,6\text{ A}.$$

Tensiunea la bornele circuitului, aceeași cu tensiunea la bornele acumulatorului, se poate calcula în două moduri:

- a)  $U = RI = 1,1 \cdot 1,6 = 1,76 \text{ V}$ ;  
 b)  $U = E - rI = 2 - 0,15 \cdot 1,6 = 1,76 \text{ V}$ .

## 5. Legile lui Kirchhoff

De multe ori, circuitele electrice sînt mai complicate, conținînd una sau mai multe surse de energie electrică și mai multe rezistențe, legate în diferite moduri, alcătuiind rețele electrice. Punctele în care se întîlnesc cel puțin trei căi de curent (rezistențe) se numesc noduri ale rețelei. Căile de curent între diferitele noduri se numesc laturile rețelei. Mărimile care intervin într-o rețea electrică sînt: forțele electromotoare, rezistențele diferitelor laturi și curenții prin aceste laturi.

Legea I. *Suma curenților care intră într-un nod este egală cu suma curenților care ies din acel nod.* De exemplu, pentru nodul A (fig. 2—4) se poate scrie:

$$I_1 = I_2 + I. \quad (2.11)$$

Legea II. *Pe orice circuit închis al unei rețele electrice suma forțelor electromotoare este egală cu suma căderilor de tensiune.*

$$\sum E = \sum RI. \quad (2.12)$$

Pentru a aplica această lege se alege un sens oarecare de parcurgere a circuitului și se respectă următoarea convenție:

— se consideră pozitive forțele electromotoare al căror sens, conform polarității lor (de la — la +), este în sensul parcurgerii circuitului (fig. 2—3,a);

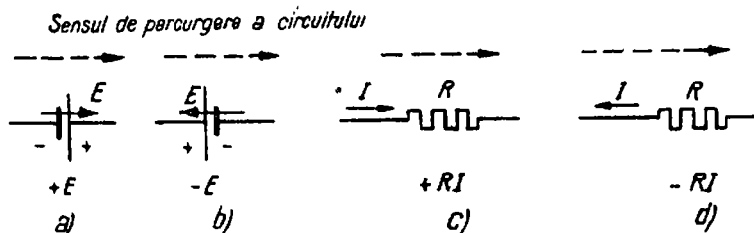


Fig. 2—3. Convenția de semne folosită la aplicarea legii a II-a a lui Kirchhoff:  
 a — forță electromotoare pozitivă; b — forță electromotoare negativă; c — cădere de tensiune pozitivă; d — cădere de tensiune negativă.

— se consideră pozitive căderile de tensiune produse de curenții care trec prin rezistențe în același sens cu sensul de parcurgere al circuitului (fig. 2—3,c);

— în cazurile contrare, forțele electromotoare, respectiv căderile de tensiune, se consideră negative (fig. 2—3, b și 2—3,d). De exemplu, pentru circuitul  $ABCD$  din figura 2—4, parcurgându-l în sensul  $ABCD$  (arătat de săgeata punctată) se poate scrie:

$$-E_2 + E_1 = R_1 I_1 + R_2 I_2.$$

Legile lui Kirchhoff servesc la calcularea rețelelor electrice, și anume, cunoscându-se o parte din mărimile care intervin într-o rețea, ele permit să se determine celelalte mărimi necunoscute. Pentru aceasta, numărul necunoscutelor trebuie să nu depășească numărul ecuațiilor independente care pot fi scrise cu legile lui Kirchhoff.

Notîndu-se cu  $n$  numărul de noduri și cu  $l$  numărul de laturi dintr-o rețea, se pot scrie:

- cu legea I :  $n - 1$  ecuații independente (scrise pentru nodurile distincte);
- cu legea a II-a :  $l - n + 1$  ecuații independente (scrise pentru circuite închise distincte).

În total se pot deci scrie  $l$  ecuații distincte și se pot determina  $l$  necunoscute. În cazul cînd nu se cunosc curenții, deci nici sensurile lor, se alege la început sensuri arbitrare; după rezolvarea sistemului de ecuații, dacă pentru vreunul din curenți se obține o valoare negativă, sensul real al lui va fi contrar celui ales inițial.

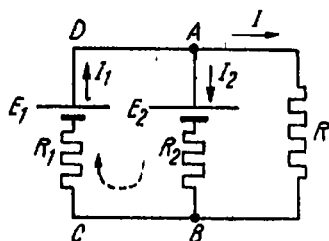


Fig. 2—4. Rețea electrică

## 6. Legarea rezistențelor

Rezistențele electrice pot fi legate (conectate) în serie, în derivație (paralel) și mixt.

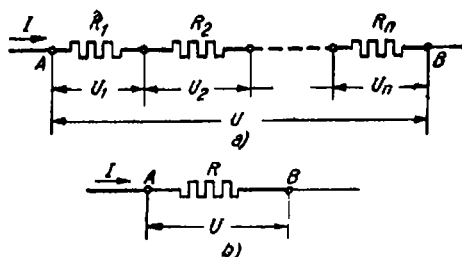
a) *Rezistențe în serie* (fig. 2—5). Căderea de tensiune totală în cele  $n$  rezistențe legate în serie este egală cu suma căderilor

de tensiune din fiecare rezistență (legea a II-a a lui Kirchhoff) deci:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

sau:

$$RI = R_1I + R_2I + \dots + R_nI.$$



Cum curentul  $I$  este același în toate rezistențele legate în serie, rezultă că rezistența echivalentă  $R$  a mai multor rezistențe  $R_1, R_2, \dots, R_n$  legate în serie, este egală cu suma acestor rezistențe:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Fig. 2-5. Legarea în serie a rezistențelor:  
a — rezistențe legate în serie; b — rezistența echivalentă.

$$\text{sau: } R = \sum_{i=1}^{i=n} R_i \quad (2.13)$$

Cînd cele  $n$  rezistențe sînt egale cu  $R_1$ , rezultă:

$$R = nR_1. \quad (2.14)$$

b) *Rezistențe în derivație (în paralel)* (fig. 2—6). Curentul total care trece prin cele  $n$  rezistențe legate în paralel este egal cu suma curenților care trec prin fiecare rezistență (legea I a lui Kirchhoff):

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

Cum tensiunea  $U$  la bornele rezistențelor este aceeași pentru toate rezistențele, se poate scrie:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n},$$

de unde rezultă:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{sau: } \frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{R_i}, \quad (2.15)$$

adică: *inversul rezistenței echivalente  $\frac{1}{R}$  a mai multor rezistențe legate în paralel este egal cu suma inverselor acestor rezistențe.* Din această relație se deduce rezistența echivalentă  $R$ .



În cazul a două rezistențe legate în paralel, cu ajutorul relației (2-15) se deduce expresia rezistenței echivalente:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.16)$$

Cind cele  $n$  rezistențe  $R_i$  sînt egale, rezultă

$$R = \frac{R_i}{n} \quad (2.17)$$

c) *Rezistențe legate mixt.* Se pot face combinații între rezistențe legate în serie și rezistențe legate în derivație (fig. 2-7). Rezistența echivalentă se calculează în acest caz din aproape în aproape.

Astfel, în cazul reprezentat în figura 2-7,  $R_3$  și  $R_4$  sînt în paralel. Se calculează rezistența lor echivalentă  $R_{34}$ ; aceasta se adună cu  $R_2$ , cu care este în serie, obținînd  $R'$ ; aceasta este în paralel cu  $R_5$ ; rezistența echivalentă  $R''$  a acestora este în serie cu  $R_1$ , cu care se adună.

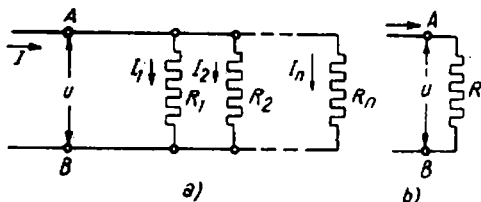


Fig. 2-6. Legarea în derivație a rezistențelor: a — rezistențe legate în derivație; b — rezistența echivalentă.

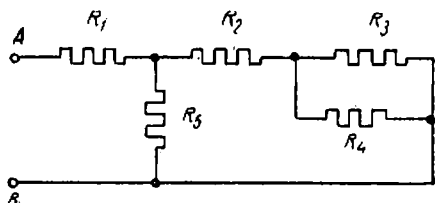


Fig. 2-7. Legarea mixtă a rezistențelor.

## 7. Legea lui Joule-Lenz. Energia electrică

Cind printr-o rezistență  $R$  trece un curent  $I$ , rezistența se încălzește datorită transformării în căldură a energiei electrice  $W$ , dată de relația:

$$W = RI^2t, \quad (2.18)$$

în care  $t$  este timpul cît a trecut curentul prin rezistență. În sistemul MKSA,  $W$  se măsoară în jouli (J),  $R$  — în ohmi ( $\Omega$ ),  $I$  — în amperi (A),  $t$  — în secunde (s).

Pentru a exprima energia  $W$  în calorii mici (cal.), termenul al doilea din relația (2.18) trebuie înmulțit cu echivalentul în calorii al unui joule, adică:

$$Q = 0,24 RI^2t. \quad (2.19)$$

Ținându-se seamă de legea lui Ohm, expresia (2.18) a energiei electrice absorbite de o rezistență electrică se mai poate scrie:

$$W = RI^2t = UIt = \frac{U^2}{R}t. \quad (2.20)$$

Plecând de la relația  $W = UIt$  și ținându-se seama de relația (2.1), din care  $Q = It$ , se deduce:

$$W = UQ.$$

Energia electrică (totală) produsă (debitată) de o sursă cu o forță electromotoare  $E$ , într-un timp  $t$ , când prin sursă trece un curent  $I$ , este:

$$W = EIt. \quad (2.21)$$

Pe baza principiului conservării energiei (energia nu se pierde, nu se creează, ci se transformă), trebuie ca energia produsă de o sursă să fie egală cu energia absorbită (consumată) de circuit. Dacă se consideră circuitul din figura 2-1, energia consumată de circuit este energia absorbită de rezistența  $R$  a circuitului legat la bornele sursei și de rezistența  $r$  din interiorul sursei. Se poate scrie:

$$W_{\text{produs}} = W_{\text{absorbit}} \quad (2.22)$$

$$\begin{array}{ccccc} EIt & = & RI^2t & + & rI^2t. \\ \text{energie} & & \text{energie} & & \text{energie pierdută, din} \\ \text{produsă} & = & \text{utilizată} & + & \text{punct de vedere util,} \\ \text{de sursă} & & \text{în exterior} & & \text{în interiorul sursei} \end{array}$$

sau:

$$EIt = UIt + rI^2t.$$

Energia electrică debitată de o sursă în circuitul legat la bornele ei, absorbită de acest circuit, este:

$$W' = UIt = EIt - rI^2t. \quad (2.23)$$

Practic, energia electrică se măsoară cu ajutorul *contorului electric* și se exprimă în kWh (kilowatt-oră):

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}. \quad (2.24)$$

## 8. Puterea electrică

Puterea electrică este energia electrică raportată la timpul în care ea este produsă sau absorbită:

$$P = \frac{W}{t}. \quad (2.25)$$

Puterea electrică absorbită de o rezistență  $R$  este:

$$P = RI^2 = UI = \frac{U^2}{R}, \quad (2.26)$$

dedusă din expresiile (2.20) și (2.25).

În mod analog, puterea electrică totală produsă de o sursă este:

$$P = EI. \quad (2.27)$$

Puterea electrică debitată de o sursă în circuitul legat la bornele ei și absorbită de acest circuit este:

$$P' = UI. \quad (2.28)$$

În sistemul MKSA puterea se măsoară în W (wați).

Practic, pentru măsurarea puterii se folosește un multiplu al acestei unități și anume kilowattul (kW):

$$1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}. \quad (2.29)$$

Aparatul folosit pentru a măsura puterea electrică se numește wattmetru.

**Aplicație.** O lampă electrică cu incandescență (bec electric) de 60 W și 220 V este aprinsă 4 ore pe zi. Care este energia consumată în timp de o lună (30 de zile)? Să se determine curentul care trece prin lampă și rezistența electrică a lămpii aprinse.

**R e z o l v a r e .** Puterea lămpii, conform enunțului problemei, este:

$$P = 60 \text{ W} = 0,06 \text{ kW}.$$

Această putere este absorbită într-o lună timp de:

$$t = 4 \text{ h/zi} \times 30 \text{ zile} = 120 \text{ h}.$$

Energia consumată va fi:

$$W = Pt = 0,06 \text{ kW} \cdot 120 \text{ h} = 7,2 \text{ kWh},$$

sau:

$$W = 7,2 \text{ kWh} \cdot 3,6 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}} = 25,92 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

Curentul care trece prin lampă se deduce din una din relațiile (2.26):

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0,272 \text{ A}.$$

Rezistența electrică a lămpii este (relația 2.26):

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{P}{I^2} = \frac{U}{I};$$

$$R = \frac{220^2}{60} = \frac{60}{0,272^2} = \frac{220}{0,272} = 806,6 \Omega.$$

*Observație.* Lampa are această rezistență electrică numai la incandescență. În stare rece, la lămpile cu filament metalic, rezistența filamentului este mult mai mică, de circa 10 ori.

# Pile. Acumulatori

## 1. Curentul prin electroliți. Electroliza

Unele lichide, cum sînt acizii, bazele, soluțiile sărurilor, sărurile topite, conduc curentul electric. Trecerea curentului este însoțită de producerea unor fenomene chimice și de aceea aceste corpuri se numesc *conductoare de clasa a doua sau electroliți*. Curentul este trecut prin electroliți prin intermediul a două piese metalice scufundate în electrolit și denumite *electrozi*. Electrodul legat la polul pozitiv al sursei se numește *anod*, iar cel legat la polul negativ *catod* (fig. 3-1).

La trecerea curentului, în jurul electrozilor apar produși chimici rezultați din descompunerea electrolitului.

Descompunerea unui electrolit cu ajutorul curentului electric se numește *electroliză*.

Masa  $M$  de substanță depusă la un electrod prin trecerea unui curent  $I$  în timpul  $t$  este proporțională cu cantitatea de electricitate care străbate electrolitul:

$$M = kIt = kQ, \quad (3.1)$$

în care  $k$  este *echivalentul electrochimic* al substanței depuse (tabela 3-1).

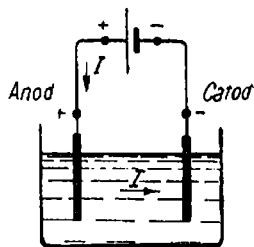


Fig. 3-1. Electroliza.

Tabela 3-1

Echivalenții electrochimici ai citorva elemente

Hydrogen	0,0104 mg/C	Argint	1,118 mg/C
Cupru	0,328 mg/C	Nichel	0,304 mg/C
Zinc	0,338 mg/C		

În sistemul MKSA:  $M$  se măsoară în kg,  $I$  — în A,  $t$  — în s;  
 $k$  — în  $\frac{\text{kg}}{\text{C}}$ .

Electroliza are numeroase aplicații practice, printre care *galvanostegia*, adică acoperirea obiectelor cu un strat subțire de metal pe cale electrolitică (nichelare, galvanizare etc.).

În practică, acolo unde există instalații de tracțiune electrică cu troleu, în curent continuu, curenții de dispersie (vaga-bonzi) care, în loc să circule prin șine, circulă prin pământ pot trece prin diferite piese metalice în contact cu pământul, cum sînt țevile de apă, de aer comprimat, mantaua de plumb a cablurilor. La locurile de pătrundere și de ieșire a curentului, în aceste piese metalice — în prezența umezelii — apar fenomene de electroliză producînd așa-numita *coroziune electrolitică* care distruge metalul, provocînd grave neajunsuri.

## 2. Pile și acumulatori

După cum curentul electric produce efecte chimice, tot astfel fenomenele chimice pot produce energie electrică, energia chimică transformîndu-se în energie electrică.

*Pilele electrice* (elemente galvanice, elemente primare) sînt construite din doi electrozi (cărbune și un metal, sau două metale diferite), separați prin unul sau doi electroliti.

Prin contactul dintre electrozi și electrolit, apare în pilă o forță electromotoare. Dacă circuitul exterior pilei este închis printr-o rezistență (legată la bornele pilei), electrolitul intră în reacție chimică cu electrozii și în circuit apare un curent electric. Astfel, pe seama energiei chimice, pila produce energie electrică pînă la uzarea electrozilor (la construcțiile obișnuite se utilizează electrodul negativ).

În timpul trecerii curentului pila se poate *polariza*, adică, datorită apariției pe unul din electrozi a unui produs chimic rău conducător de electricitate, pila încetează să mai funcționeze. Cu alte cuvinte, pila produce o forță electromotoare de sens opus cu forța electromotoare principală, denumită *forță contra-electromotoare de polarizare*. Pentru a înlătura polarizarea pilei, în jurul electrodului respectiv se pune un *depolarizant*. Depolarizantul este o substanță care intră în reacție chimică cu produsul care cauzează polarizarea pilei.

Pilele la care electrolitul este lichid se numesc elemente sau *pile umede*. Dacă electrolitul este viscos ca o pastă, astfel încât nu curge, pilele se numesc *uscate*.

Cea mai utilizată pilă este pila *Leclanché*. Electrozii ei sînt: zincul — la catod (este chiar cutia elementului, de formă cilindrică), și cărbunele — la anod. Electrolitul este o soluție de țipirig (clorură de amoniu). Depolarizantul este bioxidul de mangan (piroluzită) amestecat cu grafit și așezat într-un săculeț împrejurul catodului (fig. 3-2).

Capacitatea constituie o mărime caracteristică la pile (și acumulatori).

Prin capacitatea unei pile (acumulator) se înțelege cantitatea de electricitate care trece prin circuitul exterior legat la bornele pilei (acumulatorului), pînă la epuizarea acesteia, curentul prin circuit și tensiunea la borne rămînînd între anumite limite prescrise. Capacitatea unei pile se măsoară în *amper-oră* (Ah),  $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$ .

Un element Leclanché uscat are următoarele caracteristici: forța electromotoare 1,45 ... 1,5 V; rezistența interioară variază pe măsura uzării pilei între 0,3 și  $5\Omega$ , capacitatea (în funcție de tipul elementului) de la 0,25 ... 500 Ah.

În R.P.R. se construiesc atît elemente galvanice umede (pile Leclanché pentru telecomunicații și laboratoare), cît și elemente uscate (pentru iluminat și telecomunicații).

Elementele galvanice uscate sînt standardizate prin STAS 808-49. Elementele galvanice grupate în baterii sînt standardizate prin STAS 809-49.

*Acumulatori electrice* (sau pilele electrice secundare) sînt aparate care, legate la o sursă de energie electrică, înmagazinează energie cu ajutorul unor reacții chimice. În această fază se spune că acumulatorul „se încarcă”. Legate apoi într-un circuit electric, acumulatorii produc energie electrică (aproape tot atîta cît s-a consumat la încărcarea lor) pe baza unor reacții chimice

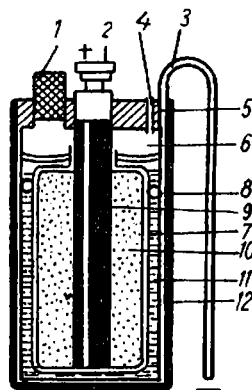


Fig. 3-2.

Pila Leclanché. Secțiune:

- 1 — dop; 2 — bornă pozitivă;
- 3 — bornă negativă; 4 — tub de aerisire; 5 — înveliș izolant exterior (carton); 6 — capac de carton; 7 — săculeț de pînă pentru depolarizant;
- 8 — perle de sticlă pentru centrare și izolare; 9 — electrod de cărbune (anod); 10 — depolarizant; 11 — electrolit; 12 — electrod de zinc (catod).

care se produc în sens invers decât la încărcare. Se spune că în această fază acumulatorul „se descarcă”.

Acumulatorile cele mai folosite sînt: acumulatorul cu plăci de plumb (acumulatorul acid) și acumulatorul cu fero-nichel (acumulatorul alcalin).

*Acumulatorul acid (cu plăci de plumb)* se compune dintr-un vas de ebonită sau sticlă denumit bacul acumulatorului, care conține o soluție diluată de acid sulfuric (electrolitul), în care sînt scufundate cîteva plăci (fig. 3-3).

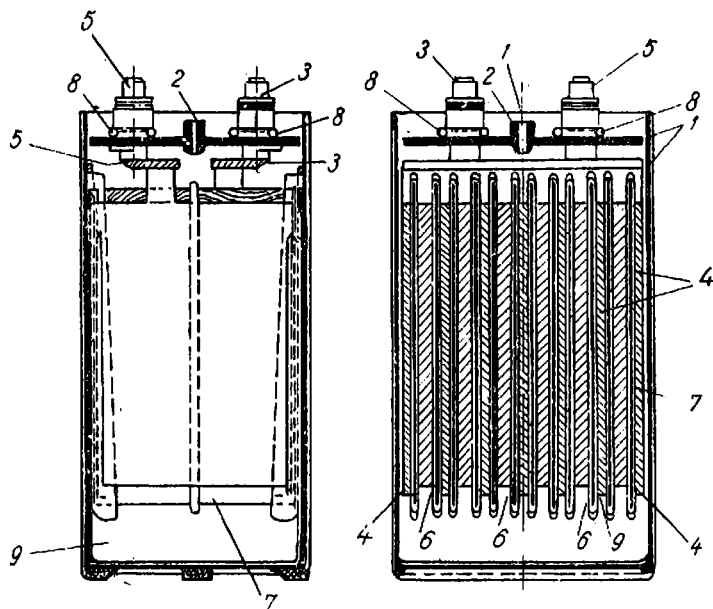


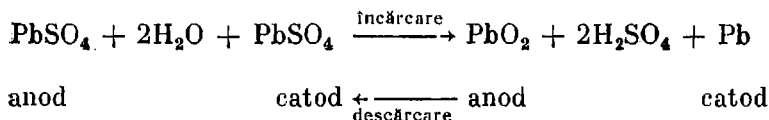
Fig. 3-3. Acumulatorul acid. Secțiune:

1 — vas și capac; 2 — orificiul de umplere; 3 — bornă negativă și puntea de legătură a acesteia cu plăcile negative; 4 — plăci negative; 5 — bornă pozitivă și puntea de legătură a acesteia cu plăcile pozitive; 6 — plăci pozitive; 7 — separatoare între plăci; 8 — inel pentru fixarea capacului; 9 — spațiu pentru depunerea impurităților.

Plăcile acumulatorului, unele pozitive și altele negative, sînt formate dintr-un cadru (ramă, sac) de plumb încărcat cu diferite substanțe active (anumiți oxizi de plumb). Plăcile pozitive (anozii), identice între ele, sînt legate la borna pozitivă, iar cele negative (catozii), de asemenea identice, sînt legate la borna negativă.



Reacția chimică reversibilă care stă la baza funcționării acumulatorului este :



La descărcare, producându-se apă, densitatea acidului scade. Scăderea densității acidului este aproximativ proporțională cu descărcarea. De aceea, prin măsurarea densității acidului, se poate aprecia gradul de descărcare al unui acumulator. Densitatea prescrisă este de 1,24 ... 1,25 pentru acumulatorul încărcat și de 1,17 ... 1,18 pentru acumulatorul descărcat.

În general, încărcarea și descărcarea unui acumulator trebuie făcută cu respectarea strictă a indicațiilor date de fabrica constructoare.

Pentru calcule practice, forța electromotoare a unui element de acumulator se consideră 2V. Rezistența interioară a unui acumulator este cu atât mai mică, cu cât capacitatea acumulatorului este mai mare; în calculele practice se poate lua  $\frac{0,1 \dots 0,2}{C}$  ( $\Omega$ ),

$C$  fiind capacitatea acumulatorului în Ah la regimul de descărcare de 3 ore. Capacitatea unui acumulator depinde de regimul de descărcare. Cu cât descărcarea se face într-un timp mai scurt, deci cu un curent mai mare, capacitatea acumulatorului scade. Notându-se cu 100% capacitatea corespunzătoare regimului de descărcare în 3 ore, capacitatea acumulatorului la alte regimuri de descărcare are valorile indicate în tabela 3-2.

Tabela 3-2

Capacitatea acumulatorului acid la diferite regimuri de descărcare

Regimul de descărcare, în h	1	2	3	5	7,5	10
Capacitatea, %	69	83	100	111	123	133

Pentru încărcarea unui acumulator se consumă o energie electrică  $W_i$  mai mare decât energia electrică  $W_d$  pe care o restituie acumulatorul la descărcare. Raportul:

$$\eta_w = \frac{W}{W_i} \quad (3.2)$$

se numește *randamentul energetic* al acumulatorului; în practică, el are o valoare de circa 0,7 ... 0,8. O parte din acumuloarele cu plăci de plumb sînt standardizate prin STAS 443-52, 444-52, 446-52.

*Acumulatorul alcalin* cu fero-nichel sau cu nichel-cadmium. Vasul acestui acumulator se execută din tablă de oțel nichelat sau cadmiat. Electrolitul este o soluție de hidrat de potasiu (KOH) cu o densitate de 1,2 (24 Beaumé). Electrolitul nu ia parte la reacție și, independent de încărcarea sau descărcarea acumulatorului, el rămîne neschimbat.

În calculele practice, pentru tensiune se ia valoarea medie de 1,2 V.

Acumulatorul alcalin este mai ușor și mai rezistent decât acumulatorul cu plăci de plumb. El admite șocuri de curent, poate fi descărcat complet și lăsat în această situație fără să se degradeze.

Randamentul energetic al acumulatorului alcalin este însă de numai circa 0,5.

În prezent, acumuloarele alcaline sînt din ce în ce mai mult întrebuințate în industrie, la iluminatul individual și la tracțiunea electrică cu electrocare cu acumuloare.

### 3. Gruparea pilelor și a acumuloarelor

Pilele și acumuloarele pot fi grupate în serie, derivație și mixt, alcătuind o baterie. Notîndu-se cu:

- $e$  — forța electromotoare a unui acumulator (sau pilă), în V;
- $r$  — rezistența interioară a unui acumulator (sau pilă), în  $\Omega$ ;
- $q$  — capacitatea unui acumulator (sau pilă), în Ah;
- $i$  — curentul printr-un acumulator (sau pilă), în A;
- $E$  — forța electromotoare a bateriei formate, în V;
- $r_t$  — rezistența interioară (totală) a bateriei, în  $\Omega$ ;

$Q$  — capacitatea bateriei, în Ah;  
 $I$  — curentul care trece prin circuitul exterior, legat la bornele bateriei, în A;  
 $R$  — rezistența circuitului exterior, în  $\Omega$ ,  
 se poate scrie:

a) Pentru gruparea în serie a  $n$  elemente identice (fig. 3—4):

$$\left. \begin{aligned} E &= ne; \quad r_t = nr; \quad Q = q \\ I &= i = \frac{E}{R + r_t} = \frac{ne}{R + nr} = \frac{e}{r + \frac{R}{n}} \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

Această grupare se folosește atunci când este necesar să se obțină o tensiune mai mare decât forța electromotoare a unui element.

b) Pentru gruparea în derivație a  $m$  elemente identice (fig. 3—5):

$$\left. \begin{aligned} E &= e; \quad r_t = \frac{r}{m}; \quad Q = mq \\ I &= mi = \frac{E}{R + r_t} = \frac{e}{R + \frac{r}{m}}; \quad i = \frac{e}{mR + r} \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Această grupare se folosește atunci când este necesar să se obțină un curent mai mare decât cel pe care-l poate da un singur element, sau când rezistența interioară a unui element este prea mare.

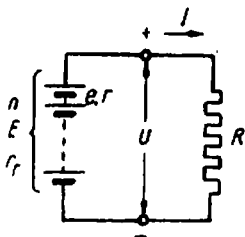


Fig. 3-4. Gruparea elementelor în serie.

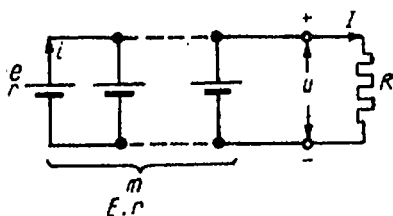
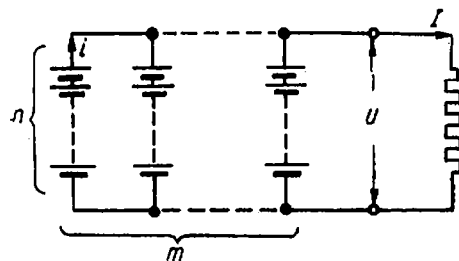


Fig. 3-5. Gruparea elementelor în derivație.

c) Pentru gruparea mixtă a  $m$  grupe în derivație formate din câte  $n$  elemente în serie (fig. 3-6):



$$\left. \begin{aligned} E &= ne; r_i = \\ &= \frac{n}{m} r; Q = mq \\ I &= mi = \frac{E}{R + r_i} = \\ &= \frac{ne}{R + \frac{nr}{m}} = \frac{e}{\frac{r}{m} + \frac{R}{n}}; \\ i &= \frac{e}{r + \frac{m}{n} R} \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Fig. 3-6. Elemente grupate mixt.

În toate aceste cazuri, tensiunea la bornele bateriei se calculează folosind relația.

$$U = E - r_i \cdot I. \quad (3.6)$$

# Magnetism și electromagnetism

## 1. Magneți naturali și magneți artificiali. Cîmp magnetic

În natură există minereuri care conțin fier și au proprietatea de a atrage bucăți mai mici, tot de fier. Proprietatea aceasta se numește *magnetism*, iar minereurile respective, *magneți naturali*. În afară de acești magneți naturali, există și magneți *artificiali*, fabricați, de obicei, din piese de oțel, care sînt frecate, după anumite procedee, cu ajutorul unor magneți naturali.

Magneții artificiali au diverse forme : bară, potcoavă etc. S-a constatat că forțele exercitate de un magnet au o intensitate mult mai mare la extremitățile magnetului, care se numesc *poli magnetici*. Dacă un magnet în formă de ac este suspendat în mijloc, are proprietatea de a se îndrepta cu aceeași extremitate în direcția (aproximativă)

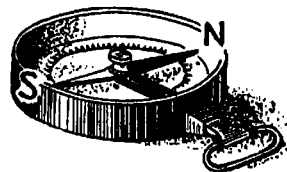


Fig. 4-1. Busolă.

a polului nord geografic. Pe această proprietate se bazează funcționarea *buzolei*. Busola cuprinde de obicei o lamă magnetică, avînd o formă rombică, alungită, care se sprijină pe vârful unui ac vertical (fig. 4-1). Extremitatea care se îndreaptă cu aproximație spre polul nord geografic constituie *polul nord* al magnetului respectiv și se vopsește de obicei în negru. Cealaltă extremitate constituie *polul sud*. S-a constatat la magneți diferiți că *polii de același nume se resping*, iar *polii de nume diferit se atrag*.

Pămîntul se comportă ca un magnet uriaș. Polul său nord magnetic se găsește aproximativ în direcția polului nord geografic, iar polul său sud magnetic, în direcția polului sud geografic.

Ca și în cazul forțelor electrice din câmpul electric, oamenii de știință au căutat să explice cum se transmit forțele magnetice de atracție și de repulsie, de la un corp la altul. Și în acest caz s-a crezut la început că aceste forțe se transmit instantaneu și de la distanță. Mai târziu însă s-a putut dovedi că forțele magnetice se transmit *din aproape în aproape*, prin intermediul unei stări magnetice speciale care se creează în jurul oricărui magnet și care se numește *câmp magnetic*.

## 2. Câmp magnetic datorit curentului electric. Spectre magnetice

Dacă se așază un ac magnetic în apropierea unui conductor străbătut de un curent electric, se constată că acul magnetic este supus unei forțe care-l îndreaptă totdeauna într-o anumită poziție față de conductor.

De exemplu, în cazul din figura 4-2, *a*, busola *B* fiind deasupra curentului, polul nord se va îndrepta spre dreapta, iar în cazul din figura 4-2, *b*, busola *B* fiind sub curent, polul nord se va îndrepta spre stînga.

Dacă deasupra unui magnet în formă de bară se așază o foaie de hîrtie pe care se presară pilitură de fier, se observă că pilitura se orientează după anumite direcții, ca în figura 4-3, constituind

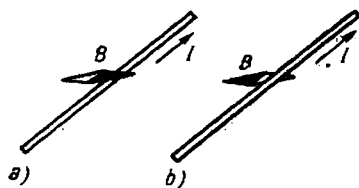


Fig. 4-2. Poziția acului magnetic față de curentul electric:  
*a* — deasupra conductorului;  
*b* — sub conductor.



Fig. 4-3. Spectrul magnetic al unui magnet în formă de bară.

un spectru magnetic. Dacă pilitura de fier se așază pe o foaie de hîrtie, străpunsă de o spirală parcursă de curent electric (fig. 4-4), se observă că pilitura se așază ca și cum spira ar fi tot un magnet, dar ceva mai mic. Dacă în loc de o singură spirală, sînt mai multe spire paralele ale aceleiași bobine (solenoid) parcurse de

curent, ca în figura 4—5, asemănarea între spectrul magnetic al bobinei și acela al magnetului din figura 4—3 este mai accentuată.

Din această constatare se poate trage concluzia că și curentul electric creează în jurul lui un câmp magnetic. Faptul că atât magneții, cât și curenții electrici creează în jurul lor câmpuri

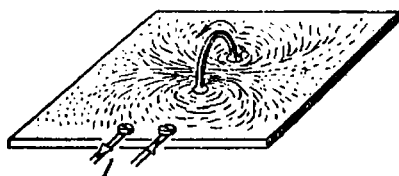


Fig. 4—4. Spectrul magnetic produs de o spirală parcursă de curent.

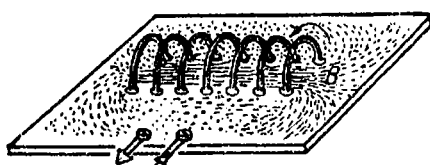


Fig. 4—5. Spectrul magnetic produs de o bobină (solenoid) parcursă de curent.

magnetice, arată că între magneți și curenți trebuie să existe o anumită legătură. Această legătură reiese din însăși explicația științifică a proprietăților materialelor magnetice, care este următoarea:

Se știe că atomii unui corp sînt constituiți dintr-un nucleu încărcat cu o sarcină pozitivă, în jurul căruia se rotesc electronii cu mare viteză pe anumite orbite. Fiecare electron, în circulația lui în jurul nucleului, constituie un mic curent electric în jurul acestui nucleu, după cum electronii care circulă într-un conductor constituie un curent electric în acel conductor.

Fiecare din aceste circuite se comportă ca un mic magnet, iar săgețile respective indică prin vîrfurile lor polul nord, și prin cealaltă extremitate, polul sud respectiv.

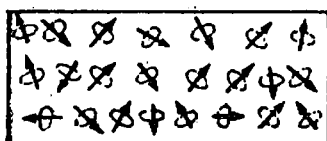


Fig. 4—6. Orientarea atomilor la un material nemagnetic.

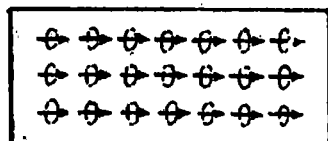


Fig. 4—7. Orientarea atomilor la un magnet.

La un material care nu este magnet, planele circuitelor sînt așezate la întimplare (fig. 4—6), efectul lor magnetic total anihilându-se. Într-un magnet, atomii sînt orientați astfel că micile circuite electrice se găsesc în plane paralele, cu polii de același nume îndreptați în același sens, ca în figura 4—7, astfel încît

efectul lor magnetic se adună. Aceasta explică și faptul că dacă se divide un magnet în mai multe părți, fiecare parte reprezintă tot un magnet.

Din cele expuse rezultă că un cîmp magnetic se datorează totdeauna *deplasării unor sarcini electrice* (electroni) fie că este produs de un curent electric (care corespunde deplasării electronilor de-a lungul unui circuit electric), fie că este produs de un magnet (unde se produce deplasarea electronilor în interiorul atomilor, după cum s-a arătat).

Dacă o piesă de oțel magnetizată este lovită puternic, ea se poate demagnetiza, deoarece circuitele electrice constituite din electronii atomici, care erau la început așezate ordonat, revin în poziții dezordonate din cauza loviturii.

### 3. Inducția magnetică. Linii de forță magnetică

Cîmpul magnetic se poate caracteriza în fiecare punct al său printr-o mărime vectorială, numită *inducție magnetică*, și care se notează de obicei prin simbolul  $B$ .

Direcția inducției magnetice este direcția pe care o capătă un ac magnetic așezat în cîmpul magnetic respectiv. Sensul inducției magnetice se consideră cel indicat de polul nord al acului magnetic, după cum se arată în figura 4—8.

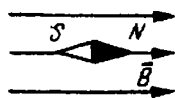


Fig. 4—8. Direcția și sensul vectorului  $\vec{B}$ .

Curbele față de care vectorul  $\vec{B}$  rămâne tangent se numesc *linii de forță magnetică* ale cîmpului magnetic. Aceste linii de forță au totdeauna sensul vectorului  $\vec{B}$  în orice punct.

Există o regulă, numită *regula burghiului*, care permite să se determine sensul liniilor de forță magnetică, după cum se arată în exemplele care urmează. În cazul unui conductor rectiliniu foarte lung ( $c$ ), parcurs de un curent electric ( $I$ ), liniile de forță se găsesc în plane perpendiculare pe direcția curentului și sînt cercuri concentrice cu centrul în punctul unde conductorul străpunge planul (fig. 4—9). Dacă acest plan este materializat printr-o foaie de hîrtie și pe hîrtie se presară pilitură de fier, aceasta se așază după direcția liniilor de forță. Sensul liniilor de forță se găsește astfel folosind *regula burghiului*: un burghiu care se deplasează în direcția curentului se rotește în sensul liniilor de forță magnetică (fig. 4—10). O dată cunoscut sensul liniilor de forță, se poate determina și sensul vectorului  $\vec{B}$  al inducției



magnetice, dat fiind că acest vector are același sens, ca și linia de forță, în punctul unde vectorul este tangent la linia respectivă.

Cu ajutorul acului magnetic se poate preciza sensul liniilor de forță în cazul unui magnet și al unui solenoid, așa cum se

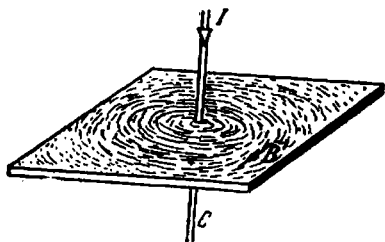


Fig. 4-9. Spectrul magnetic al unui curent rectiliniu foarte lung.

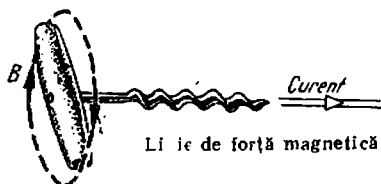


Fig. 4-10. Regula burghiului când curentul este rectiliniu.

arată în figurile 4-11 și 4-12 unde, pentru simplificare, s-au trasat numai cîte patru linii de forță în fiecare caz. Extremitatea unde liniile de forță magnetică ies din bara magnetică sau din solenoid constituie polul nord, iar extremitatea unde

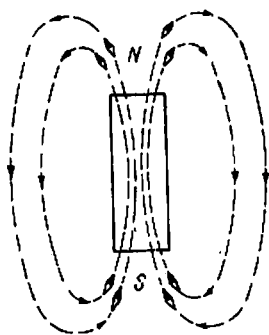


Fig. 4-11. Sensul liniilor de forță magnetică la un magnet în formă de bară.

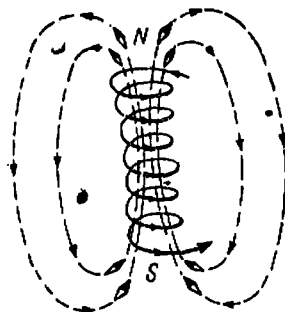


Fig. 4-12. Sensul liniilor de forță magnetică la un solenoid parcurs de curent.

liniile de forță magnetică intră în bara magnetică sau în solenoid constituie polul sud. Pentru a se afla care este polul nord sau sud al unui solenoid (deci sensul liniilor de forță în interiorul solenoidului) parcurs de curent, este suficient să se cunoască sensul curentului și apoi să se aplice regula burghiului, și anu-

me: un burghiu care se rotește în sensul curentului se deplasează în sensul liniilor de forță magnetică (fig. 4—13).

În figura 4—14 s-au trasat liniile de forță magnetică produse de un solenoid în formă de tor (inel) parcurs de un curent. Sensul lor se poate afla folosind regula burghiului, ca și în cazul din figura 4—12.

Valoarea inducției magnetice este proporțională cu *desimea*

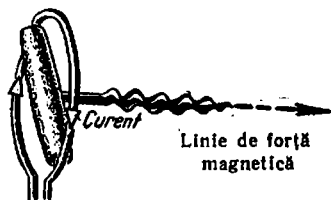


Fig. 4—13. Regula burghiului când curentul este circular.

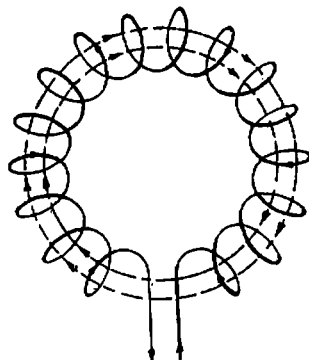


Fig. 4—14. Sensul liniilor de forță magnetică în cazul unui solenoid inelar (în formă de tor) parcurs de curent.

liniilor de forță. În felul acesta, liniile de forță pot da o imagine și asupra felului cum variază valoarea inducției magnetice în diverse locuri. Inducția magnetică se măsoară cu unitatea de măsură numită *tesla* (T).

#### 4. Flux de inducție magnetică

În figura 4—15 s-a reprezentat un magnet în formă de bară. S-au trasat câteva linii de forță în interiorul magnetului. Se observă că prin fața  $ABCD$ , liniile de forță magnetică intră în magnet, iar prin fața  $A'B'C'D'$ , liniile de forță magnetică ies din magnet. În consecință, fața  $ABCD$  constituie polul sud, iar fața  $A'B'C'D'$ , polul nord al magnetului. Bara magnetică are forma unui paralelipiped cu baza un dreptunghi. Liniile de forță sînt perpendiculare pe fețele  $ABCD$  și  $A'B'C'D'$  precum și pe orice secțiune făcută prin magnet perpendicular pe axa sa (adică secțiune dreaptă), cum este de exemplu secțiunea  $A''B''C''D''$ . Dacă intensitatea vectorului inducție magnetică în interiorul magnetului este  $B$ , iar suprafața secțiunii

$A''B''C''D''$  (pe care vectorul  $\vec{B}$  este perpendicular în orice punct), este  $S$ , atunci expresia:

$$\Phi = B \cdot S,$$

adică valoarea inducției magnetice multiplicată cu valoarea suprafeței pe care inducția magnetică este perpendiculară, se numește *flux de inducție magnetică* în raport cu suprafața  $S$ . Fluxul de inducție magnetică, sau pe scurt *fluxul magnetic*, se

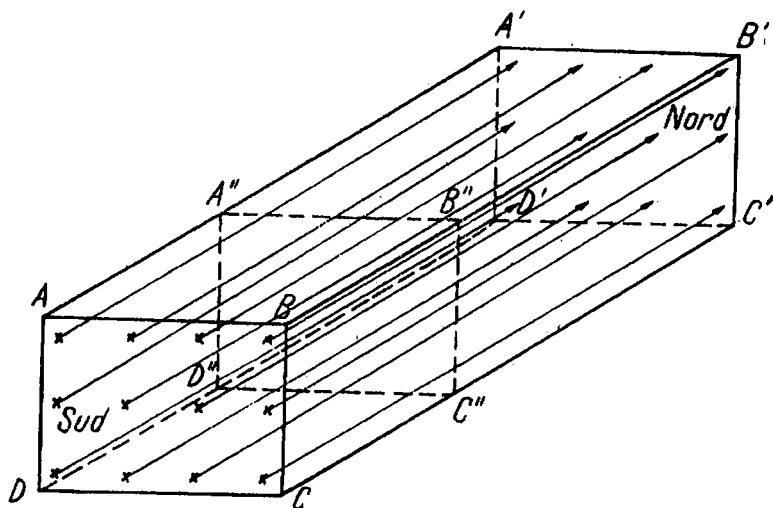


Fig. 4-15. Fluxul magnetic în interiorul unui magnet.

notează de obicei cu litera mare grecească  $\Phi$  (se citește „fi“.) Se întrebuițează de multe ori și expresia: „flux magnetic prin suprafața  $S$ ” deoarece liniile de forță respective trec prin suprafața  $S$ . Dacă suprafața  $S$  se măsoară în metri pătrați, iar inducția magnetică în tesla, rezultă pentru fluxul magnetic o unitate de măsură numită *weber* (Wb). Din relația:

$$\Phi = B \cdot S \quad (4.1)$$

rezultă:

$$B = \frac{\Phi}{S},$$

adică valoarea inducției magnetice  $B$ , măsurată în tesla, este egală cu valoarea fluxului magnetic  $\Phi$ , măsurat în weberi, împăr-

țită prin valoarea suprafeței  $S$ , măsurată în metri pătrați. În consecință, inducția magnetică se poate măsura și în *weber pe metru pătrat* ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ ), iar  $1 \text{ tesla} = \frac{1 \text{ Wb}}{\text{m}^2}$ .

În figura 4-16 s-a considerat o bobină cu  $n$  spire, fiecare spiră avînd suprafața  $S$ . Dacă această bobină este străbătută în interiorul ei de liniile de forță ale unui cîmp de inducție magnetică  $B$  (în figură s-a reprezentat, pentru simplificare, numai linia din axul bobinei), fluxul magnetic raportat la o spiră este:

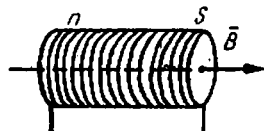


Fig. 4-16. Fluxul magnetic al unei bobine.

$$\Phi_s = B \cdot S,$$

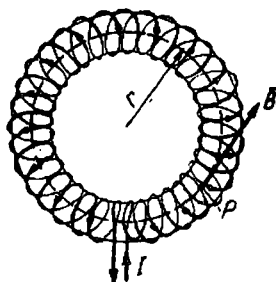
iar fluxul magnetic *total*, pentru întreaga bobină de  $n$  spire este:

$$\Phi_b = n \cdot B \cdot S. \quad (4.2)$$

## 5. Inducția magnetică și cîmpul magnetic datorîți curenților electrici

În aplicațiile practice este util să se cunoască inducția magnetică datorită curenților electrici, în cîteva cazuri care se întîlnesc mai frecvent.

*Cazul bobinei inelare.* În figura 4-17 se consideră o bobină inelară parcursă de curenul electric  $I$  avînd raza cercului mediu egală cu  $r$ . În orice punct al acestui cerc mediu, care reprezintă și o linie de forță magnetică, vectorul inducției magnetice  $B$  este tangent la acest cerc. Pentru a afla sensul acestui vector, se aplică regula burghiului: sensul vectorului inducție magnetică este sensul în care se deplasează burghiul atunci cînd este rotit în sensul curențului. Dacă se notează cu  $n$  numărul de spire și cu  $l$  lungimea cercului mediu ( $2\pi r$ ), valoarea inducției magnetice este:



$$B = \mu_0 n_s I$$

$$B = \mu_0 \frac{n}{l} I.$$

(4.3) Fig. 4-17. Inducția magnetică într-o bobină inelară.

În această relație intervine și factorul  $\mu_0$ , care poartă numele de *permeabilitatea magnetică* a vidului. În general, permeabilitatea magnetică a unui mediu oarecare se notează cu litera grecească  $\mu$  (se citește „miu“) și depinde de proprietățile magnetice ale acestui mediu. Când mediul este aerul, permeabilitatea magnetică se notează tot cu  $\mu_0$  fiind practic egală cu permeabilitatea vidului. Valoarea acestei permeabilități este:

$$\mu_0 = \frac{4 \pi}{10^7} \frac{\text{Wb}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

Se numește *permeabilitate magnetică relativă*  $\mu_r$  a unui mediu, raportul dintre permeabilitatea magnetică  $\mu_0$  a mediului și aceea a vidului, adică:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}. \quad (4.4)$$

Dacă se împarte valoarea inducției magnetice la valoarea permeabilității magnetice a mediului respectiv, se capătă *intensitatea cîmpului magnetic*, care este tot o mărime vectorială, ce se notează de obicei cu  $\vec{H}$ .

În cazul bobinei înelare din figura 4—17, se poate scrie:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{n}{l} I = n_s I \quad (4.5)$$

unde:

$$n_s = \frac{n}{l}$$

este numărul de spire pe unitatea de lungime a bobinei.

Direcția și sensul vectorului  $\vec{H}$  coincide cu direcția și sensul vectorului  $\vec{B}$ .

*Cazul bobinei drepte.* În figura 4—18 se consideră o bobină dreaptă de lungime  $l$ , cu  $n$  spire, și parcursă de curentul  $I$ . Într-un punct de pe axul bobinei, direcția vectorului inducție magnetică  $\vec{B}$  și intensitatea cîmpului  $\vec{H}$  coincid cu direcția axului bobinei. Sensul se găsește folosind regula burghiului, iar valorile sînt date de relațiile:

$$B = \mu_0 \frac{n}{l} I = \mu_0 n_s I,$$

$$H = \frac{n}{l} I = n_s I.$$

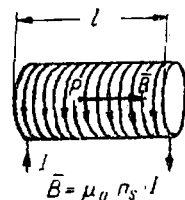


Fig. 4—18. Inducția magnetică într-o bobină dreaptă.

Aceasta este cu atât mai exact, cu cât bobina este mai lungă în raport cu grosimea și cu cât punctul considerat este mai depărtat de extremitățile bobinei.

Dacă intensitatea curentului se măsoară în amperi, iar lungimea în metri, rezultă pentru  $H$  o unitate de măsură numită *amper-spiră pe metru* (A. sp/m). Explicația denumirii acestei unități de măsură rezultă din ultima relație.

Valoarea intensității cimpului magnetic este totdeauna proporțională cu intensitatea curentului care o produce, după cum rezultă și din relațiile arătate mai înainte.

## 6. Forțe electromagnetice și forțe electrodinamice

Forța  $\vec{F}$  care se exercită asupra unui curent situat într-un cîmp magnetic se numește *forță electromagnetică*. Direcția acestei forțe este perpendiculară pe planul constituit de vectorul inducție magnetică  $\vec{B}$  și de direcția curentului  $I$ . Dacă direcția curentului este perpendiculară pe direcția liniilor de forță magnetică, forța electromagnetică este dată de formula:

$$F = B \cdot I \cdot l, \quad (4.6)$$

Cînd  $B$  se măsoară în tesla,  $I$  în amperi și  $l$  în metri, forța  $F$  se obține în newtoni.

În figura 4—19 se arată procedeul care trebuie aplicat pentru a se putea determina sensul acestei forțe. Se presupune că vectorul inducție magnetică  $\vec{B}$  este orizontal și dirijat de la dreapta la stînga ca în figură. Curentul  $I$  este perpendicular pe planul hîrtiei și se presupune că are sensul din față înspre spatele hîrtiei. Acest sens al curentului este indicat în figură printr-o cruce. Dacă sensul curentului ar fi fost invers, adică din spatele hîrtiei spre față, s-ar fi indicat printr-un punct. (Punctul ar reprezenta vârful unei săgeți, iar crucea ar reprezenta coada săgeții). Forța  $\vec{F}$ , fiind perpendiculară pe planul format de  $B$  și  $I$ , va fi, în cazul dat, verticală. Rămîne să se determine dacă forța  $\vec{F}$  este dirijată în sus sau în jos. S-au punctat cercurile care reprezintă liniile de forță magnetică ale curentului.

Aceste linii au sensul orar, conform cu regula burghiului. În partea inferioară a conductorului, sensul liniilor de forță este același atât pentru cîmpul magnetic de inducție  $\vec{B}$ , în care

se găsește curentul, cît și pentru curent; efectul lor se adună, iar liniile de forță rezultante se îndesesc. În partea superioară a conductorului, dimpotrivă, ele se răresc, deoarece liniile de forță magnetică ale curentului au sens contrar față de liniile de forță magnetică ale cîmpului magnetic de inducție  $\vec{B}$ . Regula este următoarea: *Sensul forței electromagnetice este dinspre liniile mai dese înspre liniile mai rare*, adică de jos în sus în cazul figurii. Se mai poate afla sensul forței electromagnetice și cu ajutorul regulii mîinii stîngi: *Se așază mîna stîngă astfel încît liniile de forță magnetică să intre prin palmă, iar vîrfurile degetelor arătătoare să se găsească în sensul curentului; ținînd mîna desfăcută, vîrfurile degetelor mare arată sensul forței* (fig. 4-19).

Forțele electromagnetice intervin în funcționarea mașinilor electrice. La aceste mașini, forțele electromagnetice constituie de obicei cupluri electromagnetice.

Forța la care este supus un curent, care se găsește într-un cîmp magnetic produs tot de un curent, se numește *forță electro-dinamică*.

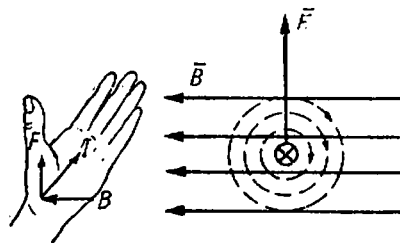


Fig. 4-19. Aflarea sensului forțelor electromagnetice.

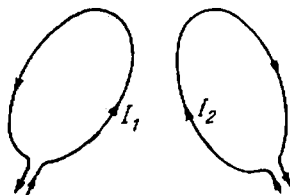


Fig. 4-20. Forțe electro-dinamice.

În figura 4-20 se consideră două circuite situate în aer și parcurse de curenții  $I_1$  și  $I_2$ . *Forța electrodinamică*, care se exercită asupra fiecărui curent, este proporțională cu produsul intensităților celor doi curenți, adică:

$$F = kI_1 I_2. \quad (4.7)$$

Mașinile electrice au bobinaje constituite din spire străbătute de curenți electrice. Din această cauză, dacă curenții sînt intensi, pot apărea forțe electrodinamice care să deformeze spirele și să deterioreze materialul. Mașinile electrice trebuie astfel calculate, încît să reziste la acțiunea forțelor electrodinamice.

## 7. Magnetizarea și demagnetizarea oțelului. Histeresis

În figura 4-21 se consideră o bobină de lungime  $l$  cu  $n$  spire, înfășurată în jurul unui miez de oțel. Dacă se lasă să treacă un curent electric  $I$  prin bobină, în interiorul bobinei apare o inducție magnetică:

$$B = \mu \cdot n_s \cdot I,$$

în care:

$\mu$  este permeabilitatea magnetică a oțelului, iar  
 $n_s$  — numărul de spire pe unitatea de lungime a bobinei,  
 adică  $n_s = n/l$ .

Se știe că vectorul intensității cîmpului magnetic are valoarea:

$$H = n_s \cdot I.$$

Dacă se înlocuiește valoarea produsului  $n_s \cdot I$  prin  $H$  în relația de sus se obține:

$$B = \mu H. \quad (4.8)$$

Datorită cîmpului magnetic produs de curentul care străbate bobina, atomii miezului de oțel se orientează din punct de vedere

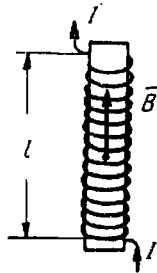


Fig. 4-21. Bobină.

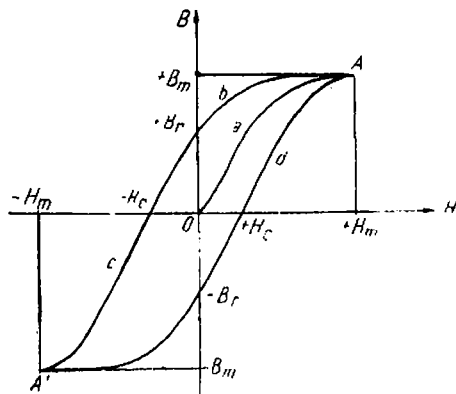


Fig. 4-22. Ciclul de histeresis al oțelului.

magnetic așa cum s-a arătat în paragraful 2. În miezul de oțel apare o inducție magnetică mult mai mare decât dacă bobina ar fi goală, prin faptul că permeabilitatea magnetică a oțelului



este mult mai mare decît aceea a aerului. Apariția în oțel a acestei inducții magnetice de valoare mare se constată experimental prin *magnetizarea oțelului*, adică oțelul devine un magnet. Cu cît inducția magnetică în oțel este mai mare, cu atît oțelul se magnetizează mai intens, adică devine un magnet mai puternic. Dacă se întrerupe curentul în bobină, se constată că miezul de oțel pierde proprietățile magnetice, se *demagnetizează*.

În figura 4—22 se arată cum variază inducția magnetică  $B$  în oțel în funcție de variația intensității cîmpului magnetic. Curba  $OaA$  arată această variație atunci cînd intensitatea cîmpului magnetic  $H$  crește de la zero la o anumită valoare maximă  $H_m$ . Această creștere a intensității cîmpului magnetic se obține prin creșterea curentului  $I$  pînă la valoarea care dă pentru intensitatea cîmpului magnetic valoarea  $H_m$ . Dacă se observă pe figură curba  $OaA$ , se vede că la început această curbă are o mică curbură în sus, apoi se apropie mult de o linie dreaptă, pentru ca spre sfîrșit să formeze un cot mai mare cu curbura în jos, după care ia din nou forma unei linii drepte orizontale. Aceasta înseamnă că inducția magnetică  $B$  nu crește proporțional cu  $H$ , deoarece permeabilitatea  $\mu$  nu rămîne constantă, ci variază după o anumită lege (atunci cînd  $H$  variază). În ceea ce privește variația inducției magnetice  $B$  conform curbei  $OaA$ , se vede că la început  $B$  crește mai încet, apoi crește foarte repede odată cu  $H$  (porțiunea dreaptă a curbei  $OaA$ ) pentru ca apoi creșterea să fie din ce în ce mai înceată, iar dincolo de punctul  $A$ , oricît s-ar mări intensitatea cîmpului magnetic  $H$ , inducția magnetică (deci magnetizarea oțelului) rămîne la o anumită valoare maximă egală cu  $B_m$ . Se spune că oțelul a ajuns la *saturație magnetică*. Curba  $OaA$  care arată cum variază inducția magnetică, adică cum variază magnetizarea oțelului, în funcție de variația intensității cîmpului magnetic, se numește *curba de magnetizare a oțelului*.

Se continuă apoi experiența, prin micșorarea intensității cîmpului magnetic, de la valoarea  $+H_m$  la zero. Aceasta se obține micșorînd intensitatea curentului din bobină, de la valoarea la care ajunsese, pînă la zero. Se observă că de data aceasta, inducția magnetică  $B$  nu mai are aceleași valori, pe care le avușese atunci cînd  $H$  crescuse de la  $0$  la  $+H_m$ , ci are mereu valori mai mari, astfel încît atunci cînd  $H$  revine la valoarea zero, inducția magnetică, în loc să revină la zero, păstrează încă o anumită valoare  $+B_r$ , ceea ce arată că deși *cauza* care producea magnetizarea, adică  $H$ , a dispărut, oțelul mai păstrează o anumită magnetizare corespunzătoare inducției magnetice  $B_r$ , care poartă numele de *magnetism remanent*. Valoarea acestui magne-

tism remanent depinde de calitatea oțelului. Unele calități se demagnetizează aproape complet când  $H$  s-a anulat (oțelul moale), altele, dimpotrivă, păstrează un important magnetism remanent (oțelul dur).

Pentru a face să dispară acest magnetism remanent, deci pentru a anula inducția magnetică  $B_r$ , care a rămas în oțel, este necesar să se producă în oțel o valoare negativă pentru intensitatea cîmpului magnetic  $H$ . Aceasta se obține schimbînd sensul curentului în bobină. În figură se observă că în momentul cînd  $H$  a atins valoarea negativă  $-H_c$ , inducția magnetică în oțel s-a anulat, oțelul s-a demagnetizat complet. Intensitatea cîmpului magnetic  $-H$ , pentru care inducția magnetică s-a anulat, se numește *forță coercitivă*.

Dacă se micșorează mai departe  $H$ , se vede că inducția magnetică devine negativă. Aceasta înseamnă că se schimbă sensul magnetizării în oțel, adică acolo unde era polul nord se formează un pol sud și invers. Scăderea inducției magnetice continuă dacă  $H$  scade mai departe, pînă ce atinge valoarea  $-B_m$  pentru valoarea  $-H_m$  a intensității cîmpului magnetic în punctul  $A'$ . Apoi oțelul se saturează din nou. Cînd oțelul are inducția magnetică minimă  $-B_m$  înseamnă că el este totuși magnetizat la maximum, numai că în sens invers de felul în care a fost magnetizat prima dată (polul nord a devenit pol sud și invers).

Dacă apoi se face să crească intensitatea cîmpului magnetic de la valoarea  $H_m$  la zero (făcînd să varieze curentul din bobină, de la valoarea la care ajunsese pentru  $-H_m$ , la valoarea zero) se constată că și inducția magnetică începe să crească de la valoarea minimă  $-B_m$ , dar în momentul cînd intensitatea cîmpului magnetic s-a anulat din nou, inducția magnetică nu se anulează, ci mai păstrează valoarea  $-B_r$ , ceea ce arată că oțelul păstrează un magnetism de sens contrar (polii magnetici s-au inversat) acela care corespunde inducției magnetice  $+B_r$ . În sfîrșit, pentru ca inducția magnetică negativă să se anuleze (să dispară din nou magnetismul din oțel), trebuie ca intensitatea cîmpului magnetic să ajungă la valoarea pozitivă  $+H_c$ . Prin creșterea mai departe a intensității cîmpului magnetic de la  $+H_c$  la valoarea maximă  $+H_m$ , inducția magnetică crește de la valoarea zero la valoarea  $+B_m$ , după ramura  $d$  a curbei din figură, astfel încît se închide ciclul în punctul  $A$ .

După aceasta, variînd în mod continuu valoarea intensității cîmpului magnetic între  $+H_m$  și  $-H_m$ , inducția magnetică variază mereu după același ciclu, care corespunde curbei  $AbcA'dA$ , iar oțelul se magnetizează și se demagnetizează succesiv, după cum s-a arătat.

Numai prima dată, adică înainte ca oțelul să mai fi fost magnetizat, curba de magnetizare a corespuns traseului  $OaA$ . Faptul că pe curba  $Ab$  de demagnetizare, în momentul cînd cauza care producea magnetizarea, adică  $H$  s-a anulat, inducția magnetică, adică magnetizarea, nu a dispărut, ci a mai păstrat valoarea  $+B_r$ , înseamnă că *efectul* — adică  $B_m$ , sau magnetizarea — a rămas în urma cauzei, adică  $H$ . Această rămînere în urmă a efectului față de cauză se observă de altfel de-a lungul întregului ciclu de magnetizare și demagnetizare  $AbcA'dA$ . Din această cauză, fenomenul poartă numele de *hysteresis*, de la cuvîntul grecesc *hystereis*, care înseamnă întîrziere. De altfel și ciclul menționat se numește *ciclu de hysteresis*, iar curba respectivă, *curbă de hysteresis*.

De cîte ori se magnetizează sau se demagnetizează o bucată de oțel, fenomenul este, așadar, întîrziat de o cauză, care se opune acestei magnetizări sau demagnetizări. În consecință, pentru a se magnetiza sau demagnetiza oțelul, trebuie să se consume o anumită energie, care să învingă această cauză care

se opune. Energia care se consumă se transformă apoi în căldură, ceea ce se poate constata experimental. Suprafața închisă de ciclul de histeresis este proporțională tocmai cu această energie.

În figura 4-23 se dau câteva curbe de magnetizare pentru fontă și unele calități de oțel.

În figura 4-24 s-a considerat o bucată de oțel în câmpul magnetic produs de un magnet mai mare, în formă de potcoavă. Bara de oțel, având o permeabilitate magnetică mult mai mare decât aerul, se comportă ca și cum ar lăsa să treacă mult mai ușor liniile de forță magnetică prin oțel decât prin aer. Din această cauză, în bara de oțel, liniile de forță sînt mai dese, iar valoarea inducției magnetice este mai mare decât în aer.

Prin fața din stînga a barei de oțel intră liniile de forță magnetică, iar prin fața din dreapta liniile ies din bara de oțel. Din această cauză, bara devine un magnet, cu polul nord la dreapta și polul sud la stînga.

Din punct de vedere magnetic, materialele se pot împărți în mai multe categorii. Fierul și aliajele sale au o permeabilitate magnetică mult mai mare decât aceea a vidului, iar valoarea acestei permeabilități are, după cum s-a văzut, o anumită lege de variație în raport cu valoarea intensității câmpului magnetic în care se găsește materialul. Asemenea materiale se numesc *feromagnetice*. De aceleași proprietăți feromagnetice se bucură, de exemplu, și cobaltul sau nichelul. Alte corpuri



Fig. 4-24. Bară de oțel în câmp magnetic.

(aluminiiu, platina, cromul, paladiul) au o permeabilitate magnetică care depășește cu foarte puțin permeabilitatea magnetică a vidului. Astfel de corpuri se numesc *paramagnetice*. În sfîrșit, o a treia categorie (aurul, argintul, cuprul, zincul, antimoniu) au permeabilitatea magnetică cu foarte puțin mai mică decât aceea a vidului. Aceste corpuri se numesc *diamagnetice*.

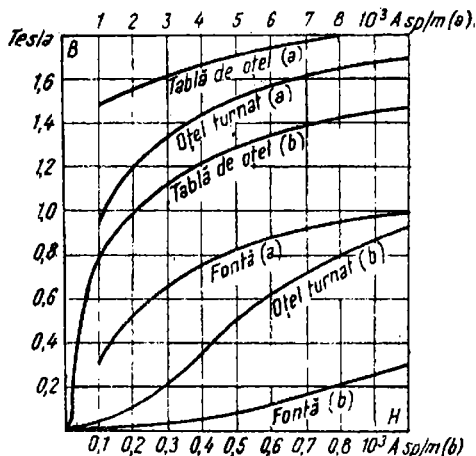


Fig. 4-23. Curbe de magnetizare.

## 8. Electromagneți

O bară de oțel moale înconjurată de o înfășurare parcursă de un curent electric devine magnet, putînd atrage piese de oțel cu o forță proporțională cu pătratul inducției magnetice ( $B^2$ ). Un astfel de magnet poartă numele de *electromagnet*. Deoarece oțelul moale are un magnetism remanent neglijabil, înseamnă că de cîte ori nu mai trece curent electric prin înfășurare, electromagnetul își pierde calitățile lui magnetice. Pe această proprie-

tate se bazează funcționarea a numeroase tipuri de electromagneți industriali. Un exemplu de folosire a electromagneților este soneria electrică.

În figura 4—25 este reprezentată schema constructivă a unei sonerii electrice. Cînd se apasă pe butonul *B*, se închide circuitul alimentat de bateria de pile *P* și un curent electric trece prin înfășurările electromagnetului *E*, care atrage armătura *A* de oțel fixată prin intermediul lamei de oțel *L* în punctul *O*. În momentul cînd armătura a fost atrasă, circuitul se întrerupe în dreptul șurubului *S*. Nemitrecînd curent prin înfășurările electromagnetului, forța de atracție asupra armăturii încetează,

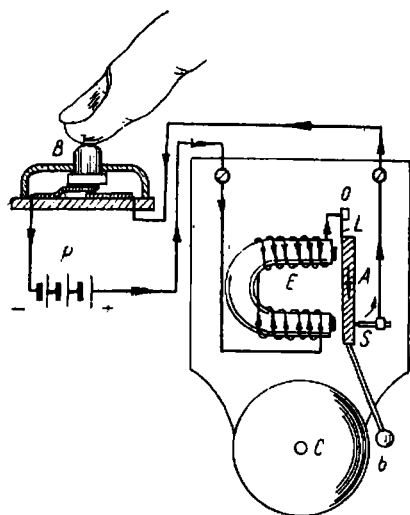


Fig. 4—25. Soneria electrică.

și aceasta sub efectul de arc al lamei *L* revine în poziția inițială, făcînd din nou contact cu șurubul *S* și restabilind astfel continuitatea circuitului. Din nou trece curent prin înfășurările electromagnetului, care atrage iarăși armătura ș.a.m.d.; atît timp cît se apasă pe buton, armătura are o mișcare permanentă de du-te-vino.

Prin intermediul unei pîrghii, armătura este solidară cu o sferă mică de metal *b*, care în consecință va lovi clopotul *C* de cîte ori armătura va fi atrasă de electromagnet. Cînd se ridică mîna de pe buton, funcționarea soneriei încetează.

## 9. Circuitul magnetic

În figura 4-26 se consideră o piesă de oțel inelară, avînd pe o anumită porțiune o înfășurare constituită din  $n$  spire parcurse de curentul  $I$ . După cum se știe, acest curent dă naștere la un cîmp magnetic. Liniile de forță ale acestui cîmp se vor stringe în interiorul piesei de oțel, din cauza mării permeabilități magnetice a acestui material. Valoarea inducției magnetice în miezul de oțel este:

$$B = \mu \cdot n_s \cdot I = \mu \frac{n}{l} I,$$

în care  $l$  este lungimea medie a inelului de oțel:  $l = 2 \pi r$ ,  $r$  fiind raza cercului mediu al inelului.

Sensul inducției magnetice ca și cel al liniilor de forță magnetică din oțel, care sînt cercuri concentrice cu centrul în  $O$ , se află folosind regula burghiului.

Dacă se notează cu  $S$  suprafața înconjurată de o spirală, fluxul magnetic corespunzător unei spire este:

$$\Phi = B \cdot S = \mu \cdot \frac{nI}{l} \cdot S = \frac{nI}{\frac{l}{\mu S}}.$$

Expresia:

$$\mathcal{R} = n I \quad (4.9)$$

se numește *forța magnetomotoare*, iar expresia:

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu S} \quad (4.10)$$

se numește *reluctanța magnetică* a miezului de oțel.

Făcîndu-se înlocuirile, se poate scrie:

$$\Phi = \frac{\mathcal{R}}{\mathcal{R}}, \quad (4.11)$$

ceea ce arată că fluxul magnetic este egal cu *forța magnetomotoare împărțită prin valoarea reluctanței magnetice*.

Forța magnetomotoare nu este o forță mecanică, ci trebuie considerată drept cauza care produce fluxul magnetic. Deoarece

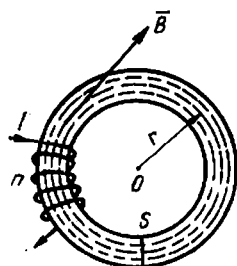


Fig. 4-26. Circuit magnetic inelar.

cu cât reluctanța este mai mare, cu atât fluxul magnetic este mai mic, se vede că mărimea numită reluctanță se comportă ca o rezistență magnetică față de flux. Formula de mai înainte se aseamănă cu formula corespunzătoare legii lui Ohm.

Drumul pe care-l parcurg liniile de forță magnetică (fig. 4—26) se numește *circuit magnetic*. Din această cauză, relația de mai înainte care dă valoarea fluxului magnetic  $\Phi$  în funcție de forța magnetomotoare  $\mathcal{F}$  și de reluctanța magnetică  $\mathcal{R}$ , poartă numele de *legea circuitului magnetic*, după cum legea lui Ohm este *legea circuitului electric*.

Fluxul magnetic  $\Phi$  determinat prin legea circuitului magnetic corespunde nu numai unei spire a bobinei din figura 4—26, dar *oricărei secțiuni drepte*  $S$  prin inelul de oțel, dat fiind că aceleași linii magnetice trec prin oricare asemenea secțiune.

În figura 4—27 s-a presupus că miezul de oțel este întrerupt pe o porțiune mică având lungimea  $l_a$ . În acest caz, circuitul magnetic este constituit din două medii diferite, și anume o porțiune de oțel de lungime  $l_o$  și o porțiune de aer de lungime  $l_a$ . Porțiunea de aer din circuitul magnetic se numește *întrefier*.

În acest caz, în formula corespunzătoare legii circuitului magnetic trebuie să se introducă pentru reluctanță doi termeni, și anume un termen egal cu reluctanța porțiunii de oțel, adică:

$$\frac{l_o}{\mu \cdot S}$$

și un al doilea termen egal cu reluctanța porțiunii de aer, adică:

$$\frac{l_a}{\mu_o \cdot S}.$$

Fig. 4—27. Circuit magnetic inelar cu întrefier.

Legea circuitului magnetic se scrie în acest caz:

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}} = \frac{n I}{\frac{l_o}{\mu \cdot S} + \frac{l_a}{\mu_o \cdot S}} \quad (4.12)$$

Dacă, în general, se presupune că de-a lungul unui circuit magnetic oarecare există diverse porțiuni cu lungimile  $l_1, l_2, \dots$

secțiunile  $S_1, S_2, \dots$  și permeabilitățile magnetice  $\mu_1, \mu_2, \dots$  relația de mai înainte se poate scrie:

$$\Phi = \frac{n I}{\frac{l_1}{\mu_1 \cdot S_1} + \frac{l_2}{\mu_2 \cdot S_2} + \dots} \quad (4.13)$$

Introducerea unui întrefier are drept efect o mărire importantă a reluctanței circuitului magnetic. Circuitele magnetice cu întrefier se întâlnesc în aplicațiile practice, în special la mașinile electrice. La aceste mașini, calculul fluxului magnetic se bazează pe legea circuitului magnetic. La mașinile electrice este necesar să se obțină un flux magnetic cât mai mare. În acest scop, între altele, se micșorează reluctanța magnetică, făcându-se întrefierul circuitului magnetic respectiv cât mai redus, după cum se va arăta la studiul mașinilor electrice.

## 10. Forța portantă a electromagnetului

Printre diversele aplicații practice ale electromagnetului există și utilizarea lui ca macara pentru transportarea pieselor de oțel, care sînt atrase de electromagnet. Forța maximă cu care un astfel de electromagnet poate atrage o armătură de oțel se numește *forță portantă*. Valoarea acestei forțe portante indică și valoarea greutateii piesei ce poate fi ridicată de către electromagnet. În figura 4-28 s-a presupus un electromagnet în formă de potcoavă, avînd în fața polilor săi o armătură de oțel. Expresia care dă valoarea forței portante este în acest caz următoarea:

$$F = \frac{B^2 S}{\mu_0}, \quad (4.14)$$

în care:

- $B$  este inducția magnetică în întrefierul dintre armătură și poli, în tesla;
- $S$  — suprafața secțiunii străbătute de liniile magnetice ale unui pol, în metri pătrați;
- $\mu_0$  — permeabilitatea magnetică a întrefierului, egală cu  $4 \pi / 10^7$  unități de permeabilitate.

Forța portantă  $F$  rezultă în newtoni.

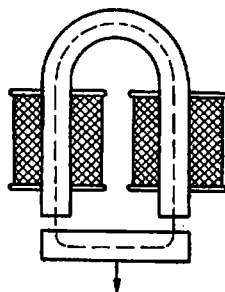


Fig. 4-28. Electromagnet pentru ridicare de greutate.

## Inducția electromagnetică

## 1. Producerea forței electromotoare de inducție prin variația fluxului magnetic în spire

Se consideră (fig. 5—1) o bobină la bornele căreia este legat un aparat *A*, care poate indica trecerea unui curent electric. Dacă se introduce, de exemplu de sus în jos, un magnet *M* în bobină, se observă că, în timpul deplasării magnetului, prin bobină trece un curent electric. După ce magnetul s-a oprit, curentul dispare (acul aparatului *A* revine la zero). Dacă se scoate magnetul din bobină, se observă din nou trecerea unui curent

electric, de sens contrar cu primul (acul aparatului *A* deviază în sens contrar față de prima dată). După ce magnetul a fost scos complet din bobină și îndepărtat, curentul se anulează din nou.

În timpul în care magnetul nu era introdus în bobină, spirele bobinei nu erau străbătute de linii de forță magnetică, adică fluxul magnetic prin aceste spire era nul. Pe măsura introducerii magnetului, numărul de linii de forță care străbăteau fiecare spirală a crescut, astfel că la sfârșit fluxul magnetic prin fiecare spirală a devenit

$$\Phi = B \cdot S$$

în care *B* este inducția magnetică corespunzătoare cîmpului magnetic din interiorul fiecărei spire, în momentul cînd magnetul era complet introdus în bobină, iar *S*, suprafața unei spire.

Fig. 5-1.  
Inducția electromagnetică prin introducerea unui magnet într-o bobină.



Cît timp magnetul a rămas în interiorul bobinei, fluxul magnetic prin fiecare spiră a rămas constant și egal cu valoarea arătată mai înainte. În timpul scoaterii magnetului, fluxul magnetic *a descrescut* din nou pînă la zero.

Din cele arătate se trage următoarea concluzie: *Cînd fluxul magnetic dintr-o spiră variază, în spiră ia naștere o forță electromotoare, care produce un curent electric.* Acest fenomen poartă numele de *inducție electromagnetică*. Forța electromotoare și curentul care iau naștere prin inducție electromagnetică se numesc *forță electromotoare* și *curent de inducție*.

Dacă printr-o spiră, fluxul magnetic variază uniform de la valoarea  $\Phi_1$  la valoarea  $\Phi_2$  în timpul care trece de la momentul  $t_1$  la  $t_2$ , valoarea forței electromotoare de inducție este :

$$E = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{t_2 - t_1}. \quad (5.1)$$

Dacă se notează\*:  $\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

și:

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

relația (5.1) se poate scrie:

$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \quad (5.2)$$

Relația (5.2) reprezintă legea de bază a inducției electromagnetice, care se poate enunța astfel: *Forța electromotoare de inducție ce apare într-o spiră este egală cu variația fluxului magnetic din spiră în raport cu timpul, luată cu semn schimbat.* Dacă fluxul se măsoară în weberi și timpul în secunde, forța electromotoare se obține în volți.

Pentru o bobină cu  $n$  spire, ca în figura 5—1, forța electromotoare de inducție totală  $E_t$  va fi de  $n$  ori mai mare, adică:

$$E_t = n \cdot E = - n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}. \quad (5.3)$$

Sensul forței electromotoare de inducție în spiră se determină cu ajutorul *legii lui Lenz*, care se poate enunța astfel: *Efec-tul tinde totdeauna să se opună cauzei care l-a produs.*

---

\* Semnul  $\Delta$  reprezintă litera mare grecească ce se citește „délta“.

În figura 5—2, *a* se consideră o spiră străbătută de linii de forță magnetică, de exemplu de jos în sus și se presupune că valoarea inducției magnetice crește. În acest caz, fluxul magnetic respectiv  $\Phi_1$  crește și are sensul de jos în sus. Variația fluxului produce în spiră o forță electromotoare și un curent de inducție.

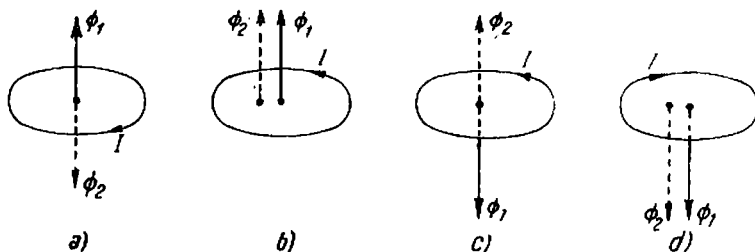


Fig. 5-2. Sensul forței electromotoare de inducție.

Sensul acestui curent  $I$  este astfel, încît fluxul  $\Phi_2$  produs de  $I$  să se opună cauzei care l-a produs, adică variației (creșterii) fluxului  $\Phi_1$ . Rezultă că fluxul  $\Phi_2$  trebuie să aibă un sens contrar fluxului  $\Phi_1$ , adică de sus în jos. Sensul curentului  $I$ , ce dă naștere fluxului  $\Phi_2$ , se obține cu ajutorul regulii burghiului, care arată că  $I$  are sensul orar, ca și forța electromotoare de inducție care-l produce.

În figura 5—2, *b* spira este străbătută de linii de forță magnetică tot de jos în sus, dar se presupune că valoarea inducției magnetice scade. În acest caz, fluxul  $\Phi_1$  scade și în spiră apare o forță electromotoare de inducție care produce un curent de inducție  $I$ . Sensul curentului este astfel, încît fluxul  $\Phi_2$  produs de  $I$  să se opună cauzei care l-a produs, adică variației (scăderii) fluxului  $\Phi_1$ . Pentru aceasta, trebuie ca fluxul  $\Phi_2$  să întărească fluxul  $\Phi_1$ , adică să aibă același sens — de jos în sus — ca fluxul  $\Phi_1$ . Cunoscînd sensul fluxului  $\Phi_2$ , se poate determina sensul curentului de inducție  $I$  (și deci al forței electromotoare de inducție), aplicînd regula burghiului; se obține sensul antiorar.

În mod analog se procedează și în cazul din figura 5—2, *c*, unde fluxul magnetic  $\Phi_1$  este dirijat de sus în jos și crește, precum și în cazul din figura 5—2, *d*, unde  $\Phi_1$  este dirijat tot de sus în jos, dar scade. Pentru forța electromotoare și curentul de inducție se obțin sensul antiorar în figura 5—2, *c* și sensul orar în figura 5—2, *d*.

În figura 5—3 este reprezentat un aparat numit *bobină de inducție*, care funcționează pe baza fenomenului de inducție electromagnetică. În jurul barei de oțel moale  $O$  se găsește înfășurarea  $P$  cu un număr relativ mic de spire mai groase și izolate. În jurul acestei înfășurări se găsește o a doua înfășurare  $S$  cu un număr mult mai mare de spire subțiri, de asemenea izolate. În circuitul înfășurării  $P$  se montează bateria  $B$  și întreruptorul  $I_r$ .

Cînd se închide întreruptorul  $I_r$ , un curent electric trece de la baterie, prin întreruptorul  $I_r$ , borna  $E$ , șurubul de reglare  $D$ , piesa de oțel  $C$ , lama de oțel  $L$ , borna  $G$  și înfășurarea  $P$ , din nou la baterie. Oțelul moale  $O$ , magnetizîndu-se, atrage armătura  $C$ , întrerupînd astfel circuitul; bara de oțel se demagnetizează iar lama  $L$  readuce armătura în poziția inițială, restabilindu-se circuitul ș.a.m.d. Atît timp cît întreruptorul  $I_r$  este închis, curentul  $I$  din înfășurarea  $P$  se stabilește și se întrerupe periodic.

În momentul în care trece curent prin înfășurarea  $P$ , apare un cîmp magnetic produs de curent, iar liniile magnetice ale cîmpului străbat atît înfășurarea  $P$ , cît și înfășurarea  $S$ . În consecință, în înfășurarea  $S$  fluxul magnetic *variază* periodic de la zero la o anumită valoare (cînd se stabilește curentul  $I$  în înfășurarea  $P$ ) și de la această valoare la zero (cînd se anulează curentul  $I$ ). Din această cauză, în înfășurarea  $S$  apare o forță electromotoare de inducție, care produce un curent de inducție dacă circuitul  $S$  este închis. Cînd fluxul magnetic crește, forța electromotoare de inducție are un anumit sens, iar cînd scade, are sensul contrar, adică este *alternativă*.

Bobina de inducție servește la transformarea unei tensiuni continue mici la bornele bateriei  $B$  într-o tensiune alternativă mare la bornele circuitului  $S$ .

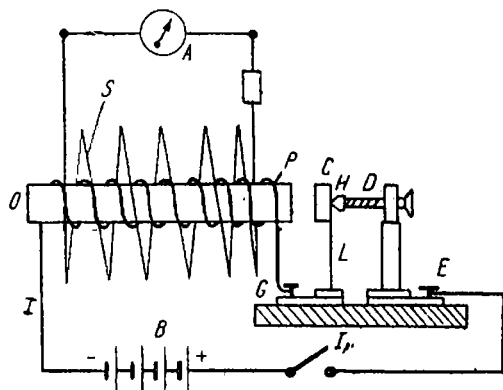


Fig. 5-3. Bobină de inducție.

**Aplicația 5-1.** O bobină cu axa rectilinie, care are  $n = 300$  spire și un diametru mediu  $d = 5$  cm, este străbătută de liniile de forță ale unui câmp magnetic după direcția axei sale, câmpul având inducția magnetică  $B = 2$  T. În cât timp trebuie să se anuleze câmpul magnetic, pentru ca în bobină să ia naștere o forță electromotoare de inducție  $E = 10$  V?

**R e z o l v a r e.** Dacă  $S$  este suprafața spirei, fluxul magnetic care străbate bobina este:

$$\Phi_1 = n \cdot B \cdot S = n \cdot B \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 300 \cdot 2 \cdot \frac{\pi \cdot 0.05^2}{4} = 1,18 \text{ Wb.}$$

Din legea inducției electromagnetice:

$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Delta t} = \frac{\Phi_1 - 0}{\Delta t}$$

rezultă:

$$\Delta t = \frac{1,18}{10} = 0,118 \text{ s.}$$

## 2. Producerea forței electromotoare de inducție prin tăierea de către un conductor a liniilor de forță magnetice

În figura 5-4 este reprezentat un conductor de lungime  $l$ , care face parte dintr-un circuit; se presupune că acest conductor este introdus de jos în sus într-un câmp magnetic cu inducția magnetică  $B$ , ale cărei linii de forță magnetice sînt perpendiculare pe direcția conductorului. Se presupune de asemenea că forța  $F$  care deplasează conductorul este perpendiculară pe planul format de direcția conductorului și direcția liniilor de forță.

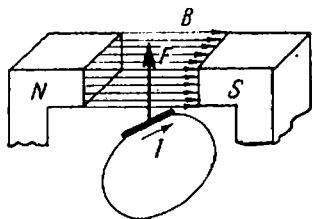


Fig. 5-4. Conductor care taie linii magnetice de forță.

Pe măsură ce conductorul pătrunde în câmpul magnetic, un număr din ce în ce mai mare de linii de forță trece prin conturul închis de circuit din care face parte conductorul, astfel încît fluxul magnetic prin acest contur crește; în circuit și deci prin conductor trece un curent de inducție  $I$ , datorit unei forțe electromotoare de inducție ce ia naștere în conductorul care taie liniile de forță.

inducție ce ia naștere în conductorul care taie liniile de forță.

Dacă conductorul de lungime  $l$  s-a deplasat în intervalul de timp  $\Delta t$  cu distanța  $d$  în câmpul magnetic, el a descris suprafața:

$$S = l \cdot d.$$

Fluxul magnetic care străbate planul circuitului din care face parte conductorul a variat (a crescut) în intervalul de timp  $\Delta t$  de la o valoare  $\Phi_1$  la altă valoare  $\Phi_2$ , iar:

$$\Phi_1 - \Phi_2 = B \cdot S.$$

Din cauza variației fluxului magnetic, apare în conductor forța electromotoare de inducție:

$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Delta t} = \frac{B \cdot S}{\Delta t} = B \cdot l \frac{d}{\Delta t}.$$

Deoarece:

$$\frac{d}{\Delta t} = v$$

este viteza de deplasare a conductorului, rezultă:

$$E = B \cdot l \cdot v. \quad (5.4)$$

În consecință, *cînd un conductor taie linii de forță magnetică, în acel conductor apare o forță electromotoare de inducție a cărei valoare este dată de produsul dintre valoarea inducției magnetice, a lungimii conductorului în câmp și a vitezei conductorului*. Dacă se măsoară inducția magnetică în tesla, lungimea conductorului în metri și viteza sa în metri pe secundă, forța electromotoare se obține în volți.

Conform legii lui Lenz, sensul forței electromotoare  $E$  este astfel încît tinde să producă un curent  $I$ , care, la rîndul lui, să dea naștere la o forță electromagnetică ce se opune cauzei, adică forței  $F$ , care deplasează conductorul în câmp. În figura 5 — 4, deoarece forța  $\vec{F}$  este dirijată în sus, forța electromagnetică, ce se opune acestei deplasări, va trebui să fie dirijată în jos. Conform regulii cunoscute

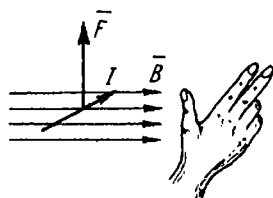


Fig. 5 — 5. Regula mîinii drepte pentru aflarea sensului forței electromotoare de inducție.

dacă forța electromagnetică este dirijată în jos, sensul curentului și al forței electromotoare va fi din fața planului hirtiei înspre spatele acestui plan.

Sensul forței electromotoare de inducție se poate afla și cu ajutorul *regulii mîinii drepte*: Dacă se așază mîna dreaptă desfăcută, astfel încît liniile magnetice să fie dirijate spre palmă, iar degetul mare în direcția forței de deplasare a conductorului, sensul forței electromotoare de inducție (și a curentului ce poate fi produs) este dat de direcția degetului arătător (fig. 5—5).

**Aplicația 5-2.** Un conductor cu o lungime  $l = 10$  cm este deplasat ca în figura 5-4, cu o viteză  $v = 15$  cm/s într-un cîmp magnetic caracterizat prin inducția magnetică  $B = 1,5$  T. Conductorul este legat la capetele sale printr-un fir cu o lungime  $l' = 25$  cm, care nu este activ în ceea ce privește producerea forței electromotoare de inducție. Întregul circuit este confecționat din cupru, cu o secțiune  $s = 2,5$  mm<sup>2</sup>. Care este intensitatea  $I$  a curentului de inducție din circuit?

**Rezolvare.** Forța electromotoare de inducție este:

$$E = B \cdot l \cdot v = 1,5 \cdot 0,1 \cdot 0,15 = 0,0225 \text{ V.}$$

Dacă  $\rho$  este rezistivitatea cuprului, rezistența totală a circuitului este:

$$R = \rho \frac{l + l'}{s} = \frac{1}{56} \frac{0,1 + 0,25}{2,5} = 0,0025 \Omega.$$

Conform legii lui Ohm, curentul în circuit este:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0,0225}{0,0025} = 9 \text{ A.}$$

### 3. Curenți turbionari (Foucault)

O piesă prismatică din oțel moale este înconjurată de un fir metalic izolat ca în figura 5—6. Dacă prin înfășurare trece un curent electric a cărui intensitate  $I$  variază în timp, el va produce în oțel un cîmp magnetic și deci un flux magnetic variabil în timp.

Masa de oțel se comportă ca un mare număr de circuite închise străbătute de un flux magnetic variabil. Din această cauză, în circuite iau naștere forțe electromotoare de inducție, care produc la rîndul lor curenți de inducție numiți *turbionari*, din cauza formei lor de vârtej (sau turbion). În figura 5—6, curenții din planul frontal superior al piesei sînt arătați prin

săgeți. Trecerea curenților prin oțel creează pierderi conform legii Lenz-Joule.

În piesele de oțel ale mașinilor electrice se produc de multe ori astfel de pierderi prin curenți turbionari. Pentru a micșora aceste pierderi, piesele de oțel se fabrică din tole subțiri de oțel, izolate între ele prin foițe de hirtie sau lac izolant (fig. 5—7).

În felul acesta se intercalează în drumul curenților o rezistență importantă care le reduce mult valoarea.

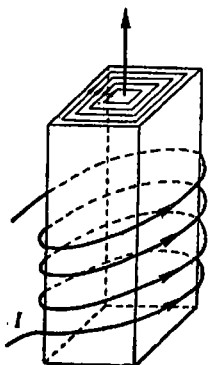


Fig. 5-6. Producerea curenților turbionari.

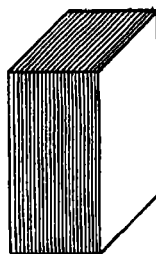


Fig. 5-7. Miez din tole de oțel izolate.

Dacă inducția magnetică care produce fluxul magnetic din oțel variază periodic între un maximum și un minimum, pierderea de putere prin curenți turbionari este proporțională cu greutatea oțelului și este dată de relația:

$$P = k \left( \frac{f}{100} \cdot B_m \cdot d \right)^2 \text{ W/kgf}$$

unde:

- $B_m$  este valoarea inducției maxime, în tesla;
- $f$  — numărul de cicluri pe secundă referitoare la variația inducției magnetice;
- $d$  — grosimea tolelor, în milimetri;
- $k$  — un coeficient egal cu aproximativ 22 pentru oțel obișnuit electrotehnic și 4,8 pentru oțel aliat, la o grosime a tolelor de 0,5 mm.

Adăugînd la pierderile prin curenți turbionari și pierderile prin histerezis, se obțin pierderile *totale* în oțelul mașinilor electrice.

## 4. Inducția proprie

În figura 5—8 se consideră o spiră parcursă de curentul  $i$ . Acest curent dă naștere la un câmp magnetic, astfel încât prin spiră trece fluxul magnetic  $\Phi$ . Inducția magnetică, deci și fluxul  $\Phi$  fiind proporționale cu curentul respectiv, se poate scrie:

$$\Phi = L \cdot i, \quad (5.5)$$

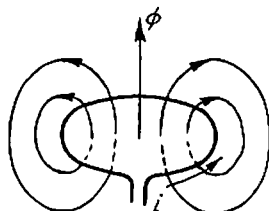


Fig. 5—8. Fenomenul de inducție proprie.

în care  $L$  este un factor de proporționalitate, care depinde de permeabilitatea magnetică a mediului (în cazul aerului,  $\mu_0$ ) și de forma și dimensiunile geometrice ale circuitului.

Dacă curentul  $i$  variază, fluxul  $\Phi$  variază de asemenea. Spira fiind străbătută de un flux magnetic variabil, va apare în ea o forță electromotoare de inducție, numită *de inducție proprie* sau de *autoinducție*, deoarece este produsă prin variația curentului din propriul său circuit. Factorul  $L$  poartă numele de *inductanța proprie* a circuitului. Din relația (5.5) rezultă:

$$L = \frac{\Phi}{i}. \quad (5.6)$$

Dacă fluxul  $\Phi$  se măsoară în weberi, iar curentul  $i$  în amperi rezultă pentru inductanța  $L$  o unitate de măsură numită *henry* (H).

Considerind că în intervalul de timp  $\Delta t$ , intensitatea curentului a variat cu  $\Delta i$ , relația (5.5) arată că, în același interval de timp, fluxul magnetic a variat cu:

$$\Delta \Phi = L \cdot \Delta i.$$

În consecință, valoarea forței electromotoare de autoinducție este:

$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - L \frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

Dacă o bobină de  $n$  spire este străbătută de curentul  $i$ , curentul creează un câmp magnetic, ale cărui linii de forță magnetică parcurg un anumit traseu numit, după cum se știe, circuit magnetic. Dacă reluctanța magnetică a acestui circuit este  $\mathcal{R}$ , con-



form legii circuitului magnetic, fluxul magnetic  $\Phi$  care trece prin fiecare spiră este :

$$\Phi = \frac{n \cdot i}{\mathfrak{A}} .$$

Fluxul magnetic total  $\Phi_t$  care trece prin cele  $n$  spire va fi :

$$\Phi_t = n \cdot \Phi = \frac{n^2 \cdot i}{\mathfrak{A}} .$$

Dacă se notează cu  $L$  inductanța întregii bobine, conform cu (5.6) rezultă :

$$L = \frac{\Phi_t}{i} = \frac{n^2}{\mathfrak{A}} . \quad (5.7)$$

Inductanța unei bobine este deci direct proporțională cu pătratul numărului de spire și invers proporțională cu reluctanța. Reluctanța este invers proporțională cu permeabilitatea magnetică, astfel încît inductanța este direct proporțională cu permeabilitatea magnetică. Din această cauză o bobină cu miez de oțel are o inductanță cu mult mai mare decît o bobină fără miez.

Din cauza fenomenului de inducție proprie, orice variație de curent dintr-un circuit dă naștere la o forță electromotoare de autoinducție, care se opune cauzei care o produce, adică se opune variației curentului, întîrziind această variație.. Acest fenomen de *inerție electrică* se poate observa mai ales la întreruperea curentului dintr-un circuit. Cînd se deschide un întreruptor, curentul nu dispăre instantaneu, ci — din cauza fenomenului de autoinducție — caută să se mai mențină, ceea ce face să apară scînteii electrice între piesele întreruptorului.

S-a văzut în capitolul I că în cîmpul electric al unui condensator este acumulată o anumită cantitate de energie. În mod analog, în cîmpul magnetic al unei bobine cu inductanța  $L$  (henry), parcursă de curentul  $I$  (amperi) se găsește acumulată o cantitate de energie (jouli) egală cu :

$$\frac{1}{2} LI^2 .$$

**Aplicația 5-3.** O bobină dreaptă are  $n = 300$  spire, iar diametrul mediu al bobinei este  $d = 5$  cm. Cînd înfășurarea bobinei este parcursă de un curent  $I = 8$  A, inducția magnetică în interiorul său de-a lungul axei sale longitudinale este  $B = 1,6$  T. Care este inductanța proprie  $L$  a bobinei?

Rezolvare. Fluxul magnetic prin bobină este:

$$\Phi = n \cdot B \frac{\pi d^2}{4} = 300 \cdot 1,6 \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 0,942 \text{ Wb.}$$

În consecință:

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{0,942}{8} = 0,118 \text{ H.}$$

## 5. Inducția mutuală

Se consideră un miez de oțel moale cu două înfășurări ca în figura 5—9. Bobina 1 are  $n_1$  spire iar bobina 2 are  $n_2$  spire. Dacă prin bobina 1 trece curentul  $I_1$ , fluxul magnetic produs va fi:

$$\Phi_1 = \frac{n_1 \cdot I_1}{\mathfrak{R}}$$

în care  $\mathfrak{R}$  este reluctanța circuitului magnetic.

Fluxul  $\Phi_1$  trece și prin fiecare spiră a bobinei 2. Prin toate cele  $n_2$  spire ale acestei bobine va trece deci fluxul magnetic:

$$\Phi_{12} = n_2 \Phi_1 = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathfrak{R}} I_1 = M \cdot I_1.$$

Conform acestei relații, fluxul  $\Phi_{12}$  este proporțional cu curentul  $I_1$ ; s-a notat cu  $M$  factorul de proporționalitate între curentul  $I_1$  și fluxul  $\Phi_{12}$ :

$$M = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathfrak{R}}. \quad (5.8)$$

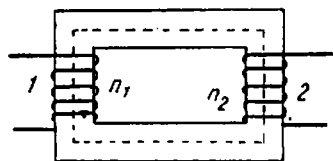


Fig. 5—9. Bobine cu miez comun din oțel.

Dacă bobina 2 este parcursă de curentul  $I_2$ , fluxul magnetic produs de bobina 2 prin fiecare spiră a bobinei 1 este:

$$\Phi_2 = \frac{n_2 \cdot I_2}{\mathfrak{R}}.$$

Prin toate cele  $n_1$  spire ale bobinei 1 va trece deci fluxul magnetic:

$$\Phi_{21} = n_1 \Phi_2 = \frac{n_1 \cdot n_2}{\mathfrak{R}} I_2 = M \cdot I_2.$$

În mod analog, dacă se consideră în general două circuite oarecare  $C_1$  și  $C_2$  (fig. 5—10), parcurse respectiv de curenții  $I_1$  și  $I_2$ , fluxul magnetic produs de curentul  $I_1$  din circuitul  $C_1$  și care străbate circuitul  $C_2$  este:

$$\Phi_{12} = M \cdot I_1, \quad (5.9)$$

iar fluxul magnetic produs de curentul  $I_2$  din circuitul  $C_2$  și care străbate circuitul  $C_1$  este:

$$\Phi_{21} = M \cdot I_2. \quad (5.10)$$

Se observă că în expresia fluxurilor magnetice  $\Phi_{12}$  și  $\Phi_{21}$  apare același factor de proporționalitate  $M$ . Mărimea  $M$  poartă numele de *inductanță mutuală* a celor două circuite și se măsoară tot în henry ca și inductanța  $L$ .

Inductanța mutuală depinde de permeabilitatea magnetică a mediului, de forma și de dimensiunile geometrice ale circuitelor și de poziția lor reciprocă. Dacă în figura 5—10, curentul  $I_1$  variază de exemplu cu  $\Delta I_1$ , în intervalul de timp  $\Delta t$  apare în circuitul  $C_2$  o forță electromotoare indusă de circuitul  $C_1$  și denumită forță electromotoare de *inducție mutuală*:

$$E_{12} = - \frac{\Delta \Phi_{12}}{\Delta t} = - M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (5.11)$$

unde  $\Delta \Phi_{12}$  reprezintă variația corespunzătoare a fluxului magnetic  $\Phi_{12}$ .

În mod analog, dacă curentul  $I_2$  variază cu  $\Delta I_2$ , în circuitul  $C_1$  apare o forță electromotoare de inducție mutuală:

$$E_{21} = - \frac{\Delta \Phi_{21}}{\Delta t} = - M \frac{\Delta I_2}{\Delta t}. \quad (5.12)$$

**Aplicația 5-4.** Se consideră două bobine drepte, goale în interior. Dacă în prima bobină, în intervalul de timp  $\Delta t_1 = 1/25$  s, curentul crește de la zero la  $I_1 = 5$  A, în a doua bobină apare o forță electromotoare de inducție mutuală  $E_2 = 5$  V. Să se determine forța electromotoare de inducție mutuală  $E_1$ , care apare în prima bobină, atunci când într-un interval de timp  $\Delta t_2 = 1/15$  s, curentul în a doua bobină crește de la zero la  $I_2 = 10$  A.

**Rezolvare.** Când curentul din prima bobină crește de la zero la  $I_1 = 5$  A, fluxul magnetic în a doua bobină crește de la zero la valoarea:

$$\Phi_{12} = M \cdot I_1 = M \cdot 5 \text{ Wb}$$

în care  $M$  este inductanța mutuală între cele două bobine.

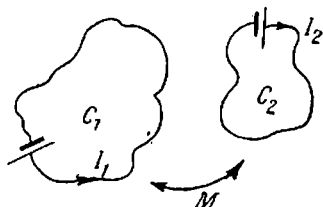


Fig. 5—10. Inductanța mutuală a două circuite.

Conform legii inducției electromagnetice:

$$E_2 = \frac{5 \cdot M}{\Delta t_1} = \frac{5 \cdot M}{\frac{1}{25}}$$

de unde:

$$M = \frac{\frac{1}{25} \cdot E_2}{5} = \frac{\frac{1}{25} \cdot 5}{5} = 0,04 \text{ H.}$$

Cînd curențul din a doua bobină crește de la zero la  $I_2 = 10 \text{ A}$ , fluxul magnetic în prima bobină crește de la zero la valoarea:

$$\Phi_{21} = M \cdot I_2 = 0,04 \cdot 10 = 0,4 \text{ Wb.}$$

Forța electromotoare de inducție mutuală în prima bobină va fi:

$$E_1 = \frac{0,4}{\frac{1}{15}} = 6 \text{ V.}$$

## 6. Cuplajul bobinelor

Ținînd seama de relația (5.7) rezultă că inductanțele bobinelor din figura 5—9 sînt:

$$\left. \begin{aligned} L_1 &= \frac{n_1^2}{\mathfrak{A}} \\ L_2 &= \frac{n_2^2}{\mathfrak{A}} \end{aligned} \right\} \quad (5.13)$$

Relația (5.8) arată valoarea inductanței mutuale  $M$  a celor două bobine. Din relațiile (5.8) și (5.13) rezultă:

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}. \quad (5.14)$$

Relația (5.14) este valabilă numai dacă întregul flux magnetic produs de bobina 1 trece și prin bobina 2 și dacă întregul flux magnetic produs de bobina 2 trece și prin bobina 1, adică nu avem *scăpări de flux*.

Între două bobine există însă practic scăpări de flux, mai ales dacă bobinele nu au același miez. În acest caz, relația (5.14) devine:

$$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (5.15)$$

în care  $k$  este subunitar și se numește coeficient de cuplaj magnetic al celor două bobine.

## Unități de măsură

Pentru mărimile electrice și magnetice întâlnite s-au precizat unitățile de măsură corespunzătoare. Toate aceste unități fac parte dintr-un anumit *sistem de unități*. În domeniul unei anumite științe există câteva unități de măsură numite *fundamentale*, din care derivă apoi toate celelalte unități. Se caută să se aleagă astfel unitățile, încât legile științei respective să poată fi exprimate prin relații cât mai simple.

În domeniul mecanicii există, de exemplu, sistemul de unități numit sistemul practic MKS. Acest sistem are ca unități de măsură fundamentale metrul pentru lungime, kilogramul masă (notat kg) pentru masă și secunda pentru timp. Denumirea MKS provine de la inițialele celor trei cuvinte: metru, kilogram, secundă. Toate celelalte unități ale acestui sistem derivă din cele trei unități fundamentale. De exemplu, viteza se măsoară în metri pe secundă (m/s), volumul se măsoară în metri cubi (m<sup>3</sup>) etc. În domeniul electricității și al magnetismului, pentru a se putea obține toate unitățile de măsură necesare, trebuie să se aleagă încă o unitate fundamentală. Din această cauză, se utilizează în acest domeniu sistemul de unități de măsură denumit MKSA, unde pentru a patra unitate fundamentală s-a ales amperul.

Există două sisteme MKSA. În primul, denumit sistemul MKSA *raționalizat*, permeabilitatea magnetică a vidului este dată de:

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \text{ unități de permeabilitate.}$$

În cel de-al doilea, numit sistemul MKSA *neraționalizat* (sau clasic), permeabilitatea magnetică a vidului este dată de:

$$\mu_0 = 10^{-7} \text{ unități de permeabilitate.}$$

În acest manual se utilizează sistemul MKSA raționalizat. Sint unele legi care nu se exprimă prin aceleași relații în ambele sisteme MKSA. În sistemul MKSA raționalizat, legile care se utili-

zează mai frecvent se exprimă însă mai simplu decât în sistemul MKSA clasic.

Sistemele MKSA au întrebuințare generală. În lucrările științifice se poate întrebuința și sistemul denumit CGS, care are ca unități de măsură fundamentale: centimetrul pentru lungime, gramul masă (notat cu g) pentru masă și secunda pentru timp. Trecându-se în domeniul electricității și al magnetismului, ar fi trebuit să se aleagă și o a patra unitate fundamentală, în felul cum s-a făcut pentru sistemele MKSA.

Totuși, pentru a se obține o simplificare, s-a făcut următoarea convenție: permeabilitatea magnetică a vidului,  $\mu_0$ , este egală cu un simplu număr și anume 1. Permeabilitatea magnetică  $\mu$  a unui mediu oarecare, de exemplu a oțelului, va fi egală cu alt număr, care, evident, va arăta raportul dintre permeabilitatea magnetică a acestui mediu și aceea a vidului.\* Sistemul de unități astfel constituit se numește *sistemul CGS $\mu_0$  sau CGS electromagnetic*, deoarece are avantajul de a reda sub o formă simplificată relațiile care se referă la fenomenele din electromagnetism.

Sistemul CGS electromagnetic nu este însă avantajos din punctul de vedere al simplificării relațiilor în domeniul fenomenelor electrostatice. Din această cauză, pentru relațiile din domeniul acestor fenomene s-a făcut convenția: permitivitatea vidului  $\epsilon_0$ , (constanta dielectrică), este egală cu 1, un simplu număr.\*\* Sistemul de unități care utilizează această convenție se numește *sistemul CGS $\epsilon_0$  sau CGS electrostatic* și are avantajul de a reda sub o formă mai simplificată relațiile care se referă la fenomenele electrostatice.

În tabela 6—1 se dau valorile permeabilității magnetice a vidului ( $\mu_0$ ) și a permitivității vidului ( $\epsilon_0$ ) în diversele sisteme de unități menționate.

În tabela 6—2 se dau cele mai frecvente unități din sistemul MKSA raționalizat, precum și legătura cu sistemul CGS $\mu_0$ , deoarece aceste sisteme sînt cele mai utilizate.

În afară de unitățile electrice și magnetice arătate în tabelele de mai înainte pentru sistemele de unități respective, se mai folosesc și o serie de multipli și submultipli zecimali. Dintre aceștia, se dau mai departe, cei mai frecvenți:

kilovolt (kV),  $1 \text{ kV} = 1\,000 \text{ V}$ ; milihenry (mH),  $1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$ ; milivolt (mV),  $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$ ; microfarad ( $\mu\text{F}$ ),

\*) Aceasta este echivalent cu a spune că permeabilitatea magnetică are ca unitate de măsură permeabilitatea magnetică a vidului ( $\mu_0$ ).

\*\*) Aceasta este echivalent cu a spune, că permitivitatea are ca unitate de măsură permitivitatea vidului ( $\epsilon_0$ ).

1  $\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ ; miliamper (mA), 1 mA =  $10^{-3} \text{ A}$ ; kilowatt (kW), 1 kW =  $10^3 \text{ W}$ .

Cind se introduc astfel de multipli și submultipli în relațiile utilizate, trebuie să se facă transformările numerice necesare, deoarece altfel apar greșeli mari.

Tabela 6-1

Valorile permeabilității magnetice și a permittivității vidului

	Sistemul MKSA		Sistemul CGS $\mu_0$	Sistemul CGS $\epsilon_0$
	Raționalizat	Clasic	Clasic	
$\epsilon_0$	$\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^9}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^{20}}$	1
$\mu_0$	$\frac{4\pi}{10^7}$	$\frac{1}{10^7}$	1	$\frac{1}{9 \cdot 10^{20}}$

Tabela 6-2

Unități de măsură MKSA

Mărimea	Denumirea	Simbolul	Legătura cu sistemul CGS $\mu_0$
	MKSA		
	Unități fundamentale		
Lungime	Metru	m	1 m = 100 cm
Masă	Kilogram	kg	1 kg = 1 000 g
Timp .....	Secunda	s	La fel ca în MKSA
Intensitatea curen- tului	Amper	A	1 A = 10 <sup>-1</sup> CGS $\mu_0$
Unități mecanice utilizate în Electricitate și Magnetism			
Forță	Newton	N	1 N = 10 <sup>5</sup> dyne
Energie	Joule	J	1 J = 10 <sup>7</sup> ergi
Putere .....	Watt	W	1 W = 10 <sup>7</sup> ergi/s
Frecvență	Hertz (peri- oade pe secundă)	Hz	La fel ca în MKSA

Mărimea	Denumirea	Simbolul	Legătura cu sistemul CGS $\mu_0$
	MKSA		
	Unități fundamentale		
Unități electrice			
Cantitate de electricitate (sarcină electrică) ..... Tensiunea electrică (diferență de potențial) Potențial. Forță electromotoare (tensiune electromotoare) Rezistență electrică Capacitate ..... Cîmp electric	Coulomb  Volt Ohm Farad Volt pe metru	C  V, $\Omega$ F V/m	$1\text{ C} = 10^{-1}\text{ CGS}\mu_0$  $1\text{ V} = 10^8\text{ CGS}\mu_0$ $1\ \Omega = 10^9\text{ CGS}\mu_0$ $1\text{ F} = 10^{-9}\text{ CGS}\mu_0$ $1\text{ V/m} = 10^6\text{ CGS}\mu_0$
Unități magnetice			
Flux de inducție magnetică  Inducție magnetică  Intensitatea cîmpului magnetic  Inductanță	Weber  Tesla *)  Amper-spiră pe metru Henry	Wb  T  A . sp/m H	$1\text{ Wb} = 10^8\text{ Mx}$ (unitate CGS $\mu_0$ numită maxwell) $1\text{ T} = 10^4\text{ Gs}$ (unitate CGS $\mu_0$ , numită gauss) $1\text{ A . sp/m} = 4\pi \cdot 10^{-3}\text{ Oersted}$ (unitate CGS $\mu_0$ , notată cu Oe) $1\text{ H} = 10^9\text{ CGS}\mu_0$

\*) Se reamintește că:  $1 \text{ T} = \frac{1 \text{ Wb}}{1 \text{ m}^2}$

*Aplicația 6-1.* O bobină inelară are diametrul mediu al inelului de 20 cm. Numărul spirelor este  $n = 400$ . Intensitatea cîmpului magnetic în interiorul bobinei este  $H = 18$  Oe. Care este intensitatea curentului electric, măsurată în amperi, ce trece prin înfășurarea bobinei?

**R e z o l v a r e.** Lungimea cercului mediu al inelului este:

$$l = 3,14 \cdot 0,2 = 0,628 \text{ m.}$$



Dacă se notează cu  $I$ , în amperi, curentul electric în bobină, pentru intensitatea cîmpului magnetic rezultă valoarea:

$$\frac{n}{l} I = \frac{400}{0,628} I \text{ A} \cdot \text{sp/m}.$$

Deoarece:

$$1 \text{ A} \cdot \text{sp/m} = 4 \pi \cdot 10^{-3} \text{ Oe}$$

se poate scrie:

$$\frac{400}{0,628} I \cdot 4\pi \cdot 10^{-3} = 18 \text{ Oe}$$

de unde:

$$I = \frac{18 \cdot 0,628}{400 \cdot 4\pi \cdot 10^{-3}} = 2,25 \text{ A}.$$

## Circuite de curent alternativ monofazat

### 1. Producerea curentului alternativ

În câmpul magnetic al unui magnet, o spirală se rotește în jurul axei sale  $OO'$  cu viteza unghiulară constantă  $\omega^*$  (fig. 7-1).

Capetele spirei sînt legate la două inele metalice  $I_1$  și  $I_2$  solidare cu spira și pe care freacă periile conductoare  $P_1$  și  $P_2$  fixe în spațiu.

În figura 7-2, a s-au reprezentat diversele poziții ale spirei în raport cu liniile de forță ale câmpului magnetic. Spre a se

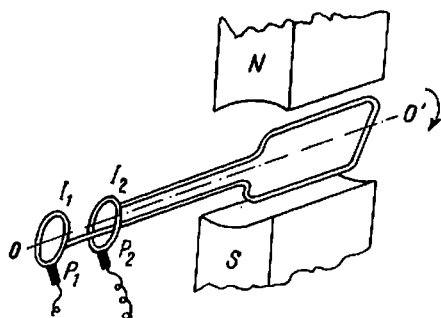


Fig. 7-1. Spirală învîrtoare în câmp magnetic.

putea deosebi cele două fețe ale planului spirei, acestea s-au desenat prin linii de grosimi diferite. În poziția 1 (fig. 7-2, a) spira este presupusă orizontală, fiind străbătută de cel mai mare număr de linii de forță, adică de fluxul magnetic maxim. Pe măsură ce spira se rotește (poziția 2), fluxul magnetic care o străbate scade, iar în poziția 3, fluxul magnetic prin planul spirei se anulează.

După poziția 3, liniile de forță încep să intre prin cealaltă față a planului spirei, adică *fluxul magnetic a devenit negativ* ca sens (poziția 4) și scade din ce în ce pînă cînd în poziția 5 devine minim (sau maxim negativ). După poziția 5, fluxul ră-

\*) Literă mică grecească ce se citește „omega”.

mine negativ, dar crește (poziția 6), pentru ca în poziția 7 să se anuleze din nou. Apoi liniile de forță își schimbă din nou fața de intrare în planul spirei, adică fluxul redevine pozitiv (pozi-

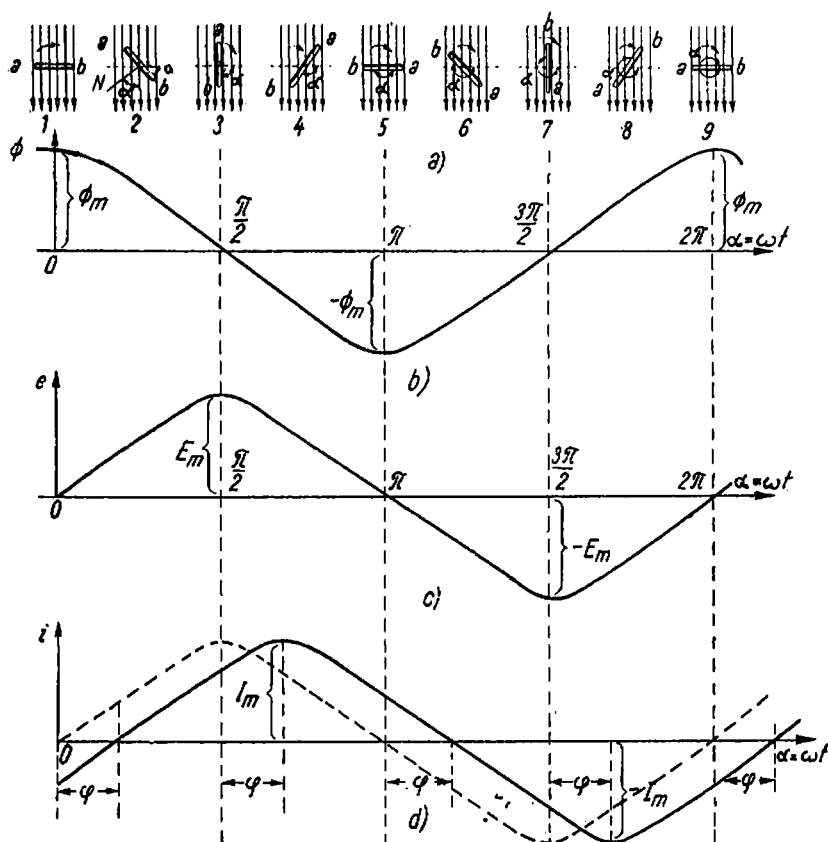


Fig. 7-2. Producerea curentului alternativ într-o spirală învârtitoare.

ția 8) și crește pînă ajunge din nou maxim în poziția 9, care este identică cu poziția 1. Apoi ciclul se repetă periodic.

Dacă se notează cu  $\alpha^*$  unghiul planului spirei dintr-o poziție oarecare cu planul spirei din poziția 1 și cu  $t$  timpul care a

\* Literă grecească ce se citește „alfa“.

trecut din momentul cind spira era în poziția 1 și pînă în momentul corespunzător unghiului  $\alpha$ , se poate scrie:

$$\alpha = \omega t$$

unde timpul  $t$  este considerat în secunde, viteza unghiulară  $\omega$  a spirei, în radiani pe secundă, iar unghiul  $\alpha$ , în radiani.

Notînd cu  $B$  valoarea inducției magnetice a cîmpului și cu  $S$  suprafața închisă de spiră, fluxul magnetic care trece prin spiră într-o poziție oarecare corespunzătoare unghiului  $\alpha$  este:

$$\Phi = B S \cos \alpha. \quad (7.1)$$

Valoarea maximă a acestei expresii are loc pentru:

$$\cos \alpha = 1$$

adică:

$$\alpha = 0, \text{ sau } \alpha = 2\pi,$$

ceea ce corespunde poziției 1 sau 9. Se poate deci scrie că valoarea maximă a fluxului este:

$$\Phi_m = B S$$

astfel încît relația (7.1) devine:

$$\Phi = \Phi_m \cos \alpha = \Phi_m \cos \omega t. \quad (7.2)$$

Valoarea minimă are loc pentru:

$$\cos \alpha = -1,$$

adică:

$$\alpha = \pi,$$

ceea ce corespunde poziției 5.

Fluxul magnetic  $\Phi$  se anulează pentru:

$$\cos \alpha = 0,$$

adică:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ sau } \alpha = \frac{3\pi}{2}.$$

Variația fluxului magnetic  $\Phi$  în funcție de unghiul  $\alpha = \omega t$  este reprezentată grafic prin *cosinoida* din figura 7-2, *b*.

Deoarece fluxul magnetic are o variație cosinusoidală (sau *sinusoidală*, dat fiind că sinusoida este o cosinusoidă deplasată cu un unghi  $\alpha = \pi/2$ ), fluxul prin spiră se numește *flux magnetic alternativ sinusoidal*, sau, pe scurt, flux magnetic alternativ.

Spira fiind străbătută de un flux magnetic variabil, în spira ia naștere o forță electromotoare de inducție  $e$ , a cărei valoare este dată de legea inducției electromagnetice; această forță electromotoare este, de asemenea, variabilă după o lege similară cu aceea a variației fluxului.

Legea de variație a forței electromotoare de inducție este o relație de forma:

$$e = E_m \sin \omega t, \quad (7.3)$$

în care s-a notat cu  $E_m$  valoarea maximă a forței electromotoare de inducție, valoare dată de relația:

$$E_m = \omega \Phi_m.$$

Relația (7.3) arată că forța electromotoare  $e$  variază în funcție de  $\alpha = \omega t$  după o lege sinusoidală. Din această cauză se numește forță electromotoare *alternativă sinusoidală* sau, pe scurt, forță electromotoare alternativă.

Dacă  $\omega t = 0$ ,  $\sin \omega t = 0$ , iar relația (7.3) arată că  $e = 0$ . Dacă  $\omega t = \pi/2$ , atunci  $\sin \omega t = 1$ , iar  $e = E_m$ , adică este egală cu valoarea sa maximă. Dacă  $\omega t = \pi$ ,  $\sin \omega t = 0$ , iar  $e = 0$ . Dacă  $\omega t = 3\pi/2$ ,  $\sin \omega t = -1$ , iar  $e = -E_m$ , adică este egală cu valoarea sa minimă. Dacă  $\omega t = 2\pi$ , situația este aceeași ca în cazul  $\omega t = 0$  ș.a.m.d. Variația forței electromotoare în funcție de  $\alpha = \omega t$  este reprezentată în figura 7-2, c.

Se observă în figurile 7-2, b și 7-2, c că sinusoida care reprezintă forța electromotoare este analogă cu aceea care reprezintă fluxul magnetic, cu deosebirea că este deplasată spre dreapta cu intervalul  $\pi/2$ . Se spune că forța electromotoare  $e$  este *în întârziere*, sau *defazată*, în urma fluxului  $\Phi$  cu unghiul  $\pi/2$ . Se poate spune și invers: fluxul magnetic este *în avans*, sau *defazat înaintea* forței electromotoare  $e$  cu unghiul  $\pi/2$ .

În general, dacă două mărimi alternative sinusoidale nu au punctele de maxim, minim și zero simultane, ele se numesc defazate.

Dacă două mărimi alternative sinusoidale nu sînt defazate una față de alta, se spune că sînt *în fază*. De exemplu sinusoida trasată punctat în figura 7-2, d este în fază cu sinusoida forței electromotoare  $e$  din figura 7-2, c.

Dacă cele două perii din figura 7-1 se leagă între ele printr-un conductor, forța electromotoare  $e$ , schimbîndu-și în mod alternativ sensul, va face ca electronii din circuit să se depla-

seze de asemenea în mod alternativ, cînd într-un sens cînd în sens contrar, adică se va produce un curent electric, care va fi tot *alternativ sinusoidal*.

De obicei, după cum se va vedea, din cauza anumitor proprietăți ale circuitului electric, sinusoida curentului nu este în fază cu sinusoida forței electromotoare, ci are un anumit unghi de defazaj  $\varphi^*$ , de cele mai multe ori în urma forței electromotoare, astfel încît formula care reprezintă sinusoida curentului  $i$  este:

$$i = I_m \sin(\omega t - \varphi), \quad (7.4)$$

în care  $I_m$  este valoarea maximă a curentului, iar  $\varphi$  defazajul său în urma forței electromotoare. Sinusoida curentului este reprezentată în figura 7-2,  $d$  (trăsătură plină) deplasată spre dreapta cu unghiul  $\varphi$  față de sinusoida forței electromotoare  $e$  din figura 7-2,  $c$ .

Dacă curentul ar fi fost defazat înaintea forței electromotoare cu unghiul  $\varphi$ , formula lui ar fi fost:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (7.5)$$

iar sinusoida curentului din figura 7-2,  $d$  ar fi trebuit deplasată spre stînga cu unghiul  $\varphi$  față de sinusoida forței electromotoare.

Dacă printr-un conductor de rezistență  $R$  trece un curent *continuu*  $I$ , la capetele acestui conductor există o tensiune *continuu*:

$$U = R \cdot I.$$

În mod analog, dacă printr-un conductor de rezistență  $R$  trece un curent *alternativ*  $i = I_m \sin \omega t$ , la capetele conductorului există o tensiune *alternativă*:

$$u = R \cdot i = R \cdot I_m \sin \omega t.$$

Valoarea maximă a acestei tensiuni alternative este:

$$U_m = R \cdot I_m$$

astfel încît formula tensiunii alternative devine:

$$u = U_m \sin \omega t. \quad (7.6)$$

Mărimile electrice alternative sinusoidale, care se întîlnesc mai des sînt: tensiunea, curentul, forța electromotoare și fluxul magnetic.

---

\* Literă mică grecească ce se citește „fi“.

## 2. Caracteristicile principale ale mărimilor electrice alternative sinusoidale

Fiecare mărime electrică alternativă are o valoare *instantanee*, care este valoarea la un moment dat. De exemplu, pentru curentul alternativ:

$$i = I_m \sin \omega t$$

valoarea instantanee este  $i$ , reprezentată prin sinusoida din figura 7-3.

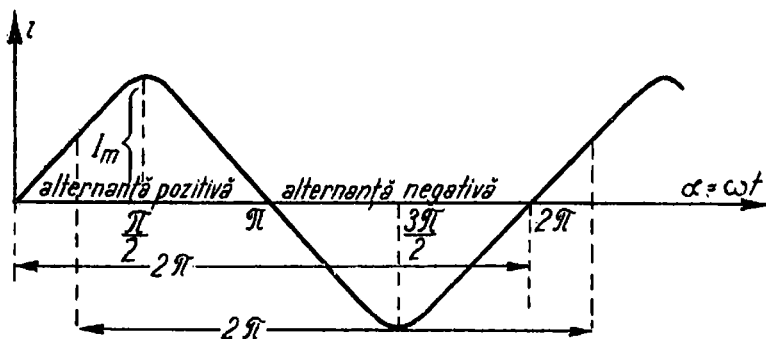


Fig. 7-3. Caracteristicile curentului alternativ.

Fiecare mărime electrică alternativă are o valoare maximă numită *amplitudine*. În cazul curentului alternativ, amplitudinea este  $I_m$ .

După un interval de timp care corespunde unghiului:

$$\alpha = \omega \cdot t = 2\pi,$$

valorile unei mărimi electrice alternative încep să se repete. Acest timp notat cu  $T$  se numește *perioadă* și rezultă din relația:

$$\omega \cdot T = 2\pi$$

adică: 
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (7.7)$$

Numărul care arată de câte ori se repetă într-o secundă toate valorile dintr-o perioadă poartă numele de *frecvență* și se notează cu  $f$ , măsurându-se în *perioade pe secundă* sau *hertzi* (Hz). Curentul

electric din rețeaua orașului București are o frecvență de 50 Hz, care este o valoare standardizată. Între frecvența  $f$  și perioada  $T$  există relația:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (7.8)$$

Mărimea  $\omega$  poartă numele de *pulsație* și se măsoară în rad/s. Din relația (7.8) rezultă că între pulsație și frecvență există următoarea relație:

$$\omega = 2\pi \cdot f.$$

Pentru frecvența standardizată de 50 Hz, pulsația este:

$$\omega = 2\pi \cdot 50 = 314 \text{ rad/s}.$$

O perioadă  $T$  se împarte în două *semiperioade*, corespunzând fiecare unui unghi  $\alpha = \omega t = \pi$ . Sinusoida corespunzând unei perioade se împarte în două *alternanțe*, una pozitivă și alta negativă.

Fiecare mărime electrică alternativă are valoare instantanee, amplitudine, perioadă, frecvență, pulsație, alternanțe.

În practică este necesar ca mărimile electrice alternative să fie măsurate. Fiind variabile în timp, trebuie să se găsească o valoare care să poată fi ușor măsurată și să caracterizeze în același timp mărimea alternativă respectivă.

Media aritmetică nu poate fi utilă, deoarece are o valoare nulă pentru un anumit număr de perioade, dat fiind că fiecărei valori pozitive dintr-o alternanță îi corespunde o valoare egală, dar negativă, în alternanța următoare. Din această cauză, s-a ales o altă valoare, numită *valoarea eficace* (sau efectivă). Prin *valoarea eficace a intensității unui curent alternativ, se înțelege valoarea unui curent continuu care, trecând prin același conductor prin care trece curentul alternativ, produce într-un anumit interval de timp aceeași cantitate de căldură pe care o produce și curentul alternativ în același interval*. Se spune că acest curent continuu are o *eficacitate termică* egală cu aceea a curentului alternativ corespunzător; de aici derivă și denumirea de valoare eficace.

Între valoarea maximă  $I_m$  a unui curent alternativ și valoarea sa eficace  $I$  există relația:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{1,41} = 0,707 I_m. \quad (7.10)$$

Prin analogie, valoarea eficace a oricărei mărimi electrice alternative este egală cu valoarea sa maximă divizată prin  $\sqrt{2}$ .



De obicei, valorile instantanee ale mărimilor electrice alternative se notează prin litere mici, valorile eficace, prin litere mari, iar valorile maxime prin litere mari urmate de indicele  $m$ .

Aparatele de măsurat curenți alternativi, adică ampermetrele, sau tensiuni alternative, adică voltmetrele, sînt astfel construite, încît indică valorile eficace. În vorbirea curentă, cînd se spune, de exemplu, că o tensiune alternativă are 220 V, se subînțelege valoarea sa eficace.]

### 3. Efectele curentului alternativ

Curentul alternativ, trecînd printr-un conductor, îl încălzește. Acesta este *efectul termic* al curentului alternativ. O serie de aparate funcționează pe baza acestui efect termic: radiatoare, încălzitoare, fiare de călcat, cuptoare.

Dacă se încălzește un fir metalic pînă la incandescență cu curent alternativ, firul devine luminos. Pe *efectul luminos* al curentului alternativ se bazează funcționarea lămpilor electrice.

Curentul alternativ produce în jurul său un *cîmp magnetic alternativ*. Inducția magnetică a acestui cîmp este și ea alternativă. Un ac magnetic într-un cîmp magnetic alternativ tinde să se rotească la fiecare alternanță cu cîte  $180^\circ$ , cînd într-un sens, cînd în sens contrar. La o frecvență de 50 Hz ar trebui să se rotească de  $2 \cdot 50 = 100$  ori pe secundă; din cauza inerției sale mecanice, acul stă nemișcat.

Un electromagnet alimentat în curent alternativ produce în jurul său un cîmp magnetic alternativ. S-a arătat că forța portantă a electromagnetului este proporțională cu pătratul inducției magnetice ( $B^2$ ). În cazul curentului alternativ, deși inducția magnetică își schimbă periodic semnul, pătratul valorii sale rămîne însă mereu pozitiv, astfel încît forța portantă nu-și schimbă sensul. Din această cauză, un electromagnet cu curent alternativ poate atrage piese de oțel.

În miezul de oțel al unei bobine de curent alternativ se produc pierderi prin curenți turbionari și prin fenomenul de histerezis, din cauza variației cîmpului magnetic.

Din cele de mai înainte, rezultă că și curentul alternativ produce *efecte magnetice*.

Ca și curentul continuu, curentul alternativ produce *efecte fiziologice*, atunci cînd trece prin corpul unei viețuitoare.

Curentul alternativ, variind periodic ca valoare și ca sens, nu poate fi utilizat la încărcarea acumulatorilor, în electroliză și, în general, pentru producerea de efecte chimice.

**Aplicația 7-1.** O tensiune alternativă are valoarea eficace  $U = 380$  V și frecvența  $f = 50$  Hz. Care este valoarea maximă, pulsația și perioada?

**R e z o l v a r e .** Valoarea maximă a tensiunii este:

$$U_m = \sqrt{2} U = 1,41 \cdot 380 = 535,8 \text{ V.}$$

Pulsația este:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ rad/s.}$$

Perioada este:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s.}$$

#### 4. Reprezentarea vectorială a mărimilor electrice alternative sinusoidale

Se presupune că printr-un conductor trece curentul alternativ:

$$i = I_m \sin \omega t.$$

În figura 7-4 se consideră două axe rectangulare  $xOy$  și se trasează un vector  $\overline{OA}$ , avînd, la o anumită scară, o lungime egală cu  $I_m$ . Se presupune că vectorul  $\overline{OA}$  se rotește în jurul originii  $O$  cu o viteză unghiulară constantă egală cu pulsația  $\omega$  a curentului. Unghiul format de vectorul  $\overline{OA}$ , după timpul  $t$ , cu axa  $Ox$  este:

$$\alpha = \omega t.$$

Proiecția vectorului  $\overline{OA} = \overline{I}_m$  pe axa  $Oy$  este

$$I_m \cos \alpha',$$

Fig. 7-4. Reprezentarea vectorială cu axe de coordonate.

unde  $\alpha'$  este unghiul dintre  $I_m$  și  $Oy$ . Deoarece unghiul  $\alpha'$  este complementar cu  $\alpha$ , rezultă:

$$\cos \alpha' = \sin \alpha.$$

În consecință, proiecția vectorului pe axa  $Oy$  este:

$$I_m \sin \alpha = I_m \sin \omega t,$$

adică este egală cu valoarea instantanee a curentului alternativ  $i$ . Deoarece în timpul rotației sale, proiecția vectorului  $\vec{I}_m$  pe axa  $Oy$  este mereu egală cu valoarea curentului alternativ  $i$ , se poate considera că vectorul  $\vec{I}_m$  reprezintă acest curent. Pe această constatare se bazează reprezentarea vectorială a mărimilor electrice alternative.

Se consideră un alt curent alternativ:

$$i' = I'_m \sin (\omega t + \varphi')$$

decalat cu unghiul  $\varphi'$  în avans față de  $i$ . Curentul  $i'$  poate fi de asemenea reprezentat printr-un alt vector  $\vec{OA}' = \vec{I}'_m$  care face unghiul  $\omega t + \varphi'$  cu axa  $Ox$ , sau unghiul  $\varphi'$  cu vectorul  $\vec{I}_m$ . Amindoi vectorii  $\vec{I}_m$  și  $\vec{I}'_m$  se rotesc cu aceeași viteză unghiulară  $\omega$  în jurul originii  $O$ , totdeauna însă  $\vec{I}'_m$  găsindu-se în avans cu unghiul  $\varphi'$  față de  $\vec{I}_m$ .

Se consideră un al treilea curent alternativ:

$$i'' = I''_m \sin (\omega t - \varphi'')$$

în întârziere cu unghiul  $\varphi''$  față de curentul  $i$ . Curentul  $i''$  este reprezentat prin vectorul  $\vec{OA}'' = \vec{I}''_m$ , care face cu  $\vec{I}_m$  unghiul  $\varphi''$  în sens negativ (sensul orar pe figură).

În practică, pentru reprezentarea simbolică a celor trei curenți alternativi  $i$ ,  $i'$  și  $i''$  prin vectorii  $\vec{I}_m$ ,  $\vec{I}'_m$  și  $\vec{I}''_m$ , nu se mai trasează și axele de coordonate  $xOy$ , deoarece ar complica inutil figura. Vectorul  $\vec{OA} = \vec{I}_m$  corespunzător curentului  $i$ , de la care s-au socotit unghiurile de decalaj, poartă numele de *origine de fază* și, de multe ori, se trasează orizontal. Direcțiile celorlalți vectori rezultă în raport cu unghiurile lor de defazaj față de originea de fază (fig. 7-5).

Reprezentarea vectorială se poate aplica în mod analog și pentru celelalte mărimi alternative. Cu ajutorul reprezentării vectoriale se pot înlocui de multe ori calcule trigonometrice mai complicate, printr-o construcție grafică simplă.

Se presupune, de exemplu, că, la un nod oarecare dintr-o rețea (fig. 7-6), vin prin trei conductoare curenții alternativi:

$$\begin{aligned} i_1 &= I_{m1} \sin \omega t \\ i_2 &= I_{m2} \sin (\omega t + \varphi') \\ i_3 &= I_{m3} \sin (\omega t - \varphi'') \end{aligned}$$

și se caută curentul  $i$  în al patrulea conductor, care pleacă de la același nod.

Prin calcul, ar trebui să se găsească suma:

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = I_{m1} \sin \omega t + I_{m2} \sin (\omega t + \varphi') + I_{m3} \sin (\omega t - \varphi'').$$

Acest calcul, destul de complicat, se poate înlocui printr-o construcție grafică. În figura 7-7, curenții  $i_1$ ,  $i_2$  și  $i_3$  s-au repre-

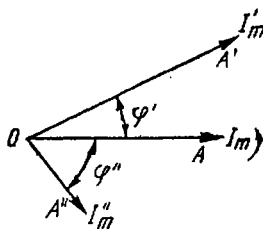


Fig. 7-5. Representarea vectorială fără axe de coordonate.

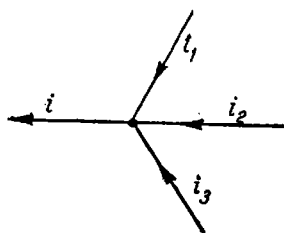


Fig. 7-6. Curenți alternativi la un nod.

zentat prin vectorii  $\bar{I}_{m1}$ ,  $\bar{I}_{m2}$  și  $\bar{I}_{m3}$  cu lungimi corespunzătoare scării alese pentru intensitatea curenților. Vectorul  $\bar{I}_{m1}$  a fost ales ca origine de fază. Se compun grafic vectorii  $\bar{I}_{m1}$  și  $\bar{I}_{m2}$  obținind rezultanta  $\bar{I}'_m$ . Se compune  $\bar{I}'_m$  cu  $\bar{I}_{m3}$ , obținându-se rezultanta totală  $\bar{I}_m$ . Această rezultantă totală reprezintă curentul alternativ:

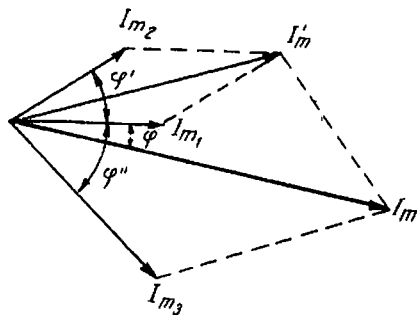


Fig. 7-7. Compunerea vectorială a curenților alternativi.

$$i = I_m \sin (\omega t - \varphi)$$

care este suma algebrică a curenților  $i_1$ ,  $i_2$  și  $i_3$ .

Valoarea maximă  $\bar{I}_m$  a curentului rezultat se obține măsurînd lungimea vectorului  $\bar{I}_m$  și ținînd seamă de scara grafică aleasă pentru intensitatea curenților. Unghiul  $\varphi$ , care reprezintă decalajul curentului  $i$  față de originea de fază, se măsoară de asemenea pe figură.

Diagramele vectoriale se pot construi utilizînd pentru lungimea vectorilor și valorile eficace. În realitate, aceasta înseamnă

a schimba scara grafică, dat fiind că toate valorile eficace provin din valorile maxime împărțite prin  $\sqrt{2}$ . Pe aceeași diagramă vectorială toți vectorii trebuie să corespundă unor mărimi electrice alternative cu aceeași pulsație sau frecvență.

## 5. Condensatorul în cazul curentului alternativ

Să presupunem că se leagă un condensator la o sursă de curent alternativ (în loc de sursă de curent continuu). La un *moment dat*, una dintre armături, cea din dreapta de exemplu, este legată la potențialul negativ al sursei, iar cealaltă armătură, la potențialul pozitiv. Armătura din dreapta se încarcă cu sarcini negative, iar armătura din stînga, cu sarcini pozitive. După ce se schimbă alternanța tensiunii date de sursă, armătura din stînga se va găsi la un potențial negativ, iar armătura din dreapta, la un potențial pozitiv; electronii vor circula prin conductoare în sens invers. În acest timp, condensatorul se descarcă și apoi se reîncarcă cu armătura din dreapta pozitivă și armătura din stînga negativă. După altă schimbare a alternanței, se va produce din nou o circulație de electroni în sens invers ș.a.m.d. Concluzia finală este că *un condensator nu împiedică trecerea curentului alternativ în circuitul din care face parte.*

## 6. 3. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în serie

Presupunem că un circuit cu o sursă de curent alternativ cuprinde în exteriorul sursei o rezistență totală  $R$  (în cazul curentului alternativ rezistența  $R$  se numește și rezistența *activă*), mai multe bobine de inductanță totală  $L$  și mai multe condensatoare de capacitate totală  $C$ . Presupunem de asemenea că rezistența  $R$ , inductanța  $L$  și capacitatea  $C$  sînt legate în serie (fig. 7—8).

Dacă valoarea eficace a tensiunii la bornele sursei este  $U$ , iar pulsația sa  $\omega$ , formula care dă valoarea eficace a curentului ce trece prin circuit este:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}. \quad (7.11)$$

Expresia:

$$\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = Z \quad (7.12)$$

se numește *impedanța* circuitului și se măsoară în ohmi.

Expresia:

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = X \quad (7.13)$$

se numește *reactanța totală* a circuitului, din care  $L\omega$  este *reactanța inductivă*, iar  $1/C\omega$  este *reactanța capacitivă*. Reactanțele se măsoară de asemenea în ohmi. Se poate deci scrie și:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (7.14)$$

Fig. 7-8. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în serie.

Unghiul de defazaj  $\varphi$  între tensiunea  $U$  și curentul  $I$  rezultă din:

$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} \\ \text{sau} \\ \operatorname{tg} \varphi &= \frac{X}{R} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \end{aligned} \right\} \quad (7.15)$$

Formulele (7.11), (7.14) și (7.15) sînt generale, fiind variabile și în orice caz particular: dacă în circuit există numai rezistența  $R$ , se anulează termenii care cuprind  $L$  și  $C$ , dacă există numai  $L$ , se anulează termenii care cuprind  $R$  și  $C$  etc.

Se presupune, de exemplu, că există numai  $R$  (fig. 7-9). În acest caz, aplicînd formula generală, se obține:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (7.16)$$

$$\cos \varphi = 1 \text{ deci } \varphi = 0. \quad (7.17)$$

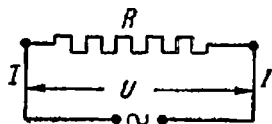


Fig. 7-9. Circuit de curent alternativ cu rezistență.

Din relația (7.6) rezultă:

$$U = R I \quad (7.18)$$

adică valoarea eficace a tensiunii la bornele unei rezistențe este egală cu produsul dintre valoarea rezistenței și valoarea eficace a curentului prin rezistență.

Deoarece  $\varphi = 0$ , rezultă că o rezistență  $R$  nu defazează curentul alternativ care o parcurge, față de tensiunea alternativă la bornele rezistenței.

În figura 7-10 se arată reprezentarea vectorială a tensiunii  $U$  la bornele unei rezistențe și a curentului  $I$  ce o parcurge. În figura 7-11 se arată sinusoidale care re-

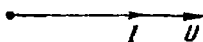


Fig. 7-10. Diagramă vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu rezistență.

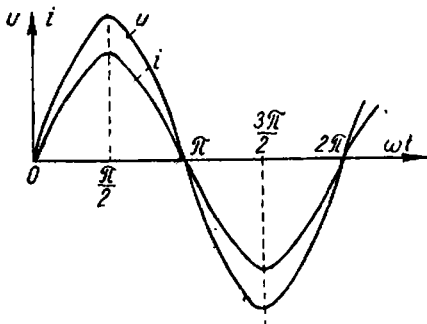


Fig. 7-11. Variația tensiunii  $u$  și a curentului  $i$  în cazul unui circuit de curent alternativ cu rezistență.

prezintă variația valorilor instantanee respective ale tensiunii  $u$  și curentului  $i$ .

Dacă circuitul cuprinde numai o inductanță  $L$  (fig. 7-12), formula generală ne dă:

$$I = \frac{U}{L\omega} \quad (7.19)$$

$$\cos \varphi = 0, \text{ deci } \varphi = \frac{\pi}{2}. \quad (7.20)$$

Din relația (7.19) rezultă:

$$U = L \omega I \quad (7.21)$$

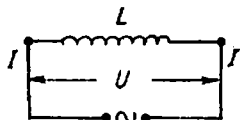


Fig. 7-12. Circuit de curent alternativ cu inductanță.

adică valoarea eficace a tensiunii la bornele unei inductanțe este egală cu produsul dintre valoarea inductanței  $L$ , valoarea pulsației  $\omega$  și valoarea eficace a curentului  $I$  prin inductanță.

Din relația (7.20) rezultă că o inductanță defazează curentul alternativ care o parcurge cu unghiul  $\pi/2$  în urma tensiunii la bornele inductanței.

În figura 7-13 se arată diagrama vectorială corespunzătoare pentru curent și tensiune, iar în figura 7-14, sinusoidale curentului și tensiunii în cazul inductanței.

Dacă circuitul de curent alternativ cuprinde numai o capacitate  $C$  (fig. 7-15), valoarea eficace a curentului este:

$$I = UC\omega \quad (7.22)$$

$$\cos \varphi = 0; \operatorname{tg} \varphi = -\infty \text{ și deci } \varphi = -\frac{\pi}{2}. \quad (7.23)$$

Din relația (7.22) rezultă:

$$U = \frac{I}{C\omega} \quad (7.24)$$

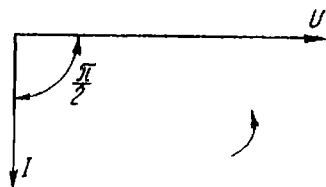


Fig. 7-13. Diagrama vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu inductanță.

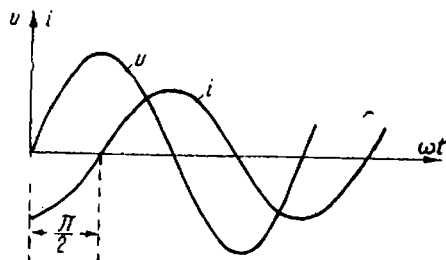


Fig. 7-14. Variația tensiunii  $u$  și a curentului  $i$  în cazul unui circuit de curent alternativ cu inductanță.

adică: *valoarea eficace a tensiunii alternative la bornele unei capacități  $C$  este egală cu raportul dintre valoarea eficace  $I$  a curentului ce trece prin capacitate și produsul  $C\omega$ , unde  $\omega$  este pulsația tensiunii.*

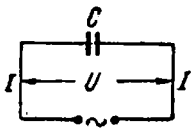


Fig. 7-15. Circuit de curent alternativ cu capacitate.

Din relația (7.23) rezultă că o capacitate defazează curentul alternativ care o parcurge cu unghiul  $\pi/2$  în avans față de tensiunea alternativă la bornele capacității.

În figura 7-16 se arată reprezentarea vectorială a tensiunii  $U$  la bornele unei capacități și a curentului  $I$  ce o parcurge. În figura 7-17 se arată sinusoidale care reprezintă variația valorilor instantanee ale tensiunii  $u$  și, respectiv, a curentului  $i$ .



Cunoscând diagramele vectoriale pentru cazurile particulare reprezentate în figurile 7-10, 7-13 și 7-16 se poate trasa diagrama vectorială în cazul general, când în circuit se găsesc legate în serie o rezistență  $R$ , o inductanță  $L$  și o capacitate  $C$ , conform figurii 7-18.

În figura 7-18 s-a notat cu  $I$  valoarea eficace a vectorului reprezentând curentul care parcurge circuitul, iar cu  $U_R = RI$

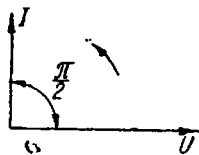


Fig. 7-16. Diagramă vectorială în cazul unui circuit de curent alternativ cu capacitate.

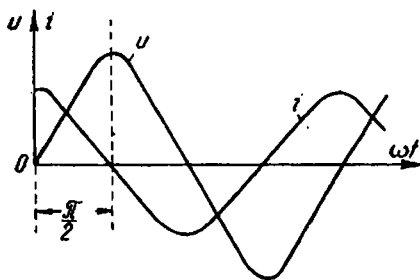


Fig. 7-17. Variația tensiunii  $u$  și a curentului  $i$  în cazul unui circuit de curent alternativ cu capacitate.

valoarea eficace a vectorului reprezentând tensiunea  $U_R$  la bornele rezistenței. După cum se știe, tensiunea  $U_R$  este în fază cu curentul  $I$ .

Pe diagramă s-a notat cu  $U_L = L \omega I$  valoarea vectorului care reprezintă tensiunea la bornele inductanței  $L$ , tensiune care este defazată cu unghiul  $\pi/2$  înaintea curentului  $I$ . De asemenea, s-a notat cu  $U_C = I/C\omega$  valoarea eficace a vectorului care reprezintă tensiunea la bornele capacității, tensiune defazată cu unghiul  $\pi/2$  în urma curentului  $I$ .

Compunând vectorii care reprezintă tensiunile  $U_R$ ,  $U_L$  și  $U_C$ , se obține tensiunea totală  $U$  la bornele circuitului. Vectorii  $U_L$  și  $U_C$ , gă-

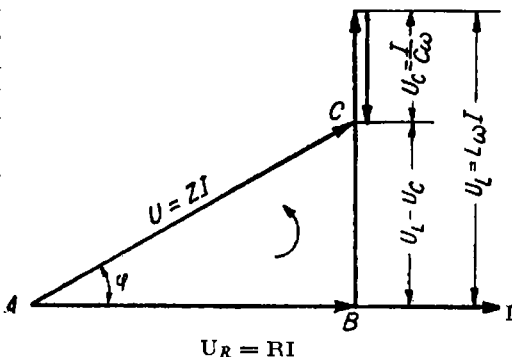


Fig. 7-18. Diagrama vectorială pentru un circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în serie.

sindu-se pe aceeași direcție, vectorul rezultat respectiv are valoarea  $\vec{U}_L - \vec{U}_C$ , după cum reiese din figură. Compunând acest vector  $\vec{U}_L - \vec{U}_C$  cu vectorul  $\vec{U}_R$ , se obține vectorul  $\vec{U}$ , care reprezintă tensiunea la bornele circuitului.

Triunghiul dreptunghi  $ABC$  se numește *triunghiul tensiunilor*. Din acest triunghi rezultă relațiile (7.11) și (7.15). Dacă valoarea fiecărei laturi a acestui triunghi se împarte cu  $I$  se obține un alt triunghi dreptunghi, având ipotenuza  $AC$  egală cu impedanța  $Z$  a circuitului, cateta  $AB$  egală cu rezistența  $R$ , iar cateta  $CB$ , cu reactanța  $X$ ; acest triunghi se numește *triunghiul impedanțelor*, deoarece atât rezistența  $R$ , cât și reactanța  $X$  sînt cazuri particulare de impedanțe.

**Aplicația 7-2.** Într-un circuit se leagă în serie un încălzitor cu rezistența  $R = 400 \Omega$ , o bobină avînd o inductanță  $L = 1 \text{ H}$  și o rezistență neglijabilă și un condensator cu o capacitate  $C = 100 \mu\text{F}$ . Acest circuit este alimentat de la o sursă de curent alternativ, care menține la bornele circuitului o tensiune eficace  $U = 380 \text{ V}$  cu o frecvență  $f = 50 \text{ Hz}$ . Care este valoarea eficace  $I$  a curentului din circuit și care este cosinusul unghiului de defazaj  $\varphi$  între curent și tensiune?

**R e z o l v a r e.** Valoarea pulsației este:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ rad/s.}$$

Valoarea eficace a curentului este:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} =$$

$$= \frac{380}{\sqrt{400^2 + \left(1 \cdot 314 - \frac{10^6}{100 \cdot 314}\right)^2}} = \frac{380}{490} = 0,78 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{400}{\sqrt{400^2 + \left(1 \cdot 314 - \frac{10^6}{100 \cdot 314}\right)^2}} = \frac{400}{490} = 0,82.$$

## 7. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în paralel

În figura 7-19 se arată un circuit care cuprinde: o rezistență  $R$ , o inductanță  $L$  și un condensator de capacitate  $C$ , legate în paralel. O sursă de curent alternativ cu pulsația  $\omega$  produce la bornele acestui circuit o tensiune alternativă  $U$ . Pentru a afla valoarea eficace  $I$  a curentului produs de sursă, se trasează diagrama vectorială din figura 7-20. Curentul care trece prin rezistență este dat de:

$$I_R = \frac{U}{R},$$

și este reprezentat de un vector în fază cu  $\bar{U}$ , după cum se vede și pe figură. Curentul care trece prin inductanță este dat de:

$$I_L = \frac{U}{L\omega},$$

și este reprezentat de un vector care face unghiul  $\pi/2$  în urma vectorului  $\bar{U}$ . Curentul care trece prin capacitate rezultă din:

$$I_C = U C \omega$$

și este reprezentat de un vector care face unghiul  $\pi/2$  înaintea vectorului  $\bar{U}$ .

Vectorul care reprezintă curentul  $I$  produs de sursă rezultă din compunerea vectorilor  $\bar{I}_R$ ,  $\bar{I}_L$  și  $\bar{I}_C$ , astfel după cum se vede pe diagramă.

Triunghiul dreptunghi  $ABC$  se numește *triunghiul*

*curenților*. Din acest triunghi rezultă valoarea curentului dat de sursă:

$$I = U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2}. \quad (7.24)$$

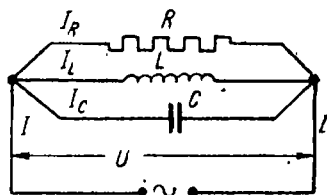


Fig. 7-19. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în paralel.

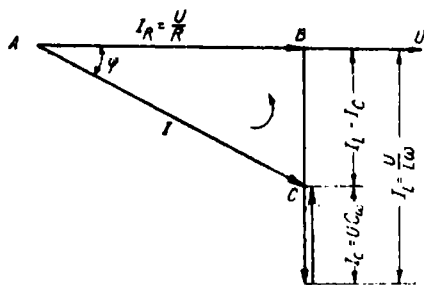


Fig. 7-20. Diagrama vectorială a schemei din figura 7-19.

Unghiul de defazaj  $\varphi$  dintre  $I$  și  $U$  rezultă din același triunghi dreptunghi:

$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{\frac{1}{R}}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2}} \\ \text{sau} \quad \text{tg } \varphi &= \frac{\frac{1}{L\omega} - C\omega}{R} \end{aligned} \right\} \quad (7.25)$$

Formulele (7.24) și (7.25) sînt generale. Dacă nu există conductorul cu rezistența  $R$ , se anulează termenul care cuprinde pe  $R$ , dacă nu există inductanța  $L$  se anulează termenul care cuprinde pe  $L$  etc.

**Aplicația 7-3.** Un circuit electric cuprinde trei ramuri în paralel. Pe una dintre ramuri se găsește un radiator electric cu o rezistență  $R = 200 \, \Omega$ , pe a doua ramură, o bobină cu o inductanță  $L = 0,2 \, \text{H}$  și rezistență neglijabilă, iar pe a treia, un condensator cu o capacitate  $C = 150 \, \mu\text{F}$ . La bornele acestui circuit se aplică o tensiune alternativă de valoare eficace  $U = 220 \, \text{V}$  și frecvența  $f = 25 \, \text{Hz}$ . Care este valoarea eficace a curentului total  $I$ ? Care este valoarea eficace a curenților  $I_1$ ,  $I_2$  și  $I_3$  din fiecare ramură?

**Rezolvare.** Valoarea pulsației este:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 25 = 157 \, \text{rad/s.}$$

Valoarea eficace a curentului total este:

$$\begin{aligned} I &= U \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L\omega} - C\omega\right)^2} = \\ &= 220 \sqrt{\frac{1}{200^2} + \left(\frac{1}{0,2 \cdot 157} - 150 \cdot 10^{-6} \cdot 157\right)^2} = 2,13 \, \text{A.} \end{aligned}$$

Valoarea eficace a curentului prin rezistență este:

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{220}{200} = 1,1 \, \text{A.}$$

Valoarea eficace a curentului prin bobină este:

$$I_2 = \frac{U}{L\omega} = \frac{220}{0,2 \cdot 157} = 7 \, \text{A.}$$

Valoarea eficace a curentului prin condensator este:

$$I_3 = U \cdot C\omega = 220 \cdot 150 \cdot 10^{-6} \cdot 157 = 5,18 \, \text{A.}$$

## 8. Puterea și energia electrică în cazul curentului alternativ

*Puterea instantanee  $p$  într-un circuit la bornele căruia se aplică tensiunea alternativă instantanee  $u$  și prin care trece curentul alternativ de valoare instantanee  $i$  este:*

$$p = u \cdot i \quad (7.26)$$

unde:

$$u = \sqrt{2} U \sin \omega t$$

și

$$i = \sqrt{2} I \sin (\omega t - \varphi).$$

Puterea instantanee  $p$  are o valoare variabilă în timp.

S-a convenit ca în curent alternativ să se denumească *putere activă, media puterii instantanee pe o perioadă*. Dacă se face această medie, se găsește că puterea activă este:

$$P = U I \cos \varphi \quad (7.27)$$

în care  $U$  și  $I$  sînt valorile eficace ale tensiunii și curentului, iar  $\varphi$  este unghiul de defazaj între curent și tensiune. În consecință, *în cazul curentului alternativ, puterea activă este egală cu produsul dintre valoarea eficace a tensiunii, valoarea eficace a curentului și cosinusul unghiului de defazaj între curent și tensiune*. Expresia  $\cos \varphi$  se numește și *factor de putere*.

Cînd factorul de putere are valoarea sa maximă, adică  $\cos \varphi = 1$ , puterea devine egală cu produsul  $U \cdot I$ , care poartă numele de *putere aparentă* și se notează de obicei:

$$S = U \cdot I. \quad (7.28)$$

Puterea aparentă este deci egală cu puterea activă maximă care poate să fie dată de o sursă pentru o anumită tensiune  $U$  și un anumit curent  $I$ .

Expresia:

$$Q = U \cdot I \sin \varphi \quad (7.29)$$

poartă numele de *putere reactivă*. Între cele trei puteri  $P$ ,  $S$  și  $Q$ , există relația:

$$S^2 = P^2 + Q^2, \quad (7.30)$$

deci:

$$P^2 = S^2 - Q^2.$$

Se vede că pentru o anumită putere aparentă  $S$ , pe măsură ce crește puterea reactivă  $Q$ , scade puterea activă  $P$ . Dar, conform cu relația (7.29), puterea reactivă  $Q$  crește atunci când crește  $\sin \varphi$ , deci când crește unghiul de defazaj  $\varphi$  și scade factorul de putere  $\cos \varphi$ . Consumatorii care au bobine cu inductanțe mari (unele mașini electrice, transformatoare ș.a.) defazează mult curentul absorbit, în urma tensiunii (unghi de defazaj mare), astfel încît cer o importantă putere reactivă, făcînd prin aceasta să scadă factorul de putere al sursei care alimentează rețeaua și care nu poate da în consecință decît o putere activă  $P$  mică. De aici interesul de a avea un factor de putere cît mai mare la consumatori.

Dacă se măsoară tensiunea eficace  $U$  în volți și intensitatea eficace  $I$  în amperi, se obține puterea activă în wați, puterea aparentă în *voltamperi* (VA) și puterea reactivă în vari (var). Aceste unități de măsură au ca multipli obișnuiți kilowattul (kW), egal cu 1 000 W, *kilovoltamperul* (kVA), egal cu 1 000 VA și *kilovarul* (kvar), egal cu 1 000 vari.

Deoarece puterea multiplicată cu timpul  $t$ , cît durează această putere, dă valoarea energiei respective, rezultă că energia activă și reactivă se vor scrie respectiv:

$$\left. \begin{aligned} W_P &= P \quad t = U \quad I \cos \varphi \cdot t \\ W_Q &= Q \quad t = U \quad I \sin \varphi \quad t \end{aligned} \right\} \quad (7.31)$$

Dacă se măsoară tensiunea eficace în volți, curentul eficace în amperi și timpul în secunde, se obține energia activă în wați-secunde (Ws) sau Jouli (J) și energia reactivă în varisecunde (vars), unități care au ca multipli de 3 600 000 ori mai mari, kilowattora (kWh) și kilovarora (kvarh).

*Aplicația 7-4.* Care este puterea activă  $P$ , puterea reactivă  $Q$  și puterea aparentă  $S$  absorbită de circuitul din aplicația 7-2?

**R e z o l v a r e.** Puterea activă este:

$$P = U \quad I \cdot \cos \varphi = 380 \cdot 0,78 \cdot 0,8 = 237,12 \text{ W.}$$

Puterea reactivă este:

$$Q = U \cdot I \sin \varphi = 380 \cdot 0,78 \cdot 0,6 = 177,84 \text{ var.}$$

Puterea aparentă este:

$$S = U \cdot I = 380 \cdot 0,78 = 296,4 \text{ VA.}$$

## 9. Ameliorarea factorului de putere cu ajutorul condensatorului

În figura 7-21 este reprezentată o sursă  $S$  de curent alternativ, care alimentează cu tensiunea eficace  $U$  un *receptor inductiv* (care conține inductanță și rezistență). Curentul  $I_1$  absorbit de acest receptor este defazat în urma tensiunii  $U$  cu unghiul  $\varphi$ . În paralel cu receptorul inductiv se leagă un condensator de capacitate  $C$  ca în figură.

Pentru a se vedea efectul condensatorului asupra factorului de putere, se trasează o diagramă vectorială, ca în figura 7-22. Se ia drept origine de fază vectorul tensiunii  $U$ . Se trasează apoi vectorul  $I_1$  absorbit de receptorul inductiv.

După cum se știe, curentul  $I_2$  ce trece prin condensator este reprezentat printr-un vector defazat cu unghiul  $\pi/2$  înaintea vectorului tensiunii  $U$ . Curentul total  $I$  se obține din compunerea vectorilor care reprezintă curenții  $I_1$  și  $I_2$ . Se vede din figură

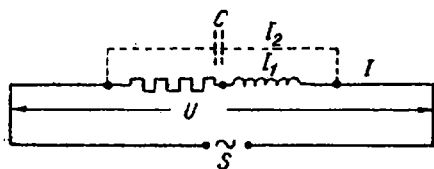


Fig. 7-21. Îmbunătățirea factorului de putere cu ajutorul condensatorului.

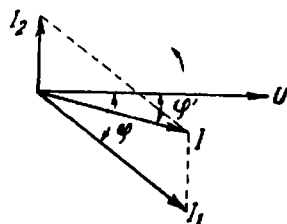


Fig. 7-22. Diagrama vectorială corespunzătoare schemei din figura 7-21.

că vectorul curentului  $I$  este defazat față de tensiunea  $U$  cu un unghi  $\varphi'$  mai mic decât unghiul de defazaj  $\varphi$  din cazul când nu există condensator. S-a reușit deci cu ajutorul condensatorului să se obțină un factor de putere  $\cos \varphi'$  mai mare decât factorul

de putere inițial,  $\cos \varphi$ . În consecință, condensatorul permite ameliorarea factorului de putere. În capitolul XVI se dau amănunte asupra avantajelor economice care rezultă în cazul unui factor de putere bun.

## 10. Rezonanța electrică

În figura 7-23 este reprezentată o bobină  $B$  cu inductanța proprie  $L$  și rezistența  $R$  legată în serie cu un condensator de capacitate  $C$ . Se aplică la bornele întregului circuit o tensiune alternativă de valoare eficace  $U$  și pulsație  $\omega$ . Se notează cu  $I$  valoarea eficace a curentului, cu  $U_{RL}$  valoarea eficace a tensiunii la bornele bobinei și cu  $U_C$  valoarea eficace a tensiunii la bornele condensatorului.

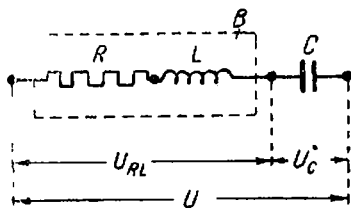


Fig. 7-23. Bobină și condensator în serie.

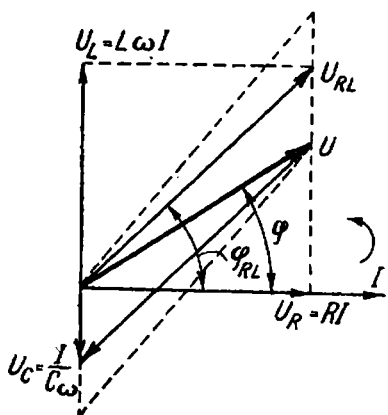


Fig. 7-24. Diagrama vectorială a schemei din figura 7-23.

În figura 7-24 s-a trasat o diagramă vectorială pentru care s-a luat ca origine de fază vectorul  $\vec{I}$  al curentului. Valoarea eficace a curentului  $I$  este:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}. \quad (7.32)$$

Lungimea vectorului  $\vec{I}$  se ia corespunzător scării grafice alese pentru intensitatea curentului. Se trasează apoi vectorul.



$\bar{U}_R = R\bar{I}$  în faza cu  $\bar{I}$  și care reprezintă tensiunea la bornele rezistenței  $R$ , vectorul  $\bar{U}_L = L\omega\bar{I}$  făcînd un unghi  $\pi/2$  înaintea vectorului  $\bar{I}$  și care reprezintă tensiunea la bornele inductanței  $L$ , precum și vectorul  $\bar{U}_C = \bar{I}/C\omega$  făcînd un unghi  $\pi/2$  în urma vectorului  $\bar{I}$  și care reprezintă tensiunea la bornele condensatorului.

Vectorul tensiunii  $\bar{U}_{RL}$  la bornele bobinei de inductanță  $L$  și rezistență  $R$  rezultă din compunerea vectorilor  $\bar{U}_L$  și  $\bar{U}_R$ . Unghiul  $\varphi_{RL}$  reprezintă defazajul curentului  $I$  față de tensiunea  $U_{RL}$  la bornele bobinei. Compunînd vectorul tensiunii  $U_{RL}$  cu vectorul tensiunii  $U_C$ , se obține vectorul tensiunii  $U$ , la bornele întregului circuit. Unghiul  $\varphi$  reprezintă defazajul între curentul  $I$  și tensiunea  $U$ .

Se va cerceta variația curentului din relația (7.32) dacă variază capacitatea  $C$ . În momentul cînd  $C = 0$  (distanță foarte mare între armăturile condensatorului)  $I = 0$ , deoarece numitorul fracției devine infinit. Pe măsură ce capacitatea  $C$  începe să crească (armăturile condensatorului se apropie), valoarea  $I$  a curentului crește. Fracția  $1/C\omega$  din relația (7.32), care era foarte mare la valori foarte mici ale capacității, scade pe măsură ce capacitatea  $C$  crește. La un moment dat, această fracție ajunge egală cu expresia  $L\omega$ , adică:

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad \text{sau} \quad L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0. \quad (7.33)$$

În acest moment, paranteza de la numitorul expresiei (7.32) se anulează, impedanța circuitului trece printr-un minim, iar curentul  $I$ , printr-un maxim. Valoarea acestui maxim este:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (7.34)$$

Valoarea capacității  $C$ , care face să crească la maximum curentul rezultă din relația (7.33):

$$C = \frac{1}{L\omega^2}. \quad (7.35)$$

Din relația (7.34) rezultă că în momentul cînd curentul  $I$  trece prin maxim, valoarea lui depinde numai de tensiunea  $U$  și de rezistența  $R$ , ca și cînd n-ar exista inductanță și capacitate în circuit. Valoarea maximă a curentului este cu atît mai mare

cu cât rezistența  $R$  a bobinei este mai mică. De asemenea, în momentul de maxim al curentului, unghiul de decalaj  $\varphi$  între curentul  $I$  și tensiunea  $U$  este nul, deoarece:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} = 0.$$

Pe măsură ce rezistența  $R$  scade, crește unghiul  $\varphi_{RL}$ , deoarece în circuitul bobinei unghiul de defazaj  $\varphi_{RL}$  dintre curent și tensiunea  $U_{RL}$  la bornele bobinei rezultă din:

$$\operatorname{tg} \varphi_{RL} = \frac{L\omega}{R}.$$

Cind condiția corespunzătoare relației (7.33) este îndeplinită, tensiunea  $U$  la bornele circuitului fiind menținută constantă, dacă  $R$  scade și deci  $\varphi_{RL}$  crește, tensiunile  $U_{RL}$  și  $U_C$  la bornele bobinei și condensatorului cresc, ca, de exemplu, în situația reprezentată punctat în figura 7-24. La o valoare foarte mică a rezistenței, deci o valoare foarte mare a unghiului  $\varphi_{RL}$ , tensiunile  $U_{RL}$  și  $U_C$  cresc foarte mult (se produc supratensiuni), depășind de asemenea cu mult valoarea tensiunii  $U$  la bornele circuitului.

În momentul în care a fost îndeplinită condiția (7.33) se spune că a fost realizată *condiția de rezonanță* a circuitului.

Condiția de rezonanță se poate obține nu numai prin variația capacității din circuit, dar și printr-o modificare corespunzătoare a inductanței sau a pulsației. Și în aceste cazuri condiția de rezonanță este îndeplinită dacă:

$$L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$$

adică pentru o valoare a inductanței sau a pulsației dată respectiv de:

$$\left. \begin{aligned} L &= \frac{1}{C\omega^2} \\ \omega &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{aligned} \right\} \quad (7.36)$$

sau :

Fenomenul de rezonanță își găsește în practică aplicații utile, în special în radiotehnică. La aparatele de radiorecepție, de exemplu, este necesar să se prindă o undă cu o anumită pulsație (sau o anumită frecvență  $f$ ) datorită unui anumit post radioemitor. Se aranjează atunci astfel parametrii din circuitele aparatului de recepție, încît să se producă condiția de rezonanță pentru pulsația respectivă.

Fenomenul de rezonanță poate avea însă și efecte dăunătoare. Se presupune, de exemplu, un cablu alimentat de la o mașină generatoare de curent alternativ. Această mașină se comportă în circuit ca o bobină inductivă cu o anumită inductanță. Cablul introduce în circuit pe lângă o rezistență  $R$  și o capacitate importantă  $C$ . Capacitatea se datorește conductoarelor cablului, care se comportă ca armăturile unui condensator. Deoarece distanța dintre conductoare este mică, capacitatea condensatorului poate atinge valori care să conducă la îndeplinirea condiției de rezonanță. Supratensiunile care iau naștere în cazul rezonanței pot provoca distrugeri în circuit mai ales prin străpungerea izolației cablului. Din această cauză, trebuie să se aleagă astfel parametrii circuitului, încît să ne găsim cît mai departe de condiția de rezonanță.

*Aplicația 7-5.* La bornele unui circuit asemănător celui reprezentat în figura 7-23, avînd o rezistență  $R = 8 \Omega$ , o inductanță  $L = 0,4 \text{ H}$  și o capacitate  $C = 50 \mu\text{F}$  se aplică o tensiune alternativă cu o valoare eficace  $U = 100 \text{ V}$ . Se cere: *a)* să se determine frecvența  $f$  a tensiunii  $U$  pentru cazul rezonanței; *b)* în cazul rezonanței să se determine valoarea eficace  $I$  a curentului; *c)* în cazul rezonanței, să se determine valoarea rezistenței  $R$ , pentru ca tensiunea  $U_L$  la bornele inductanței să fie de zece ori mai mare ca tensiunea  $U$  la bornele circuitului.

**R e z o l v a r e.** Pulsația la care este satisfăcută condiția de rezonanță este:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0,4 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}} = 223 \text{ rad/s.}$$

Frecvența corespunzătoare este:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{223}{6,28} = 35,5 \text{ Hz.}$$

Valoarea eficace a curentului în cazul rezonanței este:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{8} = 12,5 \text{ A.}$$

Presupunind că  $R$  poate varia, în cazul rezonanței trebuie să existe următoarea relație:

$$U_L = 10 U$$

de unde:

$$\frac{U_L}{U} = \frac{L\omega I}{U} = \frac{L\omega \frac{U}{R}}{U} = \frac{L\omega}{R} = 10.$$

Se deduce:

$$R = \frac{L\omega}{10} = \frac{0,4 \cdot 223}{10} = 8,9 \ \Omega.$$

## Circuite de curenți alternativi trifazați

## 1. Producerea curenților trifazați

În figura 8-1 sînt reprezentate trei spire identice 1-1', 2-2' și 3-3' într-un cîmp de inducție magnetică  $B$ . Spirele fac între ele unghiuri de cîte  $120^\circ$  (sau  $2\pi/3$ ) și sînt separate (izolate) electric una față de alta. Se presupune că aceste spire se rotesc în sensul săgeții cu o viteză unghiulară constantă  $\omega$ . După cum se știe, în spira 1-1' se va induce o forță electromotoare alternativă:

$$e_1 = E_m \sin \omega t. \quad (8.1)$$

În spira 2-2' se va induce de asemenea o forță electromotoare alternativă. Deoarece spira 2-2' trece față de cîmp prin aceleași poziții ca și spira 1-1' dar cu o întârziere corespunzătoare unghiului  $2\pi/3$ , în spira 2-2' forța electromotoare alternativă  $e_2$  va fi defazată în urmă față de  $e_1$  cu unghiul  $2\pi/3$ , adică:

$$e_2 = E_m \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (8.2)$$

În spira 3-3' se va induce o forță electromotoare alternativă  $e_3$  defazată în urmă față de  $e_1$  cu unghiul  $4\pi/3$ , adică:

$$e_3 = E_m \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right). \quad (8.3)$$

Cele trei forțe electromotoare  $e_1$ ,  $e_2$  și  $e_3$ , avînd aceeași amplitudine  $E_m$  și defazate între ele cu unghiuri egale cu  $2\pi/3$  (sau

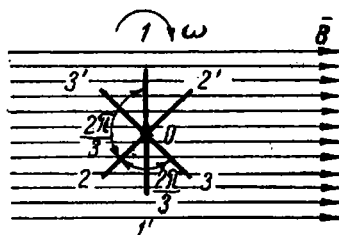


Fig. 8-1. Trei spire învîrtitoare, la  $120^\circ$ , într-un cîmp magnetic.

120°), constituie un sistem de trei forțe electromotoare trifazate simetrice. În figura 8—2 sint reprezentate grafic cele trei sinusoides corespunzătoare acestor forțe electromotoare trifazate.

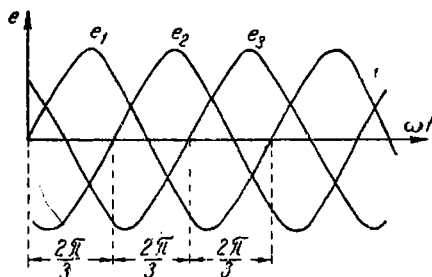


Fig. 8-2. Sinusoidalele a trei forțe electromotoare trifazate.

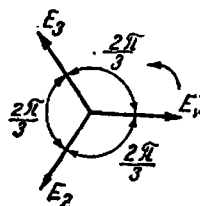


Fig. 8-3. Diagrama vectorială a trei forțe electromotoare trifazate.

În figura 8—3 se arată reprezentarea vectorială a celor trei forțe electromotoare, prin trei vectori  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  și  $\vec{E}_3$  egali ca lungime și făcând între ei unghiuri de câte 120°.

Dacă cele trei spire sint închise pe circuite identice, vor apărea trei curenți:

$$\begin{aligned} i_1 &= I_m \sin (\omega t - \varphi) \\ i_2 &= I_m \sin \left( \omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_3 &= I_m \sin \left( \omega t - \varphi - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \quad (8.4)$$

care constituie un sistem de trei curenți trifazați simetrici.

Curenții pot fi reprezentați, ca și forțele electromotoare, prin trei sinusoides corespunzătoare, de amplitudine  $I_m$ , sau prin trei vectori egali și făcând între ei unghiuri de câte 120°. Dacă pe aceeași diagramă vectorială se trasează și forțele electromotoare și curenții, fiecare vector care reprezintă un curent trebuie să fie defazat cu unghiul  $\varphi$  față de forța electromotoare care-l produce.

Suma a trei forțe electromotoare trifazate simetrice, a trei curenți trifazați simetrici, sau, în general, a trei mărimi trifazate simetrice este nulă.

În figura 8—4 s-au reprezentat vectorial trei curenți trifazați simetrici  $I_1$ ,  $I_2$  și  $I_3$ . Dacă se compun vectorii  $\vec{I}_1$  și  $\vec{I}_3$ , se

obține o rezultantă egală și de sens contrar cu al treilea vector  $\vec{I}_2$ , deci rezultanta totală este nulă. Deoarece suma vectorială a celor trei vectori este nulă, și suma valorilor instantanee a curenților este nulă, adică:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0.$$

Dacă cei trei vectori sînt inegali și formează între ei unghiuri diferite de  $120^\circ$ , mărimile respective formează un sistem trifazat *nesimetric* sau *dezechilibrat*. Cînd sistemul este simetric (sau echilibrat), de multe ori nu se mai menționează în mod expres aceasta.

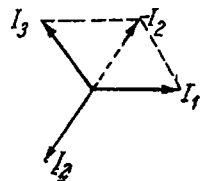


Fig. 8-4. Compunerea a trei curenți trifazați.

## 2. Gruparea forțelor electromotoare și tensiunilor trifazate

Dacă există o sursă de energie electrică cu o singură forță electromotoare alternativă, care poate produce curent alternativ, această forță electromotoare se numește forță *monofazăată*, iar curentul produs se numește curent *monofazat*. În acest caz, sînt necesare două conductoare de curent între sursa  $S$  și receptorul  $R$  de energie electrică, după cum se vede în figura 8-5.

În practică, cele mai multe surse de curent alternativ — generatoare electrice — au trei bobinaje distincte și produc trei forțe electromotoare trifazate, după cum reiese din figura 8-6. Bobinajele acestor mașini se numesc și *faze*. În acest caz, pentru

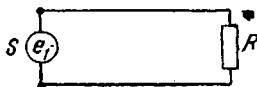


Fig. 8-5. Sursă de curent monofazat și linie monofazăată.

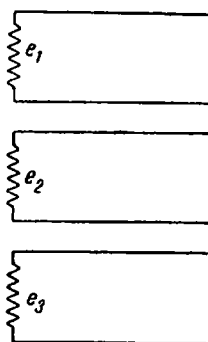


Fig. 8-6. Trei surse cu forțe electromotoare trifazate, avînd șase conductoare.

alimentarea a trei receptoare de la cele trei forțe electromotoare  $e_1$ ,  $e_2$  și  $e_3$  ar fi necesare șase conductoare.

În practică, la generatoarele de curent alternativ trifazat cele trei bobinaje (faze) sînt astfel legate între ele, încît pentru alimentarea receptoarelor este suficient un număr mai mic de conductoare, realizîndu-se prin aceasta o mare economie de metal la fabricarea conductoarelor (de obicei cupru sau aluminiu).

Dacă se presupune că bobinajele sînt așezate ca în figura 8-7, *a* și se contopesc conductoarele alăturate două câte două, se obțin numai trei conductoare numite *de linie*, pentru alimentarea

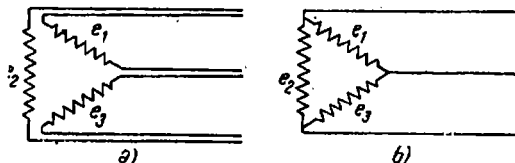


Fig. 8-7. Legarea în triunghi a forțelor electromotoare trifazate.

receptoarelor, ca în figura 8-7, *b*. Legarea fazelor în modul arătat poartă numele de *legare* (sau *montaj*) *în triunghi*.

Se consideră acum că cele trei faze sînt așezate ca în figura 8-8, *a* și se contopesc cele trei conductoare centrale. În

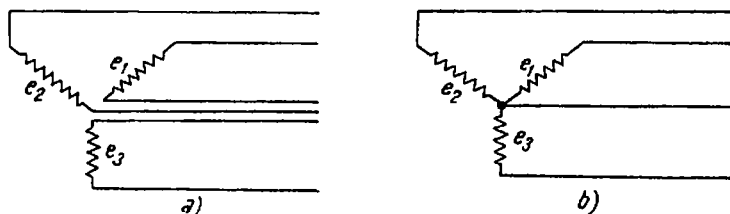


Fig. 8-8. Legarea în stea a forțelor electromotoare trifazate.

acest caz se obține o schemă ca în figura 8-8, *b*, care poartă numele de *legare* (sau *montaj*) *în stea*. Al patrulea conductor care se leagă la punctul central al stelei — numit *punct neutru* — se numește *conductor neutru* sau *de nul*.

În figurile 8-7, *b* și 8-8, *b*, la bornele bobinajelor în care se produc forțele electromotoare trifazate  $e_1$ ,  $e_2$  și  $e_3$  apar trei tensiuni trifazate.

### 3. Relații între tensiuni și curenți în cazul legării în triunghi și al legării în stea

În figura 8-9 s-a considerat din nou un generator cu fazele legate în triunghi. S-au notat cu  $V_1$ ,  $V_2$  și  $V_3$  valorile eficace ale tensiunilor la bornele bobinajelor în care se produc forțe electro-



motoare, cu  $U_1$ ,  $U_2$  și  $U_3$ , valorile eficace ale tensiunilor dintre conductoarele de linie, cu  $J_1$ ,  $J_2$  și  $J_3$ , valorile eficace ale curenților în cele trei bobinaje și cu  $I_1$ ,  $I_2$  și  $I_3$ , valorile eficace ale curenților în conductoarele de linie.

Tensiunile  $V_1$ ,  $V_2$  și  $V_3$  se numesc *tensiuni simple* sau *pe fază*. Tensiunile  $U_1$ ,  $U_2$  și  $U_3$  se numesc *tensiuni de linie* sau *între faze*.

Curenții  $J_1$ ,  $J_2$  și  $J_3$  se numesc *curenți simpli* sau *pe fază*. Curenții  $I_1$ ,  $I_2$  și  $I_3$  se numesc *curenți de linie*.

Pentru a vedea care este relația dintre valoarea unui curent de linie  $I$  și aceea a unui curent de fază  $J$ , să observăm că în figura 8-9 un curent oarecare de linie, de exemplu  $I_2$ , rezultă din diferența dintre doi curenți pe fază, și anume  $J_3$  și  $J_1$ .

În figura 8-10 se face diferența vectorială între  $\vec{J}_3$  și  $\vec{J}_1$  pentru a se obține  $\vec{I}_2$ . În acest scop, se compune  $\vec{J}_3$  cu un vector egal și de sens contrar cu  $\vec{J}_1$ . Din figura 8-10 rezultă:

$$I_2 = J_3 \cos 30^\circ + J_1 \cos 30^\circ.$$

Deoarece ca valoare:  $J_1 = J_2 = J_3 = J$ ,

$$I_1 = I_2 = I_3 = I,$$

unde prin  $J$  și  $I$  s-au notat valorile comune respective, se poate scrie:

$$I = 2 J \cos 30^\circ.$$

Dar :

$$\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2},$$

astfel încît:

$$I = \sqrt{3} J.$$

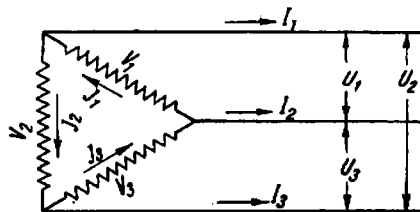


Fig. 8-9. Curenții și tensiunile la legarea în triunghi.

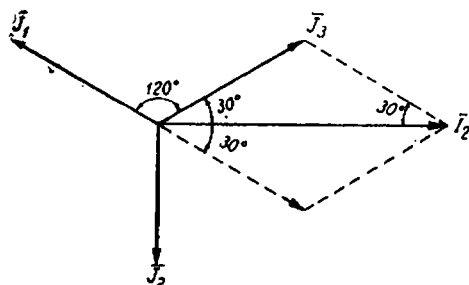


Fig. 8-10. Relația între un curent de linie și curenții pe fază la legarea în triunghi.

În consecință, la legarea în triunghi, valoarea eficace a tensiunii dintre conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a tensiunii pe fază conform figurii 8—9, iar valoarea eficace a curentului din conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a curentului pe fază multiplicată cu  $\sqrt{3}$ , conform relației de mai înainte.

Aceasta se poate scrie pe scurt astfel:

$$U = V \text{ și } I = \sqrt{3} J. \quad (8.5)$$

În figura 8 — 11 s-au reprezentat cele trei bobinaje legate în stea. Curenții  $J_1$ ,  $J_2$  și  $J_3$  sînt curenți pe fază, iar curenții  $I_1$ ,  $I_2$  și  $I_3$  sînt curenți de linie.

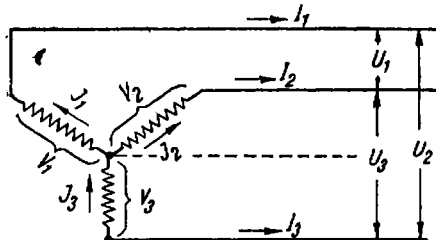


Fig. 8-11. Curenții și tensiunile la legarea în stea.

Tensiunile  $U_1$ ,  $U_2$  și  $U_3$  sînt tensiunile de linie sau între faze, iar  $V_1$ ,  $V_2$  și  $V_3$  sînt tensiunile pe fază.

După cum s-a demonstrat la legarea în triunghi pentru curenți, se poate demonstra la legarea în stea pentru tensiuni:

$$U = \sqrt{3} V.$$

În consecință, la legarea în stea, valoarea eficace a curentului de linie este egală cu valoarea eficace a curentului pe fază, conform figurii 8—11, iar valoarea eficace a tensiunii între conductoarele de linie este egală cu valoarea eficace a tensiunii pe fază multiplicată cu  $\sqrt{3}$ , conform relației de mai înainte.

Aceasta se poate scrie pe scurt astfel:

$$I_l = J_l \text{ și } U_l = \sqrt{3} V_l. \quad (8.6)$$

În cazul legării în stea, dacă se aplică prima lege a lui Kirchhoff valorilor *instantanee* ale curenților din conductoarele legate la punctul neutru, se găsește că suma celor trei curenți din conductoarele de fază sau active (numite astfel spre a le deosebi de conductorul neutru) este egală cu curentul din conductorul neutru. S-a arătat însă că suma a trei curenți trifazați simetrici este nulă. În consecință, și curentul din conductorul neutru trebuie să fie nul. Pentru ca să existe o astfel de încărcare cu curenți trifazați simetrici, trebuie ca receptoarele de energie electrică să

absoarbă curenți absolut identici pe toate cele trei conductoare de fază. În caz contrar, suma lor nu mai este nulă și, în consecință, prin conductorul neutru va trece un curent, ceea ce justifică existența acestui conductor într-un asemenea caz.

#### 4. Legarea receptoarelor la rețelele trifazate în stea și în triunghi

Dacă rețeaua este legată în triunghi, receptoarele  $R$  pot fi montate fie în triunghi, fie în stea fără conductor neutru, așa cum se vede în figura 8-12. Aceste receptoare trebuie însă să încarce echilibrat rețeaua trifazată (astfel de receptoare sînt, de exemplu, motoarele trifazate).

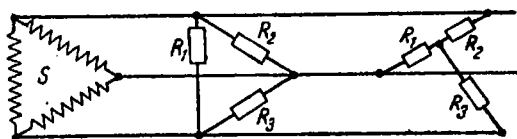


Fig. 8-12. Legarea receptoarelor la o rețea în triunghi.

Cînd rețeaua este legată în stea cu conductor neutru, recep-

toarele pot fi montate fie în triunghi, fie în stea cu legare la neutru, după cum se arată în figura 8-13. Dacă receptoarele sînt legate în triunghi, ele trebuie să fie echilibrate.

În cazul unei rețele în stea fără neutru (caz mai rar), receptoarele se pot lega ca și în cazul rețelei legate în triunghi (fig. 8-12).

În general, rețelele trifazate destinate a alimenta simultan lămpi electrice și motoare electrice nu se pot încărca simetric.

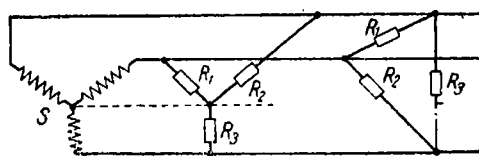


Fig. 8-13. Legarea receptoarelor la o rețea în stea cu fir neutru.

mărul și de puterea lămpilor aprinse la un moment dat. Din această cauză, astfel de rețele trebuie să fie legate în stea cu conductor neutru.

În figura 8-14 este reprezentată o rețea trifazată cu fir neutru, avînd ca receptoare o serie de motoare trifazate (recep-

Motoarele electrice trifazate încarcă în mod echilibrat rețeaua, dar lămpile electrice nu pot realiza o asemenea încărcare, deoarece sarcina corespunzătoare iluminatului depinde de nu-

la un moment dat. Din această cauză, astfel de rețele trebuie să fie legate în stea cu conductor neutru.

toare simetrice) și o serie de lămpi  $L$  (receptoare monofazate care încarcă nesimetric rețeaua).

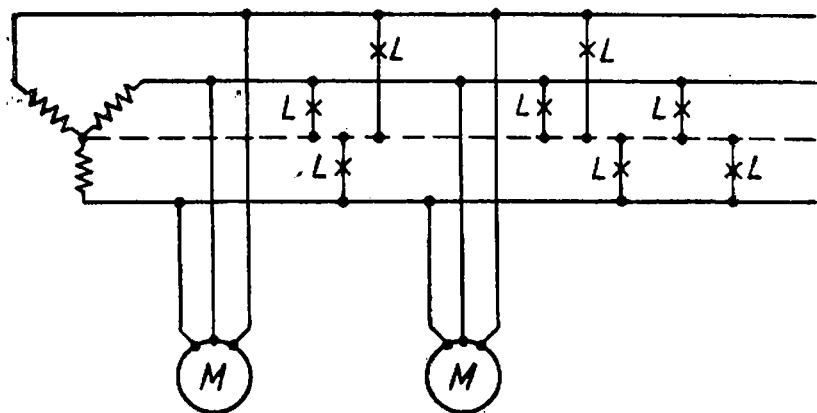


Fig. 8-14. Legarea receptoarelor la o rețea în stea nesimetrică.

## 5. Puterea și energia electrică în cazul rețelelor trifazate simetrice

Dacă se consideră o rețea legată în triunghi, ca în figura 8-9, puterea pentru fiecare bobinaj de fază este:

$$P_f = V J \cos \varphi,$$

în care:  $V$  este tensiunea pe fază;

$J$  — curentul pe fază;

$\varphi$  — unghiul de decalaj între curent și tensiune.

Pentru toate cele trei bobinaje de fază, puterea va fi:

$$P = 3 V J \cos \varphi.$$

Dar, după cum se știe:

$$V = U$$

$$J = \frac{I}{\sqrt{3}},$$

astfel încît, dacă se fac înlocuirile, rezultă:

$$P = \frac{3 UI}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} U I \cos \varphi.$$

În cazul unei rețele legate în stea, ca în figura 8-11, puterea pe o fază este:

$$P_f = V J \cos \varphi$$

iar puterea totală pentru cele trei bobinaje de fază:

$$P = 3 V J \cos \varphi.$$

În cazul legării în stea, după cum se știe, există relațiile:

$$J = I$$

$$V = \frac{U_l}{\sqrt{3}}.$$

Dacă se fac înlocuirile se obține:

$$P = \frac{3 U I}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} U I \cos \varphi.$$

Rezultă așadar că într-o rețea trifazată, fie că este legată în triunghi, fie că este legată în stea, puterea este egală cu  $\sqrt{3}$  multiplicat cu valoarea eficace a tensiunii dintre conductoarele de linie, cu valoarea eficace a curentului de linie și cosinusul unghiului de decalaj dintre curentul și tensiunea pe fază.

În cazul rețelelor trifazate, expresia:

$$P = \sqrt{3} U \cdot I \cos \varphi \quad (8.7)$$

se numește *putere activă*; expresia:

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi \quad (8.8)$$

se numește *puterea reactivă*, iar expresia:

$$S = \sqrt{3} U I \quad (8.9)$$

se numește *putere aparentă*.

Expresiile:

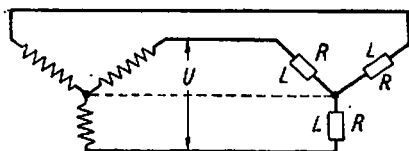
$$W_P = P \cdot t = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t \quad (8.10)$$

$$W_Q = Q \cdot t = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot t \quad (8.11)$$

unde  $t$  este timpul, poartă, respectiv, numele de *energie activă* și *reactivă*.

*Aplicația 8-1.* Un generator de curent trifazat menține între bornele sale o tensiune  $U$  de 380 V la frecvența 50 Hz și alimentează printr-o linie foarte

scurtă trei receptoare identice montate în stea (fig. 8-15). Fiecare receptor are o inductanță proprie  $L = 0,03$  H și o rezistență  $R = 4 \Omega$ . Se cer: tensiunea la bornele fiecărui receptor (se neglijează căderea de tensiune între sursă și receptor); intensitatea curentului absorbit de fiecare receptor; puterea activă consumată de cele trei receptoare.



**Rezolvare.** Tensiunea  $V$  la bornele unui receptor este:

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ V.}$$

Fig. 8-15. Receptor trifazat alimentat de la un generator.

Intensitatea curentului care trece printr-un receptor este:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} = \frac{220}{\sqrt{4^2 + (0,03 \cdot 2\pi \cdot 50)^2}} = \frac{220}{9,85} = 21,6 \text{ A.}$$

Factorul de putere pentru un receptor este:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} = \frac{4}{\sqrt{4^2 + (0,03 \cdot 2\pi \cdot 50)^2}} = \frac{4}{9,85} = 0,4.$$

Puterea activă absorbită de cele trei receptoare este:

$$P = \sqrt{3} U \cdot I \cos \varphi = 1,73 \cdot 380 \cdot 21,6 \cdot 0,4 = 5680 \text{ W} = 5,680 \text{ kW.}$$

# Fenomene electrice în gaze rarefiate și în vid

## 1. Descărcări electrice în gaze

Se consideră un tub de sticlă complet închis, avînd la extremități cîte un electrod din platină. Se leagă acești electrozi la un dispozitiv, care poate produce o anumită diferență de potențial între electrozi. Dacă în tub se găsește aer la presiunea atmosferică, iar diferența de potențial între electrozi este suficient de mare, se observă în interiorul tubului descărcări avînd forma unor scînteii șerpuite (fig. 9 — 1, a). Dacă se scoate treptat aerul din tub cu ajutorul unei pompe, descărcările pot avea loc și pentru diferențe de potențial mai mici, iar fenomenele luminoase din interiorul tubului se schimbă pe măsură ce presiunea aerului scade.

Dacă se ajunge, de exemplu, la o presiune corespunzătoare de 10 mm col. mercur, se observă în interiorul tubului o coloană luminoasă roșiatică care se întinde de la electrodul pozitiv (anod) pînă în apropierea electrodului negativ (catod). Această luminositate poartă numele de *coloană luminoasă pozitivă* (fig. 9—1, b). Scoțîndu-se aerul și mai mult, coloana pozitivă își mărește din ce în ce volumul (fig. 9—1, c), iar cînd presiunea din interiorul

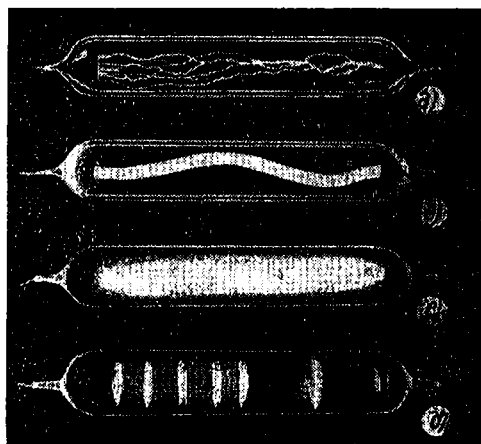


Fig. 9—1. Descărcări în gaze.

tubului scade sub 1 mm col. mercur, coloana începe să se separe într-o serie de straturi luminoase și întunecoase, perpendiculare pe axul longitudinal al tubului (fig. 9—1, d); dacă, de exemplu, distanța dintre electrozi este de aproximativ 100 mm, iar diferența de potențial este 1 000 V, intensitatea curentului din circuit este de câțiva miliamperi. Astfel de tuburi se numesc, de multe ori, tuburi *Geissler* (se citește Gaisler), de la numele aceleia care le-a realizat prima dată.

Cînd presiunea din tub este de circa 1 mm col. mercur, iar coloana luminoasă pozitivă umple aproape tot tubul, se pot obține diferite colorații, după natura gazului din interior. Dacă tubul este umplut cu *neon*, se obține o culoare roșie, dacă este umplut cu *helium*, culoarea este roză-albă etc. Pe această proprietate se bazează fabricarea tuburilor pentru firme luminoase.

Dacă presiunea din interiorul tubului scade mult, la valori cuprinse între 1/100 mm și 1/1 000 mm col. mercur, se formează un spațiu întunecos care începe din regiunea catodului și crește spre anod, pe măsură ce presiunea scade. Asemenea tuburi se numesc tuburi *Crookes* (se citește Cruce), după numele fizicianului care a studiat aceste fenomene. În partea opusă catodului, sticla capătă o luminozitate verzuie, deoarece de la catod pleacă raze care, atingînd sticla, o fac luminoasă. Dacă în drumul acestor raze se interpun alte corpuri, acestea iau diferite colorații: creta devine galbenă-portocalie, diamantul devine verde etc. Chiar gazul rarefiat din interiorul tubului capătă o slabă luminozitate: de exemplu, oxigenul devine galben. Razele care pornesc de la catod se numesc *raze catodice*; ele se propagă în linie dreaptă.

În cele ce urmează se explică modul cum se produc fenomenele luminoase în tuburi.

În tuburile cu gaze rarefiate există de obicei un mic număr de electroni *liberi* (care nu sînt fixați în atomi), fie în gazul rarefiat, fie în catod. Cînd se aplică o diferență de potențial între electrozi, electronii liberi — care sînt particulele încărcate cu electricitate negativă — sînt atrași, sub influența cîmpului electric din tub, de către anod (electrodul pozitiv). În drumul lor, electronii se ciocnesc cu atomii de gaz pe care îi întîlnesc. Prin ciocnire, electronii liberi pot scoate din atomi electroni ai acestor atomi, electroni care, și ei, se dirijează spre anod. Atomii de gaz care au pierdut unul sau mai mulți electroni au devenit particule pozitive, numite *ioni pozitivi*; acești ioni sînt atrași de catod, adică de electrodul negativ. Formarea de ioni din atomii de gaze poartă numele de *ionizare*.



Ioni pozitivi, ajungând la catod, scot din metalul electrodului alți electroni, astfel încît în interiorul tubului se menține o circulație permanentă de ioni și de electroni. Această circulație de electroni și ioni din interiorul tubului completează circuitul electric în care se găsește tubul, realizîndu-se astfel un circuit închis.

În cazul tuburilor *Crookes*, cînd gazul este foarte rarefiat, numărul ionilor pozitivi care se dirijează spre catod este mult mai redus decît în cazul cînd rarefierea este mai puțin accentuată. Razele catodice din aceste tuburi sînt constituite din electroni care se dirijează de la catod înspre anod.

Ciocnirile dintre electroni și atomii gazului din interiorul tubului nu sînt totdeauna suficient de puternice pentru a scoate complet electronii din atomii respectivi. Uneori, electronii suferă numai o deplasare de pe orbita lor normală pe o altă orbită *mai puțin stabilă*. Un atom care are electroni pe astfel de orbite nestabile se numește *atom excitat*. Electronul de pe orbita nestabilă caută să revină pe orbita stabilă. Cînd se face revenirea electronului, se produce o *radiație*, care poate fi *luminoasă*. De asemenea, se poate întîmpla ca un ion pozitiv să *capteze*, în drumul lui spre catod, un electron care se îndreaptă spre anod; acest fenomen poate avea loc dacă viteza electronului nu este prea mare. În momentul captării electronului, se pot produce, de asemenea, radiații luminoase.

În aplicațiile industriale practice sînt mai răspîndite lămpile care funcționează pe baza *descărcărilor electrice în vapori metalici*, de sodiu sau de mercur. Descărcările din aceste lămpi sînt însoțite de efecte luminoase și se numesc descărcări *în arc*.

În ultimul timp au început să se răspîndească din ce în ce mai mult lămpile cu *fluorescență*, care se fabrică și în R.P.R. În tubul unei asemenea lămpi se produc descărcări în vapori de mercur, care dau loc la radiații invizibile (ultra-violete). Aceste radiații, după ce ating peretele interior al tubului lămpii căptușit cu substanțe speciale numite fluorescente, se transformă în radiații luminoase.

Lămpile cu descărcări în vapori metalici au un randament luminos de cîteva ori mai mare decît cel al lămpilor electrice obișnuite (cu incandescență); ele au însă dezavantajul de a produce o lumină cu o culoare neplăcută, care face ca figurile omenești să aibă un aspect cadaveric.

Lămpile cu fluorescență, pe lângă faptul că au un randament luminos de același ordin de mărime ca și lămpile cu descărcări în vapori metalici, au avantajul de a produce o lumină asemănă-

toare cu aceea a zilei. Din această cauză ele se răspindesc din ce în ce mai mult în diferite domenii.

## 2. Razele X (Röntgen)

Se consideră un tub de genul tuburilor *Crookes* (fig. 9—2). Se notează cu *A* anodul și cu *C* catodul. Între anod și catod se așază un al treilea electrod metalic *A<sub>c</sub>*, numit *anticatod*, legat electric cu anodul, după cum se arată în figură. Dacă se aplică

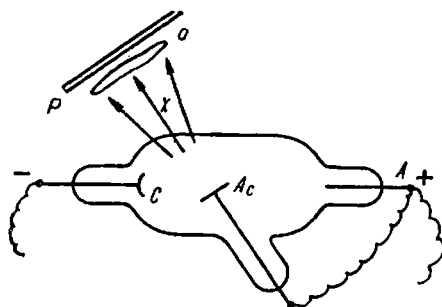


Fig. 9—2. Tub pentru producerea razelor X.

între anod și catod o diferență de potențial foarte mare, razele catodice care pornesc de la catod lovesc anticatodul *A<sub>c</sub>*, iar acesta emite, la rîndul său, raze care au proprietatea nouă că pot pătrunde prin diverse corpuri mai mult sau mai puțin opace (corpurile opace nu pot fi străbătute de razele de lumină). Aceste

raze se numesc raze X sau raze *Röntgen*, după numele aceluia care le-a descoperit în anul 1895. Dacă se așază în *O* un obiect oarecare, razele X pot străbate acest obiect și apoi impresionează, fie un ecran cu *platinocianură de bariu*, fie o *placă fotografică*, așezată în *P*. Dacă, de exemplu, se așază mîna în *O*, pe ecran — care devine luminos — sau pe placa fotografică, apar oasele mîinii, prin care razele X trec mai greu decît prin carne.

Razele X își găsesc numeroase aplicații în medicină și în metalurgie. În medicină ele permit, de exemplu, să se cerceteze fracturile osoase, să se descopere diverse obiecte pătrunse în corpul omenesc etc. Cînd observația se face direct pe ecranul cu platinocianură de bariu, operația se numește *radioscopie*, iar cînd se utilizează o placă fotografică, se numește *radiografie*. Uneori, bolile canceroase se tratează cu raze X. Tratatamentul cu asemenea raze se numește *radioterapie*. În metalurgie, razele X sîrvesc la studiul omogenității metalelor, la găsirea defectelor la piesele turnate etc.

Acțiunea îndelungată a razelor X asupra țesuturilor vii poate produce arsuri profunde, foarte periculoase. Pentru protecție se utilizează tole de plumb, șorțuri de cauciuc cu plumb sau ochelari din sticlă cu plumb, deoarece plumbul este străbătut foarte greu de razele Röntgen.

### 3. Emisiunea termoelectronică

În figura 9-3 se consideră un tub de sticlă  $V$ , în care s-a făcut vacuum (vid) avansat. S-a notat cu  $F$  filamentul (un fir subțire) de wolfram, iar cu  $P$ , o placă din moliбden. Cu ajutorul unei baterii  $B_c$  de circa 4 V se alimentează filamentul  $F$  cu curent electric. Bateria  $B_a$ , de aproximativ 80 V, menține placa  $P$  la un potențial pozitiv față de filament. În felul acesta, placa  $P$  constituie anodul, iar filamentul  $F$ , catodul dispozitivului. Bateria  $B_c$  se numește catodică, iar bateria  $B_a$ , anodică.

Se reglează astfel reostatul  $R_h$  din circuitul filamentului, încît acesta să se încălzească pînă la incandescență. În aceste condiții, miliampermetrul  $mA$  din circuitul bateriei anodice indică trecerea unui curent electric de ordinul miliamperilor, deși în interiorul tubului filamentul nu este legat cu placa, iar în tub este vacuum; din acest motiv, apariția curentului electric nu mai poate fi explicată prin ionizarea gazelor ca în tuburile cu gaze rarefiate (§ 1).

Prezența curentului se explică prin faptul că filamentul adus la incandescență are posibilitatea de a emite electroni în tubul în care s-a făcut vid. Sub influența cîmpului electric din tub, acești electroni sînt atrași de către placa anodică. În felul acesta, curentul electric din circuitul metalic  $P B_a D E F$  se continuă prin circulația electronilor dintre filamentul  $F$  și placa  $P$  din interiorul tubului. Electronii circulă în sensul săgeții trasate punctat, iar curentul electric are sensul contrar, indicat de săgeata  $I_a$  trasată plin. Curentul  $I_a$  se numește *curent anodic*.

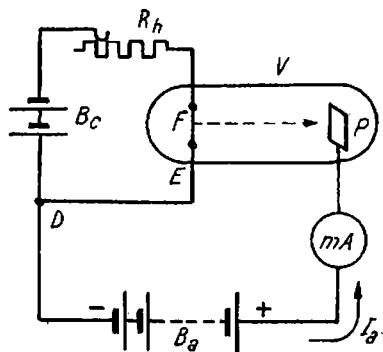


Fig. 9-3 Tub electronic cu doi electrozi.

Eliberarea electronilor de către filamentul încălzit pînă la incandescență poartă numele de *emisiune termoelectronică*, iar curentul constituit de electronii din tub se numește *curent termoelectronic*. Dispozitivul întreg este un *tub electronic*.

#### 4: Tuburi electronice

Tubul electronic din figura 9—3, care are un catod și un anod, poartă numele de *diodă*. Catodul poate fi realizat și din tantal sau toriu, iar anodul din nichel, cupru sau tantal. În figu-

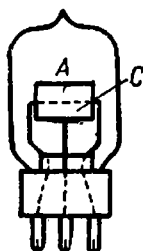


Fig. 9-4. Diodă

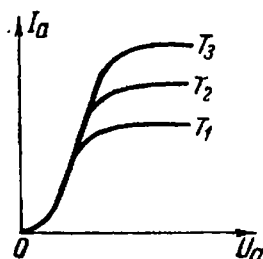


Fig. 9-5. Caracteristicile diodei.

ra 9—4 se arată aspectul constructiv al unei diode, cu un anod (placă) cilindric *A* și un catod *C*, care pătrunde prin interiorul anodului.

În figura 9—5 se arată cum variază *curentul anodic*  $I_a$ , în funcție de *tensiunea anodică* (tensiunea anodului față de catod)  $U_a$ , pentru diferite temperaturi crescătoare  $T_1, T_2, T_3, \dots$ , ale catodului. La o anumită temperatură a catodului, caracteristica are la început o parte curbă, apoi devine practic rectilinie; ultima parte tinde să devină paralelă cu axa absciselor, adică curentul tinde spre o valoare constantă numită *valoare de saturație* a curentului.

Dioda se întrebuințează mai ales ca *redresor* (dispozitiv care transformă curentul alternativ în curent aproximativ continuu), numindu-se, în acest caz, *diodă redresoare* sau *kenotron*. Funcționarea diodei redresoare se bazează pe faptul că în *circuitul anodic*, curentul  $I_a$  (fig. 9—3) nu poate trece decît în sensul indicat de către săgeata plină, atunci cînd potențialul plăcii *P* este pozitiv față de potențialul filamentului *F*. Dacă

s-ar încerca să se treacă prin acest circuit un curent alternativ  $i$ , nu vor trece decât alternanțele pozitive, astfel cum se arată în figura 9—6. Curentul  $i$  din figură se numește *curent redresat* și are numai valori pozitive, apropiindu-se de curentul continuu. Există scheme electrice cu două sau patru diode, care permit

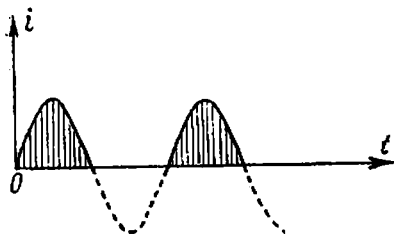


Fig. 9-6. Redresarea unei alternanțe a curentului alternativ.

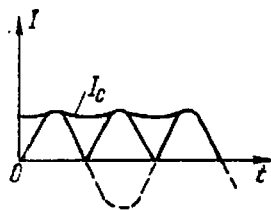


Fig. 9-7. Redresarea ambelor alternanțe ale curentului alternativ.

redresarea ambelor alternanțe ale curentului alternativ, așa cum se arată în figura 9—7. Curentul  $I_c$ , din figura 9—7 se apropie în acest caz și mai mult de curentul continuu.

În figura 9—8 se arată un tub electronic, în care s-a făcut vacuum avansat și care, spre deosebire de diodă, conține și o

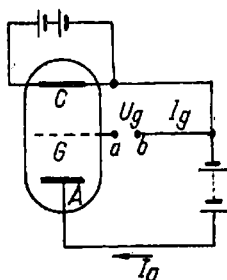


Fig. 9-8. Schema triodei.

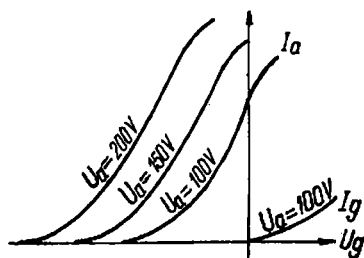


Fig. 9-9. Caracteristicile unei triode în funcție de tensiunea grilei.

grilă (grătar)  $G$  între catodul  $C$  și anodul  $A$ . Un asemenea tub electronic se numește *triodă*. Trecerea electronilor între catod și anod poate fi influențată de potențialul pe care-l are grila față de catod. Dacă grila are un potențial negativ, obținut — de exemplu — cu ajutorul unei tensiuni aplicate între punctele  $a$  și  $b$  ale circuitului de grilă, această grilă va exercita o acțiune de respingere asupra electronilor, frînând în felul acesta mai

mult sau mai puțin (după valoarea potențialului de grilă) circulația electronilor și variind deci în mod corespunzător intensitatea curentului  $I_a$  din circuitul anodic. Dacă se mărește potențialul grilei, curentul din circuitul anodic poate crește ca intensitate, deoarece circulația electronilor este accelerată. În felul acesta, variind potențialul de grilă se poate *comanda* fără inerție (adică fără întârziere) valoarea curentului anodic.

Curentul anodic  $I_a$  al triodei depinde de tensiunea anodică  $U_a$  a anodului față de catod și de tensiunea  $U_g$  a grilei față de catod.

În figura 9—9 se arată variația curentului anodic  $I_a$  și a curentului de grilă  $I_g$ , în funcție de tensiunea  $U_g$  a grilei, pentru diferite valori ale tensiunii anodice  $U_a$ .

Caracteristicile arată că se pot comanda curenți anodici de ordinul miliamperilor, numai prin variația tensiunii de grilă, curentul de grilă putînd fi chiar nul.

Unui curent de grilă de ordinul microamperilor (un microamper este a milioana parte dintr-un amper) îi poate corespunde un curent anodic de ordinul miliamperilor.

Deoarece inerția tuburilor electronice este în general nulă, variația curentului anodic urmărește instantaneu variația tensiunii de grilă, astfel încît se pot utiliza curenți de frecvență mult mai mare decît aceea a curenților industriali, și anume curenți de frecvență muzicală (1 000—3 000 Hz), sau curenți de înaltă frecvență (de exemplu, în instalațiile de radiocomunicații).

Dacă într-un montaj corespunzător schemei reprezentate în figura 9—10, variază puțin tensiunea  $U_g$  a grilei, aparținînd triodei  $T_1$ , se obține o variație foarte mare a curentului  $I_{a1}$  din circuitul anodic al acestei triode. Din această cauză, tensiunea  $U_g$  se regăsește *amplificată* într-un

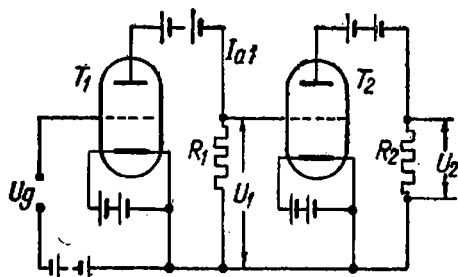


Fig. 9—10. Amplificarea cu ajutorul triodelor.

anumit raport în tensiunea  $U_1$  la bornele rezistenței  $R_1$  din circuitul anodic al triodei  $T_2$ . În felul acesta se explică funcționarea triodei ca *tub amplificator*.

Dacă este necesară o amplificare mai importantă, se pot utiliza mai multe triode, ca, de exemplu, trioda  $T_2$  din figura 9—10. Tensiunea  $U_1$  se regăsește amplificată la rîndul ei în

tensiunea  $U_2$  la bornele rezistenței  $R_2$  din circuitul anodic al triodei  $T_2$ . Figura 9—10 arată o amplificare în două etaje.

Se consideră o triodă montată ca în figura 9—11, unde  $C$  este un condensator, iar  $L_g$  și  $L_p$ , două bobine cu același miez. La un anumit moment, condensatorul se încarcă de la bateria anodică și apoi se descarcă în bobina  $L_p$ , energia electrică trecând astfel din câmpul electric al condensatorului în câmpul magnetic al bobinei. Apoi energia trece din nou în condensator și îl încarcă ș. a. m. d; această energie oscilează între cele două câmpuri din

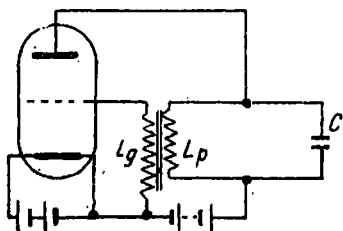


Fig. 9—11. Triodă oscilatoare.

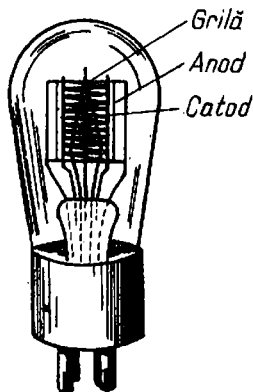


Fig. 9—12. Schema constructivă a unei triode.

condensator și bobină. Ca urmare, între condensatorul  $C$  și bobina  $L_p$  apare un curent alternativ.

În bobina  $L_g$  se induce o forță electromotoare și în consecință la bornele grilei se aplică o tensiune alternativă. La rîndul său, tensiunea alternativă de grilă produce în circuitul anodic un curent alternativ.

Din cauza pierderilor prin efect Lenz-Joule, intensitatea curentului alternativ din circuitul  $C-L_p$  s-ar micșora treptat. Pentru ca valoarea curentului să se păstreze, trebuie ca circuitul cu condensator și bobină, numit *circuit oscilant*, să primească din afară energie; această energie este dată de bateria anodică.

Trioda aceasta poartă numele de *triodă oscilatoare* și se utilizează în instalațiile de radiocomunicații.

Trioda poate servi și ca redresor. Redresarea se bazează pe principiul arătat la diodă, curentul care trebuie redresat fiind însă adus în circuitul de grilă, iar curentul redresat obținându-se în circuitul anodic. Din punct de vedere constructiv, trioda — ca și dioda — poate fi realizată cu balon de sticlă sau metalic. În figura 9—12 se arată aspectul constructiv al unei triode cu balon de sticlă. Trioda cu vid se numește și *pliotron*.

## 5. Tuburi ionice

Dacă dioda conține un gaz de joasă presiune (argon sau vapori de mercur), ea poartă numele de *gazotron*. Trecerea electronilor prin gazotron provoacă ionizarea gazului și de aceea tubul se numește *ionic*. În interiorul tubului, la circulația electronilor în sensul catod-anod se adaugă circulația ionilor pozitivi în sensul anod-catod. La gazotron, curenții sînt mai intensi și căderile de tensiune interne mai reduse decît la dioda cu vacuum. Gazotronul se utilizează de obicei ca redresor, ca și kenotronul.

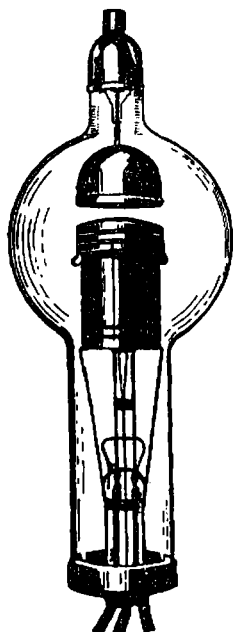


Fig. 9-13. Tiratron.

Dacă trioda conține un gaz sub presiune joasă, se numește *tiratron* și are o funcționare deosebită de aceea a pliotronului în ceea ce privește stabilirea și întreruperea curentului anodic. Puterea tiratronelor ajunge pînă la aproximativ 20 kW.

La tiratron, pentru o anumită tensiune anodică, tubul nu se amorsează (nu apare curent anodic) decît dacă potențialul grilei a depășit o anumită valoare, numită *potențial critic* sau de *amorsare*. Tubul o dată amorsat, curentul anodic nu mai poate fi întrerupt chiar pentru negativări puternice ale grilei.

Tiratronul se utilizează mult ca redresor și ca amplificator. De asemenea poate servi și la reglarea valorii tensiunii redresate, dacă se polarizează în mod convenabil grila.

În figura 9-13 se arată construcția unui tiratron.

## 6. Emisiunea fotoelectronică. Celula fotoelectrică

În figura 9-14 se consideră un balon de sticlă *B* în care s-a făcut vacuum; o parte din peretele interior al balonului este căptușit cu un strat *S* de oxid de cesiu și de argint sau de stibiu și de cesiu. În interiorul balonului se găsește inelul *I* din tungsten, legat prin intermediul rezistenței *R* la polul pozitiv al



unei baterii de acumuloare  $B_a$  de 80—100 V. Polul negativ al bateriei este legat la stratul  $S$  care căpтуșește balonul.

După cum este realizată schema electrică, se vede că stratul  $S$  constituie catodul, iar inelul  $I$ , anodul dispozitivului. Experimental se constată că orice variație a intensității luminoase la care este supus balonul se manifestă printr-o variație a curentului în circuitul bateriei și deci printr-o variație a tensiunii la bornele rezistenței  $R$ .

Fenomenul se explică prin faptul că sub influența energiei luminoase catodul emite electroni, iar aceștia, din cauza cîmpului electric, sînt atrași de către anod. În felul acesta se închide circuitul bateriei, astfel încît aparatul  $A$  indică trecerea unui curent electric în sensul săgeții pline, pe cînd sensul de circulație al electronilor în interiorul balonului corespunde săgeții trasate punctat.

Eliberarea electronilor de pe catod sub influența luminii poartă numele de *emisiune fotoelectrică*, iar circulația electronilor din balon corespunde unui *curent fotoelectric*. Dispozitivul poartă numele de *celulă fotoelectrică*.

Celula fotoelectrică cu vacuum are o inerție foarte mică, adică variația curentului anodic se produce practic în același timp cu variația intensității luminii. Sensibilitatea sa este însă redusă, adică pentru variații mari ale intensității luminoase curentul anodic este mic. Există însă și celule umplute cu gaz *inert* (care nu se combină cu alte corpuri), cum este argonul. Electronii care traversează o asemenea celulă ionizează gazul, astfel încît în interior pe lîngă circulația de electroni, se produce și o circulație de ioni pozitivi. Din cauza ionilor, care sînt particule materiale cu masă mult mai mare decît aceea a electronilor, inerția celulei este mai mare decît a celulei cu vid. Deoarece gazul se ionizează, sensibilitatea celulei cu gaz este mai mare decît aceea a celulei cu vacuum.

Se construiesc celule fotoelectrice bazate și pe alte principii de funcționare, ca, de exemplu, *celula cu seleniu*; acest element are proprietatea de a-și schimba mult rezistivitatea în funcție de intensitatea luminii care cade pe el. O sursă de energie electrică cuprinzînd în circuitul ei o celulă cu seleniu va produce deci un curent dependent de această intensitate luminoasă.

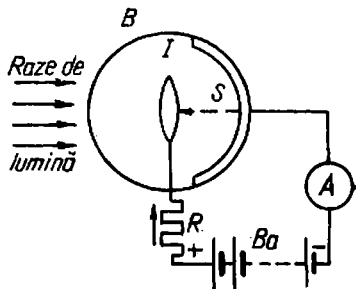


Fig. 9-14. Celulă fotoelectrică.

Celulele fotoelectrice își găsesc întrebuințare în televiziune, în cinematografia sonoră, numărarea automată a produselor fabricate pe bandă rulantă, instalațiile de pază contra delapidatorilor, instalațiile de protecție a muncii etc.

Curenții electrici care apar în funcționarea unei celule fotoelectrice sînt foarte slabi și de aceea ei trebuie să fie amplificați.

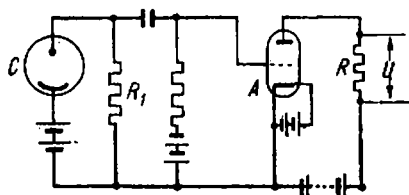


Fig. 9-15. Celulă fotoelectrică cu triodă amplificatoare.

Amplificarea se poate realiza cu ajutorul unei triode amplificatoare, astfel cum se arată în figura 9-15. Curentul datorit celulei fotoelectrice  $C$  produce o anumită tensiune la bornele rezistenței  $R_1$ . Această tensiune se aplică circuitului de grilă al triodei amplificatoare  $A$  prin intermediul unui condensator. La bornele rezistenței  $R$  din circuitul anodic al triodei se obține tensiunea  $U$  amplificată față de tensiunea la bornele rezistenței  $R_1$ .

tensiunii  $R$  din circuitul anodic al triodei se obține tensiunea  $U$  amplificată față de tensiunea la bornele rezistenței  $R_1$ .

## 7. Tubul catodic. Televiziunea

Se consideră în figura 9-16, *a*, o diodă cu filamentul  $F$ . Placa anodică  $P$  este prevăzută cu un orificiu central. Electronii care părăsesc filamentul străbat orificiul plăcii și al diafragmei  $D$  spre a ajunge pe ecranul  $E$  acoperit cu sulfură de zinc, silicat de zinc sau altă substanță specială, care are proprietatea de a produce o pată luminoasă punctiformă acolo unde este atinsă de raza electronică  $r$ . Această rază trece printre două plăci orizontale  $P_o$  și două plăci verticale  $P_v$ . Dacă între plăcile verticale se produce, printr-un mijloc oarecare, un câmp electric, raza electronică este deviată într-un plan orizontal. Dacă între plăcile orizontale se produce un alt câmp electric, raza electronică este deviată într-un plan vertical. Deviațiile razei electronice apar și pe ecranul  $E$ .

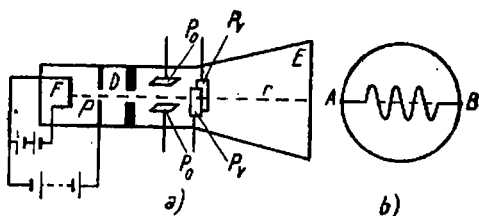


Fig. 9-16. Tub catodic.

Cu ajutorul dispozitivului descris, care poartă numele de *tub catodic*, se poate studia variația unei tensiuni. De exemplu, se aplică între plăcile  $P_0$  o tensiune alternativă care trebuie studiată, iar între plăcile  $P_v$ , o tensiune proporțională cu timpul, ce se poate obține cu un dispozitiv special. Raza electronică va fi astfel deplasată, încît pata luminoasă de ecran să descrie o curbă ca în figura 9-16,  $b$ , începînd din  $A$  înspre  $B$ . În momentul cînd raza electronică a atins extremitatea  $B$ , tensiunea dintre plăcile  $P_v$  o readuce foarte repede în extremitatea  $A$  ș.a.m.d.

Tubul catodic își găsește aplicații în televiziune, lucrări de laborator, zbor fără vizibilitate, radar etc.

*Televiziunea*, sau vederea la distanță, se poate obține cu ajutorul dispozitivului, reprezentat simplificat în figura 9-17 și care se aseamănă într-o oarecare măsură cu tubul catodic. În  $F$  se găsește un strat sensibil la lumină (ca la celula fotoelectrică) alcătuit dintr-un număr foarte mare de picături de argint. Stratul  $F$  este separat de ecranul metalic  $E$  printr-o placă de mica  $P$ . Fiecare picătură de argint constituie un *element fotoelectric* (o mică celulă fotoelectrică). În total se găsesc cîteva zeci de mii de asemenea celule fotoelectrice.

Imaginea unui obiect  $O$  este proiectată pe ecran prin intermediul unui sistem de lentile  $L$ . Fiecare rază luminoasă care atinge un element fotoelectric face ca acest element să emită electroni și încarcă condensatorul constituit din element și ecranul  $E$  cu o cantitate de electricitate proporțională cu intensitatea razei luminoase respective.

Mozaicul de elemente fotoelectrice este explorat cu ajutorul unei raze catodice  $r'$ , adică această rază atinge pe rînd toate elementele. Cînd raza exploratoare atinge un anumit element, condensatorul corespunzător se descarcă, iar rezistența  $R$  este străbătută de un curent proporțional cu intensitatea razei luminoase provenită de la obiectul  $O$ , care a intersectat elementul fotoelectric respectiv. În felul acesta, la bornele rezistenței  $R$  se obține o tensiune  $U$  proporțională cu intensitatea razei luminoase respective. Dispozitivul descris este denumit *iconoscop*.

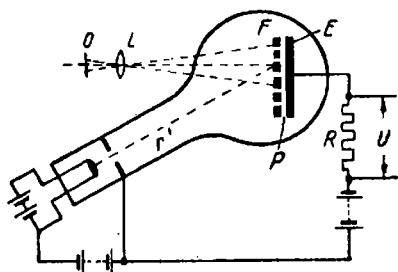


Fig. 9-17. Iconoscop.

Raza exploratoare  $r'$  analizează *punct cu punct* într-un interval de timp foarte scurt întreaga regiune a ecranului pe care se proiectează imaginea obiectului  $O$ .

Variațiile tensiunii  $U$  sînt trecute într-un amplificator electronic și apoi pot fi transmise la distanță, fie prin intermediul unor conductoare, fie prin intermediul undelor electromagnetice (radio).

Reconstituirea imaginii la postul receptor se face cu ajutorul unui tub catodic. Acesta este prevăzut cu un dispozitiv special de comandă, prin intermediul căruia se poate varia intensitatea razei catodice  $r$  (fig. 9—16). Acest dispozitiv de comandă — nereprezentat în figura 9—16 — funcționează pe baza unui principiu analog cu acela al grilei unei triode. Raza catodică  $r$  a tubului catodic funcționează în *sincronism*, în același timp și în același fel cu raza exploratoare  $r'$  a iconoscopului. Variațiile tensiunii  $U$  de la postul de emisiune (iconoscop) sînt transmise dispozitivului de comandă menționat mai înainte, de la postul de recepție (tub catodic). În felul acesta, pe ecranul tubului catodic se reproduce imaginea obiectului  $O$  de la postul de emisiune.

O explorare completă efectuată de raza  $r'$  a iconoscopului ca și de raza  $r$  a tubului catodic trebuie să fie realizată în maximum  $1/20$  dintr-o secundă, deoarece retina ochiului omenesc păstrează senzația luminoasă în acest interval de timp. De obicei, însă, pentru a obține o bună impresie de continuitate, timpul de explorare este de  $1/25$  dintr-o secundă.

## Materiale electrotehnice

### 1. Noțiuni generale, clasificare

Materialele folosite în electrotehnică, numite și materiale electrotehnice, se pot împărți, după proprietățile lor electrice, în

- materiale conductoare;
- materiale semiconductoare;
- materiale izolante.

*Materialele conductoare* sînt corpuri care au în mod normal în componența lor sarcini electrice libere, conduc curentul electric și au o rezistivitate mică, cuprinsă între  $10^{-2}$  și  $10 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

*Materialele semiconductoare* sînt corpuri care, în anumite condiții, pot conduce curentul electric, avînd o rezistivitate cuprinsă între aceea a materialelor conductoare și aceea a materialelor izolante ( $10^{-3} - 10^{10} \Omega \text{ cm}$ ) și un coeficient negativ de variație a rezistivității cu temperatura.

*Materialele izolante* sînt corpuri care, în mod normal, nu au în componența lor sarcini electrice libere, nu conduc curentul electric și au o rezistivitate foarte mare, cuprinsă între  $10^{10}$  și  $10^{20} \Omega \text{ cm}$ .

Din punctul de vedere al proprietăților magnetice, materialele se pot împărți în materiale *diamagnetice* și materiale *paramagnetice*. Materialele diamagnetice sînt corpuri care, fiind introduse într-un cîmp magnetic, nu se magnetizează și au permeabilitatea magnetică relativă  $\mu_r < 1$ . Materialele paramagnetice sînt corpuri care, fiind introduse într-un cîmp magnetic, se magnetizează și au permeabilitatea magnetică relativă  $\mu_r > 1$ .

*Materialele feromagnetice* sau magnetice constituie un caz particular al materialelor paramagnetice, avînd  $\mu_r \gg 1$  și proprietăți magnetice deosebite: au permeabilitatea variabilă cu intensitatea cîmpului magnetic; introduse într-un cîmp magnetic, ele sînt supuse unor forțe electromagnetice și exercită,

la rindul lor, influențe asupra acestui câmp; produc în interiorul lor inducții mari la cîmpuri străine și deformează liniile de forță ale acestor cîmpuri; prezintă pierderi magnetice la variația ciclică a cîmpului străin etc. Aceste materiale sînt mult folosite în electrotehnică.

Materialele electrotehnice au început să fie fabricate în țara noastră numai după 23 August 1944. În prezent se fabrică în special conductoare și cabluri electrice și unele materiale electroizolante. Planul de dezvoltare economică pe anii 1960—1965 prevede creșterea producției de conductoare (de 2,5 ori) și de cabluri electrice (de 4 ori), precum și construirea unei fabrici de semiconductoare.

## 2. Materiale conductoare

Conductoarele electrice pot fi corpuri solide, lichide și — în anumite condiții (de exemplu la intensități mari ale cîmpului electric) — gaze și vapori.

Metalele și aliajele se pot împărți în metale și aliaje de *mare conductivitate*, întrebuițate pentru conducte electrice, cabluri, sîrmă de bobinaj pentru mașini și aparate electrice etc. și metale și aliaje de *mare rezistivitate*, întrebuițate pentru reostate, aparate electrice de încălzit, lămpi cu incandescență etc.

### a. Materiale de mare conductivitate

#### *Cuprul*

Avînd o conductivitate electrică mare, o rezistență mecanică destul de mare, proprietăți fizice, chimice și tehnologice care îl fac indicat pentru confecționarea conductoarelor electrice, cuprul are o largă întrebuițare în electrotehnică. Fiînd însă un material deficitar (se găsește în scoarța pămîntului în proporție de circa 0,01%), el trebuie înlocuit ori de cîte ori este posibil.

În electrotehnică se folosește *cuprul electrolitic* CuE (STAS 642-49) care are un conținut de 99,95% Cu, precum și Cu9, cu un conținut de 99,9% Cu.

Cuprul electrolitic are o culoare caracteristică roșiatică, greutatea specifică de 8,9 kg/dm<sup>3</sup>, rezistivitatea  $\rho = 1,748 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ ,

coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura  $\alpha = 0,00393/\text{grd}$  (STAS 642-49).

Proprietățile diferitelor feluri de cupru determină și utilizarea lor.

*Cuprul tare*, avind mare rezistență mecanică, duritate și rezistență la uzură, se folosește la fabricarea conductoarelor neizolate pentru liniile aeriene de transport al energiei electrice, la fabricarea barelor pentru instalații de distribuție, a conductoarelor de contact, a barelor pentru colectoarele mașinilor electrice etc.

*Cuprul moale*, avind flexibilitate și maleabilitate mare, dar o rezistență de rupere mai mică, se folosește la fabricarea conductoarelor izolate pentru cabluri electrice și a sîrmelor de bobinaj.

### Aliajele cuprului

*Bronzul* este un aliaj de cupru cu unul sau mai multe metale, în scopul obținerii unui metal mai dur, mai rezistent și mai fuzibil.

Bronzurile se folosesc în construcția mașinilor și aparatelor electrice, precum și la confecționarea diferitelor piese cum sînt clemele pentru conductoare, clemele de legătură, clemele de susținere, inelele colectoare, armăturile, cușitele, contactele, arcurile etc.

*Alama* este un aliaj de cupru cu zinc, în care zincul nu poate depăși 46% (STAS 95-49). După compoziție, alama are rezistivitatea cuprinsă, la 20°C, între 5 și  $7,1 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ .

Ea se folosește la confecționarea pieselor conductoare de curent, de exemplu: cleme de derivație, socluri, patroane fuzibile, borne pentru tablouri de distribuție, piese de contact, dulii pentru lămpi, prize și fișe de curent etc.

### Aluminiul

Avind proprietăți asemănătoare cu acelea ale cuprului, aluminiul este cel de-al doilea metal important folosit în electrotehnică. Compoziția aluminiului utilizat în electrotehnică depinde de destinația sa (STAS 3033-52 și STAS 4965-55).

Aluminiul are o culoare albă-argintie, care cu timpul devine albăstruie din cauza oxidării la suprafață, greutatea specifică de  $2,7 \text{ kg/dm}^3$ , rezistivitatea, la 20°C, de  $2,941 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$  și coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura de  $0,004/\text{grd}$  la 20°C. El rezistă la coroziune datorită unui strat de oxizi

de rezistență electrică mare, cu care se acoperă în prezența aerului. Pelicula de oxid îngreuiază însă foarte mult lipirea aluminiului, care nu se poate face decât folosind paste de lipit speciale.

O mare importanță practică o are *coroziunea galvanică*, care apare la locurile de contact între aluminiu și cupru. Dacă regiunea contactului este supusă umezelii, se formează o pilă galvanică locală, cu o f.e.m. de valoare destul de mare, care distruge aluminiul. Din această cauză, locurile de contact între aluminiu și cupru se protejează întotdeauna împotriva umezelii prin acoperire cu lacuri.

Aluminiul se utilizează la confecționarea conductoarelor liniilor de transport al energiei electrice, la fabricarea cablurilor electrice, a conductoarelor pentru bobinaj și pentru instalațiile electrice interioare, a rotoarelor pentru motoarele electrice asincrone cu rotor în scurtcircuit, a tablelor pentru confecționarea carcaselor aparaturii, a foilor de condensatoare, a papucilor pentru conductoare etc.

### *Aliajele aluminiului*

Aliajul aluminiului cel mai întrebunțat este aldreul, compus din aluminiu, magneziu (0,3—0,5%), siliciu (0,4—0,7%) și fier (0,2—0,3%). Acest aliaj se întrebunțează la confecționarea, prin trefilare, a conductoarelor pentru linii aeriene.

### *Zincul*

Zincul utilizat în electrotehnică (STAS 808-55, 809-55 și 4172-53) are greutatea specifică de 7,14 kg/dm<sup>3</sup>, rezistivitatea, la 20°C, de  $5,92 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ , coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura de 0,00419/grd și rezistența la tracțiune de 11,2—13,3 kgf/mm<sup>2</sup>.

Se utilizează la confecționarea conductoarelor (cu adaos de Cu sau Al), a electrozilor pentru elemente galvanice, a lamelor fuzibile pentru siguranțe etc.

### *Oțelul și fonta*

Oțelul folosit în electrotehnică (cu un conținut de 0,10—0,15 % C) are densitatea de 7,8 kg/dm<sup>3</sup>, conductivitatea de 7—8 ori mai mică decât cuprul și rezistența de rupere de 70—75 kgf/mm<sup>2</sup>.

Fiind un metal mai lefter decât cuprul și având o rezistență mecanică mare se folosește și la confecționarea șinelor de tramvai, de căi ferate electrice și de metrou, precum și pentru miezurile (inimile) cablurilor electrice.

Deoarece nu rezistă la coroziune, ruginind chiar la temperatura normală, oțelul folosit pentru conducerea curentului se protejează acoperindu-se cu un strat protector, de obicei, de zinc.



Fierul cu un procent mare de carbon (1,1—4,5%) dă fonta, care se utilizează la executarea reostatelor de pornire și de reglare, precum și la fabricarea unor rezistențe de încălzire electrică pentru temperaturi până la 300—500°C.

### *Magneziul*

Magneziul are o culoare albă-argintie, este maleabil și are o rezistență slabă la coroziune. Încălzit la 800°C arde cu flacără albă, orbitoare.

Se utilizează la unele tipuri de redresoare, ca material pentru electrozii reci ai aparatelor ionice și pentru aliaje.

### *Wolframul*

Este foarte dur și este metalul cu cea mai mare temperatură de topire (circa 3370°C).

Wolframul este utilizat la fabricarea spiralelor de lămpi electrice cu incandescență, a rezistențelor de încălzire pentru cuptoarele electrice, a electrozilor din tuburile electronice, a contactelor pentru curenți de mare intensitate, a termoelementelor etc.

### *Nichelul*

Este un metal de culoare albă-cenușie, avînd greutatea specifică de 8,9 kg/dm<sup>3</sup>, rezistivitatea, la 20°C, de  $8,7-9,52 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$  și coeficientul de variație a rezistivității cu temperatura de 0,0044—0,0069/grd.

Nichelul se utilizează în tehnica vidului, ca suport pentru filamentele lămpilor cu incandescență și al diferiților electrozi ai tuburilor electronice, la fabricarea contactelor electrice care funcționează în atmosferă de hidrocarburi, a rezistențelor de încălzire pînă la 900°C, ca material de protecție pentru piesele din oțel, la fabricarea termocuplelor, precum și pentru diferite aliaje.

### *Platina*

Are o culoare albă-cenușie, o greutate specifică mare (21,45 kg/dm<sup>3</sup>), rezistivitatea, la 20°C, de  $10,30 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$  și rezistența de rupere la tracțiune de 20—30 kgf/mm<sup>2</sup>.

Platina se utilizează pentru contacte electrice, rezistențe pentru elemente de încălzire, cupluri termoelectrice, siguranțe fuzibile în vid etc.

### *Argintul*

Are o culoare albă, cu luciu metalic, greutatea specifică de 10,5 kg/dm<sup>3</sup> și cea mai mare conductivitate electrică dintre toate metalele ( $\rho = 1,6 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ ). Este un metal nobil, nefiind atacat de oxigen la temperatura normală.

Argintul se utilizează la contactele pentru intensități mici de curent, pentru armăturile condensatoarelor, pentru conductoare folosite în înaltă frecvență etc.

### *Plumbul*

Plumbul are o culoare cenușie-albastră, o greutate specifică de 11,34 kg/dm<sup>3</sup>, rezistivitatea, la 20°C, de  $20,8 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$  și o rezistență de rupere la tracțiune de 1,5 kgf/mm<sup>2</sup>.

Plumbul se utilizează la mantalele protectoare pentru cabluri electrice, pentru fabricarea acumulatorilor electrice cu plăci de plumb, ca material de protecție pentru absorbția razelor Röntgen etc.

### *Staniul*

Are o culoare albă-argintie, greutatea specifică de  $7,3 \text{ kg/dm}^3$ , rezistivitatea, la  $20^\circ\text{C}$ , de  $11,4 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ .

Staniul se utilizează la confecționarea condensatoarelor cu hirtie sau cu mică (sub forma foilor de staniol).

### *Mercurul*

Este singurul metal lichid la temperatura obișnuită, are un aspect alb-argintiu, greutatea specifică de  $13,55 \text{ kg/dm}^3$  și rezistivitatea, la  $20^\circ\text{C}$ , de  $95,8 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ .

Mercurul se utilizează la construcția redresoarelor cu baie de mercur, pentru electrozi de mercur, pentru contacte în relee sau aparate similare etc.

## **b. Materiale conductoare de mare rezistivitate**

În general, în construcția rezistențelor electrice sînt folosite aliajele metalelor greu fuzibile (Cu, Ni, Mn, Fe, Cr) care au o rezistivitate mai mare, un coeficient mai mic de variație a rezistivității cu temperatura și sînt mai rezistente la coroziune decît elementele componente.

*Manganina* este un aliaj, cu 86% Cu, 2% Ni și 24% Mn, de culoare roșiatică-cafenie.

Are rezistivitatea de  $42 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$  și un coeficient foarte mic de variație a rezistivității cu temperatura:  $(5-10) \cdot 10^{-6}/\text{grd}$ . Se utilizează pentru construcția rezistențelor etalon.

*Constantanul* este un aliaj cu 60% Cu și 40% Ni. Are rezistivitatea de  $50 \cdot 10^{-2} \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$  și un coeficient foarte mic de variație a rezistivității cu temperatura (de unde și denumirea de „constantan“).

Încălzit, pentru scurt timp (3 s), la o temperatură de  $900^\circ\text{C}$  și răcit în aer, se acoperă cu o peliculă de oxid izolantă. Sirma astfel izolată se poate folosi, înfășurată spiră lângă spiră, în construcția reostatelor pentru tensiuni mici.

*Nichelina* este un aliaj cu 25—35% Ni, 2—3% Mn și 67% Cu. Este mai ieftină decît constantanul, are o rezistivitate mai mică și un coeficient mai mare de variație a rezistivității cu temperatura decît al constantanului.

Se utilizează la construcția reostatelor de pornire și reglare.

## c. Conductoare electrice

*Conductoarele electrice de bobinaj* (STAS 685-49) se execută din cupru sau aluminiu și se deosebesc după forma și dimensiunile secțiunii transversale, precum și după tipul izolației. Secțiunile pot fi rotunde sau dreptunghiulare și se determină fără să se țină seama de grosimea izolației.

Conductoarele dreptunghiulare asigură o umplere mai bună la înfășurare decât cele rotunde.

Izolația conductoarelor de bobinaj (STAS 541-49) se fabrică fie din materiale fibroase (hîrtie, bumbac, mătase, azbest sau sticlă), fie dintr-un strat de lac electroizolant (email) care se aplică direct pe suprafața cuprului.

*Conductoarele pentru linii electrice* sînt acelea folosite în instalațiile electrice de utilizare și se fabrică din cupru, aluminiu și uneori din oțel.

După condițiile de exploatare, se fabrică următoarele tipuri principale ale acestor conductoare:

— *conductoare electrice neizolate* (STAS 1530-50 și 1023-56), folosite în instalațiile la consumator; se execută din cupru, aluminiu sau oțel unifilar sau multifilar (funii);

— *conductoare electrice învelite sau izolate* (conducte propriu-zise, șnururi și cordoane), și anume: conducte din cupru sau aluminiu masiv

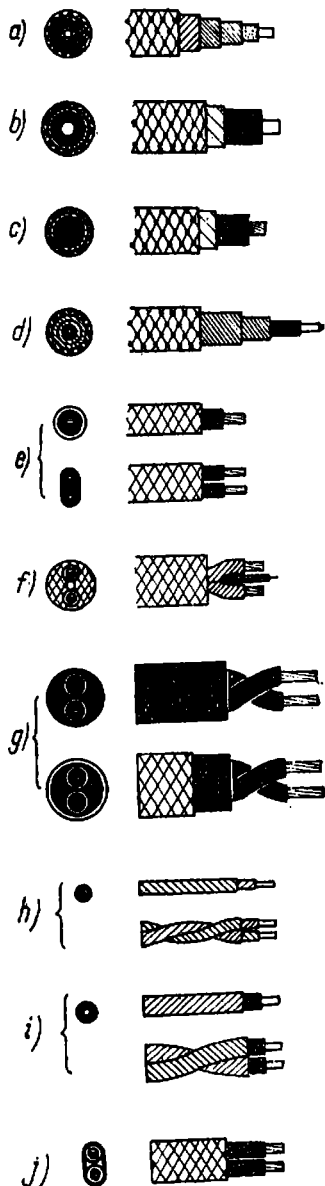


Fig. 10-1. Conducte electrice de cupru

a — învelite, rezistente la intreruperi; b — cu izolație de cauciuc; c — cordon cu izolație de cauciuc; d — rezistente la intemperii, cu izolație de cauciuc; e — pentru corpuri de iluminat; f — pentru suspendarea corpurilor de iluminat; g — cordoane MCU, MCUT, MCM și MCMT; h — conducte de sonerie cu izolație de bumbac; i — Idem, cu izolație de cauciuc; j — cordon plat cu izolație de cauciuc.

sau multifilar cu izolația de cauciuc, hirtie și bumbac, se folosesc la racordarea la rețea a receptoarelor mobile (STAS 5162-56); pentru a rezista la intemperii (STAS 540-49 și 4399-54), pentru instalații electrice fixe (STAS 526-55) etc. (fig. 10-1).

Conducte de cupru armate (STAS 5577-57) se folosesc numai în instalațiile electrice fixe, unde se pot ivi îndoiri pronunțate (macarale electrice, poduri rulante, ascensoare etc.) și se execută din cupru acoperit cu o izolație din bumbac cauciucat, peste care se pune o împletitură din fire textile impregnate cu un amestec bituminos, acoperindu-se la exterior printr-un înveliș din fire de oțel zincate.

#### d. Cabluri electrice

Cablurile electrice de forță sînt conductoare izolate compuse din unul sau mai multe fire flexibile, înzestrate cu învelișuri de protecție care apără conductorul și izolația împotriva acțiunii umezelii, deteriorărilor mecanice etc.

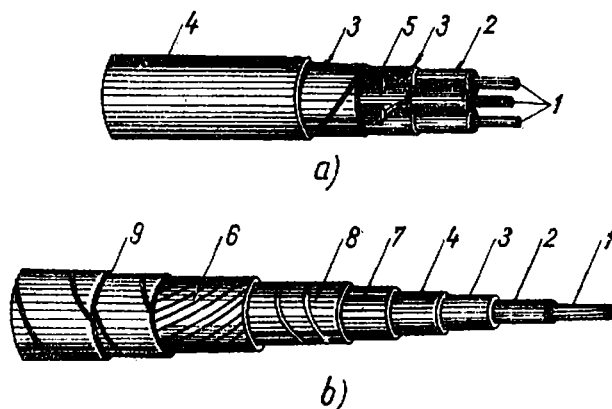


Fig. 10-2. Cabluri cu izolație de cauciuc, în manta de plumb:  
a — cablu CP; b — cablu CPB; 1 — cupru; 2 — cauciuc vulcanizat; 3 — bandă de plină de bumbac cauciucată; 4 — manta de plumb; 5 — umplură din fire textile; 6 — strat de sfoară de cîncă impregnată; 7 — masă izolantă; 8 — înfășurare din hirtie impregnată; 9 — armătură din benzi de oțel.

Ele folosesc la transportul energiei electrice prin linii subterane sau submarine.

*Cabluri cu izolație de cauciuc în manta de plumb* (fig. 10-2) se execută conform STAS 2405-53, pentru tensiuni nominale de

500 V și 3 000 V curent alternativ și 1 000, 3 000 și 6 000 V curent continuu.

Conductoarele de cupru se acoperă cu o înfășurare din bum-bac, hirtie de cablu sau celofan, se izolează apoi cu cauciuc și se acoperă cu o pinză cauciucată pe ambele fețe.

Astfel izolate, conductoarele se infuniază cu umplutură de fire textile pînă la completarea secțiunii circulare.

Ansamblul este înfășurat în două benzi de pinză cauciucată și îmbrăcat într-o manta de plumb etanșă, peste care se așază diferite învelișuri de protecție (iută sau cînepă impregnată și benzi de oțel protejate împotriva acțiunilor chimice).

*Cabluri cu izolație de hirtie în manta de plumb* (fig. 10—3) se execută conform STAS 4481-54, pentru tensiuni de 1 000, 3 000 și 6 000 V. Conductoarele de cupru se izolează cu hirtie de cablu impregnată cu ulei, apoi se infuniază împreună cu umplutură din sfoară de hirtie pînă la completarea secțiunii circulare.

Ansamblul este înfășurat cu mai multe straturi de hirtie de cablu și apoi îmbrăcat într-o manta etanșă de plumb, peste

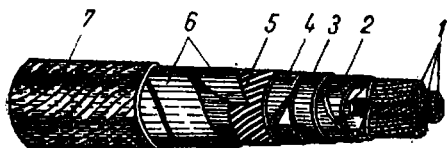


Fig. 10—3. Cablu cu izolație de hirtie, în manta de plumb:

1 — cupru; 2 — hirtie impregnată; 3 — manta de plumb; 4 — înveliș de protecție din hirtie impregnată etc.; 5 — umplutură din materiale textile; 6 — armătură din benzi de oțel; 7 — înfășurare din materiale textile impregnate.

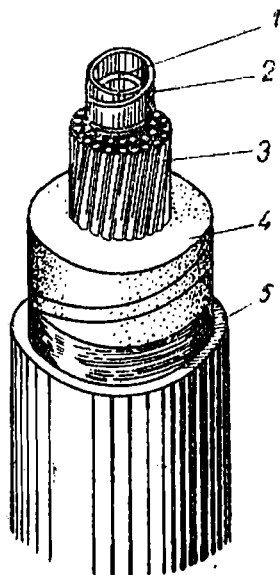


Fig. 10—4. Cablu cu circulație de ulei:

1 — canal pentru ulei; 2 — spirală suport; 3 — conductă; 4 — izolație de hirtie; 5 — manta de plumb.

care se pune un înveliș protector de iută, cînepă sau alt material asemănător impregnat, și una sau două benzi de oțel protejate de agenții chimici (cablu „armat“).

*Cabluri cu ulei* (fig. 10—4) se execută pentru tensiuni înalte pînă la 120 000 V. Uleiul circulă liber de-a lungul cablului, printr-un canal axial obținut dintr-o spirală de cupru pe care

se înfășoară conductorul ce formează inima cablului. Canalul este legat cu rezervoare speciale de alimentare umplute cu ulei. Cablul este, de obicei, izolat cu hirtie și îmbrăcat în manta de plumb.

### 3. Materiale semiconductoare

#### *Cărbunele*

Cărbunele se prezintă sub trei varietăți: diamant, grafit și cărbune amorf.

Greutatea specifică este cuprinsă între  $3,51 \text{ kg/dm}^3$  pentru diamant și  $1,3 \text{ kg/dm}^3$  pentru cărbune amorf, iar rezistivitatea, la  $20^\circ\text{C}$ , variază de la  $4,74 \cdot 10^{14} \Omega \text{ cm}$  pentru diamant (care este deci un izolant electric) la  $4 \Omega \text{ cm}$  pentru cărbunele amorf și  $0,00283 \Omega \text{ cm}$  pentru grafit.

În electrotehnică se utilizează cărbunele amorf și uneori grafitul, pentru numeroase produse cum sînt: electrozi, perii, contacte, filamente electrice, rezistențe pentru încălzire, rezistențe chimice etc.

Electrozii de cărbune se folosesc la electroliza unor substanțe în stare topită, la cuptoarele electrice cu arc și cu rezistență, la lămpile cu arc și proiectoare, la elemente galvanice etc., și sînt de mai multe feluri:

- *electrozi din cărbune amorf*, fabricați prin aglomerarea pulberii de cărbune cu catran sau rășini sintetice, urmată de o încălzire îndelungată la circa  $1\,400^\circ\text{C}$ , pînă ce lianții se cocsifică;

- *electrozi grafiți* cu masă aglomerată la rece, fabricați prin presarea pulberii de grafit într-o manta de tablă care constituie învelișul electrodului;

- *electrozi electrografiți*, fabricați ca și aceia din cărbune amorf, cu deosebirea că sînt încălziți la  $3\,000^\circ\text{C}$ , temperatură la care cărbunele amorf se transformă în grafit;

- *electrozi de metal și cărbune*, fabricați din grafit sau cărbune amorf aglomerat cu pulberi de cupru sau de bronz etc.

*Periile de cărbune*, fabricate conform STAS 4199-53, servesc drept contacte mobile (alunecătoare) între partea mobilă și partea fixă a mașinilor electrice.

Din punctul de vedere al compoziției, periile se pot clasifica în *perii de cărbune dur* (amorf), *grafitice*, *electrografitice* și *meta-lografitice*, fabricarea lor fiind asemănătoare cu aceea a electrozilor.

*Cărbunele pentru microfoane*, întrebuințat sub formă de granule, blocuri sau membrane, se fabrică din antracit care se granulază și se supune unor tratamente termice în funcție de forma sub care se întrebuințează.

*Rezistențele chimice* pe bază de cărbune se folosesc în radio-tehnică, în tehnica măsurărilor, la reostate de reglaj etc.

### *Germaniul*

Este un metal de culoare cenușie-deschisă, cu greutatea specifică de  $5,36 \text{ kg/dm}^3$  și conductivitatea care variază în limite mari, de la  $10^3/\Omega\text{cm}$  la  $10^2/\Omega\text{cm}$ , după impuritățile pe care le conține.

Germaniul se utilizează la fabricarea redresoarelor uscate (detectoare cu cristal), a diodelor, a tranzistoarelor etc.

### *Seleniul*

Seleniul pur este casant la temperatura obișnuită, dar la  $60^\circ\text{C}$  devine plastic și se poate presa în bare.

O proprietate însemnată a seleniului cristalin, care determină utilizarea lui în construcția celulelor fotoelectrice, constă în faptul că prin iluminare, conductivitatea sa electrică crește de circa 15 ori. Întrerupând iluminarea, conductivitatea electrică scade repede. Același efect îl au asupra lui razele Röntgen și razele provenite prin dezintegrare radioactivă.

Cristalele de seleniu prezintă, de asemenea, o *conductivitate unilaterală*, ceea ce determină utilizarea seleniului în construcția redresoarelor uscate.

### *Siliciul*

Siliciul se prezintă sub formă cristalină sau amorfă. El are greutatea specifică de  $2,37 \text{ kg/dm}^3$  și conductivitatea electrică care variază în limite mari:  $7 \cdot 10^2/\Omega\text{cm}$  —  $10^{-2}/\Omega\text{cm}$ .

Siliciul se utilizează la fabricarea diferitelor tipuri de detectoare, a amplificatoarelor și pentru diferite aliaje. Un adaos de 4% Si în oțelul folosit ca table de transformator (tole siliicioase) reduce pierderile în fier.

## 4. Materiale izolante

Materialele izolante se împart, după natura lor, în izolanți organici și anorganici.

După temperatura la care pot fi utilizate, materialele izolante se împart în trei clase principale de izolație A, B și C (STAS 1898-50 în curs de revizuire.)

În R.P.R. se fabrică aproape toate felurile de materiale izolante.

### a. Izolanți organici

Izolanții organici sînt compuși naturali sau sintetici ai carbonului, cu bune proprietăți de izolare electrică.

#### Izolanți organici solizi

*Fire și țesături electroizolante.* Firele și țesăturile sînt materiale flexibile formate din fibre vegetale, animale, artificiale sau sintetice.

*Firele de bumbac și de in* se folosesc la izolarea conductoarelor de bobinaj și la împletituri de protecție ale conductelor izolate în cauciuc. Firele de iută se folosesc la executarea învelișurilor de cabluri subterane, iar firele de cîneapă la umplerea golurilor izolației la cablurile polifazate.

*Firele animale*, reprezentate prin mătasea naturală, se folosesc la izolarea sîrmelor subțiri de bobinaje.

Prin impregnare în ulei sau lăcuire, firele își măresc rezistența mecanică și electrică, rigiditatea electrică și conductivitatea termică.

Țesăturile electro-izolante se fabrică sub formă de benzi, pînze sau țesături, din firele menționate. Ele pot fi reimpregnate, lăcuite sau impregnate cu lacuri bituminoase.

#### *Materiale în foi, fibră și pelicule*

*Hîrtie electroizolantă* se fabrică din celuloză extrasă din lemn sau din fibre de bumbac, în sau iută și se împarte în mai multe sorturi, după utilizarea pe care o are.

*Hîrtia pentru izolarea tolelor magnetice* este foarte subțire (grosimea 30μ), are greutatea specifică de 0,67 g/cm<sup>3</sup>, este foarte



rezistentă și este sătinată pe o parte pentru a nu forma încrețituri.

*Hirtia pentru cabluri de energie* are grosimea de 0,08–0,17 mm, o mare rigiditate dielectrică și o mare rezistență la rupere și la îndoiri.

*Hirtia pentru condensatoare* are o grosime foarte mică (7–24  $\mu$ ), greutatea specifică variind între 1 și 0,97 g/cm<sup>3</sup>, este foarte rezistentă la rupere. Dacă se impregnează cu ulei, tensiunea de străpungere crește de la 400 kV/cm la 2 500–3 000 kV/cm.

*Hirtia pentru cabluri telefonice* are grosimea de 0,05 mm și trebuie să aibă o rezistență mare la tracțiune, la îndoiri duble și la răsucire.

*Cartonul electroizolant sau electrotehnic* se fabrică, de obicei, din celuloză de lemn și pastă de cîrpe și este de mai multe feluri.

*Cartonul pentru tuburi de izolare și de protecție* (STAS 938-50) are grosimea de 0,4–0,8 mm.

*Cartonul preșpan* (STAS 1746-50) se fabrică în rulouri cu grosimea de 0,1–0,5 mm sau în foi cu grosimea de 1–3 mm. Rigiditatea dielectrică este de circa 100 kV/cm și crește mult dacă materialul se usucă și se fierbe în ulei de transformator. Preșpanul se utilizează mult în construcția mașinilor, a transformatoarelor și a aparatelor electrice, pentru separații (șaibe) izolație de creștătură, izolație între straturi și între spire etc.

### *Mase plastice*

Masele plastice sînt materiale care au proprietatea de a se deforma plastic sub acțiunea temperaturii și presiunii și a lua astfel forma dorită. Datorită prelucrării lor ușoare, chiar la forme complicate (presarea în matriță), precum și bunelor proprietăți mecanice și electrice, ele au o largă întrebuințare în electrotehnică.

*Fenoplastele* sînt fabricate din rășini fenol-formaldehidice cu umpluturi organice sau anorganice.

Ele au o rezistivitate de suprafață de  $10^3 - 10^6$  M $\Omega$ , o rigiditate dielectrică (pentru grosimea de 4 mm) de circa 17 kV/mm, și rezistă la temperaturi pînă la 125–150°C.

*Aminoplastele* sînt fabricate din uree și formaldehidă cu umplutură de rumeguș de lemn sau celuloză. Ele sînt mai higroscopice și mai puțin rezistente la temperatură decît fenoplastele.

*Polistirenul* se obține prin sinteză din etilenă și benzen.

Are higroscopicitate redusă și proprietăți electroizolante foarte bune, dar se înmoaie la temperaturi relativ mici.

Se utilizează în tehnica frecvențelor înalte, pentru obținerea lacurilor utilizate la izolația cablurilor etc.

*Sticla organică* sau *plexiglasul* are greutatea specifică de  $1,18 \text{ g/cm}^3$ , o constantă dielectrică relativă de 3,6, iar sub acțiunea arcului electric, dezvoltă gaze care ajută la stingerea arcului, proprietate care îl face să fie utilizat la stingerea arcului electric în descărcătoare (paratonere).

### *Materiale plastice stratificate*

*Pertinaxul* se fabrică prin presarea la cald a hîrtiei impregnate cu rășini sintetice (fenol-formaldehidice). Este un material rigid, cu aspect lucios și neted, în formă de plăci sau de tuburi. Are greutatea specifică de  $1,05 \text{ g/cm}^3$  (tuburi) —  $1,4 \text{ g/cm}^3$  (plăci), rezistivitatea de volum de circa  $10^{10} \Omega \text{ cm}$ , rezistența la încălzire de  $150^\circ\text{C}$  și se poate prelucra mecanic cu ușurință. *Pertinaxul* se întrebuițează numai în joasă frecvență, la construcția aparatelor de înaltă și joasă tensiune, în telefonie etc.

*Textolitul* este un material similar cu *pertinaxul*, fabricat din țesătură impregnată (în loc de hîrtie impregnată). Are proprietăți mecanice mai bune decît *pertinaxul*, însă proprietățile electrice sînt mai reduse și costul mai ridicat.

Se utilizează la fabricarea pieselor izolante care suportă sarcini de șoc sau sînt supuse frecării (de exemplu, la întreprinderi).

### *Materiale elastice*

*Cauciucul natural* se obține din sucule lăptos al unor arbori și plante producătoare de cauciuc.

Deoarece în stare pură este *termoplastic*, cauciucul se transformă prin „vulcanizare“ (adaos de sulf în amestec și încălzire în autoclave cu abur saturat la temperatura de  $140\text{--}150^\circ\text{C}$ ) într-un material *termoreactiv*.

Cauciucul vulcanizat se utilizează la izolarea conductoarelor și a cablurilor electrice, la confecționarea tuburilor izolante, a mănușilor și galoșilor izolanti, a covorașelor de protecție etc. Deoarece sub influența ozonului ce se produce la descărcările electrice în aer cauciucul „îmbătrînește“ (devine fragil și crapă), el nu se întrebuițează decît rar la tensiuni înalte. Un alt dezavantaj îl constituie și rezistența mică la încălzire, la acțiunea uleiurilor minerale și la acțiunea luminii și a razelor ultraviolete.

Dacă se adaugă sulf în cantități mai mari (30—35%), se obține *cauciucul tare* sau *ebonita*, folosită în telecomunicații și în instalații electrice de curenți mici.

*Cauciucurile sintetice* sînt fabricate pe cale chimică, prin sinteza unor substanțe organice și au calități dielectrice mai scăzute. Se întrebuințează la tensiuni joase.

### *Lacuri electroizolante*

Lacurile sînt soluții coloidale ale rășinilor, biturilor sau uleiurilor sicative (care formează baza lacului) în solvenți volatili. Ele se aplică în stare lichidă, iar la uscare, solventul se volatilizează.

*Lacurile rășinoase. Lacul de bachelită* (soluția în alcool a bachelitei) are o rezistență mecanică bună, însă pelicula este puțin elastică și are tendință de îmbătrînire termică. Se folosește în producția pertinaxului și textolitului, la izolația aparatelor electrice etc.

*Lacul de șerlac* (soluția șerlacului în alcool) are proprietăți mecanice și electrice bune, aderență mare, însă este higroscopic și are aciditate mare. Deoarece se usucă în aer, se utilizează pentru reparații urgente, și pentru lipit.

*Lacurile de celuloză* sînt soluțiile unor compuși ai celulozei. Pelicula are rezistență mecanică mare, este lucioasă și rezistentă la benzină și ulei.

Avînd o aderență redusă la metale, se utilizează în special la impregnarea țesăturilor de bumbac, a conductoarelor care funcționează în medii de benzină, ulei sau ozon (conductoare de automobil și avion).

*Lacurile uleioase* sînt fabricate pe bază de uleiuri sicative (ulei de in și de tung). Pelicula este tare, lucioasă, foarte elastică și rezistentă la ulei, nu se înmoaie la căldură, însă îmbătrînește cu timpul. Se întrebuințează ca emailuri, ca lacuri de acoperire și de impregnare.

### *Mase izolante (compounduri)*

Compoundurile sînt mase izolante folosite la impregnare, acoperire sau umplere, obținute prin tratamente speciale.

Ele pot fi solide (fabricate pe bază de bituri și rășini), viscoase (pe bază de ulei mineral) sau lichide (din ulei de transformator rafinat).

*Bitumul* este folosit în special la impregnări, în construcția mașinilor electrice. El asigură o impregnare mai rezistentă la umezeală și mai impermeabilă decât aceea dată de lacuri, în schimb — fiind termoplastic — este mai puțin rezistent la încălzire.

*Parafina* este un material ceros ce se obține din țifei parafinos. Are stabilitate chimică mare, însă la temperaturi ridicate se oxidează ușor.

Se folosește, împreună cu alte materiale ceroase similare (cerezina, galovaxul, aleovaxul etc.), la impregnarea hîrtiei de condensatoare, la umplerea bobinelor de înaltă frecvență etc.

## Izolanți organici lichizi

### *Uleiuri minerale*

*Uleiul de transformator.* Uleiul de transformator (STAS 811-52) se extrage prin distilarea fracționată a țițeiurilor neparafinoase, urmată de o rafinare. El are constanta dielectrică  $\epsilon_r = 2,3$  — rezistivitatea de  $5 \cdot 10^{14} - 10^{15} \Omega \text{ cm}$  și rigiditatea dielectrică de 125 kV/cm.

Viscozitatea redusă permite pătrunderea lui în izolația bobinelor; punctul de inflamabilitate ridicat (145°C) micșorează pericolul de inflamare sau de explozie, iar punctul de congelare coborît (—20° la —30°C) permite folosirea lui la aparate montate în exterior.

Apa și impuritățile din uleiul de transformator reduc sensibil rigiditatea dielectrică și măresc pierderile dielectrice; de aceea, uleiurile trebuie curățite periodic. Curățirea uleiurilor se poate face prin uscare (încălzirea uleiului), filtrare, centrifugare sau decantare.

*Uleiul de condensator* se obține prin purificarea uleiului de transformator. El are o rigiditate dielectrică mai mare (200 kV/cm) și pierderi în dielectric mai mici.

### *Uleiuri sintetice*

*Sovolul.* Este un lichid neinflamabil, viscos și toxic, cu o rigiditate dielectrică de 140—200 kV/cm.

*Sovtolul* (64% sovol și 36% triclorbenzen) are aceleași proprietăți ca și sovolul, însă spre deosebire de acesta are un punct de congelare mai scăzut (—30°C față de + 5°C), ceea ce prezintă un avantaj.

Uleiurile sintetice se întrebuințează la impregnarea hîrtiei de condensatoare (sovolul) sau în transformatoare (sovtolul).

### *Uleiuri vegetale*

*Uleiul de ricin* (STAS 2317-51) se obține din sămînță de ricin, are o viscozitate mai mare decât uleiul de transformator, constanta dielectrică

$\epsilon_r = 4,2-4,5$ , rezistivitatea, la  $20^\circ\text{C}$ , de  $10^{10}-10^{12} \Omega \text{ cm}$  și rigiditatea dielectrică de  $120-180 \text{ kV/cm}$ .

Se utilizează la impregnarea condensatoarelor de hirtie pentru tensiuni continue.

## b. Izolanți anorganici

Izolanții anorganici sînt materiale izolatoare din punct de vedere electric, care nu au carbon în constituție, și din această cauză rezistă la temperaturi mai înalte, nu ard și au punctul de topire foarte ridicat. Față de izolanții organici, sînt mai fragili și se prelucrează mai greu.

*Azbestul* este un material fibros, cu structura cristalină, compus din silicat de magneziu. Se folosește pentru izolații rezistente la temperaturi ridicate și la fabricarea anumitor mase plastice. Se fabrică sub forme de fire, sfoară, țesături, hirtie și carton. Azbestul, amestecat cu ciment și cu apă, dă prin presare la rece, *azbocimentul*, folosit la execuția pereților camerelor de stingere a arcului electric în aparatele electrice, a tablourilor de distribuție, a postamentelor etc.

*Mica* este un material anorganic cristalin, stratificat, compus din silicați de metale alcaline, care se desface în foițe foarte subțiri ( $0,01 \text{ mm}$ ) și are proprietăți electroizolante, elasticitate și flexibilitate remarcabile. Se folosește ca izolant, atât la temperaturi mari, cît și la șocuri de temperatură, la joasă ca și la înaltă tensiune, ca izolant la colectoarele mașinilor electrice, la bobinaje, în condensatoare electrice, în aparate de încălzit etc.

*Sticla*. În electrotehnică, sticla se întrebuințează la fabricarea lămpilor electrice și a izolatoarelor. Din fire de sticlă se fac izolații electrice. Țesăturile de sticlă se execută în benzi (pentru izolarea mașinilor electrice) sau în țesături late (pentru fabricarea textolitului special și a unor micanite). Din sticlă se execută, de asemenea, emailuri, care se aplică uniform pe piese de metal, pe rezistențe electrice etc., ca strat izolant sau de protecție.

1 *Materiale ceramice*. Materialele ceramice se folosesc în electrotehnică la fabricarea izolatoarelor de joasă și înaltă tensiune, a condensatoarelor și a suporturilor rezistențelor, reostatelor și aparatelor.

*Pietre naturale ceramice*. În această categorie intră diverse roci care se folosesc în starea în care se găsesc în natură. Aceste

materiale sînt: *bazaltul*, *marmura* și *ardezia*. Dintre ele, marmura are cea mai largă întrebuințare; este folosită la fabricarea plăcilor pentru tablouri de distribuție, a suporturilor de aparate etc.

## 5. Materiale magnetice

Materialele magnetice se împart, după mărimea ciclului de histerezis, în materiale magnetice moi (ciclu îngust) și dure (ciclu larg).

### a. Materiale magnetice moi

Acestea sînt materiale magnetice caracterizate prin permeabilitate mare, forță coercitivă mică și pierderi prin histerezis mici. Ele au ca material de bază fierul pur sau în aliaj cu alte metale. Impuritățile, cum sînt: carbonul, sulful, fosforul, siliciul, au influențe dăunătoare asupra calităților magnetice ale fierului și aliajelor lui, mărind forța coercitivă, micșorînd permeabilitatea și inducția de saturație.

Adaosurile, ca nichelul și cobaltul, influențează favorabil proprietățile magnetice, producînd permeabilitate mare și inducție de saturație mare. Siliciul mărește rezistivitatea materialului, deci micșorează pierderile prin curenți turbionari și favorizează separarea carbonului, ceea ce are drept rezultat micșorarea forței coercitive și a pierderilor prin histerezis.

Aluminiul, în procente de 10—16%, imprimă permeabilitate foarte mare și pierderi mici.

Prelucrările mecanice înrăutățesc simțitor calitățile magnetice, mărind în special forța coercitivă.

Tratamentele termice permit îmbunătățirea calităților mecanice și magnetice. Ele se aplică atît după turnarea materialului, cît și după prelucrările mecanice.

*Fierul.* Fierul are permeabilitatea inițială de 250—500, permeabilitatea maximă 5 000—15 000 (permeabilități relative), forța coercitivă 0,36—0,8 Oe și inducția de saturație circa 20 000 Gs. Din fier se construiesc piesele polare și miezurile pentru bobine, în mașinile electrice, juguri pentru electromagneți, carcase pentru ecranare magnetică etc. Fierul carbonil, obținut prin aglomerare cu lianți a pulberii de fier, este folosit la miezurile bobinelor utilizate în înaltă frecvență.

*Fonta și oțelul turnat* se deosebesc de fier prin conținutul în carbon. Au proprietăți mecanice și magnetice bune. Se folosesc în construcția mașinilor și aparatelor electrice, ca miezuri de poli și de electromagneți, carcase etc., având uneori rolul dublu de material magnetic și de piese mecanice.

*Aliajele fier-siliciu. Tabla silicioasă.* Siliciul se adaugă în procente variind de la 0,5 la 4,5%, în scopul reducerii pierderilor prin curenți turbionari. Pierderile totale, la o inducție maximă de 10 000 Gs, variază atunci de la 3,6 la 1,7 W/kg. Dezavantajul principal al introducerii siliciului ca element de aliere constă în reducerea inducției de saturație și în mărirea fragilității, ceea ce limitează procentul de siliciu la 4,5%. Grosimea tablelor este de 0,35; 0,5; 0,75; 1 și 1,5 mm. Tablele se izolează pe una din fețe prin oxidare, lăcuire sau lipirea unei foițe de hirtie.

*Aliajele fier-nichel* se deosebesc prin pierderi magnetice mici și permeabilitate mare în timpuri magnetice slabe, fapt pentru care multe dintre ele poartă denumirea de *permalloy*. Permalloyul are permeabilitatea relativă inițială 10 000, cea maximă 100 000, forța coercitivă 0,02 Oe și inducția maximă 6 000 Gs. Din permalloy se confecționează miezuri de fier pentru aparate de telecomunicații, pentru aparate de măsurat de mare precizie, pentru transformatoare speciale, relee speciale, ecrane magnetice etc.

*Aliaje speciale.* În scopuri speciale s-au realizat aliaje magnetice cu proprietăți remarcabile. Astfel, *supermalloyul* are permeabilitatea relativă maximă de 1 500 000 și forța coercitivă foarte mică, de 0,005 Oe. Ciclul său de histerezis este practic un dreptunghi foarte subțire.

*Permendurul* este un aliaj de fier și cobalt cu inducția de saturație mărită (24 500 Gs).

*Perminvarul* (fier + nichel + cobalt), este un material cu permeabilitatea magnetică practic constantă.

*Feritele* sînt compuși de metale (nichel, mangan, zinc, cupru etc.) și oxid de fier, măcinate fin și presate (sinterizate). Se folosesc în curenți de înaltă frecvență, ca miezuri de bobine.

## **b. Materiale magnetice dure**

Aceste materiale au forța coercitivă, inducția remanentă și suprafața ciclului de histerezis mari. Din materiale magnetice dure se fabrică magneți permanenți.

*Oțeluri magnetice.* Oțelurile elaborate în cuptoare Siemens-Martin sau în cuptoare electrice cu arc au calități magnetice

bune, dacă nu conțin carbon, sulf și fosfor. Wolframul, cromul, cobaltul sînt adaosuri favorabile.

Tratamentele termice îmbunătățesc calitățile magnetice ale oțelurilor și constau în general în călirea materialului.

*Aliaje de aluminiu și nichel (AlNi).* Sînt aliaje de fier cu nichel (14—22%) și aluminiu (9—15%), uneori în compoziție intrînd și cobaltul (12—24%) și cuprul (3—4%) (Alnico). Inducția remanentă este  $B_r = 5\,000 - 12\,000$  Gs, iar forța coercitivă  $H_c = 750 - 500$  Oe. Un procedeu de îmbunătățire a calității magneților permanenți constă în turnarea și răcirea lor în prezența unui cîmp magnetic constant.

*Magneți sinterizați.* Materialele magnetice Alni și Alnico au dezavantajul că nu pot fi prelucrate mecanic decît prin rectificare. Din această cauză, s-a recurs la fabricarea magneților permanenți prin sinterizare, din pulberile diferitelor elemente care constituie oțelul Alni sau Alnico, bine amestecate între ele și presate. Operația este rentabilă numai pentru piese mici, cu o greutate sub 50 g și în cantități mai mari decît 10 000 de bucăți. Prin această metodă se fabrică magneți pentru: picupuri, căști de radio și de telefon, relee, aparate de măsurat, giroscopae, motoare și generatoare mici etc.

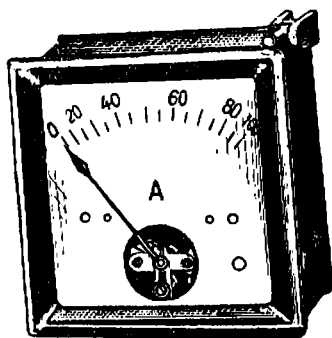


## Măsurări electrice

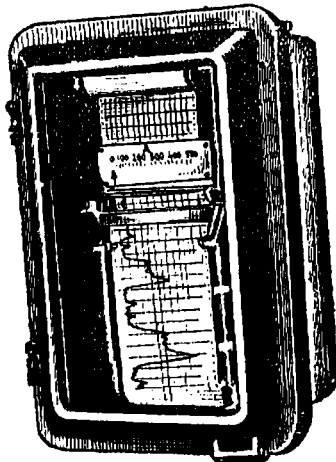
### 1. Generalități asupra aparatelor electrice de măsurat

Fabricarea în țara noastră a aparatelor electrice de măsurat a început numai după 23 August 1944, la fabricile Grigore Preoteasa, Electroprecizia, Electronica ș.a. create de regimul de democrație populară.

Principalele aparate electrice de măsurat sînt: ampermetrele — pentru măsurarea curentului; voltmetrele — pentru măsurarea tensiunii; ohmmetrele — pentru măsurarea rezistenței; wattmetrele — pentru măsurarea puterii; contoarele — pentru măsurarea energiei; cosfimetrele sau fazmetrele — pentru măsu-



a)



b)
















Fig. 11-1. Ampermetre:  
a — indicator; b — înregistrator.

rarea factorului de putere sau a diferenței de fază; frecvențmetrele — pentru măsurarea frecvenței.

După cum aparatul indică mărimea măsurată în multipli sau submultipli ai unității de măsurare, se numește corespunzător: miliampermetru, kiloampermetru, kilowattmetru, megawattmetru, megohmmetru etc.

Tabela 11-1

Aparatele de măsurat întâlnite în mod curent în industrie

Mărimea măsurată	Denumirea aparatelor	Semnul convențional folosit în schemele electrice
Curent.....	ampermetru ..... kiloampermetru ..... miliampermetru ..... galvanometru .....	   
Tensiune.....	voltmetru ..... kilovoltmetru ..... milivoltmetru .....	  
Rezistența electrică ....	ohmmetru ..... megohmmetru .....	 
Puterea electrică (activă)	wattmetru ..... kilowattmetru .....	 
Energie electrică: a) activă ..... b) reactivă .....	contor de energie activă ..... contor de energie reactivă .....	 
Factorul de putere (defazajul)	cosfinmetru (fazmetru) .....	
Frecvența .....	frecvențmetru .....	

În tabela 11—1 sînt arătate, după mărimea măsurată și unitatea de măsurare în care se exprimă rezultatul măsurării, aparatele electrice de măsurat întâlnite în mod curent în industrie.

După modul cum indică valoarea mărimii măsurate, aparatele electrice de măsurat pot fi:

— *aparate indicatoare*, care dau valoarea mărimii măsurate în momentul măsurării. Ele formează marea majoritate a aparatelor folosite în practică, la care valoarea mărimii este indicată de un ac indicator care se mișcă în fața unei scări gradate (fig. 11—1,a). Ele se reprezintă pe scheme printr-un cerc în care se scrie unitatea de măsură (fie multiplii și submultiplii ei);

— *aparate înregistratoare*, care înscriu cu cerneală, pe o hîrtie cu mișcare uniformă, curba variației mărimii respective în funcție de timp. Pe scheme ele se simbolizează printr-un pătrat cu aceeași notație ca mai sus. Aceste aparate au și ac indicator, care permite citirea în fiecare moment a valorii mărimii (fig. 11—1,b);

— *aparate integratoare sau contoare* sînt aparatele care măsoară mărimi în expresia cărora intră și timpul (energia activă, energia reactivă etc.). Pe scheme ele se reprezintă printr-un pătrat cu un dreptunghi deasupra lui.

După felul curentului la care pot fi utilizate, aparatele sînt:

- de curent continuu;
- de curent alternativ;
- de curent continuu și alternativ.

În general, orice aparat de măsurat are următoarele elemente componente principale:

- un *organ* (sau dispozitiv) *de măsurare*, care funcționează pe baza unuia din principiile care se vor arăta mai departe;
- un *ac indicator*, solidar cu partea mobilă a dispozitivului de măsurare;
- un *cadran cu o scară gradată* în fața căreia se mișcă acul indicator;
- unul sau mai multe *arcuri pentru producerea cuplului antagonist*, de sens contrar cu cuplul produs de dispozitivul de măsurat;
- un *corector* pentru reglarea acului pe reperul zero;
- un *amortizor* pentru a amortiza oscilațiile acului;
- *carcasa* în care este cuprins aparatul;
- *bornele* pentru legarea aparatului în circuit.

După principiul pe care se bazează funcționarea aparatelor electrice de măsurat (propriu-zis funcționarea dispozitivului de măsurat), aparatele întîlnite mai des sînt: aparate magnetoelectrice, aparate electromagnetice, aparate electrodinamice, aparate termice, aparate de inducție, aparate de vibrație.

*Aparate magnetoelectrice.* Un asemenea aparat (fig. 11—2) este constituit dintr-un magnet permanent  $M$ , o bobină  $B$ , un ac indicator  $A$ , menținut în poziția de zero prin *arcu antagonist*  $R$ .

(care se opune mișcării acului) și o scară gradată  $S$ . Bobina este străbătută de curent și se poate roti în jurul axului  $O$  sub influența forțelor electromagnetice  $F$ , ce iau naștere din cauza faptului că în cîmpul magnetic se găsesc o serie de spire parcurse de curent electric. Aceste forțe se exercită asupra curenților din spirele plasate perpendicular pe planul hîrtiei și ele constituie un cuplu electromagnetic, care rotește bobina. Deoarece forțele electromagnetice sînt proporționale cu curentul  $I$  care le produce, cuplul de rotație  $C$  va fi, de asemenea, proporțional cu  $I$ , adică

$$C = kI, \quad (11.1)$$

unde  $k$  este un factor constant de proporționalitate.

O dată cu bobina se rotește și acul indicator, pînă cînd arcul este întins atît de tare, încît cuplul său rezistent  $C_r$  ajunge să echilibreze cuplul electromagnetic  $C$ , care depinde de valoarea  $I$  a curentului care trece prin bobina  $B$ ; deci

unghiul  $\alpha$  de rotație a acului indicator depinde de valoarea curentului  $I$ .

Scara gradată în fața căreia se mișcă vîrfurile acului se etalo-nează direct în amperi sau în volți, după cum aparatul este un ampermetru sau un voltmetru. Pe acest principiu se construiesc ampermetrele, voltmetrele și ohmmetrele magnetoelectrice.

Deoarece cuplul electromagnetic  $C$  este proporțional cu curentul  $I$ , rezultă că, în cazul curentului alternativ, cuplul va fi alternativ și va tinde să deplaseze bobina și acul (adică *echipajul mobil*) cînd într-un sens, cînd în sensul contrar. Din această cauză, aparatele magnetoelectrice nu pot fi folosite decît în curent continuu.

*Aparate electromagnetice.* Organul de măsurare este alcătuit dintr-o bobină  $B$  (fig. 11—3), străbătută de curent, o armătură de oțel moale  $F$ , un ac indicator  $A$ , menținut în poziția de zero de arcul antagonist  $R$  și o scară gradată  $S$ . Cînd bobina  $B$  este străbătută de curentul  $I$ , asupra armăturii  $F$  se exercită o forță de felul forței portante pe care o exercită un electromagnet și care, după cum se știe, este proporțională cu pătratul inducției magnetice. Deoarece inducția magnetică este proporțională cu intensitatea curentului care produce această inducție magnetică, forța care

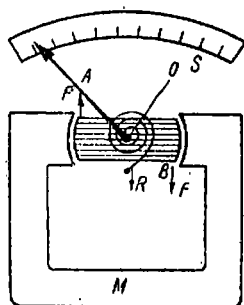


Fig. 11—2. Aparat. magne-toelectric.

atrage armătura  $F$  este proporțională cu  $I^2$ . Armătura putîndu-se roti în jurul unui ax de rotație, după cum se observă pe figură, forța de atracție creează un cuplu  $C$ , de asemenea proporțional cu  $I^2$ .

Scara se etalonează în amperi sau în volți. Deoarece cuplul  $C$ , care acționează asupra echipajului mobil, este proporțional cu pătratul curentului ( $I^2$ ), rezultă că acest cuplu va avea totdeauna o valoare pozitivă, oricare ar fi sensul curentului, dat fiind că pătratul unei valori este totdeauna pozitiv. În consecință, aparatele electromagnetice pot fi întrebuițate fie în curent continuu, fie în curent alternativ. Aceste aparate fiind mai robuste, se întîlnesc foarte des în practică. Pe acest principiu se construiesc ampermetrele și voltmetrele electromagnetice.

*Aparate electrodinamice.* Se consideră (fig. 11-4) o bobină fixă  $B_f$  și o bobină mobilă  $B_m$  și care se poate roti în jurul

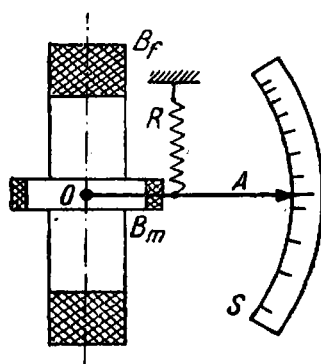


Fig. 11-4. Aparat electrodinamic.

axului  $O$ . Se presupune că cele două bobine sînt legate în serie din punct de vedere electric, fiind străbătute de curentul  $I$ . Bobina mobilă este solidară cu acul indicator  $A$  ce se poate deplasa în fața scării gradate  $S$ ; acul indicator este menținut în poziția de zero prin arcul antagonist  $R$ . Deoarece, după cum se știe, forțele electrodinamice între curenții ce trec prin bobine sînt proporționale cu  $I^2$ , cuplul de rotație pe care bobina fixă îl exercită asupra bobinei mobile va fi de asemenea proporțional cu  $I^2$ , ca și în cazul aparatelor electromagnetice. Aceste aparate pot fi utilizate deci, fie în curent continuu,

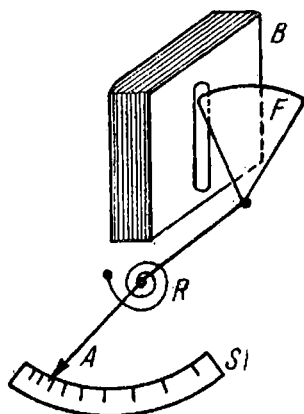


Fig. 11-3. Aparat electromagnetic.

rare mai mare, aparatele electrodinamice se întrebuințează de obicei în laborator ca ampermetre, voltmetre și wattmetre.

**Aparate termice.** Între punctele fixe *a* și *b* (fig. 11—5) este întins un fir calibrat executat dintr-un aliaj de platină cu argint, platină cu iridiu sau nicrom (nichel cu crom). Între mijlocul *c*

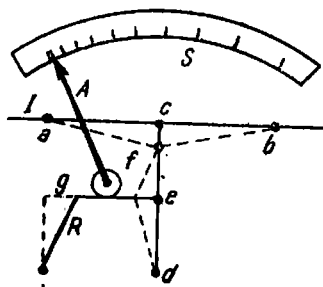


Fig. 11—5. Aparat termic.

al firului *ab* și punctul fix *d* este prins un fir de bronz *cd*, care în punctul *e* este tras lateral prin intermediul firului de mătase *eg*, de către arcul *R*, constituit dintr-o lamă flexibilă.

Prin firul *acb* trece curentul *I*. Firul se încălzește, căldura degajată fiind proporțională cu  $I^2$ , pe baza efectului Lenz-Joule. Din cauza încălzirii, firul *acb* se dilată, astfel încît arcul *R* poate trage spre stînga punctul *e* și în acest timp firul de mătase *eg* învîrtește ro-

țița *f*, solidară cu acul indicator *A*, care se mișcă în fața scării gradate *S* cu un unghi proporțional cu  $I^2$ .

Aparatele termice pot de asemenea funcționa, fie în curent continuu, fie în curent alternativ, dat fiind că această funcționare se bazează pe un fenomen care depinde de pătratul curentului. Au însă dezavantajul de a fi fragile și de a nu putea suporta suprasarcini; din această cauză se întrebuințează în cazuri speciale (de exemplu la frecvențe mari). Pe acest principiu se construiesc ampermetrele și voltmetrele termice.

**Aparate de inducție.** Funcționarea lor se bazează pe acțiunea dintre cîmpurile magnetice alternative produse de una sau de mai multe bobine străbătute de curenți alternativi și curenții turbionari induși de aceste cîmpuri într-o piesă mobilă în formă de cilindru sau de disc. Ca urmare, cilindrul sau discul se rotesc. În figura 11—6 este reprezentată construcția unui contor de inducție.

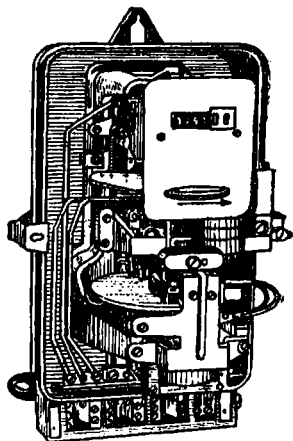


Fig. 11—6. Contor de inducție.

Pe acest principiu se construiesc ampermetre, voltmetre, wattmetre, contoare. *Aceste aparate pot funcționa numai în curent alternativ.*

*Aparate de vibrație.* Se bazează pe rezonanța mecanică a unor lame vibrante. O serie de lame vibrante, cu frecvență de rezo-

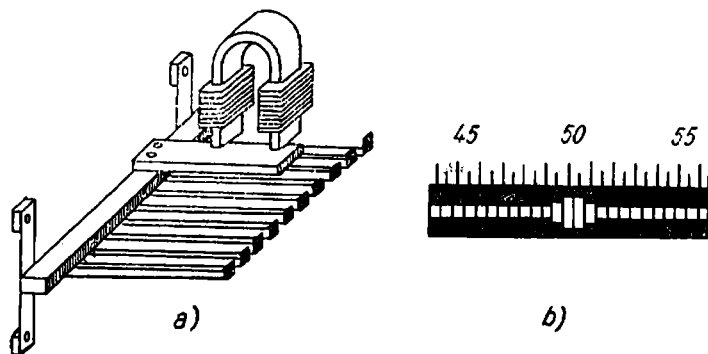


Fig. 11-7. Frecvențimetru de vibrație:

a — construcție; b — aspectul scării când frecvența măsurată este de 50,25 Hz.

nanță diferite, sînt solicitate să vibreze, prin intermediul unui electromagnet, cu frecvența curentului care trece prin bobina acestuia (fig. 11-7).

Lama a cărei frecvență proprie coincide cu frecvența curentului va intra în rezonanță. Pe acest principiu se bazează construcția frecvențimetrelor de vibrație.

## 2. Eroarea aparatelor. Clasa de precizie

În general indicația  $A_i$  a unui aparat diferă de valoarea reală  $A$ , a mărimii măsurate. Aparatul are o *eroare de indicație*:

$$\Delta A = A_i - A. \quad (11.2)$$

Raportul dintre eroarea de indicație într-un punct oarecare al scării și valoarea maximă ( $A_{max}$ ) pe care o poate măsura aparatul (limita superioară de măsurare) se numește eroarea raportată a aparatului ( $\epsilon$ ):

$$\epsilon = \frac{\Delta A}{A_{max}}. \quad (11.3)$$

Din acest punct de vedere, aparatele electrice de măsurat se construiesc în următoarele clase de precizie:

clasa 0,2 la care eroarea raportată este de maximum  $\pm 0,2\%$ ;

clasa 0,5 la care eroarea raportată este de maximum  $\pm 0,5\%$ ;

clasa 1 la care eroarea raportată este de maximum  $\pm 1\%$ ;

clasa 1,5 la care eroarea raportată este de maximum  $\pm 1,5\%$ ;

clasa 2,5 la care eroarea raportată este de maximum  $\pm 2,5\%$ .

Aparatele de clasă 0,2 și 0,5 se folosesc ca aparate de laborator. Cele de clasă 0,5 și de clasă 1 se folosesc ca aparate de măsurat și control industriale, transportabile. Aparatele de clasă 1,5 și 2,5 și mai rar de clasă 1 se folosesc ca aparate de tablou și aparate înregistratoare pentru măsurătorile industriale de exploatare.

### 3. Marcarea aparatelor de măsurat

Pe cadranul fiecărui aparat sînt înscrise următoarele caracteristici principale, pentru a putea cunoaște aparatul și a-l utiliza în bune condiții:

a) Simbolul unității de măsură a mărimii pe care o măsoară aparatul, de exemplu: A, mA, kA, V, kV, W, MW etc.



b) Principiul de funcționare al aparatului, folosind semnele convenționale din tabela 11—2.

c) Felul curentului cu care funcționează aparatul, folosind semnele convenționale din tabela 11—3.

d) Poziția normală de funcționare a aparatului, folosind semnele convenționale din tabela 11—4.

e) Clasa de precizie a aparatului.

f) Tensiunea de încercare a izolației aparatului, indicată în kV printr-un număr scris în interiorul unei stelute sau alături de o săgeată. De exemplu, o tensiune de încercare a izolației de

2 kV se va înscrie prin semnul  sau prin semnul  2 kV.

g) Frecvența la care funcționează aparatul, dacă aceasta diferă de 50 Hz.

h) La aparatele de clasa 0,2 și 0,5 se înscriu pe cadran și rezistențele interioare ale aparatului.

Condițiile tehnice pe care trebuie să le îndeplinească aparatele electrice de măsurat sînt indicate prin STAS 4640-54.



Tabela 11-2

**Semne convenționale pentru indicarea principiului de funcționare a unui aparat de măsurat**









Felul aparatului	Semnul convențional	Felul aparatului	Semnul convențional
Aparat magnetoelectric		Aparat de inducție	
Aparat electromagnetic		Aparat de vibrație	
Aparat electrodinamic		Aparat cu redresor	
Aparat termic		Aparat cu termocuplu	

Tabela 11-3

**Semne convenționale pentru indicarea felului curentului pentru aparatele de măsurat**











Felul curentului	Semnul convențional
Curent continuu .....	— sau =
Curent alternativ .....	
Curent continuu și alternativ .....	
Curent alternativ trifazat, sarcini echilibrate ....	
Curent alternativ trifazat, sarcini dezechilibrate .....	
Curent alternativ trifazat cu patru conductoare..	

Tabela 11-4

**Semne convenționale pentru indicarea poziției normale de funcționare a unui aparat de măsurat**

Poziția normală de funcționare a aparatului	Semnul convențional
Verticală .....	 sau 
Orizontală .....	 sau 
Înclinată .....	 60°

## 4. Măsurarea curentului

Curentul se măsoară cu ampermetrul. Ampermetrul se leagă în serie cu receptorul prin care trece curentul (fig. 11—8, a). De aceea, pentru a nu modifica sensibil curentul din circuit, rezistența, respectiv în curent alternativ impedența amper-

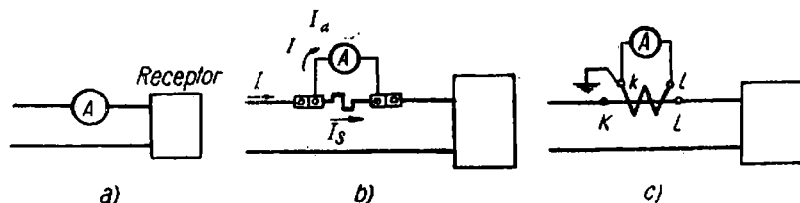


Fig. 11-8. Legarea în circuit a ampermetrului:

a — direct; b — prin șunt; c — prin transformator de curent.

metrului, trebuie să fie cât mai mică (de ex.  $0,07 \Omega$  pentru un ampermetru electromagnetic și  $0,48 \Omega$  pentru un ampermetru înregistrator).

Rezistența ampermetrului fiind mică și puterea consumată de el va fi mică (între  $0,2$  și  $12 \text{ VA}$ ).

Dacă din greșeală se leagă un ampermetru direct la bornele circuitului (în paralel cu receptorul și nu în serie cu acesta — așa cum este corect), aceasta echivalează cu o legătură în scurt-circuit la bornele circuitului; prin ampermetru va trece un curent foarte mare, astfel încât aparatul va suferi defecțiuni mecanice (ruperea acului), iar bobinajul lui se va încălzi peste limitele admise și se va arde.

*Aplicație.* Un ampermetru electromagnetic de  $5 \text{ A}$  are o rezistență interioră  $r_a = 0,07 \Omega$ . Ce curent va trece prin aparat dacă din greșeală el va fi legat direct la bornele unui circuit cu tensiunea  $U = 220 \text{ V}$ ? Care este puterea absorbită la curentul de  $5 \text{ A}$ ?

**Rezolvare.** Prin aparat va trece un curent

$$I = \frac{U}{r_a} = \frac{220}{0,07} = 3142 \text{ A},$$

care va deteriora ampermetrul.

Puterea consumată la  $5 \text{ A}$  va fi

$$P = r_a I^2 = 0,07 \cdot 5^2 = 1,75 \text{ W}.$$

*Extinderea limitei de măsurare.* Curentul pe care îl poate măsura direct un ampermetru este curentul notat pe cadranul lui

(limita de măsurare). Practic, ampermetrele se construiesc de obicei pentru a măsura direct curenți pînă la 100 A. Pentru a folosi un ampermetru la măsurarea unui curent mai mare decît limita sa de măsurare, se folosesc șunturi și transformatoare de curent.

Șuntul are o rezistență care se leagă în serie pe circuitul la care se măsoară curentul, în locul ampermetrului, iar ampermetrul se leagă în derivație la bornele șuntului (fig. 11-8, b).

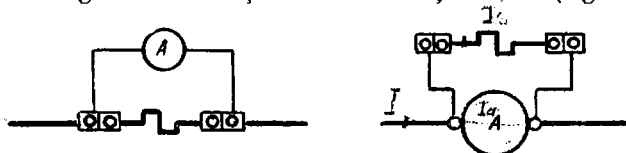


Fig. 11-9. Legarea greșită a unui ampermetru cu șunt.

Șuntul are 4 borne; două borne (extreme) pentru conectarea șuntului în circuit și alte două borne pentru conectarea ampermetrului la șunt. În figura 11-9 se arată legarea greșită a unui ampermetru cu șunt.

**Calculul șuntului.** Notăm cu  $I$  curentul pe care vrem să-l măsurăm și care este de  $n = \frac{I}{I_a}$  ori mai mare decît limita de măsurare  $I_a$  a ampermetrului. Fie  $r_a$  rezistența ampermetrului și  $r_s$  rezistența șuntului. Ținînd seama de notațiile de pe figura 11-8, b și aplicînd legile lui Kirchhoff se obțin ecuațiile:

$$I = I_a + I_s,$$

$$r_a I_a = r_s I_s,$$

din care, ținîndu-se seamă că  $n = \frac{I}{I_a}$ , rezultă:

$$r_s = \frac{r_a I_a}{I - I_a} = \frac{r_a}{n - 1}. \quad (11.3)$$

În figura 11-10 sînt reprezentate cîteva șunturi.

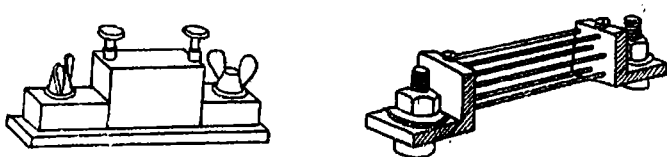


Fig. 11-10. Șunturi.

Pe fiecare şunt se notează curentul maxim care poate fi măsurat şi căderea de tensiune la bornele şuntului, corespunzătoare curentului maxim, cînd ampermetrul este legat în derivaţie, de exemplu: 25 000 A şi 75 mV. Pentru ampermetrele la care diviziunile de pe scară corespund funcţionării cu şunt se indică şi şuntul care trebuie folosit; pe ampermetru se scrie: cu şunt nr...

## 5. Măsurarea tensiunii

Tensiunea se măsoară cu voltmetrul. Voltmetrul se leagă în derivaţie (în paralel) cu porţiunea de circuit a cărei tensiune o măsurăm (fig. 11—11, a). Astfel, pentru măsurarea tensiunii unui receptor, voltmetrul se leagă în derivaţie la bornele receptorului; pentru a măsura tensiunea unui generator, voltmetrul se leagă în derivaţie la bornele generatorului etc.

Pentru a nu provoca apariţia unui curent suplimentar pe circuit şi a nu modifica astfel tensiunea circuitului, rezistenţa interioară a voltmetrului trebuie să fie cît mai mare (de ordinul sutelor şi miilor de ohmi, iar în unele cazuri, al sutelor de mii de ohmi).

Rezistenţa voltmetrului fiind mare, curentul prin el va fi mic şi puterea absorbită va fi şi ea mai mică (comparabilă cu aceea absorbită de un ampermetru).

Voltmetrul legat din greşeală în serie cu receptorul nu este pus în pericol; în schimb, mărindu-se mult rezistenţa întregului circuit, receptorul nu poate funcţiona. Curentul care trece prin voltmetru este proporţional cu tensiunea măsurată. Conductoarele circuitului voltmetrului sînt calculate pentru curentul corespunzător tensiunii maxime înscrise pe scara sa. Legînd voltmetrul la o tensiune superioară acestuia, prin el va trece un curent mai mare, care va produce, prin încălzire, deteriorarea voltmetrului.

*Extinderea limitei de măsurare* se face cu ajutorul rezistenţelor adiţionale şi al transformatoarelor de tensiune.

*Rezistenţa adiţională* este o rezistenţă care se leagă în serie cu voltmetrul (fig. 11—11, b), pentru a mări rezistenţa circuitului voltmetrului, astfel încît, legînd aparatul la o tensiune superioară limitelor sale de măsurare, curentul prin aparat să nu atingă valoarea periculoasă, arătată mai sus.

*Calculul rezistenţei adiţionale.* Notăm cu  $U$  tensiunea pe care vrem să o măsurăm şi care este de  $n = \frac{U}{U_v}$  ori mai mare decît

limita de măsurare  $U_v$  a voltmetrului. Fie  $I_v$  curentul prin voltmetru corespunzător limitei de măsurare (deci curentul maxim admisibil),  $R_v$  rezistența interioară a voltmetrului și  $R_{ad}$ , valoarea rezistenței adiționale (fig. 11—12). Aplicind legile

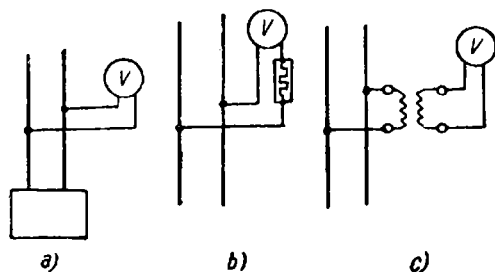


Fig. 11-11. Legarea în circuit a voltmetrului:  
a — direct; b — cu rezistență adițională;  
c — cu transformator de tensiune.

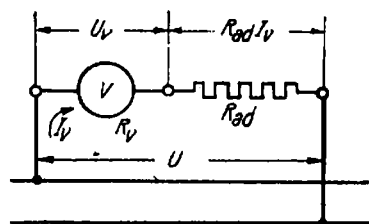


Fig. 11-12. Voltmetru cu rezistență adițională.

lui Kirchhoff și ținînd seama că la noua tensiune curentul prin voltmetru trebuie să rămînă tot la valoarea  $I_v$ , se pot scrie ecuațiile:

$$\begin{aligned} U &= U_v + R_{ad} I_v, \\ U_v &= R_v I_v, \\ n &= \frac{U}{U_v}. \end{aligned}$$

Din acest sistem de ecuații rezultă:

$$R_{ad} = R_v \left( \frac{U}{U_v} - 1 \right) = R_v (n - 1). \quad (11.5)$$

**Aplicație.** Un voltmetru cu limita de măsurare 150 V are o rezistență interioară  $R_v = 4\,640 \, \Omega$ . Să se calculeze valoarea rezistenței adiționale care trebuie legată în serie cu aparatul pentru ca limita de măsurare să devină 600 V.

**R e z o l v a r e.** Conform relației (11.5):

$$R_{ad} = 4\,640 \left( \frac{600}{150} - 1 \right) = 13\,920 \, \Omega.$$

Rezistența adițională trebuie să fie astfel dimensionată, încît să suporte curentul:

$$I_v = \frac{U_v}{R_v} = \frac{150}{4\,640} = 0,0323 \, \text{A},$$

adică să poată consuma puterea:

$$P = R_{ad} \cdot I_v^2 = 13\,920 \cdot 0,0323^2 = 14,5 \text{ W.}$$

În noul montaj, indicațiile voltmetrului de 150 V vor trebui înmulțite cu:

$$n = \frac{U}{U_v} = \frac{600}{150} = 4.$$

## 6. Măsurarea rezistențelor

Măsurarea rezistențelor se efectuează în curent continuu, în următoarele trei moduri:

- cu ampermetrul și voltmetrul;
- cu aparate speciale numite ohmmetre, megohmmetre;
- cu puntea Wheatstone.

*Măsurarea rezistențelor cu ampermetrul și voltmetrul se bazează pe legea lui Ohm. Se pot realiza două montaje: montajul amonte (fig. 11—13, a) și montajul aval (fig. 11—13, b).*

Notînd cu  $I_A$  și  $U_v$  indicațiile ampermetrului și respectiv ale voltmetrului, valoarea rezistenței măsurate  $R_x$  este dată de relația

$$R_x = \frac{U_v}{I_A}. \quad (11.6)$$

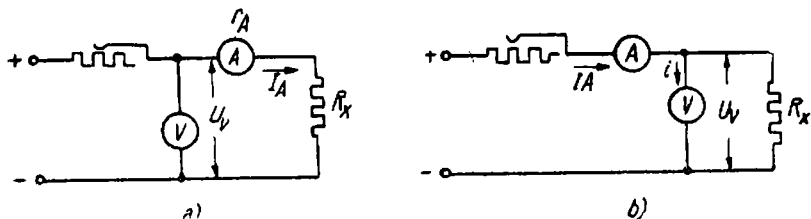


Fig. 11—13. Schema de montaj pentru măsurarea rezistențelor prin metoda ampermetrului și voltmetrului:

a — montaj amonte; b — montaj aval.

Această valoare este însă afectată de eroare datorită curentului  $i$  care trece prin voltmetru la montajul aval și datorită căderii de tensiune  $r_A I_A$  în ampermetru la montajul amonte. Pentru ca eroarea să fie cît mai mică, trebuie ca montajul amonte să

fie folosit cînd rezistența de măsurat este mică în raport cu rezistența interioară a voltmetrului de care dispunem, iar montajul aval să fie folosit atunci cînd rezistența de măsurat este mare în raport cu rezistența interioară a ampermetrului de care dispunem.

Dacă se cunoaște rezistența interioară  $R_v$  a voltmetrului sau rezistența interioară  $r_A$  a ampermetrului, se poate elimina eroarea calculînd valoarea exactă  $R_x$  a rezistenței, cu relațiile:

$$\left. \begin{aligned} - \text{pentru montajul amonte } R_x &= \frac{U_v}{I_A} - r_A \\ - \text{pentru montajul aval } R_x &= \frac{U_v}{I_A - \frac{U_v}{R_v}} \end{aligned} \right\} \quad (11.7)$$

Dacă măsurările de mai sus se fac în curent alternativ, în locul rezistenței se obține valoarea impedenței.

**Măsurarea rezistențelor cu ohmmetrul.** Schema de principiu a unui ohmmetru este reprezentată în figura 11—14.

El conține următoarele elemente esențiale:

- o sursă de energie electrică  $E$ , care poate fi o baterie de 1,8—4,5 V (ohmmetru cu baterie fig. 11—15, a) sau un magnetou rotit cu manivelă, care produce o tensiune de 250 V, 500 V sau 1 000 V (ohmmetru cu magnetou sau cu inductor fig. 11—15, b);

- un miliampermetru  $\Omega$  gradat direct în ohmi;

- o rezistență de protecție  $R$ ;

- bornele  $B_1$  și  $B_2$  la care se leagă rezistența  $R_x$  de măsurat.

Cu ohmmetrele se măsoară în general rezistențele mari, cum sînt rezistențele de izolație ale utilajelor și instalațiilor electrice.

**Măsurarea rezistențelor cu puntea Wheatstone.** Schema punții este reprezentată în figura 11—16, a.

Pentru un raport al rezistențelor  $\frac{a}{b}$ , care poate fi făcut 0,01; 0,1; 1; 10; 100 sau 1 000, se variază rezistența reglabilă  $R$  pînă cînd curentul care trece prin galvanometrul  $G$  este zero. În această situație, aplicînd legile lui Kirchhoff, se demonstrează că între rezistențele punții există relația:

$$\frac{a}{b} = \frac{R}{R_x}$$

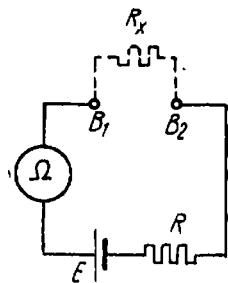


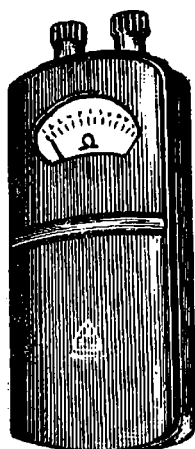
Fig.11—14. Ohmmetru—  
schemă de principiu.

de unde se deduce valoarea rezistenței de măsurat:

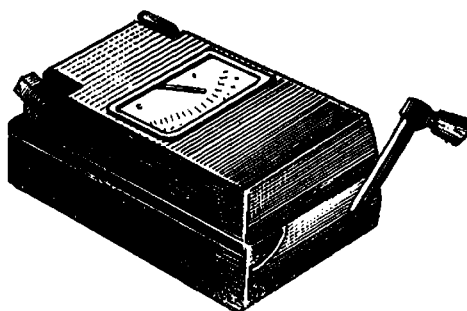
$$R_x = \frac{b}{a} R \quad (11.8)$$

Cu ajutorul punții industriale reprezentată în figura 11—16, *b* se pot măsura rezistențe cuprinse între  $0,05 \Omega$  și  $50\,000 \Omega$ .

În practica industrială se folosesc și punți special construite pentru măsurarea rezistențelor de izolație și punți pentru măsurarea rezistențelor prizelor de punere la pământ.

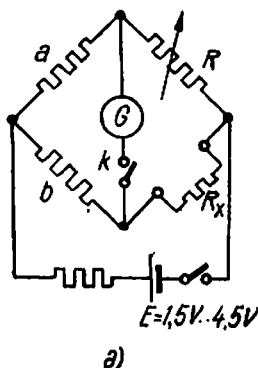


a)

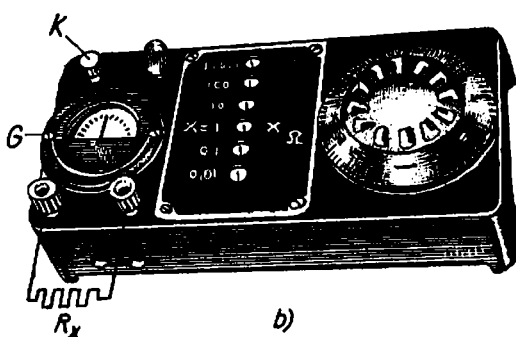


b)

Fig. 11-15. Ohmmetre:  
a — cu baterie; b — cu inductor.



a)



b)

Fig. 11-16. Puntea Wheatstone:  
a — schema punții; b — punte industrială.



## 7. Măsurarea puterii

În curent continuu, măsurarea puterii se efectuează cu ajutorul ampermetrului și voltmetrului montate ca în figura 11—13. Puterea absorbită de receptorul  $R_x$  este:

$$P = U_v I_A.$$

Puterea  $P$  se obține în wați, dacă  $U_v$  se ia în volți și  $I_A$  în amperi.

Ca și în cazul măsurării rezistențelor, puterea astfel determinată este eronată din cauza consumului propriu al aparatelor. Cunoscând rezistențele interioare ale aparatelor, se poate calcula puterea absorbită efectiv de receptor, folosind relațiile:

$$\text{— pentru montajul amonte: } P' = U_v I_A - r_A I_A^2; \quad (11.9)$$

$$\text{— pentru montajul aval: } P' = U_v I_A - \frac{U_v^2}{R_v}.$$

Măsurarea puterii în curent continuu se mai poate efectua cu ajutorul wattmetrului electrodinamic (fig. 11—17, a). Bobina fixă a aparatului (bobina de curent) se leagă în serie pe circuit, ca un ampermetru. Bobina mobilă (bobina de tensiune) se leagă în paralel cu receptorul, ca un voltmetru; ea va fi străbătută de un curent proporțional cu tensiunea. Conform relației (4.7), cuplul care se naște și acționează asupra bobinei mobile, și deci, indicația aparatului sînt proporționale cu produsul dintre cei

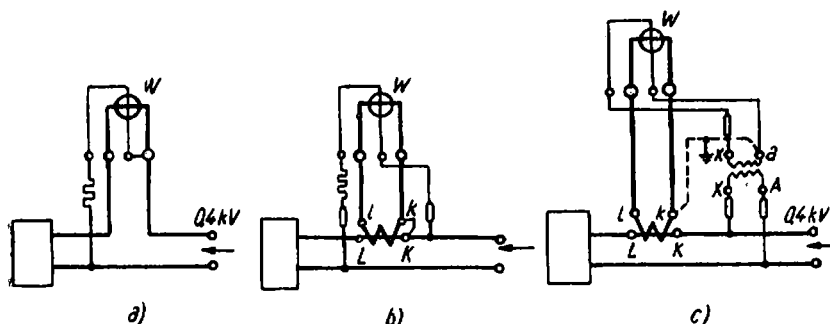


Fig. 11—17. Măsurarea puterii cu wattmetrul într-un circuit de curent alternativ monofazat:

a — montaj direct; b — montaj semidirect; c — montaj indirect.

doi curenți, adică cu produsul  $P = UI$ , care reprezintă puterea ce trece prin circuit. În curent continuu, wattmetrul se utilizează însă mai rar.

*Măsurarea puterii active în curent alternativ monofazat* se efectuează cu ajutorul wattmetrului electrodinamic (fig. 11-17, *a, b* și *c*), ale cărui deviații sint proporționale cu produsul

$$P = UI \cos \varphi.$$

În consecință, wattmetrul măsoară puterea activă absorbită de receptor.

Folosirea ampermetrului și voltmetrului, în curent alternativ, ca în figura 11—13, duce la determinarea puterii aparente.

În curent alternativ trifazat, puterea activă se măsoară tot cu ajutorul wattmetrelor după cum urmează:

— pe un circuit trifazat cu sarcini echilibrate (sistem simetric) se folosește un wattmetru monofazat, montat ca în figura 11—18; indicațiile wattmetrului se înmulțesc cu trei, sau se gradează scara sa astfel, încît să indice direct puterea în curent trifazat;

— pe un circuit trifazat fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate se folosesc fie două wattmetre (metodă denumită a celor „două wattmetre“ fig. 11—19, *a* și *b*), fie un singur wattmetru cu două dispozitive de măsurat (fig. 11—20).

În cazul folosirii a două wattmetre, puterea este dată de suma indicațiilor celor două wattmetre:

— pe un circuit trifazat cu fir neutru, cu sarcini dezechilibrate, se folosesc trei wattmetre sau un wattmetru cu trei dispozitive de măsurat (fig. 11—21).

*Măsurarea puterii reactive* se face cu ajutorul aparatelor speciale, numite varmetre sau cu ajutorul wattmetrelor obișnuite montate după scheme speciale. Figura 11—22 reprezintă folosirea a două wattmetre pentru măsurarea puterii reactive într-un circuit fără fir neutru. Puterea reactivă  $Q$  este dată de suma  $P_1 + P_2$  a indicațiilor celor două wattmetre înmulțită cu  $\sqrt{3}$ .

$$Q = \sqrt{3}(P_1 + P_2).$$

*Observație importantă.* La folosirea wattmetrelor trebuie respectate cu strictețe următoarele indicații: a) începuturile bobinei de curent și de tensiune (marcate cu o steluță sau cu o săgeată) trebuie legate spre partea de unde vine energia; b) trebuie respectată marcarea bornelor transformatoarelor de măsurat conform schemelor de montaj. Dacă nu se respectă aceste norme, wattmetrul bate pe dos sau indică eronat.

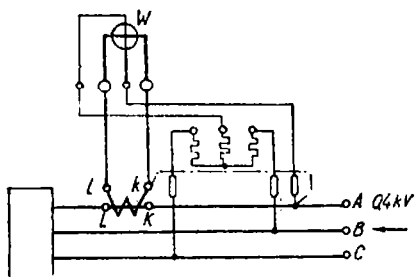


Fig. 11-18. Măsurarea puterii în curent alternativ trifazat cu sarcini echilibrate.

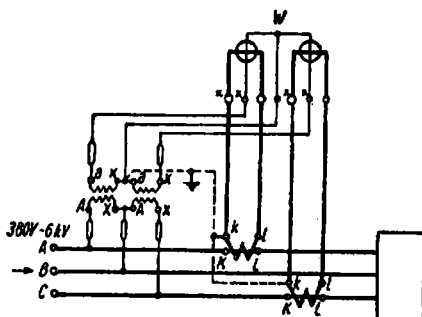


Fig. 11-20. Măsurarea puterii cu ajutorul unui wattmetru trifazat cu două dispozitive de măsurat — rețea fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate.

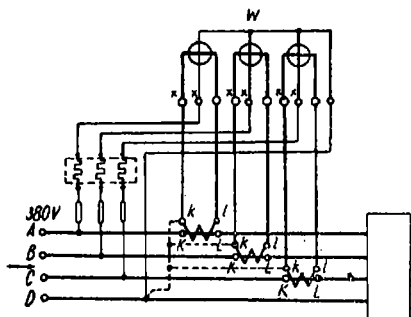


Fig. 11-21. Măsurarea puterii într-un circuit trifazat cu fir neutru, având sarcini dezechilibrate.

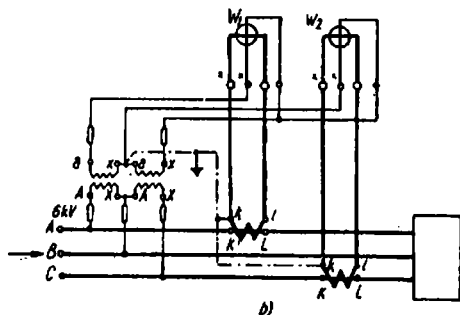
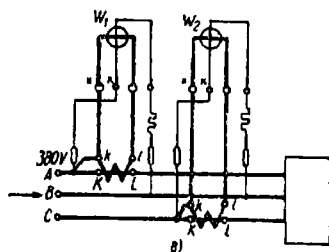


Fig. 11-19. Măsurarea puterii cu ajutorul a două wattmetre — circuit trifazat fără fir neutru cu sarcini dezechilibrate: a — montaj semidirect; b — montaj indirect.

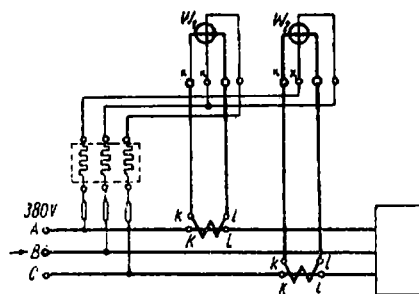


Fig. 11-22. Măsurarea puterii reactive într-un circuit trifazat fără fir neutru, cu ajutorul a două wattmetre.

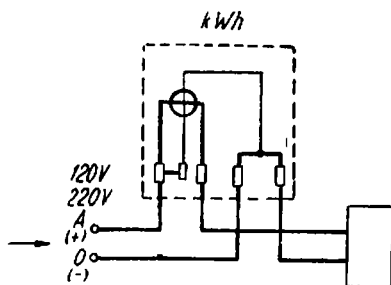


Fig. 11-23. Conectarea unui contor (de energie activă) pentru curent continuu sau pentru curent alternativ monofazat.

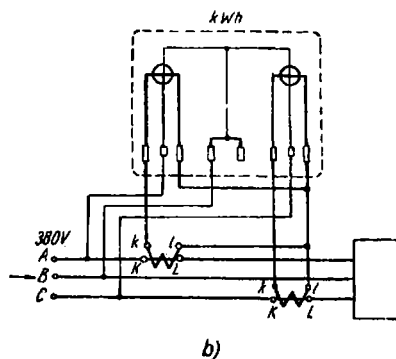
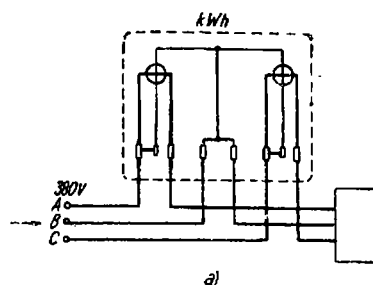


Fig. 11-24. Conectarea unui contor trifazat de energie activă cu două dispozitive de măsurat — circuit trifazat fără fir neutru:

a — montaj direct; b — montaj semidirect.

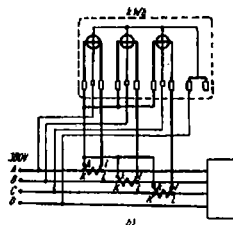
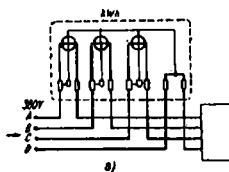


Fig. 11-25. Conectarea unui contor trifazat de energie activă cu trei dispozitive de măsurat — circuit trifazat cu fir neutru;

a — montaj direct;  
b — montaj semidirect.

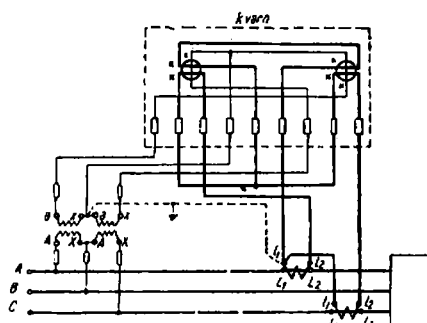


Fig. 11-26. Conectarea unui contor de energie reactivă — montaj indirect.

De asemenea, nu trebuie să se depășească curentul maxim admisibil al bobinei de curent (marcat pe cadranul aparatului) și tensiunea bobinei mobile (marcată de asemenea pe cadran). Aceste valori ar putea fi uneori depășite fără ca indicația aparatului să depășească limita de măsurare. Când sînt posibile asemenea cazuri, este necesar să se monteze în circuit un ampermetru și un voltmetru de control.

## 8. Măsurarea energiei electrice

*Măsurarea energiei electrice active* se efectuează cu ajutorul contoarelor. Un contor conține unul sau mai multe dispozitive wattmetrice de măsurat, care pun în mișcare de rotație un rotor. Viteza de rotație a rotorului este proporțională cu puterea care trece prin circuit, iar numărul total de rotații este proporțional cu energia electrică corespunzătoare. Numărul de rotații ale rotorului sînt totalizate de un mecanism cu roți dințate, care indică direct energia în kilowatøre.

În curent continuu se utilizează contoare electrodinamice, la care rotorul este format chiar din bobina de tensiune a dispozitivului wattmetric.

În curent alternativ se utilizează contoare de inducție, la care rotorul este format dintr-un disc de aluminiu pus în mișcare prin acțiunea cîmpurilor alternative produse de bobinajul de curent și de cel de tensiune.

Contoarele se montează în mod asemănător cu wattmetrele, așa cum rezultă din figurile 11—23, 11—24, 11—25.

*Măsurarea energiei reactive* se efectuează cu ajutorul contoarelor de energie reactivă, de construcție specială (fig. 11—26).

## 9. Măsurarea factorului de putere ( $\cos \varphi$ )

Factorul de putere se poate măsura direct cu ajutorul aparatelor numite cosfimetre sau fazmetre (fig. 11—27).

Factorul de putere se mai poate determina citind simultan tensiunea  $U$  cu un voltmetru, curentul  $I$  cu un ampermetru și puterea activă  $P$  cu un wattmetru. Expresia factorului de putere este:

$$\left. \begin{array}{l} \text{— în curent monofazat} \\ \text{— în curent trifazat} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \cos \varphi = \frac{P}{UI} \\ \cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} UI} \end{array} \quad (11.10)$$

În curent trifazat, metoda este aplicabilă dacă sarcina este echilibrată. Tot în acest caz, dacă se măsoară puterea prin *metoda celor două wattmetre*, se obține ușor tangenta unghiului

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}, \quad (11.11)$$

din care se calculează apoi  $\cos \varphi$ .

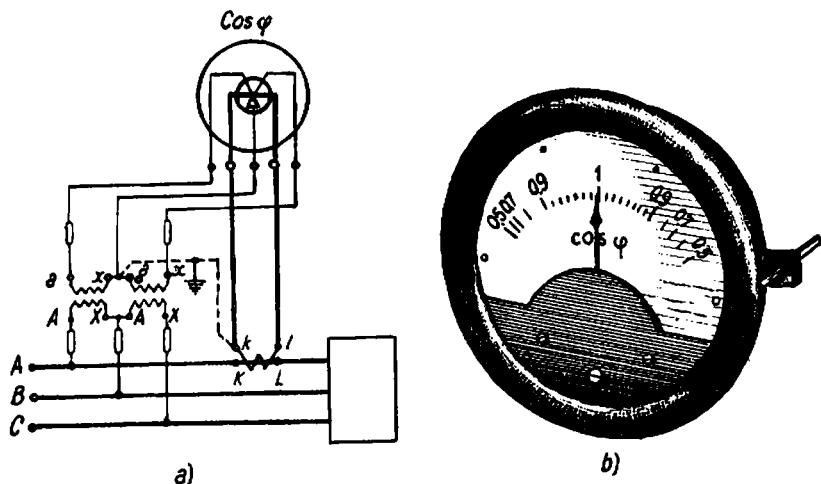


Fig. 11-27. Cosfimetru de tablou:  
a — schemă de conexiuni; b — vederea aparatului.

## 10. Măsurarea frecvenței

*Măsurarea frecvenței* se efectuează cu aparatele numite frecvenț-metre. Frecvențmetrele se pot construi ca aparate cu ac indicator sau, cum sînt întîlnite în mod curent, ca aparate de vibrație

(fig. 11- 7). În figura 11 —28 este reprezentată schema de conexiune și aspectul exterior al unui frecvențmetru de tablou.

Frecvențmetrul se leagă în circuit ca un voltmetru.

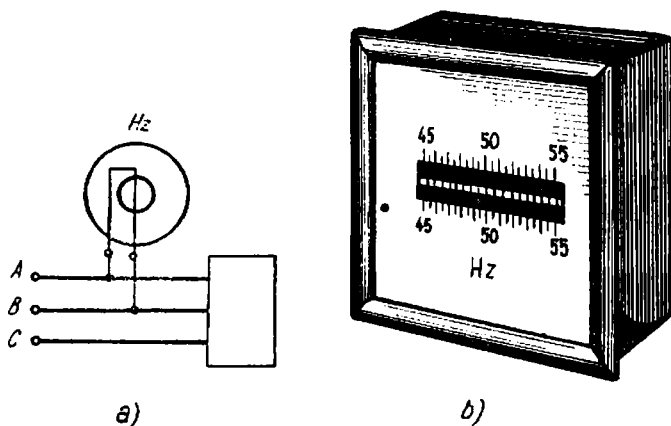


Fig. 11-28. Frecvențmetru de vibrație de tablou cu scară simplă;  
a — schemă de conexiuni; b — vederea aparatului.

## 11. Reguli practice pentru folosirea aparatelor de măsurat

1. Conectarea aparatelor de măsurat nu se face niciodată sub tensiune.

2. Montajul se execută numai după o schemă clară de conexiuni, pe care sînt marcate bornele aparatelor, cu notațiile existente pe aparate. De multe ori, schema de conectare a aparatului se găsește imprimată chiar pe aparat (pe cadran, pe capac, pe carcasă). Se identifică aparatele de pe schemă cu cele disponibile și după marcările de pe cadranul aparatelor se verifică dacă ele corespund scopului propus.

3. Înainte de a pune montajul de măsurare sub tensiune, se verifică conexiunile conform schemei și se observă ca legăturile la borne să nu fie slăbite sau desfăcute. Cu ajutorul corectorului se așază acele indicatoare pe reperul zero.

4. Aparatele se aleg, de preferință, astfel, încît indicațiile să fie cuprinse în ultima treime a scării gradate. Indicațiile apa-

ratelor se citesc privind aparatul drept în față. Pentru a permite o citire precisă, unele aparate (cele transportabile) sînt prevăzute cu o scară cu oglindă. Citirea indicației acestora se efectuează în poziția în care acul acoperă imaginea sa din oglindă.

5. Cînd aparatele sînt montate prin transformatoare de măsurat, indicațiile aparatelor se interpretează ținîndu-se seamă de raportul de transformare al transformatoarelor de măsurat (aceasta numai în cazul cînd la înscrierea diviziunilor pe scara aparatului nu s-a ținut seamă de raportul de transformare al transformatoarelor).

## 12. Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice

Problema măsurărilor are o deosebită importanță nu numai în electrotehnică, dar și în alte domenii. Astfel, este de neconceput exploatarea în bune condiții a unei stații de compresoare fără a măsura presiunea și temperatura în diferite puncte ale instalației, viteza de rotație a mașinilor etc. Mai mult, astăzi, prin automatizarea proceselor de producție, se impune un control permanent și precis al diferiților parametri (viteze, presiuni, temperaturi, debite, nivele etc.). Adesea rezultatele măsurărilor trebuie trans-

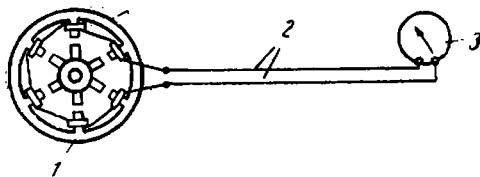


Fig. 11-29. Măsurarea pe cale electrică a turației:  
1 — traductor; 2 — instalație de legătură (schemă);  
3 — receptor.

mise la distanță și centralizate în anumite puncte de control. Toate acestea se pot realiza în condiții tehnico-economice corespunzătoare numai pe calea măsurării electrice și a acestor mărimi neelectrice. Instalația de măsurat trebuie să cuprindă:

1. Un aparat care să transforme mărimea neelectrică într-o mărime electrică, denumit traductor sau emițător.
2. O instalație electrică destinată a lega traductorul de aparatul electric de măsurat propriu-zis, care de multe ori se reduce la simple conductoare de legătură.
3. Aparatul electric de măsurat propriu-zis (receptor), a cărui scară este gradată direct în unități ale mărimii neelectrice măsurate.



4. Uneori toată instalația necesită și o sursă auxiliară de energie electrică.

În figura 11—29 se arată, pentru exemplificare, măsurarea pe cale electrică a turației unei mașini. Pentru aceasta, la axul mașinii se cuplează traductorul *I*, format dintr-un mic generator electric de curent continuu sau alternativ, al cărui rotor se rotește solidar cu axul mașinii. Acest generator, denumit și generator tahometric sau tahogenerator, produce o tensiune electrică proporțională cu turația mașinii. Receptorul 3 (un voltmetru) măsoară tensiunea produsă de generatorul tahometric; pe scara acestui voltmetru se poate citi direct turația mașinii.

## Aparataj electric

### 1. Generalități. Clasificare, definiții

Pentru a putea asigura buna funcționare a unei instalații electrice, este necesar ca, pe lângă aparatele de măsurat, instalația să fie înzestrată și cu o serie de alte aparate, cum sînt întreruptoarele, reostatele, siguranțele fuzibile etc., cu ajutorul cărora se pot face în instalații diferite manevre și se protejează instalația împotriva diferitelor deranjamente.

Ținînd seama de scopul lor în funcționare, aparatele din această ultimă categorie, care vor forma obiectul acestui capitol, pot fi clasificate în: aparate de conectare, aparate de protecție, aparate de reglaj și aparate pentru limitarea curenților de scurtcircuit.

*Aparatele de conectare* servesc la închiderea și deschiderea diferitelor circuite sau, cum se mai spune, la conectarea, respectiv deconectarea circuitelor și instalațiilor electrice, cu scopul de a le pune sau scoate de sub tensiune, de a porni și opri motoarele sau a le inversa sensul de rotație etc. Aparatele de conectare sînt: întreruptoarele, separatoarele, contactoarele, ruptoarele, comutatoarele, controlerele, prizele de curent cu fișe și conectoarele.

*Aparatele de protecție* servesc la sesizarea unei situații anormale în funcționarea unei instalații, de exemplu: apariția unei suprasarcini<sup>1</sup>, un scurtcircuit, o scădere neadmisă a tensiunii, o încălzire exagerată a vreunei piese etc. Ca urmare a acestor sesizări, aparatele de protecție fie că dau o comandă pentru deconectarea automată a instalației, dacă situația anormală este imediat periculoasă (cum ar fi în cazul unui scurtcircuit), fie că semnalizează apariția situației anormale atunci cînd situația respectivă nu prezintă un pericol imediat (cum ar fi depășirea temperaturii normale de funcționare a unei părți din instalație).

<sup>1</sup> Prin suprasarcină se înțelege o creștere a curentului printr-o instalație, peste curentul nominal al acestei instalații (vezi cap. XXI § 1).

Aparate de protecție sînt: siguranțele fuzibile, releele, descărcătoarele, paratrăsnetele.

*Aparatele de reglaj* cuprind reostatele. Reostatul este un aparat care conține o rezistență reglabilă. Reostatele sînt folosite la pornirea și reglajul vitezei motoarelor, la reglajul tensiunii generatoarelor sau la reglajul altor parametri electrici ai unei instalații.

*Aparatele pentru limitarea curenților de scurtcircuit.* În această grupă de aparate intră *reactorul*. Reactorul este un aparat care se montează pe un circuit pentru a-i mări în mod artificial impedanța, în scopul de a reduce astfel valoarea curenților de scurtcircuit, care — de cele mai multe ori — apar din cauza unor defecte de izolație.

După cum se vede, aparatajul electric are o importanță deosebită în cadrul unei instalații industriale, deoarece, cu ajutorul lui, instalația poate fi comandată, reglată în funcționare normală și protejată la apariția unei situații anormale de funcționare.

Astăzi, prin întreprinderile de bază Electroaparataj — București și Electroputere — Craiova, construite în anii de democrație populară, se asigură construirea aparatajului de utilizare curentă atât pentru necesitățile interne cît și pentru cele de export.

Aparatele electrice mai pot fi clasificate și după alte criterii, și anume:  
— după tensiune, aparatele sînt: de joasă tensiune (pînă la 1 000 V exclusiv) și de înaltă tensiune (peste 1 000 V inclusiv);

— după numărul de faze parcurse de curentul principal: monofazate, bifazate, trifazate etc. La unele aparate, ca, de exemplu, la aparatele de conectare, fazele sînt denumite și poli; din acest motiv, se folosesc uneori denumirile de aparate monopolare, bipolare și tripolare;

— după felul curentului: de curent continuu sau de curent alternativ.

Aparatele de conectare și cele de reglaj mai pot fi clasificate și după modul de comandă (de acționare), și anume:

— aparate cu comandă manuală sau aparate neautomate, la care energia necesară acționării aparatului este dată de mușchii omului în momentul comandării (acționării) lui;

— aparate cu comandă automată, la care acționarea aparatului se face prin apăsarea unor butoane, manevrarea unor manete, intervenția unor releee sau a altor elemente de comandă cu ajutorul energiei date de o sursă de energie (electrică, mecanică, pneumatică). Conform acestei definiții, prin întreruptor automat se înțelege un întreruptor care poate fi închis și deschis prin apăsare pe butoane sau prin comanda unor releee. În vorbirea curentă, prin întreruptor automat se înțelege și întreruptorul care se poate numai deschide automat sub comanda unor releee pe care el le conține, închiderea lui făcîndu-se manual.

După modul de construcție (execuție), aparatele de comutare și reglaj se clasifică după cum urmează:

*Aparate în execuție neprotejată.* Aceste aparate nu au nici un fel de protecție, părțile conducătoare de curent sînt vizibile și pot fi atinse. Ele pot fi folosite în general numai în condiții speciale; se montează în spații îngrădite,

unde are acces numai personalul special instruit, în camere care împiedică pătrunderea apelor de ploaie, a prafului, când nu există pericolul pătrunderii amestecului de gaze explozibile.

*Aparate în execuție închisă.* Aceste aparate au o carcasă care împiedică atingerea părților conductoare de curent, dar nu împiedică pătrunderea apei, a prafului, a amestecului de gaze explozibile. Spre deosebire de aparatele în execuție neprotejată, la joasă tensiune, ele se pot monta și în spații neîngrădite.

*Aparate în execuție capsulată.* Carcasa acestor aparate împiedică pătrunderea apei de ploaie și a prafului. Ele pot fi folosite în aer liber sau în încăperi cu praf, nu pot fi însă folosite în locuri cu pericol de explozie.

*Aparate în execuție antideflagrantă.* Aceste aparate sunt construite pentru a putea fi folosite în medii care conțin amestecuri de gaze explozibile, cum sunt atmosfera minelor gruztoase, unele secții ale întreprinderilor textile, petrolifere etc. La o eventuală explozie produsă în interiorul carcaselor, din cauza apariției unui arc electric (produs la deschiderea contactelor), carcasa lor trebuie să reziste la suprapresiunea interioară care ia naștere și — în plus — să nu transmită explozia în mediul înconjurător din exterior. Pentru aceasta, carcasa lor nu este închisă etanș, însă este astfel construită, încât gazele care năvălesc din interior spre exterior sunt răcite sub temperatura de aprindere a amestecului explozibil<sup>1</sup>.

## 2. Contacte electrice

Înainte de a descrie construcția și funcționarea aparatajului electric, vor fi arătate câteva noțiuni de bază în legătură cu contactele electrice.

Legătura electrică de *contact* sau, pe scurt, *contact electric* este partea componentă dintr-un aparat (întreruptor, releu, reostat etc.) prin care se face legătura electrică între două conductoare, cu scopul de a asigura trecerea curentului de la unul la celălalt. De multe ori prin contact se înțelege numai locul de atingere dintre cele două conductoare sau chiar fiecare din cele două conductoare în parte.

Contactele pot fi *contacte fixe* (care nu se deschid în timpul funcționării aparatului) și *contacte mobile*, care se deschid.

Contactele care nu se deschid în funcționare se realizează cu ajutorul șuruburilor, clemelor, bornelor, fie prin nituire, lipire sau sudare; în acest caz, cele două piese care vin în contact păstrează o poziție fixă una față de cealaltă. În alte cazuri, cele două

---

<sup>1</sup> În ultima vreme, în mediile cu pericol de explozie, în special la instalațiile telefonice, se folosesc aparate denumite cu *siguranță intrinsecă*. Acestea nu au o carcasă antideflagrantă, dar sunt astfel construite încât puterea scintilelor electrice care pot apărea este insuficientă pentru a putea aprinde amestecul exploziv.

piese care vin în contact fără a se desface în funcționare, pot luneca sau se pot rostogoli una față de alta, permițând astfel deplasarea uneia față de cealaltă; acesta este cazul contactelor prin rolă, prin perii, prin troleu etc., care se întâlnesc în practică la alimentarea podurilor rulante, la troleibuze, la tramvaie, la mașinile electrice etc.

Contactele care se deschid în funcționare au drept scop să asigure închiderea și deschiderea unor circuite. Dacă circuitul respectiv este străbătut de curent, deschiderea contactelor este însoțită de regulă de apariția unui arc electric între contactele care întrerup circuitul. Arcul electric are o temperatură foarte ridicată (3—4 mii de grade) și impune condiții speciale acestor contacte. De multe ori (la tensiuni și curenți mari), pentru a putea stinge arcul electric, contactele trebuie prevăzute cu dispozitive speciale care să ușureze stingerea arcului.

O suprafață, oricât de bine ar fi prelucrată, are o serie de neregularități (proeminențe și adâncituri care se văd la microscop). Punând în contact două piese, ele nu se ating decât prin vîrfurile diferitelor proeminențe (fig. 12-1). Dacă un curent electric trece printr-un asemenea contact, curentul trece de fapt numai prin vîrfurile proeminențelor în contact. Aceste vîrfuri în contact au o suprafață mică, de aceea — la orice contact — apare o rezistență electrică suplimentară, denumită „rezistență de trecere a contactului”. Dacă cele două piese care vin în contact se apasă una asupra celeilalte, proeminențele se țin, mărind secțiunea prin care trece curentul. De aceea, cu cît forța de apăsare a contactelor este mai mare, cu atît rezistența de trecere este mai mică. Oxidarea suprafețelor de contact provoacă și ea mărirea rezistenței de trecere. De aceea, argintarea, cositorirea sau zincarea contactelor sînt operații care îmbunătățesc funcționarea contactelor. Din acest punct de vedere, este de remarcă faptul că stratul de oxid care se formează la suprafața cuprului se rupe ușor la apăsarea contactelor. În schimb, la aluminiu se formează o peliculă de oxid foarte rezistentă. Acest lucru explică de ce aluminiul nu se întâlnește la contacte mobile. Trecerea curentului prin rezistența de trecere a contactului provoacă, prin efectul termic al curentului, încălzirea locului de contact. Curentul maxim admis printr-un contact nu trebuie să încălzească contactul la mai mult de 70—80°C. Dacă se depășește curentul maxim admis de contact, sau nu se controlează ca forța de apăsare a contactelor (dată de niște resoarte) să fie la valoarea prescrisă, contactul se încălzește peste limitele admise; în felul acesta se poate ajunge pînă la topirea și sudarea contactelor, ceea ce reprezintă

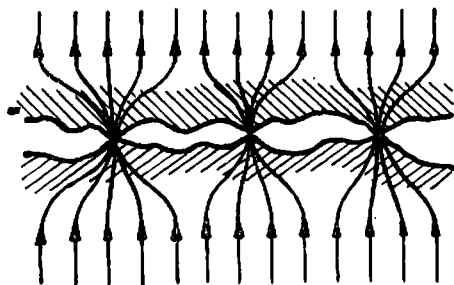


Fig. 12-1. Trecerea curentului prin contactul dintre două piese metalice.

un pericol foarte grav în cazul aparatelor de conectare; de exemplu dacă — în caz de suprasarcină — un întrerupător montat pe circuitul unui motor nu se deschide la comanda releelor de protecție din cauză că s-au sudat contactele, motorul respectiv va fi distrus (ars).

### 3. Aparate de protecție. Relee

Aparatele de protecție care vor fi descrise în cele ce urmează sînt: siguranțele fuzibile și releele de protecție; pe lângă aceasta vor fi arătate și o serie de rele electrice și neelectrice folosite la instalațiile de automatizare<sup>1</sup>.

#### a. Siguranțe fuzibile

Siguranța fuzibilă este un aparat care, fiind montat în serie pe un circuit, întrerupe circuitul prin topirea unui fir sau lamele, denumit fir sau lamelă fuzibilă, atunci cînd curentul din circuit depășește o anumită valoare, pentru care a fost construit fuzibilul.

Pentru ca fuzibilul să se topească (să se ardă), este necesar ca el să fie străbătut de un curent mai mare sau cel puțin egal cu *curentul minim de topire* ( $I_{\min. \text{top.}}$ ) la care, teoretic, fuzibilul se topește după un timp infinit. Cu cît curentul care trece prin fuzibil este mai mare decît curentul minim de topire, cu atît durata de topire a fuzibilului este mai mică. Curba duratei de

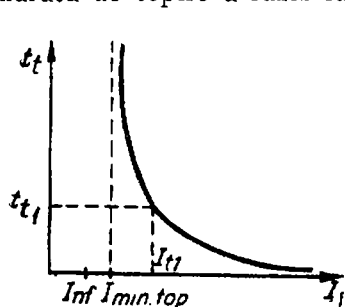


Fig. 12-2. Caracteristica de protecție a unei siguranțe fuzibile.

ca acesta să se topească sau să-și schimbe caracteristica, se numește *curent nominal al fuzibilului* și se notează cu  $I_{nf}$ .

<sup>1</sup> Releul de gaze, paratrâșnetul și descărcătoarele vor fi descrise în capitolul de protecție a instalațiilor electrice (Cap. XXI).

Acest curent este cu 20—30% mai mic decât curentul minim de topire (fig. 12-2). Pentru curenți de 8—10  $I_{nf}$ , fuzibilul se topește practic instantaneu. Având în vedere faptul că o siguranță fuzibilă se topește numai la curenți mai mari cu 20—30% decât curentul ei nominal  $I_{nf}$ , trebuie dată o atenție cu totul deosebită alegerii corecte a fuzibilelor. Alegerea unui fuzibil cu un curent nominal mai mare decât cel reieșit din calcule sau recomandat în tabelă face ca el să nu se topească la suprasarcini mici sau să se topească cu întârziere la scurt-circuite.

Fuzibilul unei siguranțe poate fi montat în aer liber sau închis într-o piesă de forma unui tub denumit *patron*, pe care este marcat curentul nominal al fuzibilului. Pentru a ușura stingerea arcului care apare în urma topirii fuzibilului, patronul conține uneori nisip, talc sau alte substanțe așezate în jurul fuzibilului. La unele patroane, topirea fuzibilului este semnalizată cu ajutorul unui dispozitiv. În cazul siguranțelor cu filet (vezi mai jos), în capul patroanelor se găsește un mic disc colorat care cade la topirea fuzibilului.

Caracteristica de protecție a siguranțelor poate fi de următoarele trei tipuri (fig. 12-3):

— *Siguranțe normale sau rapide* (curba  $n$ ); la aceste siguranțe, timpul de topire este mai mic decât la alte tipuri.

— *Siguranțe cu inerție* (curba  $i$ ); la aceste fuzibile, la același curent, durata de topire este mai mare decât la o siguranță normală corespunzătoare (cu același curent nominal).

— *Siguranțe cu întârziere* (curba  $\tilde{t}$ ); la aceste fuzibile, durata de topire este mărită chiar în comparație cu aceea a fuzibilelor cu inerție și — în același timp — au o valoare mai mare a curentului minim de topire în raport cu curentul nominal al fuzibilului.

Pentru exemplificare, se arată în tabela 12-1 (după STAS 4173-53) condițiile de topire impuse siguranțelor cu minier (vezi mai jos).

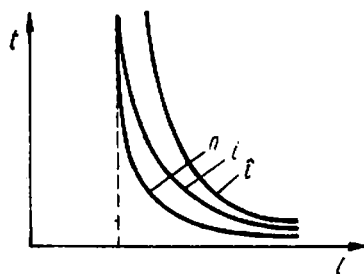


Fig. 12-3. Caracteristicile de protecție ale diferitelor tipuri de siguranțe fuzibile, având același curent nominal:

$n$  — siguranțe normale;  $i$  — siguranțe cu inerție;  $\tilde{t}$  — siguranțe cu întârziere.

Tabela 12-1

Condițiile de topire pentru siguranțele unipolare cu minier

Condițiile de topire	Tipul siguranței		
	normală (rapidă)	cu inerție	cu întârziere
Nu se topește într-o oră la sarcina de...	1,3 $I_{nf}$	1,6 $I_{nf}$	3 $I_{nf}$
Se topește în mai puțin de o oră la sarcina de	1,6 $I_{nf}$	1,9 $I_{nf}$	3,5 $I_{nf}$

Din punct de vedere constructiv, siguranțele pot fi: siguranțe cu filet, siguranțe cu miner și siguranțe tubulare.

— *Siguranțele cu filet* (fig. 12-4) au fuzibilul închis într-un patron care se montează în soclul siguranței prin înșurubarea unui capac filetat, în care se introduce patronul. Siguranțele cu filet, standardizate prin STAS 452-53, 456-53 și 497-53, sînt folosite numai pînă la 500 V și 200 A. Aceste siguranțe pot fi:

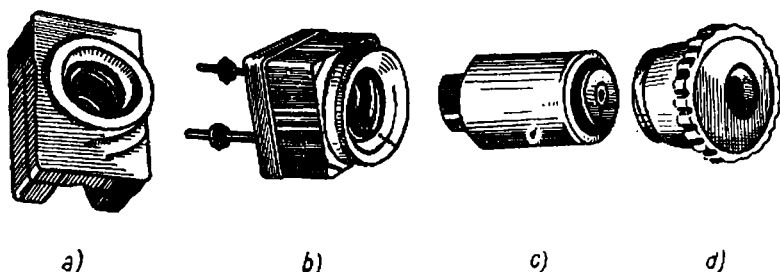


Fig. 12-4 Siguranțe cu filet:

a — soclu pentru legături în fața tabloului; b — soclu pentru legături în spatele tabloului; c — patron cu fuzibil; d — capac.

*Siguranțe LS* (cu legături în spate); la aceste siguranțe, legăturile cu conductoarele circuitului se fac în spatele tabloului pe care se montează siguranțele.

*Siguranțe LF* (cu legături în față); la aceste siguranțe, legăturile cu conductoarele circuitului se fac în fața tabloului.

Curenții nominali ai fuzibilului pot fi: 6; 10; 15; 20; 25; 35; 40; 45; 60; 80; 100; 125; 160; 200 A.

Pentru a evita schimbarea greșită a patroanelor (înlocuirea unui patron cu fuzibil ars, printr-un alt patron, cu curent nominal mai mare), șurubul de contact din fundul soclului siguranței este protejat cu un guler de porțelan care nu permite introducerea unui patron cu un fuzibil mai mare, decît dacă se înlocuiește șurubul de contact cu un altul prevăzut cu un guler corespunzător patronului noului fuzibil.

În practică, acest guler de porțelan se distruge, astfel încît, în locul unui patron cu un fuzibil calibrat, se pune de obicei un patron oarecare, cu fire de sîrmă alese după apreciere. Această practică este dăunătoare deoarece, de multe ori, fuzibilul nu se topește la apariția unei suprasarcini, în schimb se arde motorul sau cablul; în alte cazuri, pînă să se stingă arcul electric produs la topirea fuzibilului, se distrug contactele și soclul siguranței.

— *Siguranțele cu miner* (fig. 12-5) au fuzibilul sub forma unei lamele 1, fixate într-o piesă specială 2 în formă de miner,



prevăzută cu piulițe de strângere 3 și cuțite de contact 4. Cuțitele de contact pătrund în contacte montate pe tablou și la care se leagă, prin spatele tabloului, conductoarele circuitului. Siguranțele cu minier standardizate prin STAS 1563-50 și 4173-53, sunt folosite pînă la 500 V și 600 A.

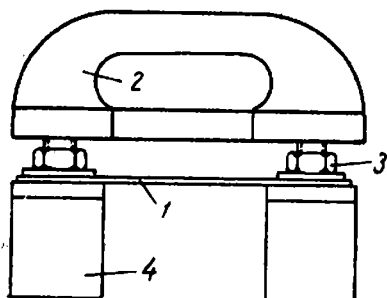


Fig. 12-5. Siguranță cu minier:  
1 — fuzibil; 2 — minier; 3 — piulițe de strângere; 4 — cuțit de contact.

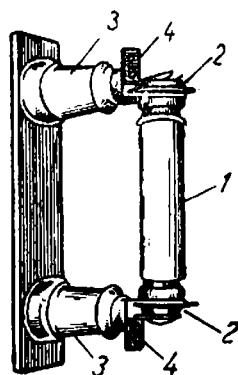


Fig. 12-6. Siguranță tubulară de înaltă tensiune:

1 — tub portfuzibil (patron); 2 — piese de contact;  
3 — izolatoare suport; 4 — borne pentru legarea conductoarelor circuitului.

Curenții nominali ai fuzibilelor sînt:

60 — 80 — 100 — 125 — 160 — 200 A, pentru minierul de 200 A

160 — 200 — 225 — 260 — 300 — 350 A, pentru minierul de 350 A

300 — 350 — 430 — 500 — 600 A, pentru minierul de 600 A.

— *Siguranțe tubulare* alcătuite dintr-un tub izolat, de obicei din porțelan, în care este așezat fuzibilul; tubul este prevăzut la capete cu cuțite sau piese de contact și se introduce cu capetele în două contacte așezate pe tablou, la joasă tensiune, sau pe două izolatoare, la înaltă tensiune (fig. 12—6).

Atît în cuprinsul aparatelor, cit și pe tablouri se utilizează în ultima vreme siguranțe formate dintr-un patron tubular închis, terminat la capete cu cite un contact tip cuțit. Patronul se poate scoate ușor, cu ajutorul unui minier detașabil care stă fixat la îndemînă (de exemplu sub capacul aparatului).

Siguranțele de înaltă tensiune, cînd sînt prevăzute cu mijloace de stingere a arcului electric, pot întrerupe curenți foarte mari (curenții de scurtcircuit), chiar în prima semiperioadă de la apariția curentului și chiar înainte ca acesta să atingă valoarea sa maximă. În felul acesta, siguranța limitează valoarea curentului de scurtcircuit, care poate apare în circuit, ceea ce permite o dimensionare mai economică a instalațiilor; aceste siguranțe se numesc *siguranțe limitatoare de curent*.

**Alegerea siguranțelor**<sup>1</sup>. Alegerea siguranțelor constă în a stabili valoarea curentului nominal al fuzibilului, în funcție de caracteristicile circuitului pe care vor fi montate aceste siguranțe.

Pentru înțelegerea celor ce urmează, este necesar să se definească întii unele mărimi electrice în legătură cu caracteristicile circuitului.

— *Curentul admisibil prin conductor*, notat cu  $I_{ac}$ , este curentul care poate fi trecut timp nelimitat prin conductor, fără ca temperatura acestuia să depășească limitele admise. În capitolul XVI se dau curenții admisibili pentru unele tipuri de conductoare și cabluri.

— *Curentul nominal de sarcină al conductorului*, notat cu  $I_{ns}$ , este curentul care trece prin conductor cînd receptorii alimentați de acel conductor absorb puterea lor nominală. De obicei, curentul nominal de sarcină este mai mic decît curentul admisibil prin conductor,  $I_{ns} < I_{ac}$ , și aceasta din mai multe motive, în primul rînd din necesitatea de a menține căderile de tensiune în conductor în limitele admise (a se vedea capitolul XX, § 2).

— *Curentul de pornire al unui motor*, notat cu  $I_p$ , este curentul absorbit de motor în primul moment al conectării sale la o rețea; după cum se va vedea în capitolul XIV, acest curent poate fi de 4—7 ori mai mare decît curentul  $I_{nm}$  absorbit de motor în sarcina sa normală (nominală). În timpul cît motorul

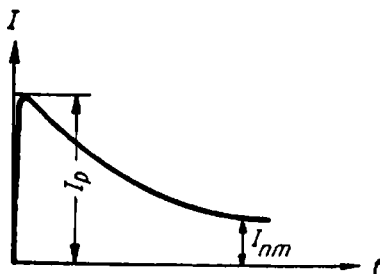


Fig. 12-7. Variația curentului absorbit de un motor în timpul pornirii motorului.

pornește (și mărește viteza, pînă la viteza normală) curentul absorbit de motor scade de la valoarea  $I_p$  pe care a avut-o inițial, la valoarea  $I_{nm}$  (fig. 12—7). Timpul în care curentul de pornire scade la valoarea  $I_{nm}$  variază de la cîteva secunde (motoare mici) pînă la cîteva zeci de secunde (motoare mari care pun în mișcare dispozitive mari, de exemplu un pod rulant.)

— *Curentul maxim al circuitului* (conductorului), notat cu  $I_{max}$ , este curentul maxim care poate apare la un moment dat în circuit. Curentul maxim este mai mare ca  $I_{ns}$ , din cauza curenților de pornire al motoarelor.

Pentru conductoarele care alimentează un singur motor, curentul maxim este egal cu curentul de pornire al motorului respectiv:

$$I_{max} = I_p. \quad (12.1)$$

<sup>1</sup> Vezi și capitolul XX.

Pentru conductoarele care alimentează mai multe receptoare, printre care se găsesc și motoare electrice,

$$I_{max} = \Sigma I_{ns} + I_{p\ max} \quad (12.2)$$

în care:  $I_{p\ max}$  este curentul de pornire al motorului cu cel mai mare curent de pornire;

$\Sigma I_{ns}$  — suma curenților de sarcină normală a celorlalte motoare și receptoare.

La alegerea siguranțelor fuzibile trebuie să se țină seama de următoarele condiții:

— Pentru ca fuzibilul să nu se topească în funcționare normală, curentul nominal al fuzibilului  $I_{nf}$ , trebuie să fie mai mare sau cel puțin egal cu curentul normal de sarcină  $I_{ns}$ , al circuitului respectiv,

$$I_{nf} \gg I_{ns} . \quad (12.3)$$

— Pentru ca fuzibilul să nu se topească la pornirea motoarelor, curentul nominal al fuzibilului trebuie să respecte relația:

$$I_{nf} \geq \frac{I_{max}}{k} \quad (12.4)$$

în care coeficientul  $k$  are următoarele valori:

$k = 2,5$  — în cazul motoarelor cu condiții de pornire normale (porniri rare și de durată scurtă, circa 5—10 s);

$k = 1,6 - 2$  — în cazul motoarelor cu condiții grele de pornire (porniri dese și de durată mare, până la 40 s).

— Față de curentul admisibil al conductorului  $I_{ac}$  curentul nominal al fuzibilului trebuie să respecte relația:

$$I_{ac} \geq \psi I_{nf} \quad (12.5)$$

în care  $\psi$  este un coeficient care depinde de felul rețelei și de suprasarcinile care pot apărea în rețea așa cum se arată în tabela 12-2.

Cu cât  $\psi$  are o valoare mai apropiată 1,25, cu atât este mai redusă posibilitatea de a supraîncărca conductorul pe care s-a montat siguranța, deoarece când conductorul ajunge la curentul maxim admisibil, fuzibilul este străbătut de un curent apropiat de curentul minim de topire, deci este pe punctul de a se topi. Astfel, se evită posibilitatea de a supraîncălzi conductorul și prin aceasta de a-i îmbătrâni izolația.

Valorile coeficientului  $\phi$  din relația 12-5

Felul încăperii	Felul rețelei	$\phi = \frac{I_{ac}}{I_{nf}}$
Locuințe, localuri publice; birouri și încăperi de serviciu din întreprinderi industriale	<i>Rețele de forță și lumină</i> — conductoare în țevi sau pe suportți izolanți — cabluri	1,25 1
Încăperi de producție ale întreprinderilor industriale	<i>Rețele de forță</i> — Feedere * și linii principale în țevi ..... — Feedere și linii principale pe suportți izolanți ..... — Feedere și linii principale în cabluri subterane ..... — Derivații spre receptoare cu regim de durată **, montate în țevi .... — idem, montate pe suportți izolanți ..... — idem, în cabluri ..... — Derivații spre receptoare regim intermitent ** în cabluri sau conductoare în țevi ..... <i>Rețele de lumină</i> — Feedere, linii principale și derivații în cabluri, conductoare în țevi sau pe suportți izolanți	0,66 0,85 0,66 0,33 0,85 0,33  0,5  1
Încăperi în care există pericol de explozie	<i>Rețele de forță și lumină</i> — Feedere, linii principale și derivații, cu conductoare în țevi, pentru orice regim de funcționare al receptoarelor ..... — Idem, în cabluri	1,25 1

\*) Feeder se numește un cablu principal, care alimentează un receptor important (post de transformare, motoare mari etc.).

\*\*) Regimul de durată și intermitent se referă la funcționarea continuă sau cu întreruperi a receptoarelor.

Pentru fuzibil se alege din scara curenților nominali ai fuzibililor o valoare egală sau imediat superioară valorii maxime rezultate din condițiile de mai sus.

De remarcat că în unele cazuri, condițiile de alegere a siguranței fuzibile impun (prin relațiile 12-4 și 12-5) mărirea secțiunii conductorului protejat.

Alegerea siguranțelor cu inerție sau cu întârziere se face fără a mai ține seama de relația 12-2, deoarece aceste fuzibile nu se ard la șocurile de curent produse de pornirea motoarelor (durata acestor șocuri este scurtă, deci fuzibilul nu are timpul necesar să se ardă).

Acest fapt duce uneori (prin relația 12-5) la micșorarea secțiunii conductoarelor, față de cazul folosirii siguranțelor normale și deci la o economie de materiale conductoare în rețeaua electrică.

În cazul unei instalații obișnuite în care nu apar, sub formă de șoc, curenți mai mari decât curenții normali de sarcină, siguranțele fuzibile pentru protecția conductoarelor contra supra-sarcinilor, se aleg, indiferent de tipul siguranței, conform tabeli 12-3.

Tabela 12-3

**Siguranțe fuzibile pentru protecția conductoarelor instalațiilor electrice  
(sarcină permanentă, fără șocuri)**

Secțiunea conductorului, în mm <sup>2</sup>	Curentul nominal al fuzibilului $I_{nf}$ în A				
	Instalație fixă în tuburi		Instalație fixă aeriană		Instalație mobilă
	Cupru	Aluminiu	Cupru	Aluminiu	Cupru
0,75	—	—	—	—	6
1	6	—	—	—	6
1,5	10	6	—	—	10
2,5	15	10	—	—	20
4	20	15	—	—	25
6	25	20	—	—	35
10	35	25	—	—	60
16	60	35	—	—	80
25	80	60	—	—	100
35	100	80	—	—	125
50	125	100	—	—	160
70	160	125	200	160	200
95	200	160	260	200	225
120	225	200	300	260	260
150	260	225	350	300	300
185	300	260	430	350	350
240	350	300	500	430	430
300	430	350	600	500	500
400	500	430	700	600	—
500	600	500	800	700	—

## b. Relee

Releul este un aparat care, sub influența unei mărimi pentru care releul a fost construit și reglat și pe care el o supraveghează, dă o comandă mecanică sau — de cele mai multe ori — o comandă electrică (prin închiderea sau deschiderea unor contacte ale sale). Releele sînt utilizate în instalațiile electrice pentru protecția acestora contra diferitelor situații anormale de funcționare. Cînd releul sesizează o asemenea situație, el comandă deconectarea instalației. Releele mai sînt utilizate în instalații industriale pentru automatizarea funcționării lor, în funcție de diferiți parametri ai instalației (tensiune, curent, viteză, presiune, debit, temperatură etc.).

Releele pot fi clasificate după mai multe criterii, și anume:  
*după natura mărimii la care releul lucrează* (pe care releul o supraveghează) releele pot fi:

- de tensiune,
- de curent,
- de putere,
- de timp etc.;

*după principiul de funcționare*, releele pot fi:

— rele electromagnetice, la care funcționarea se bazează pe atragerea armăturii unui electromagnet;

— rele electrotermice, la care funcționarea se bazează pe dilatarea unor piese încălzite cu ajutorul curentului electric;

— rele de inducție, la care funcționarea se bazează pe rotația unui disc de cupru sau aluminiu, datorită cuplului produs asupra discului prin fenomene de inducție (ca la contorul de curent alternativ);

*după modul cum sînt montate în circuit* se deosebesc:

— rele primare, cînd sînt influențate nemijlocit de mărimea supravegheată; bobinajele unui asemenea releu sînt parcurse chiar de curentul ce trebuie supravegheat (fig. 12-8, a) sau sînt alimentate chiar de tensiunea ce trebuie supravegheată (fig. 12-8, b);

— rele secundare, cînd sînt legate în circuit prin intermediul transformatoarelor de curent (fig. 12-8, c) sau de tensiune (fig. 12-8, d).

Releele primare se construiesc pentru o gamă largă de curenți și tensiuni, în scopul acoperirii în mod satisfăcător a necesităților foarte variate ale instalațiilor electrice. Releele secundare se construiesc pentru un număr redus de curenți și tensiuni (de exemplu 5—10 A sau 100 V), adaptarea la necesitățile instalației făcîndu-se cu ajutorul transformatoarelor de curent sau de tensiune.

În instalații de înaltă tensiune se folosesc în general numai relele secundare:

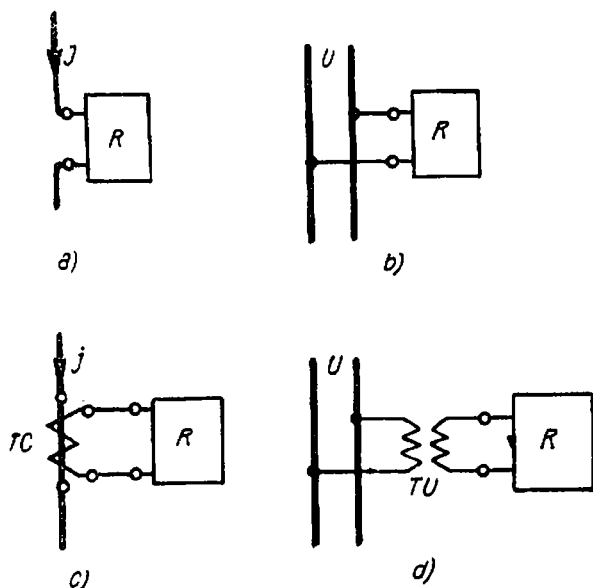


Fig. 12-8. Relee primare și secundare:

*a* — releu primar de curent; *b* — releu primar de tensiune; *c* — releu secundar de curent;  
*d* — releu secundar de tensiune; *R* — releu; *TC* — transformator de curent;  
*TU* — transformator de tensiune.

*după modul cum transmit comanda relele pot fi:*

— relele directe, care efectuează direct mișcarea corespunzătoare comenzii, prin intermediul unor pârghii legate de partea mobilă a releului (fig. 12-9, *a*); de exemplu, la un întreruptor, releul direct acționează asupra dispozitivului care blochează întreruptorul în poziția închis, și ca urmare, întreruptorul se deschide;

— relele indirecte, la care, prin mișcarea piesei mobile, se închide sau se deschide un circuit electric, care — la rândul său — alimentează un alt aparat (servomotor, contactor) cu ajutorul căruia se efectuează mișcarea mecanică corespunzătoare comenzii (fig. 12-9, *b*). Contactele releului se numesc contacte de lucru. La un releu, când acesta nu este parcurs de curent sau nu este

alimentat cu tensiune, contactele de lucru pot fi deschise (contactele *a*, fig. 12-9, *b*) sau închise (contactele *b*, fig. 12-9, *b*). Poziția în care se găsesc contactele când releul nu este parcurs de curent sau nu este alimentat cu tensiune se numește poziție normală; ca urmare, în figura 12-9, *b*, contactul *a* se numește contact normal închis, iar contactul *b* se numește contact normal deschis\*. Când releul este parcurs de curent sau este pus sub tensiune, contactele normal deschise se închid, iar cele normal închise se deschid. Un releu poate avea mai multe contacte normal deschise și mai multe contacte normal închise;

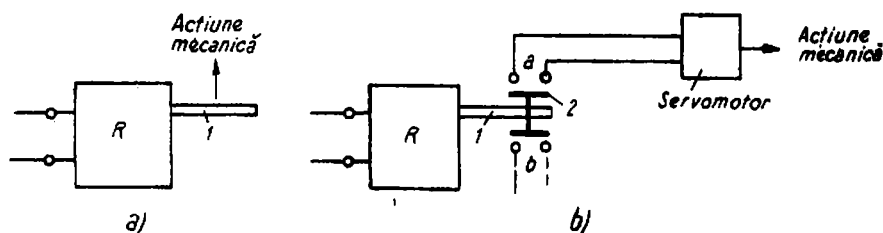


Fig. 12-9. Relee directe și indirecte:

*a*) releu direct; *b*) releu indirect; *R* — releu; *1* — plesă mobilă a releului; *2* — punte conductoare de curent pentru închiderea sau deschiderea contactelor de lucru; *a* — contact normal deschis; *b* — contact normal închis.

*după felul variației mărimii care le acționează releele pot fi:*

- rele maxime, care lucrează atunci când valoarea mărimii supravegheate depășește o anumită valoare reglată la releu;
- rele minime, care lucrează la scăderea valorii mărimii sub o anumită valoare reglată;

*după timpul de acționare se deosebesc:*

- rele instantanee, care acționează practic în momentul în care mărimea supravegheată a atins valoarea reglată la releu;
- rele temporizată sau cu întârziere, care acționează după un timp anumit (reglabil), măsurat din momentul în care mărimea supravegheată a atins valoarea reglată.

*Rele maxime și minime de curent sau tensiune.* Releul maximal de curent cel mai frecvent utilizat este de tip electro-

\* Denumirile de contact normal închis și contact normal deschis se folosesc nu numai pentru contactele releelor, ci și pentru alte contacte, ca, de exemplu, pentru contactele contactoarelor sau pentru butoanele de comandă manuală. La butoanele pentru comandă manuală, poziția normală este poziția în care se găsește contactul, când butonul nu este apăsat.



magnetic. El conține (fig. 12-10) un miez magnetic 1, cu o armătură mobilă 2. Pe miezul magnetic 1 se găsește bobinajul 3 parcurs de curentul de supravegheat (sau de un curent proporțional cu acesta, dacă releul este secundar). Dacă curentul în bobinajul 3 depășește o anumită valoare, releul își atrage armătura mobilă și întinde resortul antagonist 4; prin mișcarea armăturii, fie se execută comanda (dacă releul este direct), fie se închid sau deschid contactele de lucru *a* (dacă releul este indirect, cazul din fig. 12-10).

Curentul la care releul își atrage armătura — numit curent de lucru — poate fi reglat prin ajustarea prealabilă a resortului 4 (întinzând arcul mai mult, curentul de lucru crește). La unele relee, curentul de lucru mai poate fi reglat prin schimbarea întrefierului inițial 8 cu ajutorul unui șurub de reglaj 6; mărirînd întrefierul inițial, curentul de lucru crește. De asemenea, curentul de lucru mai poate fi reglat prin schimbarea numărului de spire ale bobinajului releului; mărirînd numărul de spire, curentul de lucru scade.

De obicei, la releele folosite pentru protecție, curentul de lucru se reglează prin schimbarea tensiunii resortului antagonist; la releele de construcție mai îngrijită, elementul de reglaj al resortului (șurub, pîrghie) deplasează un indicator în fața unei scări gradate pe care sînt înscrise valorile curenților de lucru ai releului.

Dacă curentul supravegheat scade sub valoarea reglată, resortul 4 aduce armătura în poziția inițială (se spune că releul are revenire automată).

În mod analog se construiesc rele electromagnetice maxime de tensiune sau rele minime de curent și rele minime de tensiune. Releele minime mențin armătura atrasă și o eliberează cînd curentul, respectiv tensiunea, scade sub valoarea reglată. La releele de tensiune, bobina este o bobină de tensiune (adică este executată dintr-un conductor de secțiune mică, cu un număr mare de spire). Dintre aceste ultime rele, cele mai des folosite sînt releele minime de tensiune, denumite și rele de tensiune nulă.

Conform STAS 4196-53, releul minimal de tensiune, folosit la protecția instalațiilor de forță și iluminat, trebuie:

- să atragă armătura sa la 0,9 din tensiunea nominală, fără să vibreze;
- să rețină armătura sa la 0,7 din tensiunea nominală, admițîndu-se o ușoară vibrație;

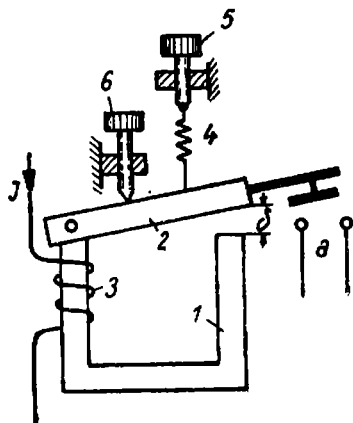


Fig. 12-10. Releu maximal de curent (principiu):

1 — miez magnetic; 2 — armătură mobilă; 3 — bobinaj; 4 — resort antagonist; 6 — șurub de reglaj al resortului 4; 8 — șurub de reglaj al întrefierului inițial 8; a — contacte de lucru.

— să elibereze armătura la o tensiune sub 0,7 din tensiunea nominală și să o elibereze sigur la 0,35 din tensiunea nominală.

Releele maxime și minime de curent sau de tensiune de tip electromagnetic se construiesc pentru curent continuu, cît și pentru curent alternativ. În curent continuu, miezul și armătura electromagnetului se construiesc din oțel masiv; în curent alternativ, aceste piese se construiesc din tole, pentru a micșora pierderile în fier. În curent alternativ, forța de atracție a armăturii este variabilă, trecînd prin zero ori de cîte ori trece prin zero și curentul din bobinajul releului (la o frecvență a curentului de 50 Hz, forța trece prin zero de 100 ori pe secundă). Aceasta provoacă o vibrație a armăturii care produce un bîzuit; vibrațiile se transmit și la contacte, înrăutățind funcționarea lor. Pentru a reduce această vibrație, pe o parte din polul electromagnetului se montează o spiră în scurtcircuit (fig. 12-11).

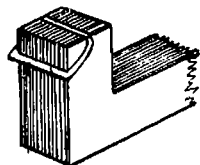


Fig. 12-11. Spiră în scurtcircuit pentru reducerea vibrațiilor armăturii unui electromagnet.

Reducerea vibrațiilor armăturii se explică astfel: datorită curenților induși în această spiră, fluxul magnetic care trece prin zona închisă de spiră este defazat față de fluxul care trece prin restul secțiunii polului.

Fiecare zonă a polului produce cîte o forță de atracție asupra armăturii, însă momentul trecerii prin zero a acestor forțe nu coincide. Ca urmare, forța de atracție rezultantă asupra armăturii nu mai trece prin zero, iar vibrațiile sînt astfel reduse.

În figura 12-12 este reprezentată construcția unui relee maximal de curent de tip electromagnetic, cu armătură rotitoare, folosit ca relee secundar. La acest relee, cînd curentul depășește valoarea curentului de lucru, armătura se rotește, așezîndu-se în prelungirea capetelor circuitului magnetic fix (linia trasată punctat). Pe același principiu se construiesc și releele maxime sau minime de tensiune.

Releele de tip electromagnetic, construite ca rele de tensiune sau de curent, maxime sau

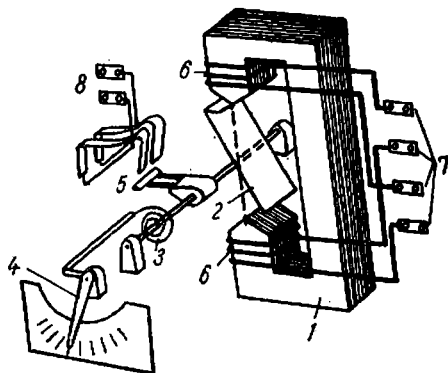


Fig. 12-12. Relee electromagnetic cu armătură rotitoare:

1 — miezul electromagnetului; 2 — armătură rotitoare (paletă); 3 — arc antagonist; 4 — reglajul arcului antagonist; 5 — contacte de lucru; 6 — bobinaje (releele au bobinajul împărțit în două jumătăți care se pot monta în serie sau în paralel); 7 — bornele bobinajelor; 8 — bornele contactelor de lucru.

minimale, sînt folosite mult atît la protecția instalațiilor electrice, cît și la automatizarea lor. Pentru exemplificare, în figura 12-13 se reprezintă un relee de curent continuu folosit în mod curent în instalațiile de automatizare.

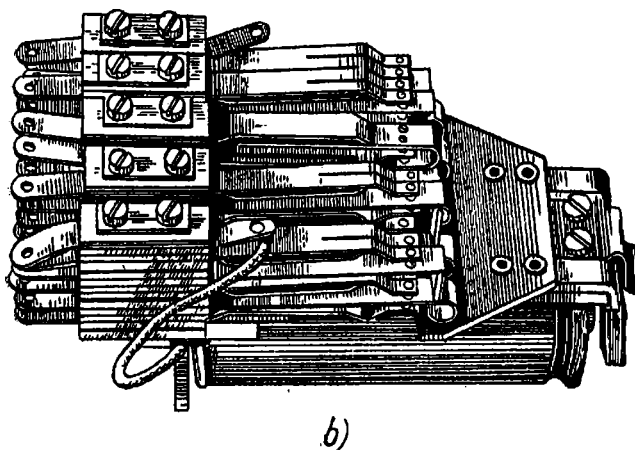
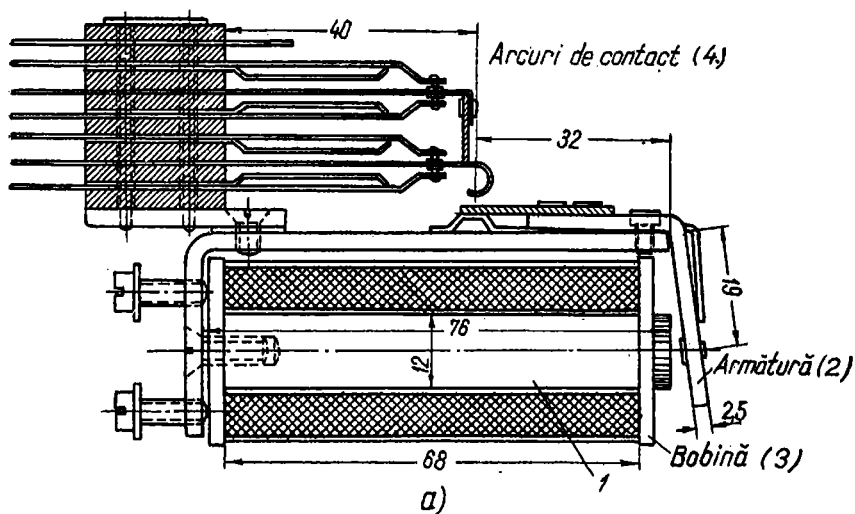


Fig. 12—13. Relee electromagnetice de curent continuu folosite în instalațiile de automatizare:

1 — miez; 2 — armătură; 3 — bobină; 4 — contact de lucru

Releele descrise mai sus au acțiune instantanee. În figura 12-14 se arată un releu maximal de curent, cu temporizare, secundar și indirect, folosit des în practică la protecția motoarelor mari și a liniilor, funcționând pe principiul de inducție; acest releu se construiește și la noi în țară, după modelul releului sovietic tip IT.

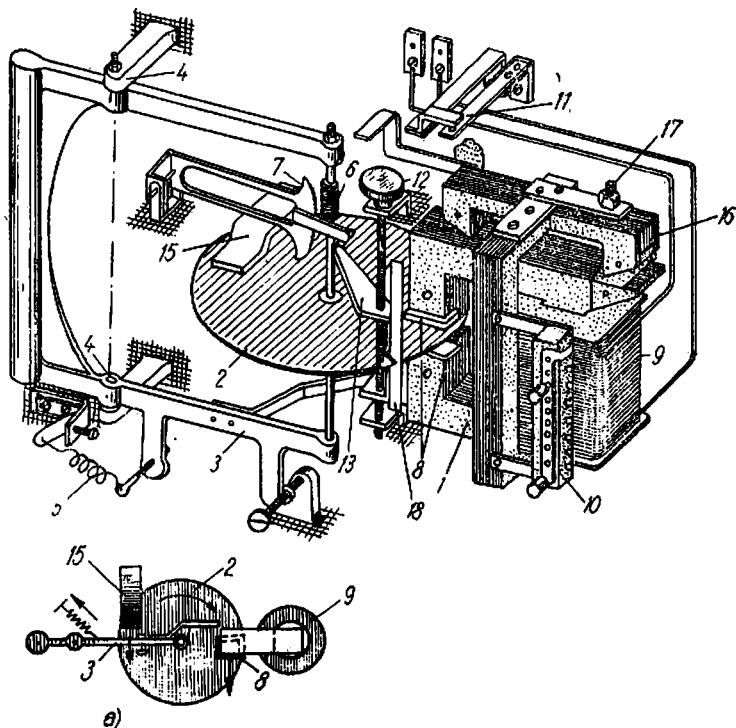


Fig. 12-14 a. Releu maximal de curent tip IT:

a — construcția releului; 1 — miez de tole; 2 — disc; 3 — cadru; 4 — lagăre; 5 — arc; 6 — șurub fără sfârșit; 7 — sector dințat; 8 — spire de scurtcircuit; 9 — bobină; 10 — prize; 11 — contacte de lucru; 12 — șurub; 13 — plesă de sprâjin; 14 — brat; 15 — magnet permanent; 16 — armătură; 17 — șurub de reglaj; 18 — scară gradată.

Releul cuprinde un miez din tole 1, în întrefierul căruia se poate roti un disc 2. Discul este suspendat pe un cadru 3, care se poate roti în lagărele 4. Arcul 5 reține cadrul 3, astfel că în mod normal șurubul fără sfârșit 6 de pe axul discului 2 nu cuplează în sectorul dințat 7. Datorită spirelor în scurtcircuit 8, montate pe o parte din secțiunea polilor circuitului magnetic, la trecerea curentului prin bobina 9, discul 2 se va roti (ca la contor), iar asupra cadrului 3 se va exercita un cuplu. Bobina 9 are o serie de

prize 10, pentru curenți de la 2-10 A. Când curentul care trece prin bobină depășește valoarea corespunzătoare scrisă pentru prizele respective, cuplul antagonist dat de arcul 5 este învins și cadrul 3 se mișcă astfel, încât șurubul 6 cuplează cu sectorul dințat 7. Discul, rotindu-se, sectorul 7 se ridică și după un timp oarecare provoacă închiderea contactelor de lucru 11. Acest timp poate fi reglat cu ajutorul șurubului 12, ridicând sau coborând piesa de sprijin 13. Atât timp cât sectorul dințat 7 nu este cuplat cu șurubul 6, sectorul dințat cade sub propria lui greutate și se sprijină pe piesa 13, prin intermediul brațului 14. Cu cât piesa de sprijin 13 se află mai jos, cu atât timpul de acționare

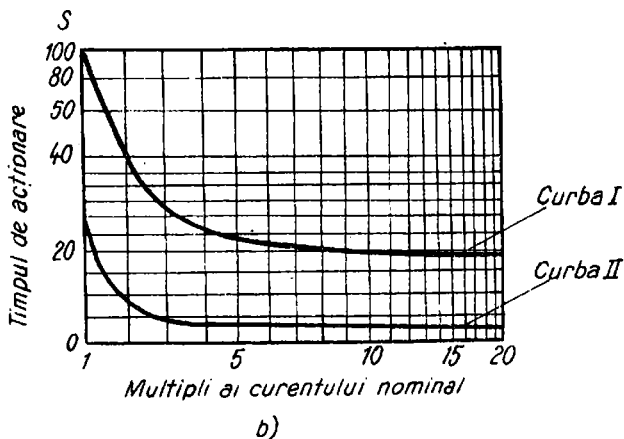


Fig. 12-14 b. Releu maximal de curent tip IT:

b — caracteristica de protecție a releului.

al releului va fi mai mare. Mișcarea discului este uniformizată cu ajutorul magnetului permanent 15.

Când curentul depășește cu mult valoarea corespunzătoare prizei respective, fluxul de scăpări din miezul 1 atrage armătura 16, care închide instantaneu contactele de lucru. Curentul la care se produce atragerea armăturii 16 poate fi reglat cu ajutorul șurubului 17, prin apropierea sau depărtarea armăturii de miezul 1, între de două ori până la de opt ori curentul corespunzător prizei pe care este pusă bobina 9.

Caracteristica de protecție a releului IT este reprezentată în figura 12-14, b. Cele două curbe din această figură reprezintă limitele între care poate fi reglat timpul. Astfel, la un anumit curent, timpul maxim care poate fi reglat cu ajutorul șurubului 12 se citește pe curba I, iar timpul minim, pe curba II. Se menționează că în timpul reglajului, șurubul 12 deplasează un indice în fața scării 18 gradate între 0,5 și 16 s. Timpul indicat pe scara 18 reprezintă numai timpul de acționare al releului atunci când prin el trece un curent egal cu de 10 ori curentul corespunzător prizei folosite la bobina 9.

Acest releu poate acționa, după cum s-a arătat, atât temporizat cât și instantaneu, ceea ce reprezintă un mare avantaj față de alte rele care acționează numai temporizat sau numai instantaneu.

**Relee temporizate.** În figura 12-14 s-a reprezentat un releu de inducție cu acțiune temporizată și principiul temporizării în

acest caz. La relele electromagnetice de curent sau de tensiune, temporizarea se realizează introducând un mecanism de temporizare (mecanism de ceasornicărie) între armătură și contactele releului (fig. 12-15). Când armătura este atrasă, armătura pune în funcțiune mecanismul de ceasornicărie  $S$ , iar după trecerea unui anumit timp (reglabil), mecanismul de ceasornicărie efectuează închiderea sau deschiderea contactelor de lucru  $a$ . De obicei, temporizarea la aceste rele are loc numai la atragerea armăturii, revenirea contactelor în poziție normală, sub acțiunea resortului  $R$

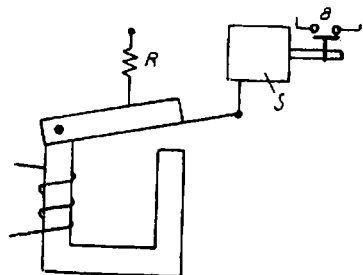


Fig. 12-15. Releu temporizat.

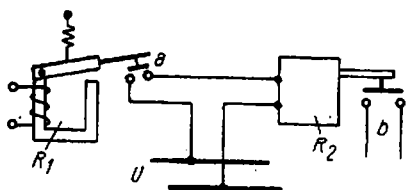


Fig. 12-16. Principiul temporizării acțiunii releelor instantanee:

$R_1$  — releu cu acțiune instantanee;  
 $R_2$  — releu de timp.

când armătura este eliberată, făcându-se instantaneu. Pe acest principiu se bazează construirea releelor de curent sau de tensiune, maximale sau minimale, temporizate.

Releul electromagnetic temporizat este folosit și pentru a transmite cu anumită întârziere comenzile unor rele cu acțiune instantanee, în care caz releul se numește și releu de timp. În acest scop (fig. 12-16), contactele  $a$  ale releului  $R_1$  cu acțiune instantanee închid circuitul bobinei releului de timp  $R_2$ , alimentînd-o cu o tensiune constantă; releul de timp își închide sau deschide contactele  $b$  cu întârziere și transmite mai departe, cu aceeași întârziere, comanda releului cu acțiune instantanee.

Releele temporizate sau de timp, construite după principiul electromagnetic arătat mai sus, pot funcționa atât în curent continuu, cît și în curent alternativ.

În curent continuu, temporizarea releelor electromagnetice, folosite la instalațiile de automatizare, se poate realiza și pe baza curenților induși într-un tub de cupru montat pe miezul bobinei. Acești curenți apar, prin fenomenul de inducție, ori de cîte ori variază fluxul magnetic prin miez. În consecință, ei apar la conectarea sau deconectarea releului. Potrivit regulii lui Lenz, fluxul

magnetic produs de acești curenți are un astfel de sens, încît fluxul magnetic rezultat prin miez tinde să rămînă constant; ca urmare, la conectarea releului, cînd fluxul total ar trebui să crească, datorită curenților induși, creșterea fluxului total prin miez este întîrziată (frînată). Aceasta atrage după sine și întîrziere în atragerea armăturii și, prin urmare, și temporizare în acțiunea releului. În mod analog, la deconectarea releului este întîrziată anularea fluxului total și deci este întîrziată eliberarea armăturii. Variînd dimensiunile tubului din cupru sau tensiunea resoartelor care mențin armătura mobilă depărtată de miez, se poate schimba valoarea temporizării. În cazul descris, releul este temporizat atît la închiderea, cît și la deschiderea contactelor sale de lucru. Folosind o serie de procedee electrice, se poate realiza ca temporizarea să se manifeste numai la închiderea sau numai la deschiderea contactelor de lucru ale releului.

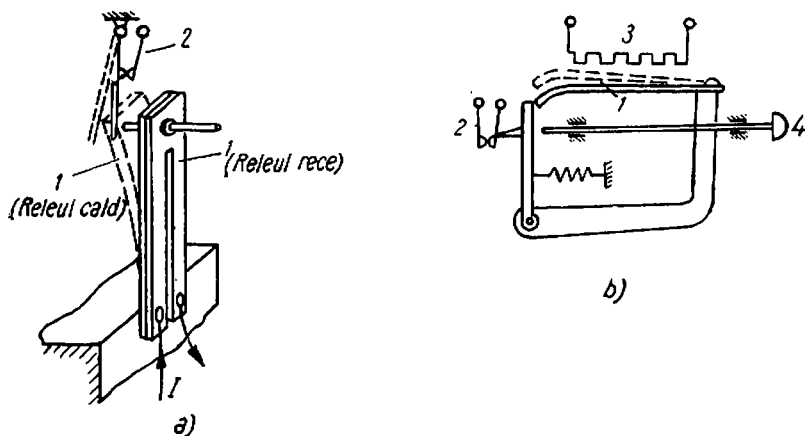


Fig. 12-17. Relee electrotermice:

a — cu încălzire directă; b — cu încălzire indirectă; 1 — lamă bimetală; 2 — contacte de lucru; 3 — rezistență de încălzire; 4 — buton de revenire.

**Relee electrotermice.** Releele electrotermice sînt relele maximele de curent, funcționînd pe baza dilatării inegale a două metale diferite, încălzite cu ajutorul curentului electric care trebuie supravegheat. Releele electrotermice (fig. 12-17) conțin o lamă bimetalică 1, formată prin lipirea a două lamele din metale diferite. Lama bimetalică este încălzită cu ajutorul curentului electric care trebuie supravegheat. Din acest punct de vedere relele pot fi:

- cu încălzire directă, cînd bimetalul este încălzit direct prin trecerea curentului chiar prin lama bimetal (fig. 12-17, a);
- cu încălzire indirectă, cînd bimetalul este încălzit indirect, prin intermediul unei rezistențe 3, străbătute de curent (fig. 12-17, b).

Cînd lama bimetalică (bimetalul) este încălzită, ea se încovoie, deoarece — prin dilatare — cele două straturi de metal se lungesc diferit. Dacă prin depășirea curentului admis, lama se încovoie prea mult, ea deschide (sau închide) contactele de lucru 2 ale releului. Prin contactele sale de lucru sau prin acțiune directă, releul transmite comanda după un timp cu atît mai mic, cu cît curentul care trece prin releu este mai mare.

Spre deosebire de alte relee, de exemplu releul electromagnetic maximal de curent, care revine automat în poziția normală, cînd curentul a scăzut sub valoarea reglată pe releu, la releul electrotermic revenirea lamei bimetalice în poziția normală nu se face în general automat, ci manual, prin apăsarea pe butonul 4 (fig. 12-17), numit buton de revenire. În acest mod, personalul de exploatare este forțat să ia cunoștință că în instalație a apărut o suprasarcină, că este necesar să găsească cauza suprasarcinii și să o elimine.

Curentul maxim care poate fi trecut prin releu și la care releul încă nu lucrează, chiar dacă curentul trece prin releu timp nelimitat, se numește valoare reglată, sau curent de lucru al releului. Valoarea curentului de lucru poate fi și ea reglată (poate fi făcută mai mare sau mai mică) prin schimbarea depărțării între lama bimetalică și contactele de lucru sau prin schimbarea rezistenței de încălzire (dacă rezistența de încălzire se micșorează, căldura degajată 0,24 RI<sup>2</sup>t calorii este mică, releul se încălzește mai greu, valoarea curentului de lucru se mărește). Cea mai mare valoare a curentului de lucru care poate fi reglată pe releu se numește curent nominal al releului. Curentul nominal al releului este marcat pe releu sau este egal cu curentul nominal al aparatului în care este montat releul. Reglarea curentului de lucru se face practic prin deplasarea unui reper în fața unei scări pe care sînt marcate fracțiuni zecimale (de obicei de la 0,6—1); aducînd reperul la diviziunea 0,7, înscamă că releul va lucra la un curent egal cu 0,7 din curentul nominal al releului. După cum s-a arătat, releul electrotermic nu lucrează însă instantaneu.

Conform STAS 4196-53, relele electrotermice folosite la protecția motoarelor electrice contra suprasarcinilor trebuie să aibă o caracteristică de protecție care să respecte următoarele cerințe:

- la un curent cu 5% mai mare decît valoarea reglată, nu trebuie să acționeze în timp de 2 ore;
- la un curent cu 20% mai mare decît valoarea reglată, trebuie să acționeze în timp de 2 ore;
- la un curent cu 50% mai mare decît valoarea reglată, trebuie să acționeze în timp de 2 min;
- la un curent de 7 ori curentul nominal al releului, releul trebuie să funcționeze practic instantaneu și să nu-și modifice caracteristica de protecție.

Deoarece încălzirea lamei bimetalice se face după un anumit timp, relele electrotermice nu acționează la șocurile de curent de scurtă durată (de exemplu la curenții de pornire ai motoarelor), ci la curenți de lungă durată care sînt mai mari decît o anumită valoare reglată la releu.



Releele electrotermice sînt folosite pentru a asigura protecția instalațiilor electrice contra suprasarcinilor; ele trebuie să comande deconectarea instalației după un timp care depinde de mărimea suprasarcinii, așa cum s-a arătat mai sus, astfel încît, în acest timp, încălzirea instalației să nu depășească limitele de încălzire admise.

Releele electrotermice se mai numesc pe scurt și rele termice.

## 4. Aparate de conectare

Aparatele de conectare sînt următoarele: întreruptoare, separatoare, contactoare, ruptoare, comutatoare, controlere, prize de curent cu fișe.

### a. Întreruptoare

Întreruptoarele sînt aparate care închid sau deschid circuitele electrice sub sarcină, adică circuitele care sînt străbătute de curenți electrici.

În esență, un întreruptor conține unul sau mai multe contacte fixe și un număr de contacte mobile. Cînd contactele mobile sînt aduse în contact cu cele fixe, întreruptorul este închis și în felul acesta se asigură continuitatea electrică a circuitului pe care este montat întreruptorul (circuitul este și el închis); cînd contactele mobile sînt depărtate de cele fixe, întreruptorul este deschis, iar circuitul respectiv este întrerupt (deschis).

În mod constructiv, contactele mobile ale unui întreruptor se pot realiza așa cum se arată principial în figura 12-18, în mai multe feluri:

- sub forma unei lame mobile  $M$ , care articulează în punctul  $A$ , și care prin rotire în jurul articulației poate fi introdusă în contactul fix  $F$  (fig. 12-18,  $a$ ). Acest fel de contact se mai numește contact cuțit sau pîrghie (v. fig. 12-19, 12-20);

- sub forma unei traverse mobile  $M$ , care prin ridicare poate fi pusă în contact cu două contacte fixe  $F$  (fig. 12-18,  $b$ ). Acest contact, după cum se vede, face o dublă întrerupere (v. și fig. 12-25);

- sub forma unei tijle mobile  $M$ , care prin deplasare poate fi introdusă într-un contact fix  $F$  (fig. 12-18,  $c$ ) (v. și fig. 12-26) etc.

Cea mai grea situație pentru întreruptor apare atunci cînd el trebuie să întrerupă curenții de scurtcircuit, deoarece aceștia

pot fi foarte mari în raport cu curentul normal de sarcină al circuitului. Întreruperea unui circuit sub sarcină este însoțită de apariția arcului electric între contactele fixe și cele mobile ale întreruptorului. Arcul se stinge cu atât mai greu, cu cât tensiunea și curentul sînt mai mari; în aceste cazuri (curent și tensiune mare), construcția contactelor întreruptorului devine foarte complicată. Prin temperatura sa ridicată, arc electric distruge contactele, făcîndu-le inutilizabile cu timpul. De aceea,

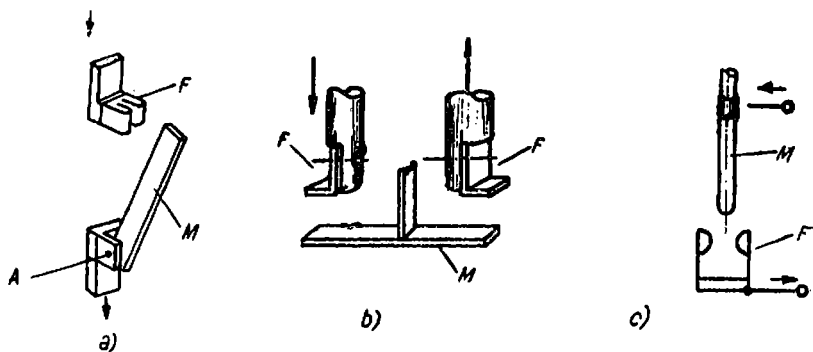


Fig. 12-18. Principiul de construcție a contactelor întreruptoarelor:  
a — contact cuțit; b — contact cu dublă întrerupere; c — contact cu tijă mobilă.

stingerea arcului la tensiuni și curenți mari necesită măsuri speciale care să micșoreze durata arcului, și anume:

- desfacerea contactelor cu viteză mare;
- folosirea unor dispozitive speciale, numite dispozitive de stingere a arcului, care se așază în jurul contactelor.

Întreruptoarele sînt caracterizate printr-o serie de mărimi indicate în cataloage sau în norme; cunoașterea acestor mărimi este utilă pentru a putea folosi în mod rațional întreruptoarele. Cele mai importante dintre aceste mărimi sînt:

*Tensiunea nominală  $U_n$*  este cea mai mare tensiune standardizată pentru care a fost construit și la care poate fi folosit întreruptorul.

*Curentul nominal  $I_n$*  este curentul cel mai mare care poate trece prin întreruptor timp nelimitat, fără ca încălzirea lui să depășească limitele admise de norme.

*Curentul de rupere  $I_{rup}$*  este cel mai mare curent pe care îl poate întrerupe întreruptorul la tensiunea nominală, rămînînd în bună stare de funcționare.

*Puterea de rupere*  $S_{rup}$  (pentru un întreruptor trifazat) este puterea dată de expresia:

$$S_{rup} = \sqrt{3} U_n I_{rup}. \quad (12.6)$$

Ea se măsoară în MVA.

La aparatele de joasă tensiune nu se dă puterea de rupere, ci *capacitatea de rupere* a întreruptorului. Capacitatea de rupere a unui întreruptor este curentul maxim pe care îl poate întrerupe întreruptorul la o tensiune dată.

Întreruptoarele pot fi neautomate (manuale) sau automate.

Întreruptoarele neautomate sau manuale sînt întreruptoarele a căror închidere și deschidere se face numai manual, pe seama energiei mușchilor omului, fie direct, fie printr-o transmisie cu pîrghii.

Acest fel de întreruptoare sînt de tipul indicat în figura 12-19, *a*, și din acest motiv se numesc întreruptoare cu pîrghie. Ele sînt folosite numai la joasă tensiune și se montează pe un tablou, fie în fața tabloului (fig. 12-19, *a*), fie în spatele tabloului (fig. 12-19, *b*). Aceste întreruptoare sînt construite (după STAS 2425-51) pentru tensiunea nominală de 500 V și curenți

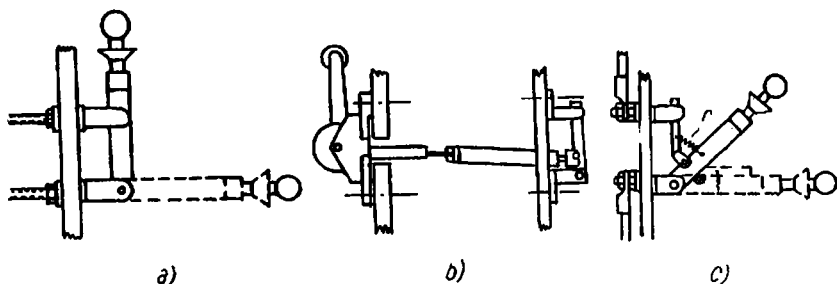


Fig. 12-19. Întreruptoare cu pîrghie:

*a* — montat în fața tabloului; *b* — montat în spatele tabloului;  
*c* — întreruptor cu contact auxiliar.

nominali de 25, 60, 100 și 20 A. Capacitatea lor de rupere este egală cu curentul nominal, la tensiuni de cel mult 220 V, în curent continuu, sau la tensiuni de cel mult 380 V și  $\cos \varphi \geq 0,8$ , în curent alternativ.

Întreruptoarele cu pîrghie sînt construite monopolare, bipolare sau tripolare și sînt folosite la instalațiile de forță și lumină, de putere mică. La puteri mai mari se recomandă folosirea lor ca separatoare; în acest caz, ele sînt construite și pentru curenți de 350, 600, 1 000 A sau chiar de 1 500, 2 000

și 3 000 A; capacitatea de rupere a acestor întreruptoare — separatoare manuale — este nulă, adică ele nu pot fi folosite pentru ruperea curenților din circuit (ruperea curenților din circuit trebuie făcută cu un întreruptor automat montat în serie cu întreruptorul manual); deschiderea acestor întreruptoare sub sarcină (sub curent) poate duce la apariția unor arcuri electrice prea puternice, care distrug contactele sau se pot întinde între faze, producând un scurt-circuit între faze.

Unele construcții de întreruptoare cu pîrghie au și un contact auxiliar (fig. 12-19, c) numit de rupere. Contactul auxiliar și cel principal sînt strinse între ele printr-un resort *r*. La deschidere, se desface întîi contactul principal, resortul se întinde și, la un moment dat, sub acțiunea forței produse de el, se desface și contactul auxiliar cu o viteză mare, indiferent de viteza cu care a fost deschis contactul principal. Aceasta garantează stingerea arcului în bune condiții, indiferent de viteza cu care este manevrat întreruptorul la deschidere. În afară de aceasta, arcul electric se formează între contactul fix și cel de rupere, protejînd astfel contactul principal.

*Întreruptoarele automate* sînt întreruptoarele care pot fi deschise automat sub comanda releelor. La întreruptoarele automate de joasă tensiune, releele sînt cuprinse chiar în construcția întreruptorului; la înaltă tensiune, releele, în general rele secundare, sînt montate în afara construcției întreruptorului.

Întreruptorul este închis printr-un sistem de pîrghii, acționat manual printr-o pîrghie sau un volan de acționare (fig. 12-25) electric (electromagnet, motor) sau pneumatic (aer comprimat), prin rotirea unei manete sau apăsare pe un buton. Simultan cu mișcarea de închidere a contactelor întreruptorului este armat și un resort (resortul este întins sau comprimat). O dată închis, întreruptorul rămîne blocat în această poziție, datorită unui dispozitiv de zăvorîre sau zăvor, chiar după ce încetează acțiunea de închidere a întreruptorului; cînd se dă comanda de deschidere, se deblochează dispozitivul de zăvorîre și, sub acțiunea resortului amintit mai sus, contactele întreruptorului se deschid cu o viteză mare. Deblocarea dispozitivului de zăvorîre se poate face voit (fie mișcînd în sens invers pîrghia sau volanul de acționare, fie apăsînd pe un buton special pentru deschiderea întreruptorului) sau automat, sub acțiunea releelor; releele pot efectua deblocarea dispozitivului de zăvorîre fie direct (fig. 12-21, a), în mod mecanic, prin intermediul unor pîrghii acționate de armătura mobilă a releelor (cazul releelor directe), fie indirect, prin intermediul unui electromagnet numit și declanșator, alimentat prin contactele de lucru ale releelor (fig. 12-21, b; 12-23; 12-24).

Releele folosite pentru a comanda deschiderea automată a întreruptorului sînt: relee maximale de curent, cu acțiune instantanee sau cu acțiune temporizată, relee electrotermice și relee minimale de tensiune (de multe ori releul minimal de tensiune joacă și rolul de declanșator). Se menționează că, în general, un întreruptor are toate aceste trei tipuri de relee numai dacă prin el se conectează la rețea un motor electric.

Aceste relee au drept scop să comande deschiderea întreruptorului, atunci cînd în circuitul pe care este montat întreruptorul apar regimuri anormale de funcționare.

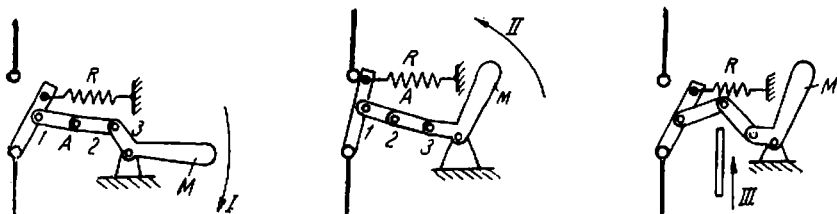


Fig. 12-20. Principiul de funcționare a mecanismului cu liberă deschidere: I — pregătirea închiderii; II — închiderea întreruptorului; III — deschiderea întreruptorului la comanda releelor.

Construcția dispozitivelor de închidere și deschidere a întreruptoarelor automate, numite dispozitive de acționare, variază mult de la caz la caz. În cele ce urmează se va descrie numai sistemul manual, denumit „cu liberă deschidere” (sau liberă declanșare), folosit mult la întreruptoarele automate de joasă tensiune și al cărui principiu este arătat în figura 12-20.

Pentru a putea închide întreruptorul, se deplasează înfil maneta  $M$  în jos (I), astfel încît pîrghiile 1 și 2 să ajungă în prelungire (la punctul mort). Apoi se deplasează maneta  $M$  în sus (II); prin această mișcare, întreruptorul se închide. La sfîrșitul mișcării de închidere, resortul  $R$  este întins, iar pîrghiile 1, 2 și 3 sînt în prelungire (la punctul mort), asigurînd astfel menținerea în stare închisă a întreruptorului (pîrghiile asigură și zăvorirea întreruptorului). Cînd — prin intervenția unui releu oarecare — articulația  $A$  este împinsă în sus (III), întreruptorul se deschide sub acțiunea resortului  $R$  fără să fie necesară mișcarea manetei de acționare.

Din cele arătate mai sus rezultă că întreruptoarele au poziție stabilă (blocată sau zăvorită) atît în poziția deschis, cît și în cea închis, pentru trecerea în altă poziție fiind necesar să se dea o comandă distinctă.

Schemele electrice ale întreruptoarelor automate sînt de asemenea foarte variate. În figura 12-21, *a* se dă schema electrică de principiu a unui întreruptor automat cu relee maximale de curent și cu relee electrotermice, iar în figura 12-21, *b*, schema de principiu a unui întreruptor automat care are și releu minimal de tensiune.

Înteruptorul  $I$  din figura 12-21,  $a$  este figurat în poziția închis,  $D$  fiind dispozitivul de acționare (închidere), iar  $R$  resortul pentru deschidere. Înteruptorul este zăvorât în poziția închis de bara  $1$ , care reține clocul  $2$ . Înteruptorul este prevăzut cu releul maximal de curent  $RM$ , parcurs de curentul din circuit; în cazul de față, releul  $RM$  este un releu primar, direct. Dacă curentul în circuit depășește o anumită valoare, acest releu își atrage armătura, iar armătura trage în jos bara  $1$ , dezăvărind înteruptorul; resortul  $R$  deschide instantaneu contactele înteruptorului. Înteruptorul are și releul electrotermic  $RT$ ,

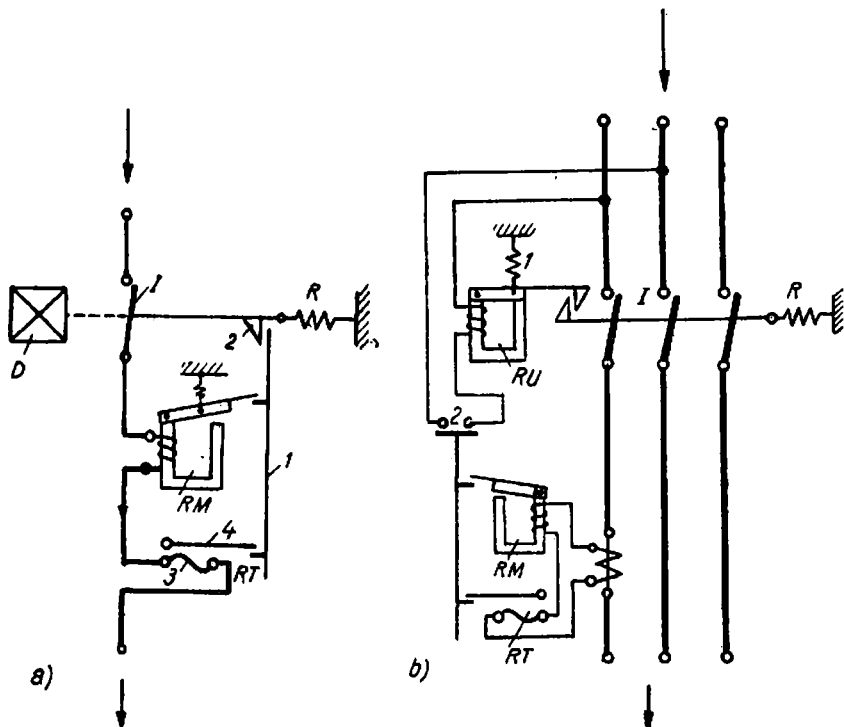


Fig. 12-21. Schemele de principiu ale înteruptoarelor automate.

al cărui element de încălzire 3 este de asemenea parcurs de curentul din circuit; dacă acest curent depășește valoarea reglată la releu, lama bimetal 4 se încovoale și dezăvorește înteruptorul ca în cazul precedent, însă după un timp oarecare de la stabilirea curentului peste valoarea reglată.

Înteruptorul din figura 12-21,  $b$  are în plus un releu minimal de tensiune  $RU$  cu bobina alimentat de rețeaua pe care este montat înteruptorul. La acest înteruptor zăvărirea este realizată de releul minimal de tensiune. Dacă tensiunea rețelei scade sub valoarea admisă, releul  $RU$  își eliberează armătura sub acțiunea resortului  $R$  și dezăvărăște înteruptorul, care se deschide instantaneu sub acțiunea resortului  $R$ . Releul maximal de curent  $RM$  și releul

electrotermic  $RT$  sînt în acest caz relee secundare și nu acționează direct asupra dispozitivului de zăvorîre ca în figura 12-21, *a*, ci prin intermediul releului minimal de tensiune  $RU$ . În acest scop, în circuitul bobinei releului minimal de tensiune există un contact 2, care este închis cînd releul maximal de curent și cel electrotermic nu lucrează; cînd lucrează aceste relee, ele deschid contactul 2, dispăre tensiunea de la releul de tensiune și acesta dezavîrăște întreruptorul. În figura 12-21, *b*, releul maximal de curent și cel electrotermic au același contact de lucru 2; în alte cazuri, în circuitul releului minimal de tensiune se montează în serie două contacte, unul pentru releul maximal de curent, altul pentru releul electrotermic, funcționarea fiind aceeași ca mai sus (fig. 12-24).

În sfîrșit, se menționează că în multe cazuri bobina releului minimal de tensiune este chiar bobina dispozitivului de acționare a întreruptorului (fig. 12-23).

După mediul de stingere al arcului electric, întreruptoarele automate pot fi întreruptoare în aer, întreruptoare în ulei, întreruptoare cu expansină, întreruptoare cu aer comprimat și întreruptoare cu autoformare de gaze.

*Întreruptoare în aer.* La aceste întreruptoare, stingerea arcului se face în aer liber. Pentru ca arcul electric să nu se închidă între faze și să provoace astfel un scurtcircuit, fiecare contact este izolat într-o cameră dintr-un material izolant și refractar.

Pentru a favoriza stingerea arcului, fiecare din aceste camere are, uneori, în partea de sus, deasupra contactelor, un grătar format din o serie de lamele de cupru, izolate între ele. Arcul electric, care apare la deschiderea contactelor, este divizat prin aceste lamele într-o serie de arcuri scurte, ceea ce ușurează mult stingerea lui (dacă arcul este în curent alternativ).

Uneori, în interiorul acestor camere se produce un cîmp magnetic cu ajutorul unor bobine parcurse de curenții care trec prin contactele întreruptorului. Sub acțiunea acestui cîmp magnetic, arcul electric este împins \* înspre exterior, este lungit și astfel este stîns mai ușor. Dispozitivul acesta pentru stingerea arcului poartă numele de dispozitiv de „sufraj magnetic”. La curenții mai mari, întreruptorul are contacte auxiliare, care se închid înaintea și se deschid în urma contactelor principale. Arcul electric se formează deci între contactele auxiliare, protejînd astfel contactele principale contra uzurii.

În aceste cazuri, bobinele pentru suflaj magnetic se leagă în serie cu contactele auxiliare. În figura 12-22, *a* și *b* sînt reprezentate vederea și schema electrică a unui întreruptor automat prevăzut cu: contacte principale 1, contacte auxiliare 2, bobine de suflaj magnetic 3, relee maxinale de curent 4, relee minimale de tensiune 5, dispozitiv de acționare manuală 6.

Acest fel de întreruptoare se folosesc la joasă tensiune în curent continuu sau în curent alternativ și se fabrică pentru curenți de 200, 350, 400, 600, 1 000 sau 1 500 A și în mod excepțional pentru 2 000 sau 3 000 A. La noi în țară ele

---

\* Asupra arcului electric, care este un curent electric, apare o forță electromagnetă (v. Cap. IV.1.)

sînt simbolizate prin DITA-350, ceea ce înseamnă disjuncător\* trifazat în aer pentru 350 A.

DITA se construiește pentru curenți pînă la 1 000 A și este prevăzut cu următoarele relee:

—trei relee maxime de curent, electromagnetice, cu acțiune instantanee, montate cîte unul pe fază;

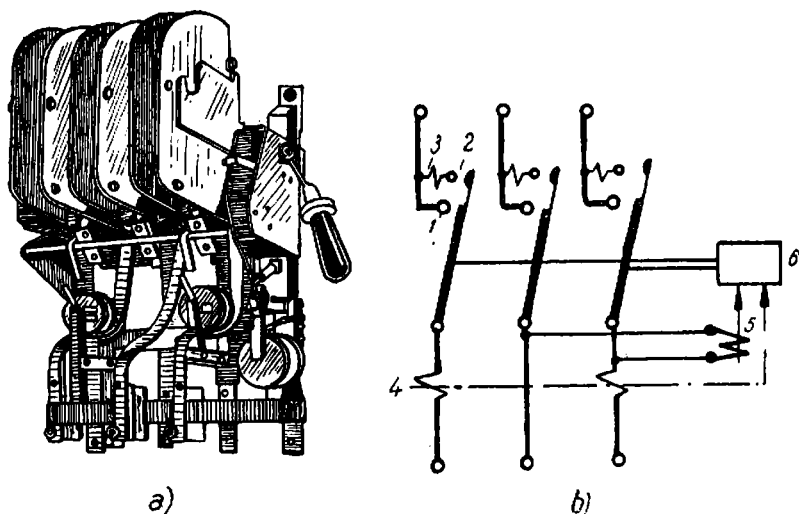


Fig. 12-22. Întreruptor automat în aer:  
a — vedere; b — schema electrică.

— două relee electrotermice (cu bimetal), montate numai pe două faze, ca relee primare sau secundare (după mărimea curentului aparatului);

— un releu minimal de tensiune, electromagnetic.

Întreruptoarele în aer se folosesc la instalațiile electrice fixe, fiind montate pe tablouri fie în fața tabloului, fie — mai des — în spatele tablourilor sau în interiorul celulelor (v. mai jos). Cînd este montat pe tablou, întreruptorul, ca orice aparat electric, este închis într-o carcasă, a cărei construcție depinde de mediul exterior (loc uscat, umed, cu praf, cu gaze explozive etc.).

\* Disjuncător: denumirea folosită în trecut pentru un întreruptor care se poate deschide automat; cînd întreruptorul se putea închide automat el era numit conjuncător.



*Observație.* În mod curent, la tablourile din interiorul clădirilor sînt folosite siguranțe numite „siguranțe automate”. Acestea sînt mici întreruptoare monopolare în aer, echipate cu un releu maximal de curent și uneori chiar cu un releu electrotermic, reglate din fabrică pentru un anumit curent de funcționare.

**Întreruptoare în ulei.** Întreruptoarele în ulei sînt montate într-o cuvă cu ulei care este un bun izolan și favorizează stingerea arcului electric. Aceste întreruptoare se folosesc numai la instalații electrice fixe, atît la joasă tensiune, cît și la înaltă tensiune, dar numai în curent alternativ. Ele se construiesc cu volum mare de ulei (cu ulei mult) sau cu volum redus de ulei (cu ulei puțin).

În figura 12—23 este arătată vederea și schema electrică a întreruptorului cu ulei mult de joasă tensiune, cu comandă prin butoane, DITU-25 (disjunctor, trifazat în ulei, 25 A).

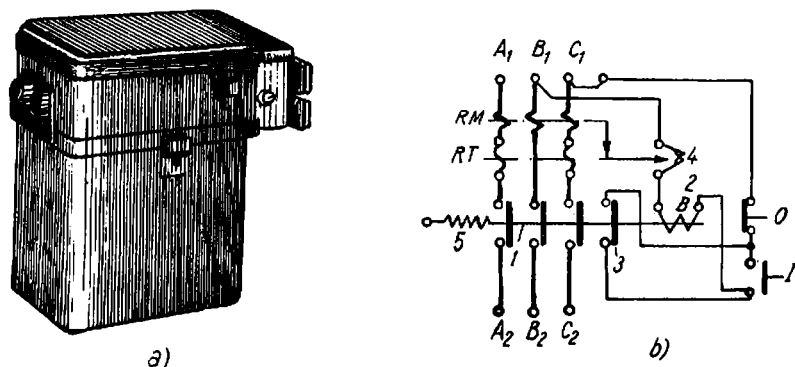


Fig. 12-23. Întreruptor în ulei, de joasă tensiune, cu comanda prin butoane DITU-25:

*a* — vedere; *b* — schema electrică: 1 — întreruptor; 2 — electromagnet de acționare; 3 — contactul auxiliar (pentru autoreținere); 4 — contactul de lucru al releelor; 5 — resort; *RM* — releu maximal de curent; *RT* — releu electrotermic;  $A_1, B_1, C_1$  — borne de intrare;  $A_2, B_2, C_2$  — borne de ieșire; *I* — butonul pentru închidere; *O* — butonul pentru deschidere.

Întreruptorul este prevăzut cu trei releu maximale de curent *RM* și două releu electrotermice *RT*. Închiderea întreruptorului *I* se face cu ajutorul unui electromagnet de acționare 2, care joacă și rolul de releu minimal de tensiune.

Închiderea întreruptorului se face apăsînd pe butonul *I*, contact normal deschis; deschiderea se face apăsînd pe butonul *O*, contact normal închis. Astfel, la apăsarea pe butonul *I*, contact normal deschis, electromagnetul de acționare 2 este

pus sub tensiune și închide întreruptorul (totodată este armat și un arc 5 sub acțiunea căruia întreruptorul se deschide atunci când dispare tensiunea de la bornele electromagnetului de acționare). La ridicarea degetului de pe butonul *I*, întreruptorul rămâne închis, deși contactul *I* se deschide. În adevăr, o dată cu închiderea întreruptorului se închide contactul auxiliar 3 (care șuntează contactul normal deschis *I*) și electromagnetul este alimentat în continuare prin contactul auxiliar 3; pentru acest motiv, contactul auxiliar 3 se mai numește și contact de autoreținere.

Deschiderea întreruptorului se face scoțind de sub tensiune electromagnetul de acționare, fie în mod voit — prin apăsare pe butonul *O*, contact normal închis, fie automat, prin deschiderea contactului de lucru 4 al releelor, contact comun pentru releele maxime de curent *RM* și electrotermice *RT* și se deschide la comanda acestora.

Intr-o construcție mai modernă a fabricii Electroaparataj București, la întreruptorul DITU-25 B, închiderea și deschiderea se fac cu ajutorul unei manete care este rotită spre dreapta (în sensul acelor unui ceas), la închidere și spre stînga, la deschidere (pe carcasa aparatului, în dreptul manetei sînt marcate corespunzător literele *I* și *O*). Acest tip este prevăzut și cu două sau trei bloc-contacte\* care permit montarea unor butoane de comandă de la distanță și a două lămpi pentru semnalizarea poziției întreruptorului.

Întreruptoarele DITU-25 B se construiesc pentru curenți nominali de 1; 1,5; 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25 A și tensiuni de 220; 380; 500 V. Pentru curenți mai mari, pînă la 100 A și aceleași tensiuni, se construiește tipul DITU-100.

Pentru tensiuni pînă la 1000 V și curenți pînă la 350 A se construiește întreruptorul în ulei (CITUC-1) reprezentat în figura 12—24, folosit în industria petroliferă.

Întreruptorul este echipat cu rele maxime de curent *RM* și rele electrotermice *RT* montate numai pe două faze, ca rele secundare indirecte. De asemenea, întreruptorul este prevăzut și cu un rele minimal de tensiune *RU*, montat ca rele secundar, direct.

---

\* Un aparat poate fi prevăzut în general cu mai multe contacte auxiliare numite și bloc-contacte, care se mișcă solidar cu contactele principale ale aparatului. Bloc-contactele pot fi normal deschise sau normal închise; prin poziția normală a bloc-contactelor, se înțelege poziția corespunzătoare cazului cînd instalația este fără tensiune.

Bloc-contactele sînt foarte necesare în schemele de comandă, pentru semnalizarea la distanță a poziției închis sau deschis a aparatului și, în general, în schemele de automatizare, pentru transmiterea altor comenzi, o dată cu închiderea sau deschiderea întreruptorului.

În figura 12-25 este reprezentată schematic construcția unui întrerupător trifazat cu ulei mult, de înaltă tensiune (6 kV). Elementele componente principale ale acestui întrerupător sînt: cuva metalică 1, căptușită cu material izolant (cuva este împărțită prin pereți despărțitori în trei compartimente, în fiecare compartiment așezîndu-se contactele unei faze); capacul 2 care susține șase izolatoare de trecere 3 fixate cu șuruburile 4, bornele de la capătul superior al izolatoarelor sînt legate electric cu contactele 5 fixe de la capătul inferior,

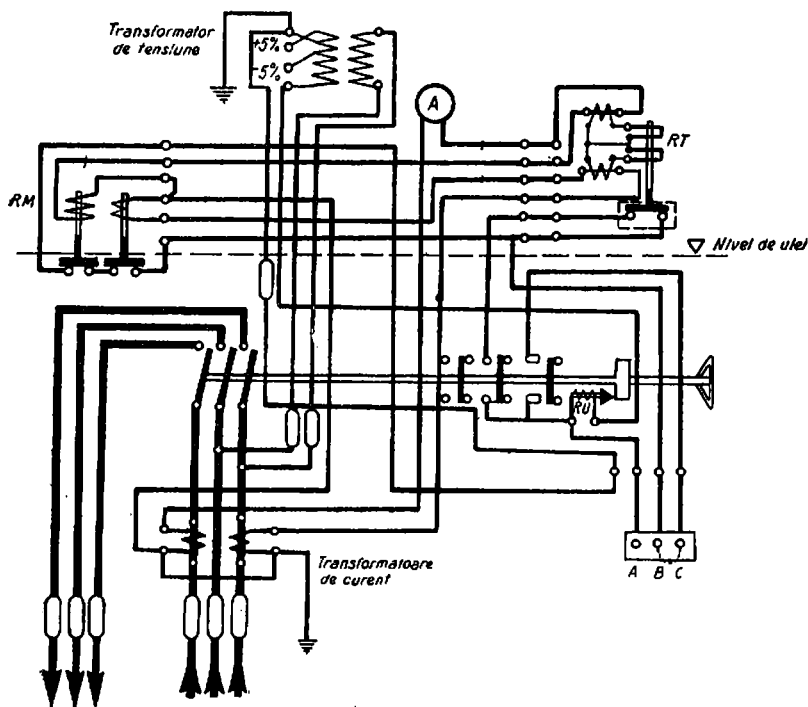


Fig. 12-24. Întrerupător CITUC-1 (pentru tensiuni pînă la 1 000 V, inclusiv).

prin conductoare de cupru care trec prin interiorul izolatoarelor; contactele mobile 6 sînt montate pe o traversă conductoare, acționată cu ajutorul volanului 9 prin intermediul mecanismului cu pîrghii 7. O dată cu închiderea contactelor se armează și niște arcuri 8, sub acțiunea cărora se execută mișcarea la deschiderea contactelor, atunci cînd este ridicat un zăvor din broasca 10 a întrerupătorului (broasca blochează axul de acționare 11 în poziția în care contactele principale 5, 6 sînt închise).

Cuva întrerupătorului se umple cu ulei pînă la un anumit nivel. Robinetul 12 permite luarea probelor de ulei de la fundul cuvei, pentru controlul periodic al uleiului.

După cum reiese din figură, fiecare fază este întreruptă prin două contacte (rupere dublă). La deschiderea contactelor sub sarcină (adică atunci cînd contactele sînt străbătute de curent), apar arcuri electrice. În jurul fiecărui arc se formează o bulă de gaze produse sub acțiunea arcului electric asupra uleiului. Aceste gaze răcesc arcul și îl sting. După stingerea arcului, bula de gaze se ridică la suprafața uleiului, de unde gazele sînt evacuate în atmosferă. Dacă înălțimea de ulei deasupra contactelor este prea mică, gazele fierbinți nu se răcesc sufi-

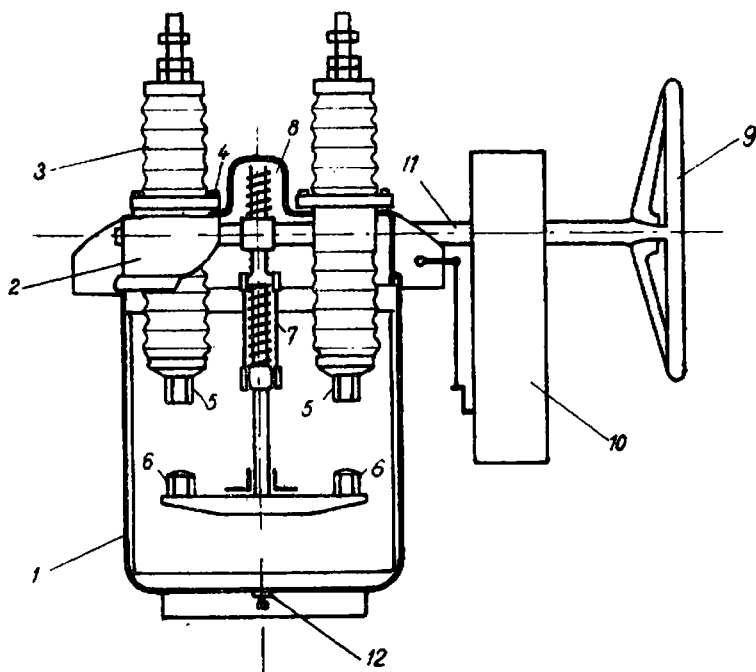


Fig. 12-25. Întreruptor trifazat cu ulei mult, pentru 6 kV (IU-6).

cient și — ieșind la suprafață — se pot aprinde în contact cu aerul; în acest caz se aprinde și uleiul din cuvă, iar întreruptorul face explozie. Dacă nivelul uleiului este prea ridicat, cu alte cuvinte dacă salteaua de aer de sub capac este prea mică, se poate produce crăparea cuvei, deoarece șocul de presiune care se manifestă la apariția bulilor de gaze în jurul arcurilor electrice nu este suficient amortizat de salteaua de aer.

În întreruptoarele cu ulei mult, uleiul servește atât ca mediu de stingere a arcului, cât și ca mediu izolant.

Întreruptoarele cu ulei mult se construiesc pentru tensiuni nominale de 3 kV și 6 kV, la curenți nominali pînă la 600 A și puteri de rupere de 50 MVA și 100 MVA.

*Întreruptorul cu ulei puțin.* În acest caz, uleiul este folosit numai ca mediu de stingere a arcului.

De aceea, față de un întreruptor cu ulei mult, la un întreruptor cu ulei puțin, greutatea uleiului poate fi redusă pînă la de 25 ori; prin aceasta, întreruptorul devine mult mai puțin voluminos și mai sigur în privința exploziilor și incendiilor.

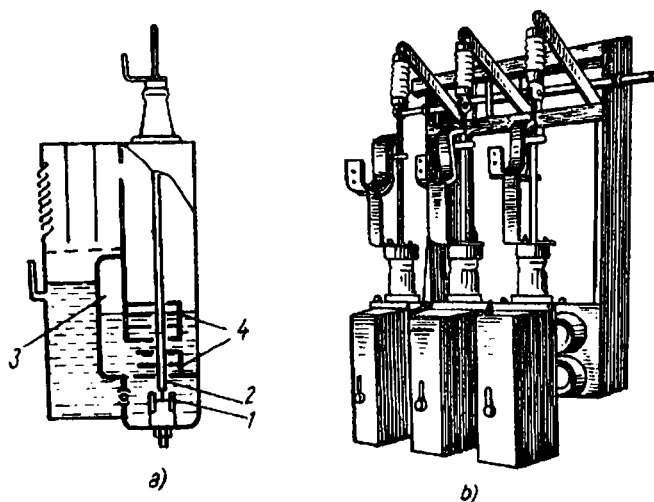


Fig. 12-26. Întreruptor trifazat cu ulei puțin (IUP-10):  
a — secțiune prin camera de stingere a arcului; b — vedere.

În figura 12-26 este reprezentat un întreruptor trifazat cu ulei puțin (IUP-10), care poate fi folosit la tensiunile de 3, 6 și 10 kV; pentru curenți nominali pînă la 1 000 A.

La deschiderea contactelor 1—2 apare arc electric. Acesta produce o bulă de gaze care comprimă aerul din camera 3. Pe măsură ce contactul mobil 2 se ridică, el liberează o serie de deschideri prin plăcile izolante 4, și — ca urmare — începe să se exercite asupra arcului un puternic suflaj transversal de ulei prin care arc este stins repede. Puterea de rupere a acestor întreruptoare este de 100 MVA la 3 kV, de 200 MVA la 6 kV și de 200 MVA sau 250 MVA la 10 kV.

*Întreruptoare cu expansină.* Pentru a realiza avantajele întreruptoarelor cu ulei puțin, evitînd însă uleiul care totuși poate să se aprindă, se construiesc întreruptoare cu expansină. Expansina este un amestec de apă, glicerină și alcool, care nu arde

și nu produce explozii. Expansina se află într-o cameră de stingere așezată în jurul contactelor principale.

*Înteruptoare cu aer comprimat* (înteruptoare pneumatice). Înteruptoarele cu aer comprimat folosesc ca mediu de stingere al arcului aerul comprimat care, suflând asupra arcului electric în momentul deschiderii contactelor, lungeste și răcește arcu până cînd îl stinge. Înteruptoarele cu aer comprimat se construiesc pînă la tensiuni de 400 kV; pentru instalațiile mai mici, ele au dezavantajul că necesită o instalație auxiliară specială pentru producerea aerului comprimat.

*Înteruptoare cu autoformare de gaze.* Pentru a elimina necesitatea unei stații de aer comprimat, ceea ce reprezintă un neajuns în cadrul instalațiilor mici, se construiesc înteruptoare la care camera de stingere este căptușită cu substanțe speciale (rășini, sticlă organică); sub acțiunea arcului, aceste substanțe produc foarte multe gaze care, executînd un suflaj asupra arcului, îl sting. În U.R.S.S. se construiesc astfel de înteruptoare pentru tensiuni pînă la 10 kV și puteri de rupere de 200 MVA.

Evident, după un număr oarecare de funcționări (circa 150), substanțele generatoare de gaze sub acționarea arcului trebuie înlocuite.

## b. Separatoare

Separatorul are o construcție de obicei asemănătoare cu aceea a înteruptorului manual cu pîrghie, cu deosebirea că el nu are niciodată carcasă de protecție și folosește atît în joasă tensiune, cît, mai ales, în înaltă tensiune. Separatoarele sînt folosite pentru a scoate în mod vizibil de sub tensiune o instalație oarecare fără sarcină, care trebuie deconectată pentru diferite scopuri (reparații, manevre etc.). Separatorul nu are putere de rupere și de aceea el nu se manevrează niciodată în sarcină. El trebuie deschis numai după ce, în prealabil, circuitul a fost deschis (înterupt) cu ajutorul înteruptorului. În caz contrar (deschizînd separatorul sub sarcină), arcu electric care apare între contacte nu se stinge, se întinde și poate sări la fazele vecine, producînd un scurtcircuit la barele stației sau postului de transformare, cu acțiuni foarte dăunătoare (separatorul și barele pot fi distruse).

În figura 12—27 este reprezentat un separator tripolar de 6 kV.

Separatoarele sînt acționate cu ajutorul unei prăjini izolante sau cu ajutorul unei manete prin intermediul unui sistem de pîrghii.

La joasă tensiune, drept separator se utilizează întreruptorul cu pîrghie. La unele aparate de joasă tensiune, cum sînt cele în construcție antideflagrantă, separatorul face și funcția de inversor<sup>1</sup>.

**Separatorul de putere.** Pentru instalațiile de putere mică (tensiuni pînă la 10 kV și curenți pînă la 200 A) unde folosirea unui întreruptor pentru întreruperea circuitului sub sarcină și a unui separator pentru întreruperea vizibilă a circuitului este neeconomică, se construiesc separatoare de putere sau separatoare de sarcină. Separatorul de putere este un separator ale cărui contacte sînt echipate cu un dispozitiv pentru stingerea arcului produs de curenți egali cel mult cu curențul nominal (cu substanțe generatoare de gaze); de aceea separatorul de putere poate întrerupe curenți mai mici sau egali cu curențul lui nominal. Pentru întreruperea curenților mai mari decît curențul nominal (suprasarcini, scurtcircuite), în serie cu separatorul de putere se montează siguranțe fuzibile

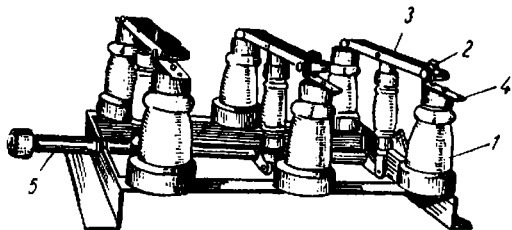


Fig. 12-27. Separator tripolar de 6 kV:  
1 — izolator; 2 — contact fix; 3 — contact mobil (cuțit); 4 — borne; 5 — ax pentru acționare.

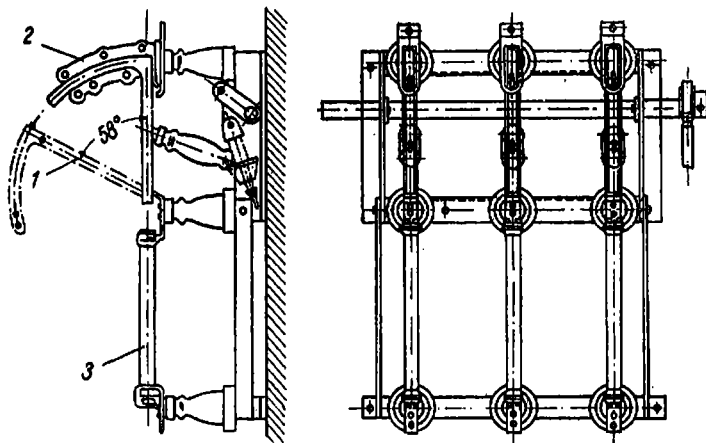


Fig. 12-28. Separator de putere:  
1 — contact mobil (cuțit) al separatorului; 2 — dispozitiv pentru stingerea arcului; 3 — siguranță fuzibilă.

(fig. 12-28) care — după cum se știe — întrerup în foarte bune condiții curenții de scurtcircuit. În acest mod, separatorul poate înlocui cu succes întreruptorul, simplificînd și ieftinînd instalația respectivă.

<sup>1</sup> Vezi la comutator.

Pentru a simplifica și mai mult aparatajul montat în exterior pe stilpi (la derivațiile din liniile de 6 kV, la posturile de transformare rurale și la cele folosite în industria petrolieră), este necesar să se dea oarecare capacitate de rupere separatorilor, în care scop contactele separatorului sînt prevăzute cu coarne.

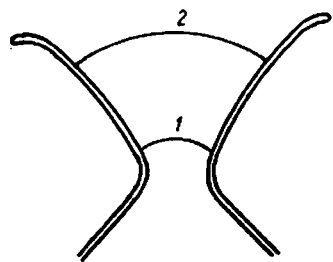


Fig. 12-29. Coarne pentru stingerea arcului electric:

1 — poziția inițială a arcului; 2 — poziția finală a arcului (lungită) în momentul stingerii arcului.

Coarnele unui separator sînt două piese de formă specială, indicată în figura 12-29, una din piese fiind fixată pe contactul fix al separatorului, iar a doua, pe contactul mobil (pe cuțit).

Coarnele preiau arcul electric și, prin forma și poziția lor, lungește arcul electric și îl sting. În felul acesta se poate întrerupe fără pericol curentul de mers în gol al transformatorului.

### c. Contactoare

Contactorul este un aparat de conectare care închide un circuit electric sub acțiunea unei comenzi din afară, dar, spre deosebire de întreruptor, el rămîne închis numai atît timp cît se exercită această comandă (la încetarea comenzii contactorul se deschide). Contactorul cel mai des folosit este de tip electromagnetic, construcția schematică și schema de principiu a acestuia fiind reprezentate în figura 12-30, *a* și *b*. El conține un electromagnet 1 cu o armătură mobilă, pe care este fixat un contact mobil 2. Cînd armătura este atrasă, contactul mobil 2 vine în contact cu contactul fix 3, astfel încît se stabilește un circuit închis prin borna 4, contactele 2 și 3, și borna 5.

Pentru închiderea contactorului se apasă pe butonul *I*; prin aceasta, bobina 1 a electromagnetului este pusă sub tensiune și electromagnetul, atrăgîndu-și armătura, închide contactele contactorului. Deoarece butonul *I* este un contact „normal deschis” (care stă închis numai atît timp cît se apasă pe buton), ridicînd degetul de pe buton, curentul prin bobină se întrerupe, electromagnetul eliberează armătura și contactorul se deschide (sub acțiunea unui arc sau numai sub acțiunea greutății proprii). În cele mai multe cazuri, butonul *I* este contactul de lucru al



unui releu denumit releu de comandă. În consecință, spre deosebire de întreruptor, care rămâne închis chiar și după ce a încetat acțiunea dispozitivului de acționare, contactorul rămâne închis numai atît timp cît bobina sa de acționare este parcursă de curent electric.

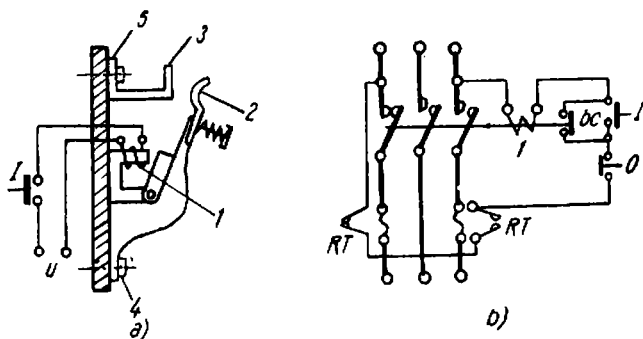


Fig. 12-30. Contactor (electromagnetic):

a — schema de principiu a construcției unui contactor; b — schema electrică a unui contactor echipat cu relee termice și prevăzut cu comandă prin butoane (pornitor).

Contactoarele pot fi comandate foarte comod și de la distanță, de obicei cu ajutorul releelor de comandă. Ele se pretează foarte bine la realizarea schemelor de automatizare a instalațiilor. În acest ultim caz, contactoarele se montează împreună cu releele de comandă pe panouri, alcătuind așa-numitele „stații magnetice”.

Contactorul este prevăzut în general și cu o serie de contacte auxiliare (bloc-contacte), care sînt acționate solidar cu contactele principale. Bloc-contactele pot fi atît contacte normal deschise, cît și contacte normal închise; la închiderea contactorului, bloc-contactele normal deschise se închid, iar cele normal închise se deschid. Bloc-contactele sînt foarte necesare în schemele de comandă, de semnalizare și de automatizare.

Contactele principale ale contactorului pot fi prevăzute cu dispozitive pentru stingerea arcului (suflaj magnetic, grătar din lamele metalice), astfel încît contactorul poate întrerupe circuite sub sarcină, ca și un întreruptor.

Cînd contactorul este echipat cu relee și este prevăzut a fi comandat prin butoane, el poartă numele de *pornitor*\* (fig. 12-30, b).

\*) Ținînd seamă de aceasta și de definiția contactorului, rezultă că, riguros vorbind, aparatul DITU-25 (fig. 12-23) conține un contactor în ulei și nu un întreruptor. Aparatul DITU-25 este deci un pornitor în ulei. Totuși, în practica curentă, aparatul DITU-25 este denumit întreruptor.

După cum reiese din figură, pentru ca aparatul să stea închis chiar după ce nu se mai apasă pe butonul *I*, contactele acestui buton sînt şuntate de un bloc-contact *bc* normal deschis al contactorului, ca la întreruptorul DITU-25 (fig. 12-23). Deschiderea pornitorului se poate realiza întrerupînd alimentarea electromagnetului de acţionare, fie în mod voit — apăsînd pe butonul *O* (contact normal închis), fie automat — prin deschiderea contactelor de lucru ale releelor electrotermice *RT*. În pornitor, bobina de acţionare a contactorului are şi rol de releu minimal de tensiune, deci pornitoarele se deschid cînd tensiunea reţelei scade sub 0,7 din tensiunea nominală.

În încheiere, se menţionează că butoanele de comandă normal-deschise (de exemplu butonul *I* fig. 12-30, *a*), sînt şi ele contactoare, şi anume contactoare mecanice.

#### d. Ruptoare

Ruptorul este un aparat de conectare care deschide un circuit electric sub acţiunea unei comenzi din afară, menţinîndu-l deschis numai atît timp cît durează această comandă.

Ruptoarele sînt construite în mod asemănător cu contactoarele, cu deosebirea că la atragerea armăturii electromagnetului de acţionare contactele aparatului se deschid. Butoanele de comandă cu contacte normal închise sînt ruptoare mecanice (de exemplu *O*, fig. 12-30, *b*). În practică, ruptorul mecanic se mai întîleşte cu funcţiunea de limitator de cursă la diferite utilaje: cînd este depăşită cursa vreunei piese (pod rulant, masa unei raboteze etc.), limitatorul de cursă este apăsător, îşi deschide contactele, comandînd oprirea instalaţiei.

#### e. Comutatoare

Comutatoarele (fig. 12-31, *a*) sînt de obicei întreruptoare manuale de construcţie specială, cu mai multe poziţii, destinate pentru modificarea succesivă a conexiunilor într-o schemă electrică.

Astfel, atunci cînd comutatorul din figura 12-31, denumit comutator cu pîrghii, este închis pe contactele de sus (fig. 12-31, *b*), el alimentează de la reţeaua trifazată receptorul *A*; cînd este închis pe poziţia de jos, alimentează de la reţea receptorul *B*, iar cînd este deschis (cu cuţitele în poziţie orizontală), întrerupe orice alimentare.

Comutatoarele cele mai des folosite sînt comutatoarele voltmetrice, comutatoarele stea-triunghi, comutatoarele inversoare și controlerele.

*Comutatorul voltmetric* permite conectarea unui singur voltmetru pe rînd între diferite puncte, luate două cite două, ale unor circuite. În felul acesta, cu un singur voltmetru se pot măsura pe rînd tensiunile de fază și tensiunile de linie ale unei rețele trifazate, așa cum se arată în figura 12-32.

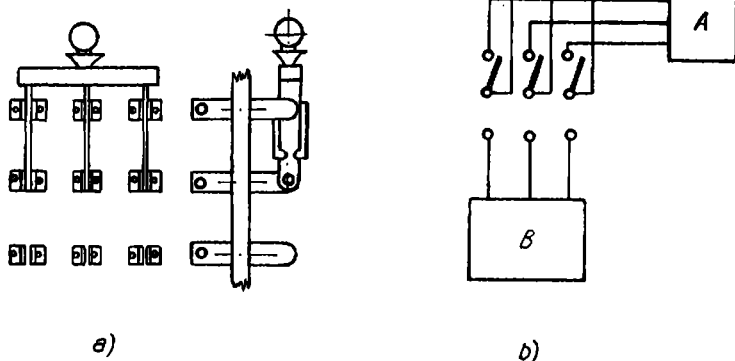


Fig. 12-31. Comutator cu pîrghie.

În acest caz, comutatorul are o serie de borne legate la fazele și la neutrul rețelei, două contacte 1 și 2, legate la bornele voltmetrului și două contacte aluneecătoare  $M$ , deplasabile simultan prin rotirea unei manete, care fac contact electric între borne și contactele 1 și 2.

*Comutatorul stea-triunghi* (STAS 2738-51) permite o schimbare comodă a conexiunilor receptoarelor trifazate din stea în triunghi; această schim-

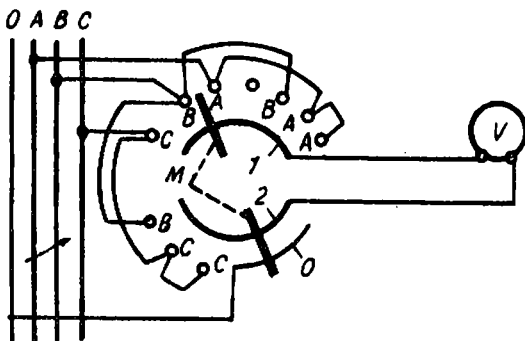


Fig. 12-32. Schema electrică a unui comutator voltmetric și a conectării lui la o rețea trifazată cu fir neutr.

bare de conexiuni este folosită practic la pornirea motoarelor asincrone trifazate în scurtcircuit pentru a putea reduce curentul de pornire (așa cum se va arăta în Cap. XIV). Drept comutator stea-triunghi se poate folosi comutatorul cu pîrghie reprezentat în figura 12-31, în montajul indicat în figura 12-33.

Cînd cuțitele comutatorului sînt ridicate, motorul nu este alimentat de la rețea. Cînd comutatorul este închis în jos, fazele motorului sînt legate în stea, motorul pornește cu un curent de pornire mic. Apoi comutatorul se închide în sus; în acest caz, fazele motorului sînt legate în triunghi, poziție în care motorul funcționează în mod normal.

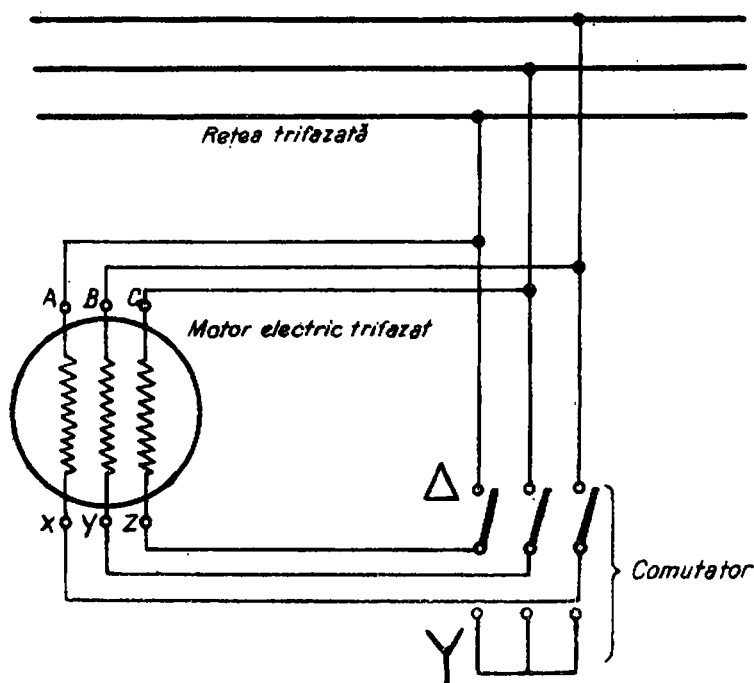


Fig. 12-33. Schimbarea conexiunilor stea-triunghi, cu ajutorul unui comutator cu pîrghie.

Comutatorul descris mai sus are dezavantajul că trecerea din poziția stea în poziția triunghi durează mult. Pentru înlăturarea acestui dezavantaj, se construiesc comutatoare stea-triunghi speciale, care au contactele montate pe un tambur care se rotește. Acest comutator are trei poziții marcate cu semnele  $\emptyset$  (oprit, întrerupt),  $\Delta$  (stea),  $\triangle$  (triunghi). Rotînd tamburul în același sens, se trece succesiv prin pozițiile  $\emptyset$ ,  $\Delta$ ,  $\triangle$ ,  $\emptyset$ ,  $\Delta$  etc.

În prezent se construiesc și comutatoare stea-triunghi automate, cu ajutorul unor contactoare; trecerea de la poziția stea la poziția triunghi se realizează automat, la comanda unui releu de timp sau a unui releu de curent. În acest ultim caz, la aparatele moderne se comandă automat și trecerea inversă, de la conexi-

unea triunghi la conexiunea stea, atunci când sarcina motorului a scăzut cu cel puțin  $\sqrt{3}$  ori față de sarcina nominală, ceea ce face ca la sarcini

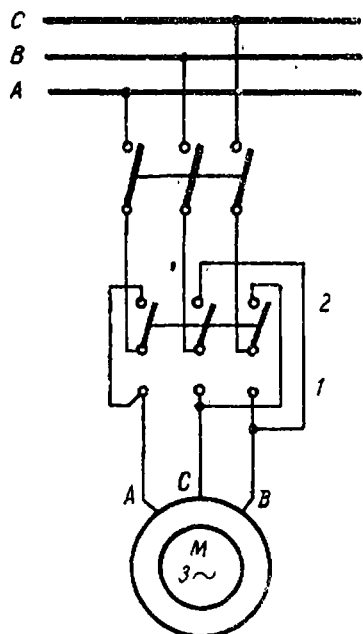


Fig. 12-34. Schimbarea succesiunii fazelor la un motor trifazat cu ajutorul unui comutator.

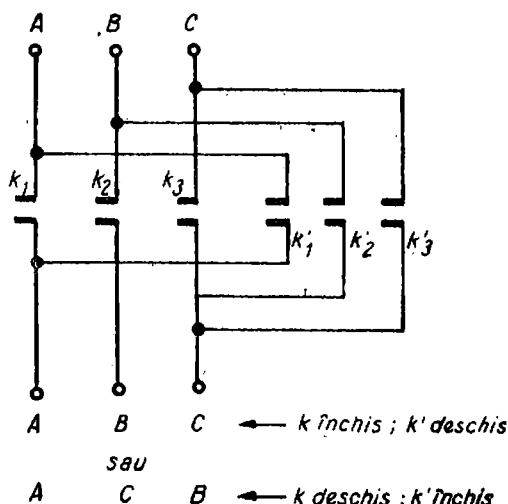


Fig. 12-35. Comutatorul inversor realizat cu două contactoare.

mai mici motorul să funcționeze cu conexiune în stea, cu un factor de putere mai bun decât în cazul conexiunii triunghi.

Comutatorul inversor sau, pe scurt, *inversorul*<sup>1</sup> servește la schimbarea conexiunilor la rețea ale unui motor trifazat, în scopul de a-i inversa sensul de mers. Aceste comutatoare se construiesc deseori ca și comutatoarele cu pârghii tripolare sau bipolare. În figura 12-34 este reprezentată schema schimbării conexiunilor

<sup>1</sup> În literatura tehnică se utilizează uneori și termenul necorespunzător de „reversor”.

la un motor trifazat cu ajutorul unui comutator tripolar. Când comutatorul este închis în poziția 1, bornele motorului sînt legate la rețea în ordinea  $ABC$ , iar cînd comutatorul este închis în poziția 2, bornele sînt legate la rețea în ordinea  $ACB$ , ceea ce determină schimbarea sensului de rotație al motorului.

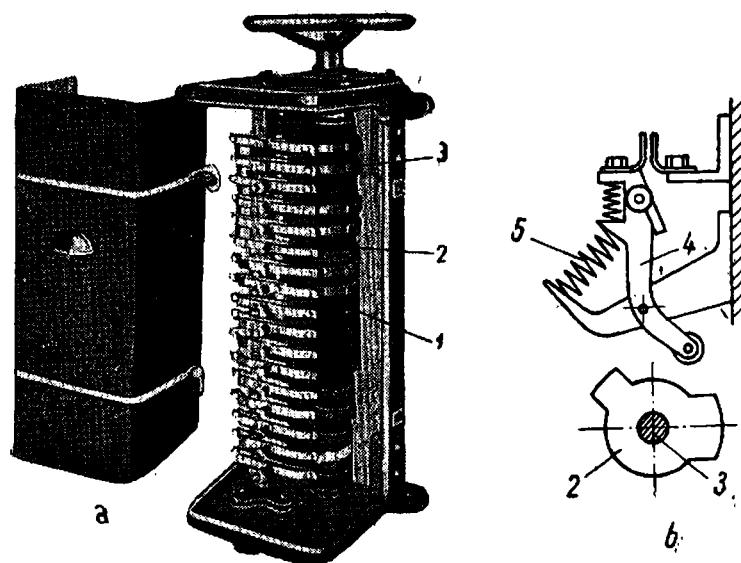


Fig. 12-36. Controler:

*a* — cu tambur: 1 — contact fix; 2 — tambur; 3 — piese de contact;  
*b* — cu came: 1 — contact; 2 — camă; 3 — axul camelor 4 — pîrghie  
 de acționare a contactului; 5 — arc.

În cazul comenzilor automate, inversoarele se realizează cu ajutorul a două contactoare, după cum se arată în figura 12—35. Cînd se închid contactele  $k_1, k_2, k_3$  ale contactorului  $k$ , motorul are un sens de mers, iar cînd se închid contactele  $k'_1, k'_2, k'_3$  ale contactorului  $k'$ , motorul are sens de mers invers.

**Controlere.** Acestea sînt comutatoare cu scheme complexe, utilizate în circuite de pornire, de reglaj sau de comandă. Controlerul are un număr mai mare de poziții și de contacte fixe 1, care se închid sau se deschid prin intermediul unui tambur 2, pe care sînt așezate o serie de piese de contact 3 (controler cu tambur, fig. 12—36, *a*) sau prin intermediul unor came așezate pe un ax (controler cu came, fig. 12—36, *b*).

Conexiunile pe care le poate face un controler se reprezintă fie prin reprezentarea desfășurată a bornelor legate la contactele fixe și a pieselor de contact de pe tambur (fig. 12—37,a), fie printr-un tablou în care printr-o cruce sau un punct se indică contactele închise la o anumită poziție a controlerului (fig. 12—37,b).

Controlerul are o serie de borne (legate la contactele fixe) notate de exemplu 1, 2, 3, 4, ..., 15,  $C_1$ ,  $C$ ,  $C_2$ ,  $A_1$ ,  $A$ ,  $A_2$ . Pe poziția 0 a controlerului borna 1 vine

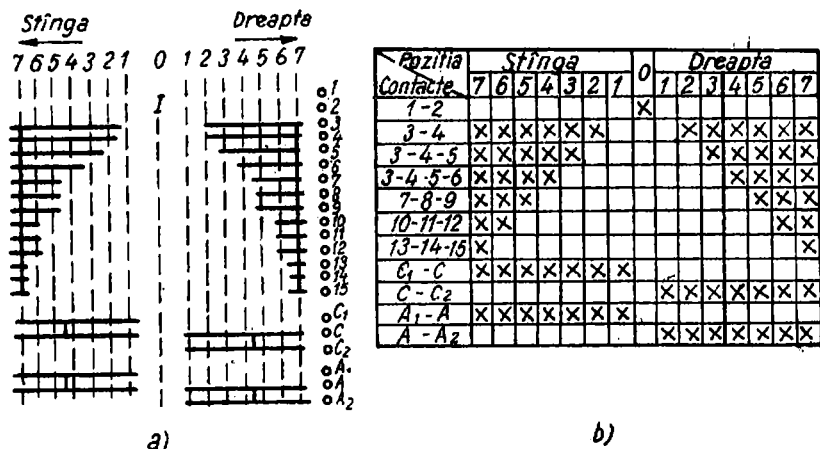


Fig. 12—37. Reprezentarea conexiunilor efectuate de un controler:

a — schemă desfășurată a contactelor; b — tabloul contactelor.

În contact cu o piesă de contact scurtă a tamburului, borna 2 în contact de asemenea cu o altă piesă de contact scurtă, cele două piese de contact fiind în legătură electrică: rezultă că pe poziția 0 sînt aduse în contact bornele 1 și 2 ale controlerului, lucru marcat cu o steluță în reprezentarea din figura 12—37, b. În mod analog se citesc și celelalte conexiuni efectuate de controler: de exemplu, pe pozițiile 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 stînga, bornele  $C_1$  și  $C$  vin în contact cu două piese de contact legate împreună, deci pe aceste poziții  $C_1$  și  $C$  sînt în contact, lucru de asemenea indicat prin steluțe pe figura 12—37, b.

Controlerele sînt folosite la pornirea, oprirea, inversarea sensului de mers și la reglajul vitezei motoarelor diferitelor utilaje (tramvaie, locomotive electrice, sonde acționate electric, troliei, poduri rulante, macarale etc.).

## f. Priza de curent cu fișe

Priza de curent cu fișe este un aparat de conectare, destinat a lega două instalații electrice, una fixă și alta mobilă sau două instalații mobile, permițînd — ori de cîte ori este nevoie —

conectarea și deconectarea lor. Când ambele instalații sînt mobile, priza cu fișe se mai numește și *conector*. Priza de curent cu fișe efectuează conectarea prin simpla introducere a unor piese de contact asamblate într-o piesă numită fișă, în alte piese de contact asamblate în altă piesă, numită priză.

Priza este organul terminal al unei rețele electrice; în mod normal, ea are deci tensiune. Fișa este organul care, introdus în priză, primește energia electrică de la rețea; în consecință, cînd fișa este scoasă din priză, ea nu are tensiune. Prizele cu fișe se construiesc pentru tensiuni pînă la 500 V și curent de 6, 10, 25 și 60 A. În figura 12—38, *a* este reprezentată o priză cu fișe tripolare, în bachelită, iar în figura 12—38, *b* o priză cu fișe, capsulată în fontă.

Uneori prizele sînt prevăzute și cu contact suplimentar de punere la pămînt a anumitor părți din instalație<sup>1</sup>. În acest

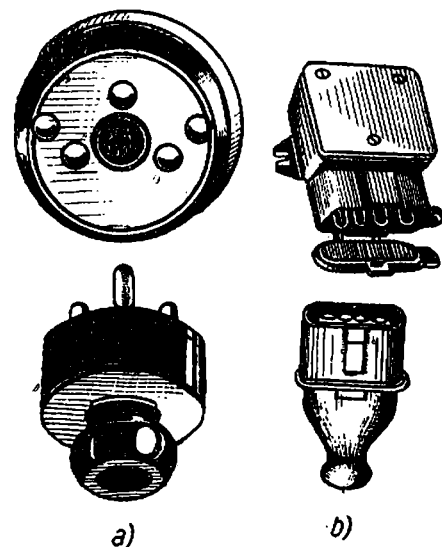


Fig. 12—38. Prize de curent cu fișe:  
*a* — execuție normală, în bachelită; *b* — execuție capsulată în fontă.

caz, contactul de punere la pămînt trebuie să se închidă înaintea contactelor principale (prin care circulă curentul) și să se deschidă în urma lor.

### g. Aparataj mărunt

O categorie distinctă de aparataj electric o formează aparatajul folosit la instalațiile interioare din clădiri industriale și de locuit, pentru circuitele de iluminat și de utilizări casnice ale energiei electrice; acest aparataj, denumit aparataj mărunt,

<sup>1</sup> Vezi capitolul XXII.



se construiește pentru tensiuni până la 500 V și curenți de 6, 10 sau 25 A, conform STAS 2000-51.

În această grupă intră întreruptoare, comutatoare, prize, fișe pentru prize (denumite în comerț ștechere) etc. În funcție

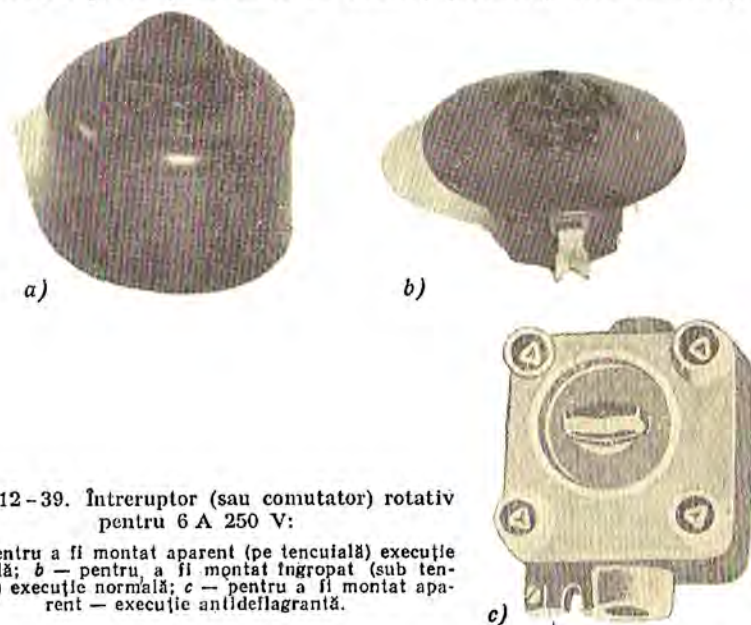


Fig. 12-39. Întreruptor (sau comutator) rotativ pentru 6 A 250 V:

*a* — pentru a fi montat aparent (pe tencuială) execuție normală; *b* — pentru a fi montat îngropat (sub tencuială) execuție normală; *c* — pentru a fi montat aparent — execuție antideflagrăntă.

de condițiile mediului unde funcționează, acest aparat poate fi construit ca aparat normal, etanș, antideflagrănt, rezistent la căldură etc. După modul cum este montat, el poate fi aparat prevăzut pentru a fi montat îngropat (sub tencuială), aparat pentru a fi montat aparent (pe tencuială), aparat pentru a fi montat pe tablou sau aparat pentru a fi montat pe alte aparate (fier de călcat, aspirator, plite electrice, fierbătoare etc.).

În figura 12-39 se arată, ca exemplu, aspectul unui întreruptor sau comutator rotativ (comutatorul are mai multe poziții decât întreruptorul și de aceea poate fi folosit la conectarea pe rând a mai multor lămpi ale unei încăperi).

În afară de tipul de întreruptor rotativ, se folosește în mod curent și tipul basculant la care închiderea și deschiderea se fac prin împingerea într-o parte sau în alta (prin bascularea) a unei pârghii.

## h. Aparatăj antideflagrânt

Un specific deosebit prezintă de asemenea aparatele în execuție antideflagrântă, utilizate în locurile cu pericol de explozie. Aceste aparate închid într-o carcasă antideflagrântă, un complex de alte aparate ca, de exemplu, separator, un contactor, siguranțe fuzibile, relee etc. Pe lângă aceasta, diferitele comenzi sînt prevăzute cu o serie de blocaje electrice și mecanice care împiedică efectuarea unor manevre greșite și nu permit deschiderea carcasei decît după ce au fost scoase mai înainte de sub tensiune piesele care la deschiderea carcasei ar putea fi atinse cu mîna; în felul acesta se evită accidente de electrocutare, iar aparatul își păstrează calitatea de antideflagrânt, chiar cînd carcasa lui este deschisă pentru o revizie periodică, de exemplu, chiar în mediul cu pericol de explozie.

Aparatele în execuție antideflagrântă pot fi și ele comandate manual sau automat, prin butoane.

Pentru a exemplifica cele arătate mai sus, în figura 12-40 sînt reprezentate schema electrică și blocajele unui pornitor inversor pentru comanda motoarelor electrice, antideflagrânt, cu comanda prin butoane (fabricat în R.P.R.).

Aparatul conține: o cutie de borne de trecere *I* cu două piese speciale 2, denumite intrări pentru cablul electric de forță și o intrare 3, pentru cablul de semnalizare (intrarea de cablu asigură etanșarea pătrunderii cablului în cutia de borne și fixează cablul astfel încît eforturile mecanice de tracțiune asupra cablului să nu se transmită asupra legăturilor electrice la borne); un separator inversor 4; două relee electrotermice *RT*; trei relee maxime de curent *RM*; un contactor *C* electromagnetic (de aceea aparatului i se mai spune „pornitor magnetic”); un transformator *T* pentru alimentarea circuitului de comandă și de semnalizare la tensiunea de 24 V. Toate aceste aparate sînt montate pe un panou (separatorul fiind montat în spatele panoului) și împreună sînt închise într-o carcasă antideflagrântă 6, pe care se află butoanele de comandă *I* (închis, *O* (deschis), *R* (buton pentru revenirea releelor, adică readucerea lor în poziția de funcționare), maneta 5, pentru acționarea manuală a separatorului inversor. Cutia de borne 7 are o intrare de cablu, pentru cablul de alimentare a motorului și o intrare de cablu pentru cablul de comandă de la distanță prin butoanele *I'* și *O'*. Carcasa este montată pe o șanle pentru a fi ușor transportată și este prevăzută cu un șurub pentru punerea la pămînt<sup>1</sup>.

Schema electrică reprezentată în figura 12-40, *a* este o schemă denumită „schemă desfășurată” pe care diferitele elemente ale unui aparat sînt plasate acolo unde este necesar pentru ca funcționarea schemei să reiasă cît mai clar, fără a ține seamă de poziția reală a diferitelor organe ale aparatului unul față de altul în cuprinsul aparatului. Pentru a demonstra simplitatea, claritatea, și deci necesitatea unor astfel de scheme la analiza funcționării unei instalații electrice, în figura 12-40, *b* se arată, pentru comparație, schema electrică principală de montaj (a aceluiași aparat) care caută să respecte poziția și unitatea constructivă a diferitelor lui elemente componente.

<sup>1</sup> Vezi capitolul XXII.

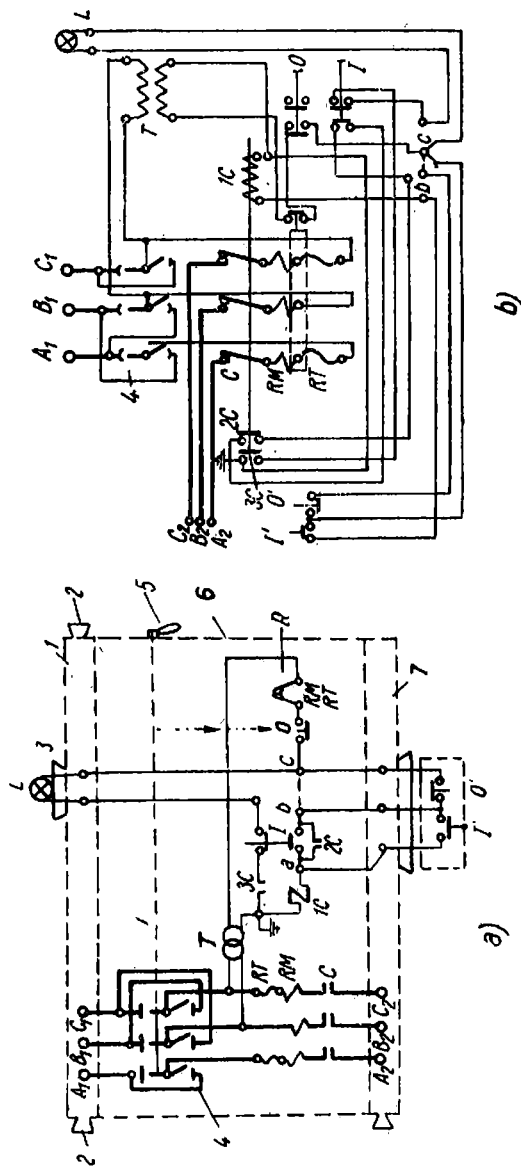


Fig. 12-40. Pornitor inversor, cu comandă prin butoane, antideflagrant:  
 a — schema electrică desfășurată; b — schema principală de montaj.

Pentru ca schema desfășurată să fie ușor de interpretat, este absolut necesar să se respecte cu strictețe o notație cât mai clară a elementelor. Astfel, toate elementele care aparțin aceluiași organ vor fi notate cu aceeași literă sau litere, diferențiindu-se prin indici numerici. Astfel, contactorul  $C$  are bobina de acționare  $1C$  și bloc-contactele  $2C$  și  $3C$ , iar relele  $RM$  și  $RT$  au drept contact de lucru contactul ( $RM$ ,  $RT$ ).

Pentru a închide contactorul, se apasă pe butonul  $I$  sau  $I'$  (în cazul comenzii de la distanță); bobina  $1C$  a electromagnetului de acționare al contactorului, fiind străbătută de curent, închide contactorul; o dată cu închiderea contactorului se închid și bloc-contactele sale  $2C$  și  $3C$ ; ca urmare, contactorul rămâne închis chiar dacă se ridică degetul de pe buton, iar lampa  $L$ , aprinzându-se, semnalizează la distanță lângă butoanele  $I'$  și  $O'$  închiderea contactorului. Deschiderea contactorului se face voit, apăsând pe  $O$  sau pe  $O'$ . Pentru ca la apăsarea pe butonul  $O'$  să se deschidă contactorul, trebuie să se scoată din aparat puntea de legătură  $bc$  (fig. 12—40); această punte trebuie montată pentru a putea comanda aparatul atunci când nu se montează butoanele  $I'$  și  $O'$ .

Deschiderea aparatului se poate face și automat, prin funcționarea releelor  $RM$  și  $RT$ . În acest caz, pentru a putea reînchide contactorul trebuie să se apese pe butonul  $R$  de revenire a releelor.

Aparatul are următoarele blocaje: separatorul nu poate fi manevrat decât dacă se apasă pe butonul  $O$ , adică numai după ce se deschide mai întâi contactorul (separatorul nu trebuie manevrat în sarcină).

Capacul carcasei nu poate fi desfăcut decât după ce separatorul este blocat în poziția deschis (o dată capacul desfăcut, separatorul, așa cum s-a arătat, are rolul unui separator de izolare, prin faptul că scoate de sub tensiune piesele care ar putea fi atinse).

La închiderea carcasei, separatorul poate fi deblocat numai după ce capacul ei a fost închis în poziție corectă.

## 5. Aparate de reglare

Aparatele cele mai des folosite ca aparate de reglare sînt reostatele, care, după rolul lor, pot fi: reostate de pornire, reostate de reglare (pentru reglarea tensiunii generatoarelor sau a turației motoarelor) și reostate de pornire și reglare (care asigură, prin aceeași construcție, atât pornirea, cât și reglarea vitezei unui motor).

Reostatele sînt construite cel mai frecvent cu rezistențe metalice și, mai rar, cu rezistențe lichide.

Rezistențele metalice se construiesc din sîrmă rotundă sau din panglică de nichelină, constantan etc., răsucită în elice; această sîrmă sau panglică este înfășurată pe un cadru izolat sau pe un cilindru de porțelan.

Rezistențele metalice se construiesc și din fontă (fig. 12-41, *a*), asamblate în cutii de rezistență (fig. 12-41, *b*).

Pentru a forma un reostat, cutiile de rezistență sînt asociate cu un comutator sau un controler, într-o construcție comună. Uneori, mai ales la reostatele mari, controlerul este separat de grupul de rezistențe; astfel de situații se întîlnesc la acționarea electrică a sondelor, a mașinilor de extracție și a trolilor miniere, la tramvaie etc.

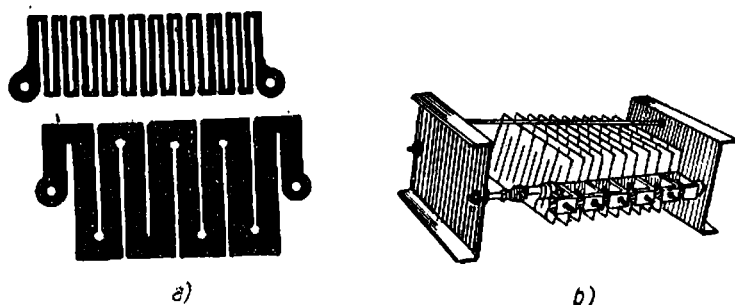


Fig. 12-41. Rezistențe din fontă:

a — elemente de rezistență din fontă; b — cutie de rezistențe din fontă.

În figura 12—42 sînt reprezentate schema electrică a unui reostat de pornire pentru un motor de curent continuu (fig. 12—42,a) și schema unui reostat de pornire pentru un motor asincron trifazat cu inele (fig. 12—42,b).

Uneori, în schemele automate, rezistențele reostatelor de reglaj ale motoarelor sînt variate prin scurtcircuitarea diferitelor trepte ale rezistenței reostatului, cu ajutorul contactoarelor unei stații magnetice, după cum se arată în figura 12—43. Cînd toate contactoarele sînt deschise, circuitul rezistențelor este deschis; prin rezistențe nu poate circula curent electric. Cînd se închide contactorul  $K_1$ , reostatul are pe fiecare fază rezistențele  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  montate în serie și legate în stea. Cînd se închide contactorul  $K_2$  se scurtcircuitază rezistența  $R_3$  și reostatul rămîne pe fiecare fază cu rezistența  $R_1 + R_2$ . Cînd se închide contactorul  $K_3$ , rezistența pe fază se reduce la  $R_1$ , iar cînd se închide contactorul  $K_4$ , reostatul este în întregime scurtcircuitat.

Reostatele de pornire sînt dimensionate de obicei pentru a sta sub curent un timp limitat (cît durată pornirii mașinii).

De aceea, în funcționare normală, ele nu trebuie să rămână în circuit, deoarece prin încălzire se distrug. Reostatele de reglare rămân mult timp sub curent și sînt dimensionate special în acest scop.

Reostatele cu rezistență lichidă sînt folosite ca reostate de pornire la motoarele asincrone cu inele și, uneori, ca reostate de sarcină pe care debitează generatoarele electrice în timpul încercărilor pentru verificarea caracteristicilor lor.

Variația rezistenței se obține prin scufundarea a trei electrozi metalici de o formă anumită, într-un rezervor plin cu un lichid.

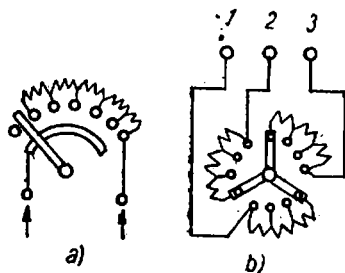


Fig. 12-42. Reostate de pornire :  
a — pentru motoare de curent continuu; b — pentru motoare asincrone trifazate cu inele.

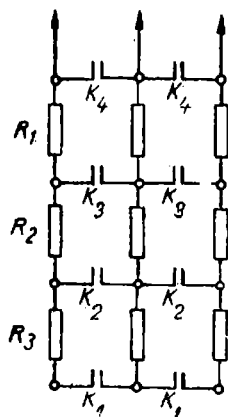


Fig. 12-43. Schema variației rezistenței unui reostat, cu ajutorul contactoarelor.

Lichidul folosit este apă sau o soluție de carbonat de sodiu (sodă) în apă.

Electrozii pot fi scufundați într-un rezervor comun sau fiecare electrod într-un rezervor individual. La sfîrșitul cursei de scufundare (cînd rezistența are valoarea minimă), cei trei electrozi sînt scurtcircuitați între ei prin niște contacte.

La alte construcții, electrozii sînt fixe, iar variația rezistenței se obține prin ridicarea sau coborîrea rezervorului cu lichid sau prin variația nivelului lichidului în rezervor. Reostatele cu lichid sînt ieftine, simple, iar la puteri mari, au dimensiuni reduse în comparație cu reostatele metalice; ele au însă dezavantajul că în funcționare produc vapori de apă și necesită o întreținere mai atentă.

## 6. Cutii de distribuție

Prin punct sau post de distribuție se înțelege o instalație care primește energie electrică de la centrala electrică sau de la o rețea de distribuție și o distribuie la aceeași tensiune diferitelor receptoare; în consecință, la punctul de distribuție sau postul de distribuție sosesc una sau mai multe linii pe care vine

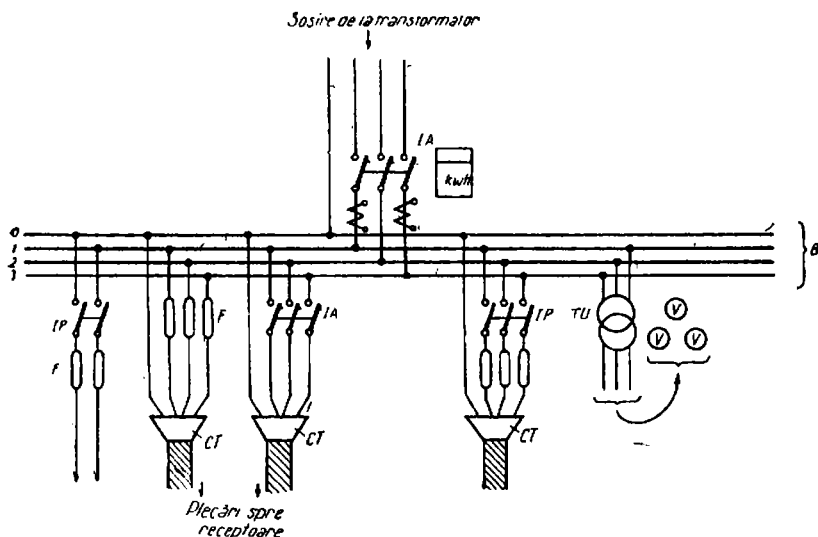


Fig. 12-44. Schema de principiu a unui tablou de distribuție:

IA — întreruptor automat; IP — întreruptor cu pârghie; F — siguranțe fuzibile;  
CT — cutie terminală de cablu; TU — transformator de tensiune; V — voltmetre;  
kWh — contor de energie activă; B — bare colectoare.

energia electrică, numite linii de intrare sau intrări și pleacă mai multe linii, numite plecări, prin care se distribuie energia diferitelor receptoare (fig. 12-44).

Legătura electrică între intrare și plecări se face cu ajutorul unor conductoare de cupru sau aluminiu, numite bare colectoare. La aceste bare sînt legate atît intrările, cît și plecările.

Pe fiecare intrare și plecare sînt montate:

- aparat de conexiune (întreruptoare, separatoare), care permit punerea sau scoaterea instalațiilor de sub tensiune;
- aparate de protecție;

— aparate de măsurat (voltmetre, ampermetre, wattmetre, contoare).

Bineînțeles, în funcție de importanța intrării sau a plecării respective, o parte din aparatajul amintit mai sus poate lipsi.

La puteri mai mici, aparatajul unui punct de distribuție se montează pe panouri, numite tablouri de distribuție, cum sînt, de exemplu, tablourile de distribuție în clădirile de locuit.

În întreprinderile industriale sau în spațiile în care există praf, umezeală, gaze explozibile, aparatajul punctelor de distribuție trebuie să fie închis în cutii cu construcție capsulată sau antideflagrantă, numite cutii de distribuție (sau de conexiune).

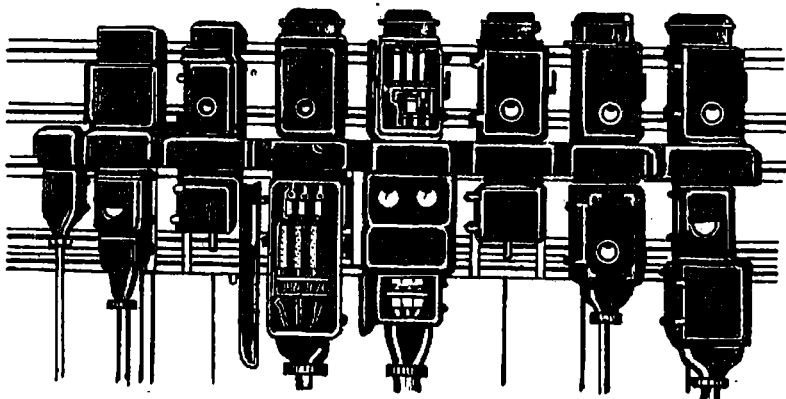


Fig. 12-45. Tablou capsulat de joasă tensiune.

În funcție de aparatele conținute, cutiile de distribuție pot fi cutii cu bare colectoare, cutii cu siguranțe, cutii cu întreruptoare (cu pîrghie sau automate — în aer sau în ulei), cutii cu aparate de măsurat, cutii terminale de cablu etc. Aceste cutii se pot îmbina între ele, realizîndu-se în mod simplu și repede tablouri de distribuție de joasă tensiune în construcție capsulată (fig. 12-45) sau în construcție antideflagrantă.

## 7. Celule de înaltă tensiune

Celulele de înaltă tensiune se folosesc la construcția instalațiilor de distribuție de înaltă tensiune, pentru a realiza diferitele circuite de sosire și de plecare a energiei electrice, din stațiile și posturile de transformare. Celulele cuprind într-o construcție prefabricată din oțel, aparatajul de conectare, de protecție și



de măsurat, necesar pe o plecare sau pe o sosire. Uneori, transformatoarele de tensiune pentru alimentarea aparatelor de măsurat și de protecție sînt montate într-o celulă specială, numită celula de măsurare.

De asemenea, celulele mai pot fi folosite și la comanda și protecția receptoarelor de înaltă tensiune cum sînt, de exemplu, motorul pentru acționarea unui compresor sau a unei pompe.

În trecut, celulele se zideau întîi și se echipau apoi cu utilajul necesar; astăzi se folosesc pe scară foarte largă celulele de înaltă tensiune prefabricate. În figura 12-46, *a* este reprezentată o secțiune schematică a celei de înaltă tensiune de 6 kV (CITUC-6) fabricată în țara noastră; în figura 12-46, *b* se arată schema electrică a aceleiași celele.

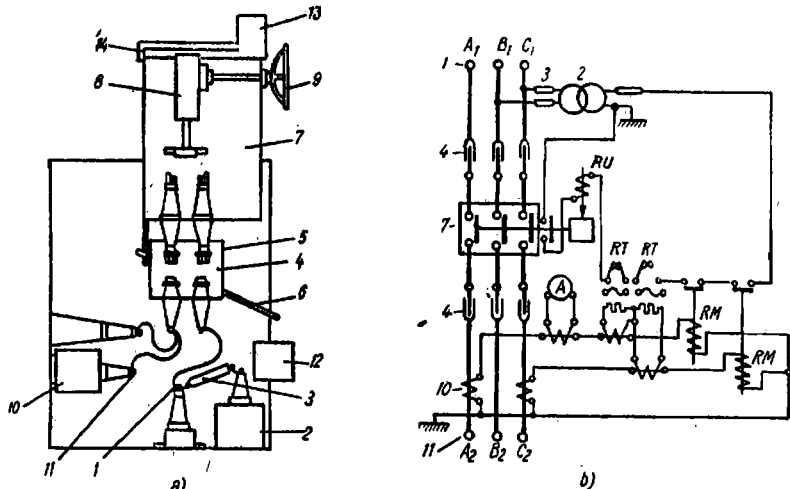


Fig. 12-46. Celulă de înaltă tensiune pentru 6 kV, prefabricată CITUC-6:  
*a* — secțiune schematică; *b* — schema electrică.

Celula CITUC-6 cuprinde: bornele de intrare 1; transformatorul de tensiune 2, pentru alimentarea releului de tensiune minimă RU; siguranțe tubulare de înaltă tensiune 3, pentru protecția transformatorului de tensiune; separatorul în ulei 4, care se manevrează ridicînd sau coborînd cuva de ulei 5, cu ajutorul pîrghiei 6; întreruptorul cu ulei mult 7, acționat prin dispozitivul 8 și volanul 9; transformatoarele de curent 10, pentru alimentarea relcilor maximele de curent RM (cu acțiune instantanee), a releelor electrotermice RT (cu încălzire indirectă) și a ampermetrului A; releele sînt așezate în carcasa 12, iar ampermetrul în carcasa 13; ieșirea din celulă se face prin bornele 11; gazele produse de funcționarea întreruptorului sînt evacuate prin deschiderea 14.

Între separator, întreruptor și ușa celei există blocaje de genul celor amintite la pornitorul antideflagrant.

Celula CITUC-6 s-a construit pentru exploatarea petrolifere, pentru curenți pînă la 350 A. Puterea de rupere a întreruptorului este de 42 MVA la 6 kV și de 21 MVA la 3 kV. Ea se folosește la comanda și protecția motoarelor de înaltă tensiune sau ca celulă de intrare la un post de transformare cu un singur transformator. Construcția ei nu este antideflagrantă, ci cu siguranță mărită, adică nu produce scînteii în funcționare normală, are izolație de calitate mai bună, încălzirile de regim sînt mai mici decît la aparatele obișnuite etc.

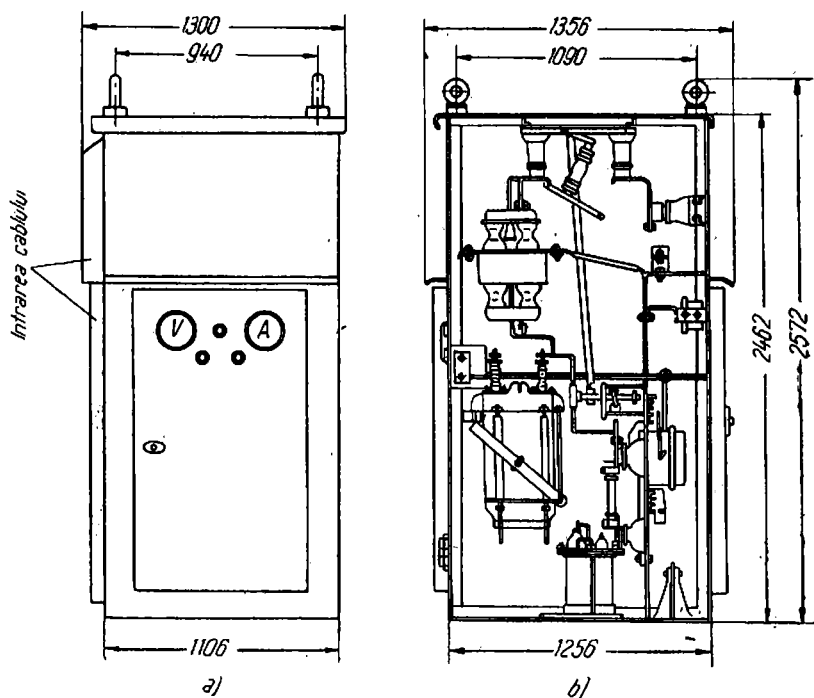


Fig. 12-47. Celulă prefabricată, pentru 6 kV (secțiune schematică), CPIT-6 pentru instalații electrice exterioare.

În figura 12-47 este reprezentată secțiunea schematică a unei celule CPIT-6, folosite pentru instalații exterioare obișnuite.

În cazul circuitelor mai puțin importante și de putere mai mică, construcția celei este simplificată; alteori celula este construită special ca celulă pentru măsurarea tensiunii (în acest caz, în ea se montează transformatoarele de măsurat, de tensiune).

Într-o instalație de distribuție cu mai multe celule, celulele sînt legate între ele prin intermediul bărelor colectoare care sînt comune.

În mod asemănător, se folosesc uneori celule prefabricate și la instalațiile de distribuție de joasă tensiune, pentru tablourile de distribuție, pentru comanda și protecția generatoarelor microcentralelor sau pentru comanda și protecția motoarelor de putere mare.

## **8. Aparat pentru limitarea curenților de scurtcircuit**

Ca aparate pentru limitarea curenților sînt folosite reactoarele (bobinele de reactanță). Reactorul trifazat este alcătuit din trei bobine fără miez de fier, fixate pe izolatoare suport. Ele au o rezistență activă neglijabilă în comparație cu reactanța lor inductivă. Fiind montate în serie pe o rețea trifazată, ele măresc reactanța liniei și, prin aceasta, micșorează curenții de scurtcircuit; ca urmare, în instalația respectivă se poate folosi un aparataj mai ieftin și mai simplu, calculat pentru curenți de scurtcircuit mai mici. În felul acesta se pot realiza economii importante în investițiile pentru întreruptoare, cablu, bare colectoare etc.; în același timp, siguranța în exploatare crește.

Rezistența activă a bobinelor reactorului fiind neglijabilă, reactorul nu absoarbe puterea activă în funcționare.

## **9. Montare, exploatare, întreținere**

La montarea, exploatarea și întreținerea diferitelor aparate trebuie să se țină seama de instrucțiunile fabricilor constructoare, de normele și de regulamentele în vigoare. Ca reguli generale pot fi enunțate următoarele:

— aparatele trebuie transportate totdeauna cu grijă, evitându-se trântirea și zdruncinarea lor; păstrarea aparatelor trebuie să se asigure în locuri uscate și bine acoperite;

— la montarea unui aparat trebuie să se respecte poziția normală de funcționare a aparatului, iar conexiunile să se efectueze corect, conform schemei electrice.

Orice aparat trebuie să fie supus la o serie de verificări, pentru a preveni posibilitatea unei utilizări sau a unei funcționări necorespunzătoare; astfel se verifică dacă datele de pe plăcuța indicatoare a aparatului corespund cu caracteristicile mașinii sau ale locului unde va fi montat; se constată prezența tuturor elementelor aparatului (contacte, relee, siguranțe, punți de legătură, bloc-contacte, șuruburi pentru borne, camere de stingere a arcului etc.) și starea lor de bună funcționare (dacă este necesar, acestea se curăță și se reglează corespunzător).

Se măsoară rezistența de izolație, care trebuie să fie superioară sau cel puțin egală cu limitele inferioare indicate în norme ( $0,25 \dots 0,5 \text{ M}\Omega$  — după specificul instalației); la aparatele cu ulei, se verifică rigiditatea dielectrică a uleiului, care trebuie să fie de cel puțin  $125 \text{ kV/cm}$  la  $40^\circ\text{C}$ ;

— în exploatare, aparatele trebuie manevrate cu grijă, conform instrucțiunilor, evitându-se suprasolicitarea lor;

— pentru a garanta o bună funcționare în timp și a înlătura posibilitatea apariției pe neașteptate a unor defecte, urmate de opriri ale instalației și de timpuri morți în producție, trebuie să se efectueze periodic o revizie și o întreținere preventivă a aparatelor, conform instrucțiunilor specifice locului de utilizare a aparatului; în general, cu această ocazie se verifică uzura și starea suprafeței contactelor; dacă pe suprafața contactelor au apărut broboane mici de metal (contactele s-au perlat), ele se curăță și se rectifică cu ajutorul unei pile. Nu se admit curățirea contactelor cu hirtie abrazivă și nici ungerea lor cu vaselină (particulele de abraziv care rămân pe contacte și vaselina arsă din cauza arcului electric măresc rezistența de trecere a contactelor până la 10 — 20 de ori, ceea ce poate duce la încălziri anormale ale contactelor în funcționare).

Se verifică întrefierul electromagneților (mărimea lui, curățenia suprafețelor); se constată dacă spirele în scurtcircuit, montate pe o parte din secțiunea polilor electromagneților, sînt întregi și la locul lor. Se verifică camerele de stingere a arcului. Se verifică reglajul releelor. Se verifică dacă șuruburile aparatului sînt strinse. Se constată funcționarea ușoară, din punct de vedere mecanic, a pieselor în mișcare și, în cazul aparatelor

de conectare, se verifică închiderea simultană a contactelor principale.

Perioadele la care trebuie să fie făcute reviziile preventive ale aparatelor și echipamentului diferitelor instalații sînt arătate orientativ în tabela 12—4.

*Tabela 12—4*

**Periodicitatea reviziilor preventive ale aparatelor diferitelor instalații electrice**

Denumirea aparatelor și instalațiilor la care sînt montate	Numărul manevrelor	Intervalul de timp dintre revizii
Reostate de pornire .....	2—3 pe zi	6 luni
Reostate de pornire și reglare	20 pe zi	1 lună
Reostate de excitație	8—10 pe oră	1 lună
Mașini tipografice		
Compresoare }		
Fierăstraie }	3—4 pe oră	1 săptămîină
Pompe centrifuge pentru hidrofoare etc. ....	20 pe oră	1 săptămîină
Ascensoare pentru locuințe	12 pe oră	1 săptămîină
Ascensoare pentru mărfuri .....	6 pe oră	2 săptămîini
Ascensoare pentru instituții .....	60 pe oră	3 zile
Macarale și poduri rulante (lucrînd cu un schimb pe zi) .....	60—120 pe oră	3 zile
Macarale și poduri rulante (lucrînd cu trei schimburi pe zi) .....	60—120 pe oră	1 zi
Utilaj pentru foraj petrolifer .....	20—40 pe oră	1 zi
Mașini de extracție și trolii miniere	15—20 pe oră	1 zi
Mașini de încărcat în cuptoare Martin (oțelării)	60—120 pe oră	1 zi

# Transformatoare

Dezvoltarea tuturor sectoarelor economiei naționale — îndeosebi a agriculturii — impune creșterea deosebit de rapidă a producției de transformatoare. În acest sens, Directivele celui de-al III-lea Congres al P.M.R., care prevăd creșterea industriei electrotehnice de 2,5 ori pînă în 1965, trasează sarcina ca producția de transformatoare să se dezvolte într-un ritm și mai rapid, avînd ca obiective modernizarea fabricației și ajungerea la cel mai înalt nivel tehnic. Fabrica Electroputere, creație a regimului de democrație populară, fabrică transformatoare de o înaltă calitate, acoperind necesitățile interne și comenzile pentru export.

## 1. Principiul de funcționare a transformatorului electric

Se consideră un miez de oțel moale avînd forma reprezentată în figura 13—1, secțiunea miezului fiind, de exemplu, dreptunghiulară. Se presupune că pe ramura din stînga a miezului există

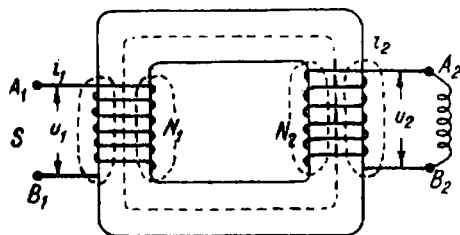


Fig. 13—1. Transformatorul reprezentat schematic.

un bobinaj cu  $N_1$  spire din sîrmă izolată, iar pe ramura din dreapta, un alt bobinaj cu  $N_2$  spire.

Dacă între bornele  $A_1$  și  $B_1$  ale bobinajului din stînga se aplică de la o sursă de curent alternativ  $S$  o tensiune alternativă de valoare instantanee  $u_1$ , bobinajul va fi parcurs de un curent

alternativ de valoare instantanee  $i_1$ . Curentul  $i_1$  produce în miezul de oțel un flux magnetic alternativ, a cărui valoare instantanee este dată de legea circuitului magnetic:

$$\Phi_1 = \frac{N_1 i_1}{\mathfrak{A}},$$

în care  $\mathfrak{A}$  este reluctanța circuitului magnetic.

Acest flux magnetic alternativ, străbătînd bobinajul din dreapta, va produce în el, pe baza fenomenului de inducție electromagnetică, o forță electromotoare de inducție, alternativă. Dacă bobinajul din dreapta este închis, în circuitul lui va lua naștere un curent alternativ de valoare instantanee  $i_2$ . Curentul alternativ  $i_2$ , care străbate bobinajul din dreapta, produce în miezul de oțel un flux magnetic alternativ, a cărui valoare instantanee este:

$$\Phi_2 = \frac{N_2 i_2}{\mathfrak{A}}.$$

În miez va exista deci în realitate un flux magnetic alternativ rezultat, a cărui valoare instantanee este:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \frac{N_1 i_1 + N_2 i_2}{\mathfrak{A}}.$$

Fiecare spiră a bobinajului din stînga și din dreapta este, așadar, străbătută de fluxul magnetic alternativ  $\Phi$ . Acesta, fiind variabil în timp, va produce în fiecare spiră din cele două bobinaje cîte o forță electromotoare de inducție. Dacă într-un interval de timp foarte mic,  $t$ , fluxul magnetic rezultat variază între valorile  $\Phi_a$  și  $\Phi_b$ , forța electromotoare de inducție într-o spiră oarecare va fi, după cum se știe:

$$e = \frac{\Phi_a - \Phi_b}{t}.$$

În toate cele  $N_1$  spire ale bobinajului din stînga, forța electromotoare de inducție va avea o valoare instantanee de  $N_1$  ori mai mare, adică:

$$e_1 = N_1 e.$$

În toate cele  $N_2$  spire ale bobinajului din dreapta, forța electromotoare de inducție va avea o valoare instantanee de  $N_2$  ori mai mare, adică:

$$e_2 = N_2 e.$$

Raportul dintre cele două forțe electromotoare este:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1 e}{N_2 e} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Diferența dintre tensiunea  $u_1$  la bornele bobinajului din stînga și forța electromotoare  $e_1$  din acest bobinaj și dintre  $u_2$  și  $e_2$  din bobinajul din dreapta există datorită căderii de tensiune în bobinaje.

Deoarece cele două căderi de tensiune sînt foarte mici față de forțele electromotoare  $e_1$  și  $e_2$ , se poate considera că raportul dintre forțele electromotoare  $e_1$  și  $e_2$  este practic egal cu raportul dintre tensiunile  $u_1$  și  $u_2$ , adică:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{u_1}{u_2}.$$

Rezultă atunci că se poate scrie:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2}. \quad (13.1)$$

Deoarece  $u_1$  și  $u_2$  sînt valori instantanee, ultima relație este valabilă și pentru valorile maxime  $U_{m1}$  și  $U_{m2}$  și pentru valorile eficace  $U_1$  și  $U_2$  ale celor două tensiuni:

$$\frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K, \quad (13.2)$$

adică, raportul dintre valorile eficace ale tensiunilor este egal cu raportul direct al numărului de spire din cele două bobinaje.

Aparatul din figura 13—1 poartă numele de *transformator electric*. Scopul principal al unui transformator electric este de a primi energie electrică (în curent alternativ) sub o anumită tensiune și de a o transforma sub o altă tensiune. Raportul  $N_1/N_2$  poartă numele de *raport de transformare* al transformatorului. Circuitul care primește energia electrică se numește circuit *primar* (sau inductor), iar circuitul care dă mai departe energia electrică se numește circuit *secundar* (sau indus).

Se notează cu  $I_1$  și  $I_2$  valorile eficace ale curenților  $i_1$  și  $i_2$ , de asemenea cu  $\varphi_1$  și  $\varphi_2$  unghiurile de defazaj formate de curenții  $I_1$  și  $I_2$  cu tensiunile respective  $U_1$  și  $U_2$ .

Puterea electrică primită de transformator de la sursă este deci:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$



iar puterea electrică, dată de transformator, mai departe este:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

Deoarece pierderile de putere în transformator sînt neglija-bile față de puterea primită, se poate face practic aproximația:

$$P_1 = P_2,$$

adică:

$$U_1 I_1 \cos \varphi_1 = U_2 I_2 \cos \varphi_2.$$

De asemenea, în mod practic, pentru un transformator se poate considera:

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2.$$

Rezultă:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2,$$

adică:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}. \quad (13.3)$$

Aceasta arată că *raportul dintre curentul primar și cel secundar este egal cu inversul raportului de transformare.*

Cînd circuitul secundar este deschis, adică nu există nici un consumator între bornele  $A_2$  și  $B_2$  (fig. 13—1), se spune că transformatorul funcționează în gol. În acest caz, curentul secundar  $I_2$  este nul. Totuși, în primar trece un curent  $I_0$  de valoare redusă, numit *curent de mers în gol* și care reprezintă numai cîteva procente din curentul de plină sarcină al transformatorului. Faptul că în bobinajul primar trece curentul  $I_0$  de mers în gol, înseamnă că transformatorul absoarbe și la funcționarea în gol o mică putere. Această putere servește la acoperirea *pierderilor de mers în gol*, care sînt constituite, în cea mai mare parte, din pierderile prin histeresis, provocate de magnetizarea miezului de oțel. De multe ori pierderile de mers în gol se numesc și *pierderi de magnetizare*, iar curentul  $I_0$  de mers în gol, *curent de magnetizare*. Pierderile de mers în gol cuprind însă și pierderi prin curenți turbionari în miezul de oțel, precum și pierderile prin efect Lenz-Joule în circuitul primar. Pierderile prin histeresis și prin curenți turbionari în oțel se numesc și *pierderi în oțel*. *Aceste pierderi în oțel* sînt practic constante într-un transformator, adică au aceeași valoare, chiar dacă transformatorul funcționează în sarcină (cînd există curent secundar). Pierderile

prin efect Lenz-Joule în primar și secundar poartă numele de *pierderi în cupru* și sint cu atât mai mari, cu cât sarcina transformatorului (adică curentul secundar și primar) este mai mare, deoarece sint proporționale cu pătratul curentului ( $RI^2$ ).

După cum s-a precizat, transformatorul primește în bobina-jul primar o putere  $P_1$  și redă în secundar puterea  $P_2$ . O mică parte din puterea primită se consumă prin pierderile ce au loc în transformator. Dacă se notează cu  $p$  aceste pierderi, se poate scrie:

$$P_1 = P_2 + p.$$

Raportul:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - p}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + p} = \eta. \quad (13.4)$$

( $\eta$  este o literă grecească care se citește „eta”) se numește *randamentul* transformatorului. Un transformator industrial are, în general, un randament aproape egal cu unitatea (0,96 de exemplu).

## 2. Utilizarea transformatoarelor

În practica industrială apare de multe ori necesitatea ca energia electrică produsă într-un anumit loc să fie transportată într-alt loc. Acest transport de energie se face însă cu unele pierderi, provocate mai ales de efectul Lenz-Joule în conductoarele liniei de transport. Se caută ca aceste pierderi să fie cât mai mici.

Dacă se micșorează curentul, pierderile Lenz-Joule scad mult. Când se transportă o energie electrică

$$W = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t,$$

se vede că dacă tensiunea  $U$  se mărește, curentul  $I$  poate fi redus în proporție, fără ca valoarea energiei să se schimbe. De aici reiese necesitatea de a ridica valoarea tensiunii cu ajutorul transformatoarelor, micșorînd în felul acesta atât curentul, cât și pierderile.

Energia electrică nu poate fi însă în general utilizată de către receptoare sub tensiunea înaltă sub care a fost transportată; tensiunea trebuie să fie deci din nou coborîtă cu un alt transformator la capătul celălalt al liniei de transport.

În figura 13—2 se arată în mod schematic cum se realizează un transport de energie electrică printr-o linie monofazăată de exemplu. Sursa  $S$  de curent alternativ produce această energie sub tensiune joasă. Transformatorul *ridicător*  $T_r$ , mărește această tensiune la valoarea necesară liniei de transport. La locul de utilizare transformatorul *coborîtor*  $T_c$  micșorează tensiunea la valoarea necesară receptorului  $R$ .

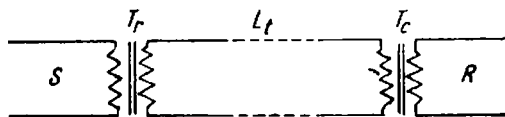


Fig. 13—2. Utilizarea transformatoarelor la transportul energiei electrice.

Transformatoarele nu pot funcționa decît în curent alternativ. Curentul continuu nu poate produce în miezul transformatorului un flux magnetic variabil, necesar funcționării transformatorului.

### 3. Construcția transformatoarelor

Este economic să se producă fluxul magnetic din miezul transformatorului cu o forță magnetomotoare cît mai mică. În consecință, reluctanța magnetică a circuitului magnetic trebuie să fie cît mai redusă. De aceea, miezul transformatorului se confecționează din oțel cu o mare permeabilitate magnetică. În scopul reducerii pierderilor prin curenți turbionari în oțel, miezul se realizează din tole cît mai subțiri și izolate între ele. Pentru a se reduce și pierderile prin histeresis, tolele se fabrică dintr-un oțel silicios special.

Circuitele primare și secundare ale transformatoarelor sînt constituite din bobine montate în jurul miezului de oțel. Dacă bobinele s-ar monta ca în figura 13—1 nu toate liniile magnetice produse de primar ar trece și prin secundar; de asemenea nu toate liniile magnetice produse de secundar ar trece și prin primar. O parte din aceste linii s-ar închide direct prin aer, constituind așa-numitul *flux de dispersie*. Pentru a se evita aceasta, se utilizează, de exemplu, dispoziția din figura 13—3, unde bobinele secundare s alternează cu bobinele primare  $p$ .

O altă dispoziție este reprezentată în figura 13—4, unde cele două bobinaje sînt coaxiale, și anume circuitul de tensiune mai mare înconjoară circuitul de tensiune mai mică.

În cazul generatoarelor și liniilor trifazate, transformatoarele trebuie să fie de asemenea trifazate, avînd trei bobinaje primare

și trei bobinaje secundare. Circuitul magnetic al unui transformator trifazat are de obicei trei miezuri de oțel legate la partea superioară și inferioară prin câte un jug de oțel. Pe fiecare

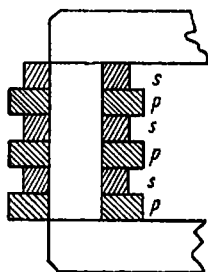


Fig. 13-3. Transformator cu bobinaje alternate.

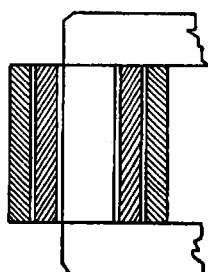


Fig. 13-4. Transformator cu bobinaje coaxiale.

din cele trei miezuri se găsesc bobinajele transformatorului. În figura 13—5 sînt reprezentate conexiunile electrice ale primarului și secundarului care se întîlnesc mai des la transformatoarele trifazate. Figura 13—5, *a* reprezintă conexiunea stea-*stea*, figura 13—5, *b*, conexiunea triunghi-triunghi, iar figura 13—5, *c*, conexiunea triunghi-*stea*.

De multe ori, bobinajul cu conexiune *stea*, dacă este pe joasă tensiune, are și conductor neutru. De exemplu, un transformator trifazat care trebuie să coboare tensiunea unei linii trifazate de 6 000 V, la tensiunea joasă de 380/220 V, pentru alimentarea unei rețele de distribuție, se va realiza cu bobinajul primar 6 000 V legat în triunghi și

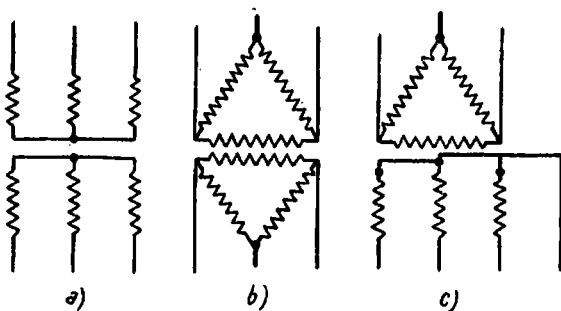


Fig. 13-5. Diferite conexiuni ale bobinajelor transformatoarelor.

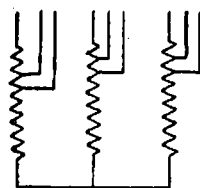


Fig. 13-6. Bobinaj de transformator cu prize suplimentare.

și cu cel secundar legat în *stea* cu conductor neutru (figura 13-5, *c*). Pe joasă tensiune, între două conductoare de fază, tensiunea va fi de 380 V, iar între fiecare conductor de fază și conductorul neutru, de 220 V.

**Conexiunile și domeniul de utilizare al transformatoarelor trifazate**  
(după STAS 1704-50)

Simbol		Diagrama vectorială		Schema de conexiuni		Domeniul de utilizare
STAS	Folosit în trecut	Tensiune		Tensiune		
		Înaltă	Joasă	Înaltă	Joasă	
Yy-12	A <sub>2</sub>					Transformatoare coboritoare pentru distribuția de forță. Transf. ridic.
Dy-11	D <sub>1</sub>					Transformatoare coboritoare pentru distribuție de iluminat. Firul neutru se poate încărcă 100 %
Yd-11	D <sub>2</sub>					Transformatoare ridicătoare pentru centrale și stații
Yz-11	D <sub>3</sub>					Același ca la Dy-11 numai până la 100 kVA
Dy-5	C <sub>1</sub>					Același ca la Dy-11
Yd-5	C <sub>2</sub>					Același ca la Yd-11
Yz-5	C <sub>3</sub>					Același ca la Yz-11

În tabela 13—1 sînt date conexiunile și domeniul de utilizare al transformatoarelor trifazate după STAS 1704-50.

Pentru a se putea obține, la același transformator, raporturi de transformare diferite, se prevăd *prize suplimentare*, după cum se arată în figura 13—6, unde s-a reprezentat circuitul primar sau secundar al unui astfel de transformator. Fiecare fază are cîte trei prize. Fiecărei prize îi corespunde un anumit număr de spire. Față de priza mijlocie, raportul de transformare se poate schimba cu cîteva procente în plus sau în minus, de exemplu  $\pm 4\%$  prin legarea la prizele extreme. De obicei, pentru a se schimba legăturile de la o priză la alta, transformatorul trebuie scos de sub sarcină (înteruperea circuitului secundar). Există însă și transformatoare, prevăzute cu dispozitive speciale, care permit schimbarea raportului de transformare sub sarcină.

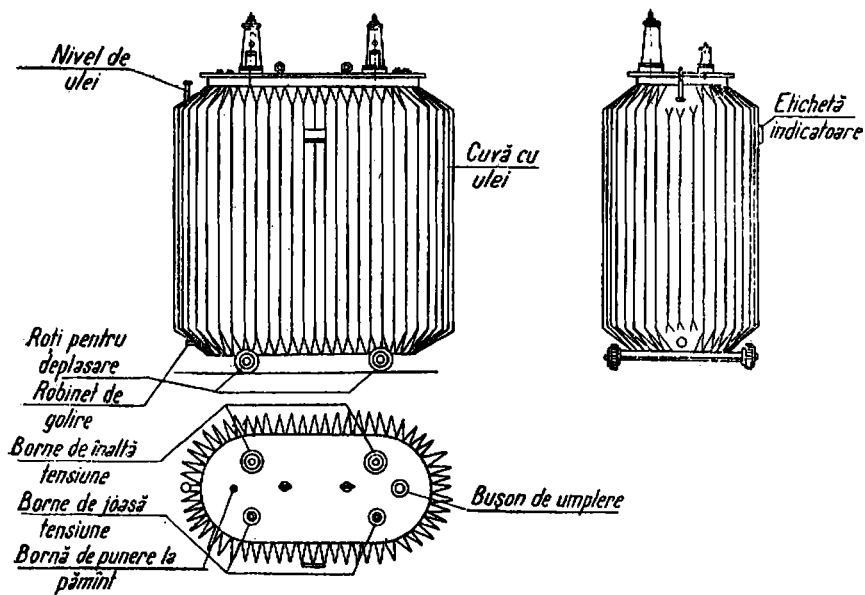


Fig. 13-7. Transformator cu răcire naturală în ulei.

Miezul transformatorului și bobinajele sînt cufundate într-o cuvă metalică, uneori cu pereții onduțați, plină de ulei de transformator (fig. 13—7). În timpul funcționării, transformatorul se încălzește, deoarece energia care se pierde

prin efectul Lenz-Joule, prin curenți turbionari și prin histeresis se transformă în căldură. Uleiul se încălzește și el, iar în interiorul cuvei se produce o circulație de ulei, căldura absorbită de la transformator fiind cedată apoi mediului exterior. Ondulațiile cuvei servesc ca să se mărească mult suprafața de contact dintre ulei și mediul exterior, iar circulația uleiului face răcirea și mai activă. Un astfel de transformator se numește transformator cu răcire naturală prin ulei.

Deasupra cuvei se montează un rezervor cilindric, numit și *conservator de ulei* în legătură cu cuva (fig. 13—8). Acesta permite să fie cuva totdeauna plină cu ulei, chiar și atunci când nivelul uleiului variază din cauza dilatărilor care depind de sarcina transformatorului. Rezervorul permite de asemenea ca suprafața de contact dintre ulei și aer să fie mai redusă, ceea ce evită o alterare prea rapidă a uleiului.

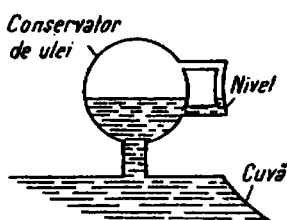


Fig. 13-8. Conservator de ulei.

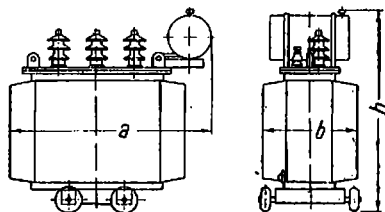


Fig. 13-9. Transformator trifazat în baie de ulei, fabricat în R.P.R., 100 kVA 6 000 V;  
 $a = 1250$ ;  $b = 650$ ;  $h = 1800$

În R.P.R. se construiesc multe tipuri de transformatoare. Figura 13—9 reprezintă, de exemplu, un asemenea transformator trifazat, în baie de ulei, cu puterea de 100 kVA și pentru tensiuni până la 6 000 V.

#### 4. Tensiunea de scurtcircuit și mersul în paralel al transformatoarelor

Se presupune că secundarul unui transformator este legat în scurtcircuit printr-un ampermetru (fig. 13—10) și se aplică primarului o tensiune astfel încât curentul din secundar să capete valoarea lui nominală de plină sarcină. Tensiunea la bornele secundarului este practic nulă, dat fiind că rezistența ampermetrului este foarte mică. Tensiunea aplicată în condițiile ară-

tate la bornele primarului poartă numele de *tensiune de scurtcircuit* ( $U_{sc}$ ). Aceasta este una dintre caracteristicile importante ale transformatorului, în special pentru faptul că are un rol deosebit la *mersul în paralel* al transformatoarelor, după cum se va arăta mai departe. Valoarea tensiunii de scurtcircuit a unui transformator reprezintă de obicei câteva procente din tensiunea nominală a bobinajului respectiv.

Două sau mai multe transformatoare funcționează în paralel, atunci când sînt legate la aceleași bare

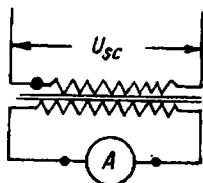


Fig. 13-10. Tensiunea de scurtcircuit.

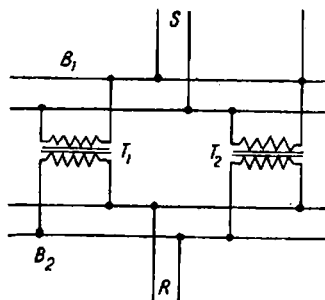


Fig. 13-11. Două transformatoare în paralel.

colectoare de curent, atât pe partea primară, cît și pe partea secundară, după cum se arată în figura 13—11. Sursa  $S$  de curent alternativ alimentează barele colectoare  $B_1$ , la care sînt legate cele două transformatoare  $T_1$  și  $T_2$ . Barele secundare  $B_2$  alimentează, la rîndul lor, un receptor oarecare  $R$ .

Pentru ca mai multe transformatoare să poată funcționa în paralel în bune condiții, trebuie să îndeplinească o serie de prescripții, dintre care cele mai importante sînt:

- să aibă aceeași tensiune primară și secundară;
- să aibă aceeași tensiune de scurtcircuit;
- raportul dintre puterile a două transformatoare oarecare să nu fie mai mic decît  $1/3$ .

## 5. Autotransformatorul

La unele transformatoare, primarul nu este separat electric de secundar, deși ambele bobinaje sînt așezate pe același miez de oțel, care formează un cadru închis. Aceste două bobinaje se găsesc legate în continuare, după cum se arată în figura 13—12,



unde primarul este constituit dintr-o parte din spirele secundarului. Un asemenea transformator poartă numele de *autotransformator* și poate fi ridicător, ca în figură, sau coboritor.

Dacă se notează cu  $N_1$  numărul de spire primare (între  $b$  și  $c$ ) și cu  $N_2$  numărul de spire secundare (între  $a$  și  $c$ ), se poate scrie cu suficientă aproximație:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K = \frac{I_2}{I_1},$$

în care  $K$  este raportul de transformare al transformatorului,  $I_1$  și  $I_2$  — valorile eficace ale curentului în primar și secundar, iar  $U_1$  și  $U_2$ , — valorile eficace ale tensiunii la bornele primarului și secundarului.

Din figura 13—12 se vede că curentul  $I_c$  din porțiunea comună a bobinajului rezultă din diferența dintre curentul primar  $I_1$  și curentul secundar  $I_2$ . Când curenții  $I_1$  și  $I_2$  au valori apropiate (raport de transformare apropiat de unitate), curentul  $I_c$  din porțiunea comună are o valoare mică, ceea ce permite să se facă economie de cupru la bobinajul respectiv, prin micșorarea secțiunii sale. Din această cauză, autotransformatoarele se con-

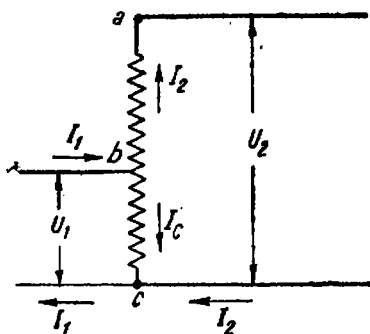


Fig. 13—12. Autotransformator.

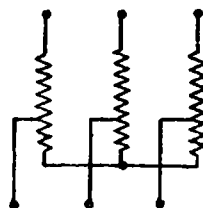


Fig. 13—13. Autotransformator trifazat.

struiesc în general pentru un raport de transformare care variază între 0,5 și 2, astfel încât se realizează o importantă economie de material față de transformatoarele obișnuite.

Figura 13—13 reprezintă schema electrică a unui autotransformator trifazat.

## 6. Transformatoarele de măsură

Aparatele de măsurat destinate să măsoare diferite mărimi electrice (curent, tensiune, putere etc.) la o rețea de înaltă tensiune, se leagă la această rețea prin intermediul unor *transformatoare de măsură*, care permit ca aparatele de măsurat să funcționeze pe joasă tensiune, primarul fiind legat la rețeaua de înaltă tensiune.

Independent de separarea aparatelor de măsurat față de tensiunea înaltă, transformatoarele de măsură servesc și la lărgirea limitelor de măsurare ale aparatelor de măsurat.

În figura 13—14 se arată legarea unui ampermetru la o rețea de înaltă tensiune, prin intermediul unui transformator de măsură *T*, care se numește *transformator* sau *reductor de curent*. Aceste transformatoare se con-

Fig. 13—14. Legarea unui ampermetru cu transformator de curent.

struiesc în mod normal astfel, încît la curentul nominal din primar să corespundă un curent de 5 A în secundar, scara fiind însă gradată pentru curentul din primar.

Chiar în cazul unei rețele de joasă tensiune, dacă valoarea curentului în această rețea este foarte mare, de exemplu 500 A,

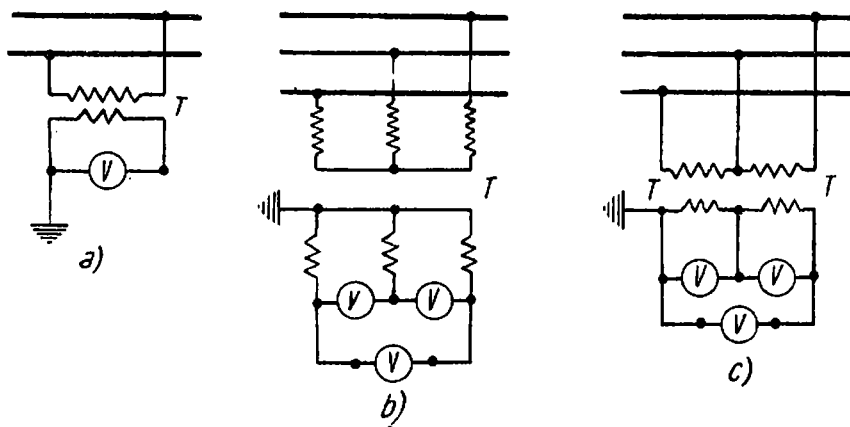
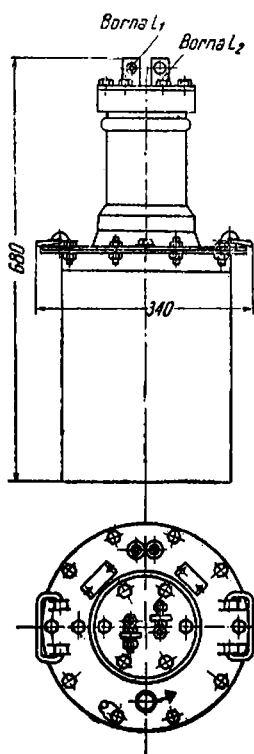


Fig. 13—15. Legarea voltmetrelor cu transformatoare de tensiune.

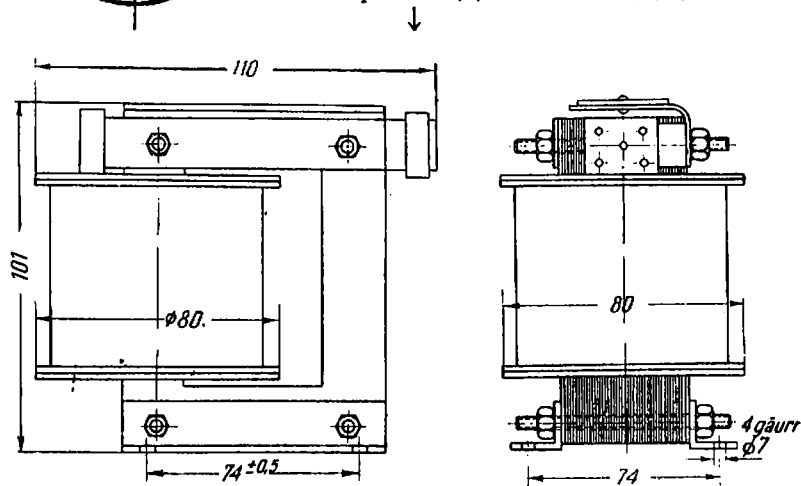


se poate utiliza totuși un ampermetru de numai 5 A, dacă se utilizează un transformator de curent 500/5 A, iar scara ampermetrului se gradează 0 ... 500 A.

În figura 13—15, *a* este reprezentată legarea unui voltmetru la o rețea monofazată de înaltă tensiune, prin intermediul unui transformator sau reductor de tensiune monofazat *T*. În figura 13—15, *b* este reprezentat un transformator de tensiune trifazat *T*, iar în figura 13—15, *c*, două transformatoare de tensiune monofazate *T* montate în *V* și legate de asemenea la o rețea trifazată pentru alimentarea a trei voltmetre. Transformatoarele de tensiune sînt în mod normal astfel construite, încît atunci cînd se aplică primarului tensiunea nominală, la bornele secundarului, tensiunea să fie

← Fig. 13-16. Transformator de curent tip TISU-15, fabricat în R.P.R.

Fig. 13-17. Transformator de tensiune tip TTM-0,4, fabricat în R.P.R.



de 100 V, scara aparatelor gradindu-se însă după valorile tensiunii primare de măsurat.

În mod analog se pot lega, prin intermediul transformatoarelor de măsură, wattmetre, contoare etc.

În figura 13—16 este reprezentat aspectul exterior al unui transformator de curent, iar în figura 13—17, aspectul exterior al unui transformator de tensiune, ambele fabricate în R.P.R.

## Mașini asincrone

### 1. Generalități

În funcție de felul curentului, mașinile electrice pot fi mașini de curent alternativ și mașini de curent continuu. Independent de felul curentului, mașina care absoarbe energie mecanică și o transformă în energie electrică se numește *generator electric*, iar mașina care absoarbe energie electrică și o transformă în energie mecanică se numește *motor electric*. Mașinile electrice sînt *reversibile*, adică generatorul poate funcționa ca motor și motorul poate funcționa ca generator. Orice mașină electrică are o parte fixă numită *stator*, în interiorul căruia se învîrtește o parte mobilă numită *rotor*. De aceea, generatoarele și motoarele electrice au căpătat denumirea comună de mașini electrice rotative. Între rotor și stator se află un interstițiu de aer numit *întrefier*. Rotorul și statorul sînt construite din materiale magnetice și formează circuitul magnetic al mașinii, prin care trece fluxul magnetic produs de curenții care parcurg bobinajele așezate atît pe stator, cît și pe rotor. La baza funcționării tuturor mașinilor electrice stă fenomenul inducției electromagnetice, respectiv interacțiunea dintre cîmpurile magnetice produse în interiorul lor.

Prima categorie de mașini electrice care va fi descrisă o constituie mașinile asincrone, din grupa mașinilor de curent alternativ. În prealabil, se vor da noțiunile necesare privind producerea cîmpurilor magnetice învîrtitoare, fundamentale pentru funcționarea unor mașini electrice rotative.

## 2. Producerea unui câmp magnetic învîrtitor

În figura 14—1 se consideră un magnet în formă de potcoavă. Între poli  $N$  și  $S$  ai acestui magnet există un câmp magnetic, care poate fi reprezentat prin liniile de forță respective. Dacă magnetul se rotește în jurul unei axe oarecare, de exemplu axa  $O$ , câmpul magnetic dintre cei doi poli se va roti și el. S-a obținut deci un câmp magnetic învîrtitor. Există însă posibilitatea de a

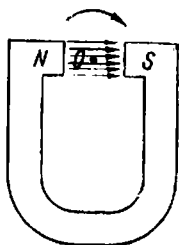


Fig. 14-1. Magnet în rotație și câmp magnetic învîrtitor.

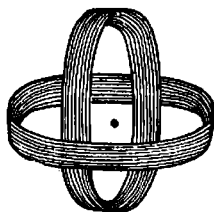


Fig. 14-2. Două bobine perpendiculare una pe alta.

se obține un câmp magnetic învîrtitor, fără să fie nevoie de mișcarea unei piese materiale; această posibilitate se utilizează în funcționarea unor mașini electrice, după cum se va arăta mai târziu.

În figura 14—2 s-au reprezentat două bobine identice, una verticală și cealaltă orizontală, așezate una într-alta și fără a avea vreo legătură electrică între ele. În bobina așezată în planul orizontal se trimite un curent alternativ, iar în bobina din planul vertical se trimite alt curent alternativ, astfel încît acești doi curenți să constituie un sistem de doi curenți bifazați, pulsația lor fiind  $\omega$ .

Fiecare bobină va crea în jurul ei un câmp magnetic alternativ. În figura 14—3 se arată liniile de forță ale câmpului magnetic produs la un moment dat de bobina verticală. Inducția magnetică în centrul bobinei, pe direcția axului orizontal al bobinei, este reprezentată prin vectorul notat cu  $\vec{B}_1$ . Deoarece curentul care produce câmpul magnetic este alternativ, iar inducția magnetică este proporțională cu curentul care o produce, înseamnă că și inducția magnetică variază potrivit legii sinusului cu aceeași pulsație ca și curentul, astfel încît se poate scrie:

$$B_1 = B_m \sin \omega t,$$

în care  $B_m$  este valoarea maximă a inducției.

În figura 14—4 sînt reprezentate liniile magnetice ale câmpului produs de bobina orizontală. Inducția magnetică în centrul bobinei, pe direcția axului vertical al bobinei, este reprezentată prin vectorul  $\vec{B}_2$ . Deoarece curentul din bobina

orizontală este alternativ, înseamnă că și inducția magnetică  $B_2$  variază potrivit legii sinusului cu aceeași pulsație  $\omega$ . Dar cei doi curenți fiind bifazați, rezultă că și inducțiile magnetice  $B_1$  și  $B_2$  sînt bifazate și în consecință:

$$B_2 = B_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

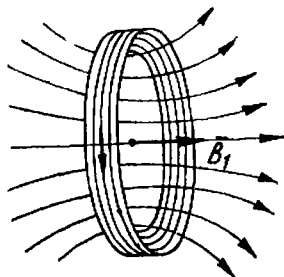


Fig. 14-3. Liniile de forță din interiorul bobinei verticale (cu axa orizontală).

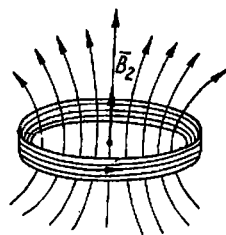


Fig. 14-4. Liniile de forță din interiorul bobinei orizontale (cu axa verticală).

Din cele de mai înainte rezultă că în centrul celor două bobine din figura 14-2 apar două inducții magnetice bifazate și perpendiculare între ele care, fiind mărimi vectoriale, pot fi reprezentate prin doi vectori perpendiculari între ei.

În figura 14-5 s-au trasat acești doi vectori. Inducția magnetică din centrul celor două bobine va fi o mărime vectorială, care va rezulta din compunerea, conform regulii paralelogramului, a celor doi vectori  $\vec{B}_1$  și  $\vec{B}_2$ . Deoarece însă  $\vec{B}_1$  și  $\vec{B}_2$  variază în timp potrivit legii sinusului, va trebui să se facă succesiv o serie întreagă de asemenea compuneri, luîndu-se pentru fiecare moment valoarea respectivă a inducțiilor magnetice  $B_1$  și  $B_2$ .

În figura 14-6 sînt reprezentate sinusoidalele potrivit cărora se consideră că variază inducțiile magnetice  $B_1$  și  $B_2$ . Se vede că sinusoida pentru inducția magnetică  $B_2$  a fost trasată identic cu sinusoida  $B_1$ , dar decalată înainte cu unghiul  $\pi/2$ , deoarece inducțiile magnetice sînt bifazate. S-au luat pe axa absciselor nouă puncte echidistante (la distanțe egale) și pentru fiecare punct s-a măsurat valoarea inducțiilor magnetice  $B_1$  și  $B_2$  pe sinusoidalele respective.

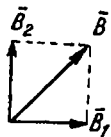


Fig. 14-5. Compunerea celor două inducții magnetice  $\vec{B}_1$  și  $\vec{B}_2$ .

În figura 14—7 s-au trasat pentru fiecare din cele nouă puncte câte doi vectori perpendiculari avînd valorile respective  $\vec{B}_1$  și

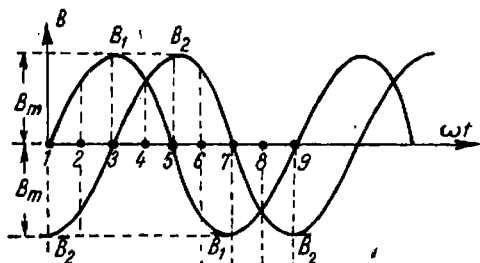


Fig. 14-6. Reprezentarea grafică a inducțiilor magnetice  $B_1$  și  $B_2$ .

și  $\vec{B}_2$ , și s-a construit apoi și rezultanta corespunzătoare  $\vec{B}$ . Dacă se urmăresc cele nouă poziții 1—9, se observă că rezultanta  $\vec{B}$  este un vector de lungime constantă, dar care se rotește în jurul punctului  $O$ . Acest punct este în realitate centrul celor două bobine din figura 14—2.

Valoarea inducției magnetice rezultante este egală cu valoarea maximă a fiecărei inducții magnetice componente.

Rezultă, așadar, că în centrul celor două bobine, vectorul rezultat al inducției magnetice are o valoare constantă, dar se rotește. Aceasta corespunde rotației unei singure linii de forță.

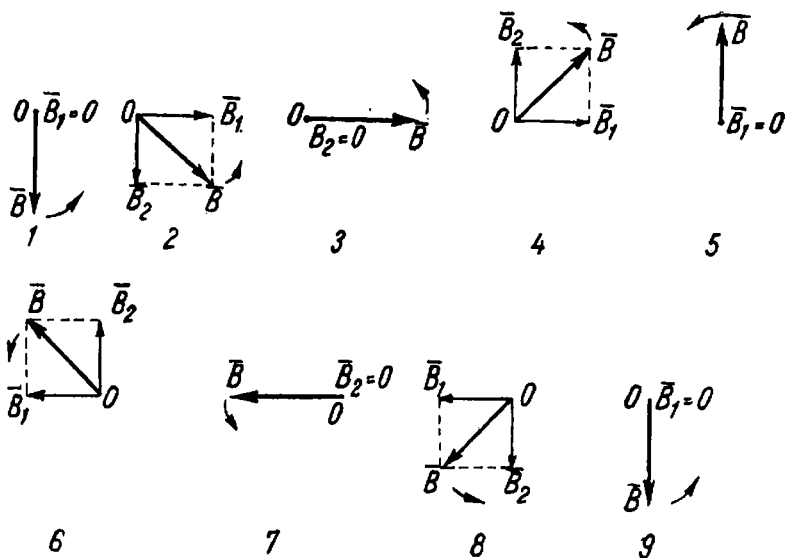


Fig. 14-7. Rotirea vectorului inducției magnetice  $\vec{B}$ .



În interiorul celor două bobine se formează însă un număr foarte mare de linii de forță, care se rotesc în același timp, adică există un câmp magnetic învîrtitor, care s-a obținut fără să se miște vreo piesă materială. Viteza unghiulară de rotație a acestui câmp magnetic este egală cu pulsația  $\omega$  a celor doi curenți bifazați care parcurg bobinele.

În figura 14—8 se consideră trei bobine identice făcînd între ele unghiuri de  $120^\circ$  sau  $2\pi/3$ . Bobinele nu au vreo legătură

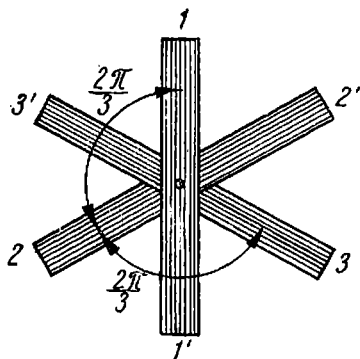


Fig. 14—8. Trei bobine identice decalate între ele la  $120^\circ$ .

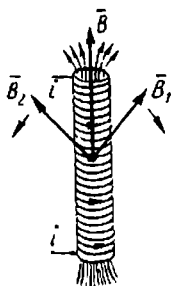


Fig. 14—9. Bobină parcursă de un curent monofazat.

electrică între ele și sînt parcurse de un sistem trifazic de curent. Printr-un raționament asemănător cu cel precedent se poate ajunge și în acest caz la concluzia că în interiorul bobinelor se formează un câmp magnetic învîrtitor constant ca valoare și care se rotește în jurul centrului bobinelor cu viteza unghiulară  $\omega$ , egală cu pulsația curenților din bobine. Prin calcule se găsește că inducția magnetică a câmpului rezultat este egală cu  $3/2$  din inducția maximă a câmpului datorit fiecărei bobine.

### 3. Descompunerea unui câmp magnetic alternativ în două câmpuri magnetice învîrtitoare

Dacă se consideră o bobină (fig. 14—9) cu o inducție magnetică alternativă  $\vec{B}$ , aceasta se poate descompune în două inducții magnetice  $\vec{B}_1$  și  $\vec{B}_2$ , egale fiecare cu jumătate din inducția

magnetică maximă inițială și care se rotesc în sensuri contrare cu o viteză unghiulară  $\omega$  egală cu pulsația inducției magnetice  $\overline{B}$ . Se poate spune și că cele două inducții magnetice  $\overline{B}_1$  și  $\overline{B}_2$  care se rotesc în sensuri contrare pot fi înlocuite cu inducția magnetică alternativă  $\overline{B}$ .

#### 4. Principiul de funcționare a motorului asincron

Motorul asincron este o mașină electrică rotativă, constituită dintr-o parte fixă  $S$  (fig. 14—10), numită stator și care este formată dintr-o carcasă, în interiorul căreia se află un miez din

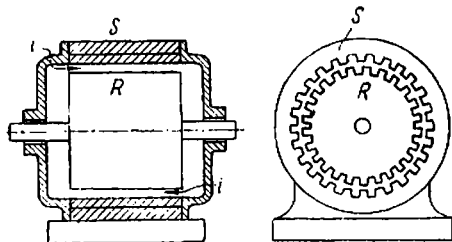


Fig. 14—10. Schema constructivă a motorului asincron.

table de oțel izolate între ele, avind forma generală a unui cilindru gol, în interiorul căruia se poate învîrți rotorul  $R$ , tot din table de oțel și care are forma generală a unui cilindru plin. Spațiul  $i$  dintre stator și rotor constituie *întrefierul mașinii*. Statorul conține pe fața lui interioară o serie de *crestături*, în care sînt in-

troduse conductoarele izolate care formează bobinajul statoric. De asemenea, rotorul are pe suprafața cilindrică *crestăturile* prevăzute pentru bobinajul rotoric.

Atît bobinajul statoric, cît și cel rotoric formează un anumit număr de faze, iar fiecare fază este astfel bobinată, încît să realizeze un *anumit număr de perechi de poli magnetici*. Motorul asincron trifazat are bobinajul statoric format din trei faze. Numărul de faze rotorice poate să fie diferit de numărul de faze statorice. Numărul de poli care se formează pe fiecare fază statorică trebuie să fie însă egal cu numărul de poli pe fiecare fază rotorică. Rețeaua electrică de alimentare se leagă la bobinajul statoric al motorului.

Pentru concretizare, se consideră un motor asincron trifazat (stator trifazat) *cu șase poli*, pe fiecare fază statorică și rotorică. Pentru a se arăta mai clar felul în care este realizat bobinajul statoric, se presupune statorul *desfășurat* ca în figura 14—11. Faza I este reprezentată în trăsături pline, faza a II-a, în liniițe

întrerupte, iar faza a III-a, în puncte. Dacă, de exemplu, în faza I curentul ar trece la un moment dat în sensul indicat prin săgeți, se vor forma cei șase poli  $N$  și  $S$ , după cum s-a indicat pe figură. Faza a II-a este identică cu faza I, dar decalată în spațiu pe periferia statorului față de faza I cu un unghi egal cu o treime din unghiul format între doi poli alăturați de același nume din faza I. Faza a III-a este identică cu faza a II-a și cu faza I, dar de asemenea decalată față de faza a II-a cu un unghi egal cu o treime din unghiul format între doi poli alăturați de același nume sau față de faza I cu un unghi egal cu două treimi

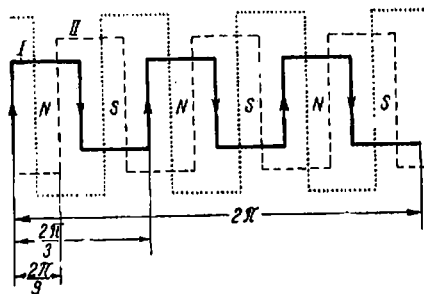


Fig. 14-11. Bobinajul desfășurat al unui stator trifazat de motor asincron.

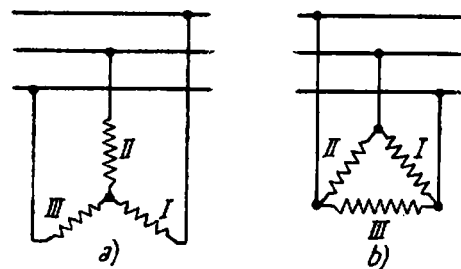


Fig. 14-12. Legarea fazelor statorice:  
a — în stea; b — în triunghi.

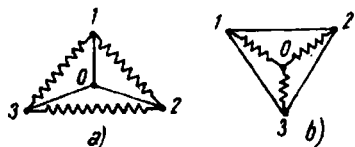


Fig. 14-13. Legarea în scurt-circuit a fazelor rotorice:  
a — în triunghi; b — în stea.

au ca rezultată un câmp magnetic învîrtitor, care se rotește în jurul axului motorului cu o viteză unghiulară egală cu  $\omega/p$  rad/s, unde  $\omega$  este pulsația curentului de alimentare în Hz, iar  $p$ , numărul perechilor de poli. Liniile de forță ale câmpului magnetic învîrtitor „taie” conductoarele bobinajului rotoric.

Se presupune că și rotorul este tot trifazat. Bobinajul rotoric desfășurat se prezintă ca și cel statoric, după cum s-a arătat în figura 14—11. Din punct de vedere electric, fazele rotorice se leagă între ele în stea sau în triunghi. Deoarece este neapărat necesar ca în fazele rotorice să poată circula curenți, pentru motivele care se vor arăta mai departe, aceste faze rotorice se leagă în scurtcircuit, astfel cum se arată în figura 14—13, *a* pentru cazul legării în triunghi și în figura 14—13, *b* pentru cazul legării în stea.

Deoarece, după cum s-a arătat, liniile de forță ale cimpului magnetic învîrtitor taie conductoarele rotorice, se produc în fazele rotorice, prin fenomenul de inducție electromagnetică, trei forțe electromotoare de inducție trifazate, care dau naștere, la rîndul lor, la trei curenți rotorici trifazați. Acești curenți, găsindu-se într-un cîmp magnetic, vor fi supuși unor forțe electromagnetice. Conform legii lui Lenz, efectul trebuie să se opună cauzei. Cauza apariției curenților rotorici și a forțelor electromagnetice o constituie faptul că există o viteză relativă între cîmpul magnetic învîrtitor și conductoarele rotorice. În consecință, efectul, adică curenții rotorici și forțele electromagnetice, ce se exercită asupra lor, vor fi astfel, încît să caute să micșoreze viteza relativă menționată. Aceasta înseamnă că forțele electromagnetice vor constitui un cuplu electromagnetic de rotație, care va *antrena rotorul în același sens cu sensul derotației al cîmpului magnetic învîrtitor*.

## 5. Alunecarea motorului asincron

Rotorul nu va putea, în rotația sa, să atingă viteza unghiulară  $\omega/p$  a cîmpului magnetic învîrtitor. Într-adevăr, dacă s-ar produce aceasta, cîmpul magnetic învîrtitor ar avea o poziție neschimbată față de conductoarele rotorice și, în consecință, nu vor mai putea exista curenți induși în rotor, deci nici forțe electromagnetice care să antreneze rotorul, iar acesta își va micșora viteza față de aceea a cîmpului magnetic învîrtitor.

Deoarece rotorul nu se poate învîrți cu aceeași viteză ca și viteza cîmpului magnetic învîrtitor, adică nu se poate învîrți în *sincronism* (în același timp) cu cîmpul magnetic, motorul se numește *asincron* (adică: *nu în același timp*).

Motorul se mai numește și *de inducție*, deoarece funcționarea sa se bazează pe un fenomen de inducție. Există o oarecare

asemănare între funcționarea motorului asincron și aceea a transformatorului. Statorul motorului este analog cu primarul transformatorului, iar rotorul, cu secundarul transformatorului.

Dacă în figura 14—13,  $a$  nu s-ar fi făcut legăturile de scurtcircuitare ale rotorului 1 ... 0, 2 ... 0 și 3' ... 0, cele trei forțe electromotoare din circuitul 1 ... 2 ... 3 ... 1 ar da o forță electromotoare rezultantă nulă, deoarece suma a trei forțe electromotoare trifazate simetrice este nulă; din această cauză n-ar putea exista curenți în bobinajul rotoric și în consecință rotorul nu s-ar învîrți.

În ce privește figura 14—13,  $b$ , este evident că fără legăturile de scurtcircuitare 1 ... 2 ... 3 ... 1, n-ar putea circula curenți în rotor, deoarece n-ar exista circuite închise.

Se notează cu  $\Omega$  viteza unghiulară a cîmpului magnetic învîrtitor (care se numește și viteză de sincronism) și cu  $\Omega'$ , viteza unghiulară a rotorului, mai mică decît  $\Omega$ .

Expresia:

$$\frac{\Omega - \Omega'}{\Omega} = a \quad (14.1)$$

se numește *alunecare*, deoarece arată cu cît se învîrtește mai repede cîmpul magnetic decît rotorul.

Vitezele unghiulare sînt proporționale cu vitezele măsurate în rot/min. Dacă se notează cu  $n_0$  numărul de rot/min ale cîmpului magnetic învîrtitor al statorului și cu  $n$  numărul de rotații pe minut ale rotorului, alunecarea va fi egală și cu:

$$a = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (14.2)$$

De multe ori, alunecarea se dă în procente față de  $\Omega$  sau  $n_0$ . Valoarea în procente a alunecării este dată de:

$$a\% = \frac{n_0 - n}{n_0} 100.$$

Cu cît alunecarea unui motor asincron este mai mare, cu atît pierderile prin efectul Lenz-Joule în rotor sînt mai importante și deci randamentul motorului mai scăzut. Din această cauză, motoarele asincrone industriale se realizează cu o alunecare cît mai mică, și anume de cîteva procente din viteza de sincronism (max. 6%).

Numărul de rotații pe minut ale cîmpului magnetic învîrtitor, fiind  $n_0$ , se poate scrie:

$$2\pi n_0 \text{ rad/min.} = \frac{2\pi n_0}{60} \text{ rad/s.}$$

În consecință:

$$\frac{2\pi n_o}{60} = \frac{\omega}{p},$$

adică:

$$n_o = \frac{60 \omega}{2 \pi p} = \frac{60 \cdot 2\pi f}{2 \pi p} = \frac{60 f}{p}.$$

Dacă, de exemplu, motorul are 4 poli ( $p = 2$ ), iar frecvența rețelei de alimentare este 50 Hz, atunci:

$$n_o = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1\,500 \text{ rot/min},$$

adică viteza de rotație a cimpului magnetic învîrtitor este de 1 500 rot/min. Alunecarea este de cîteva procente din această cifră, după cum s-a precizat. Dacă se presupune, de exemplu, o alunecare de 4% adică:

$$\frac{4 \cdot 1\,500}{100} = 60 \text{ rot/min},$$

aceasta înseamnă că rotorul se va învîrți cu o viteză:

$$n = 1\,500 - 60 = 1\,440 \text{ rot/min}.$$

## 6. Cuplul motorului asincron

După cum s-a arătat, rotorul motorului se învîrtește din cauza forțelor electromagnetice care se exercită asupra curenților rotorici. Aceste forțe electromagnetice constituie un *cuplu electromagnetic* de rotație, sau *cuplul motor* al mașinii. Felul cum variază acest cuplu  $C$  în funcție de viteza rotorului constituie caracteristica mecanică a motorului. În figura 14—14 este reprezentată această caracteristică. Se vede că în momentul pornirii ( $\Omega' = 0$ ), cuplul de pornire are o anumită valoare  $C_p$ ; apoi cuplul crește și atinge o valoare maximă  $C_m$ , după care scade brusc pînă la zero. În momentul cînd, teoretic, cuplul atinge această valoare nulă, viteza  $\Omega'$  a rotorului atinge, tot *teoretic*, viteza de sincronism  $\Omega$ , ceea ce s-a arătat însă că nu se întîmplă în realitate.

Pentru ca motorul asincron să poată porni în sarcină, este necesar să dezvolte un cuplu de pornire puternic. În acest scop, la motorul numit *cu inele de contact* (care se va descrie mai departe) în momentul pornirii se intercalează în fiecare fază rotorică câte o rezistență, care se scoate treptat din circuit, pe măsură ce viteza rotorului se apropie de viteza de regim. Efectul introducerii unor rezistențe în bobinajul rotoric se poate explica cu ajutorul figurii 14—15. Curba 1 este trasată pentru cazul când nu s-au introdus rezistențe. Pe măsură ce rezistențele introduse sînt mai mari, curba se înclină către stînga (curbele 2, 3...) după cum se vede pe figură. Din această cauză, cuplul de pornire, care la început era  $C_{p1}$ , crește la valori din ce în ce mai mari,  $C_{p2}$ ,  $C_{p3}$  cuplul maxim  $C_m$  rămînd însă neschimbat ca valoare.

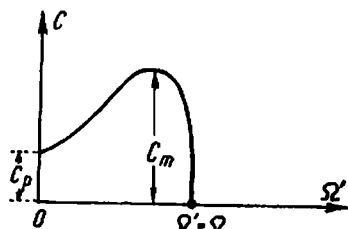


Fig. 14-14. Caracteristica mecanică a motorului asincron.

La pornire, motorul asincron absoarbe un curent cu mult mai mare decît în regim normal. Curentul de pornire poate atinge valori pînă la de circa 7 ori curentul nominal de plină sarcină. Efectul introducerii rezistențelor în bobinajul rotoric este și acela de a reduce curentul de pornire.

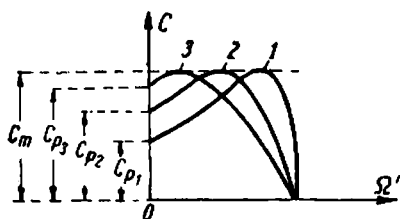


Fig. 14-15. Efectul introducerii de rezistențe în rotor.

În figura 14—15, curba caracteristicii mecanice are la început o porțiune urcătoare și apoi una coboritoare. Porțiunea urcătoare corespunde unei funcționări *nestabile*. Pe această porțiune, la o scădere a vitezei din cauza unei creș-

teri bruste a sarcinii (adică a cuplului rezistent), se produce o scădere a cuplului motor  $C$ , ceea ce duce la o scădere și mai mare a vitezei, astfel încît rezultatul final este oprirea motorului. La o creștere a vitezei din cauza unei scăderi bruste a cuplului rezistent, corespunde o creștere a cuplului motor  $C$ , ceea ce duce la o creștere și mai mare a vitezei, astfel încît rezultatul este deplasarea punctului de funcționare pînă cînd ajunge pe porțiunea coboritoare din dreapta.

Porțiunea aceasta coboritoare corespunde unei funcționări stabile. Într-adevăr, la o scădere a vitezei din cauza creșterii cuplului rezistent se produce o creștere a cuplului motor  $C$  pînă ce acesta echilibrează noul cuplu rezistent, iar funcționarea se stabilizează. Unei creșteri a vitezei din cauza scăderii cuplului rezistent, îi corespunde o scădere și a cuplului motor, astfel încît și de data aceasta funcționarea se stabilizează.

Deoarece partea din curbă care corespunde funcționării stabile este aproape verticală, adică viteza este aproximativ aceeași, rezultă că motorul asincron este un motor cu viteză practic constantă la diversele sarcini.

## 7. Construcția motorului asincron

Statorul are în exterior o carcasă care poate fi din fontă, aluminiu, sau tablă de oțel sudat sau ștanțat. În interiorul carcasei este fixat pachetul statoric, confecționat din tole de oțel cu siliciu, subțiri. În acest pachet sînt tăiate creștături, care formează o serie de șanțuri paralele cu axul motorului și în care se introduc conductoarele care constituie bobinajul statoric.

Rotorul este cilindric, fiind constituit dintr-un pachet tot din tole subțiri. Pe suprafața cilindrică sînt prevăzute creștăturile în care se introduc conductoarele bobinajului.

Rezistențele care servesc la mărirea cuplului de pornire și la limitarea curentului de pornire formează *reostatul de pornire al motorului*. Deoarece

acest reostat este un aparat fix așezat în apropierea motorului, iar rotorul este o piesă mobilă, legătura electrică dintre fazele rotorice și reostat se face prin intermediul unor inele din alamă, bronz, oțel etc. solidare cu arborele motorului, izolate între ele și izolate față de arbore. Pe aceste inele de contact freacă perii, făcute

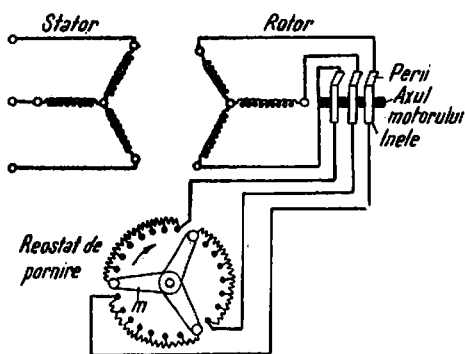


Fig. 14-16. Legarea reostatului de pornire.



din cărbune tare, grafit, bronz grafitat etc. În figura 14—16 sînt reprezentate legăturile care se fac între bobinajele rotorice și reostatul de pornire, prin intermediul celor 3 inele metalice fixate pe capătul arborelui motorului. Pe măsură ce motorul intră în viteză, maneta *m* a reostatului este rotită în sensul săgeții, astfel încît la sfîrșitul perioadei de pornire, toate rezistențele să se găsească scoase din circuitele fazelor rotorice, acestea rămînînd legate în scurtcircuit.

Spre a se evita uzura prin frecare a periilor și a inelelor de contact, la motoarele mai mari există dispozitive, prin intermediul cărora, periile sînt ridicate de pe inele la sfîrșitul perioadei de pornire, scurtcircuitînd totodată fazele rotorului.

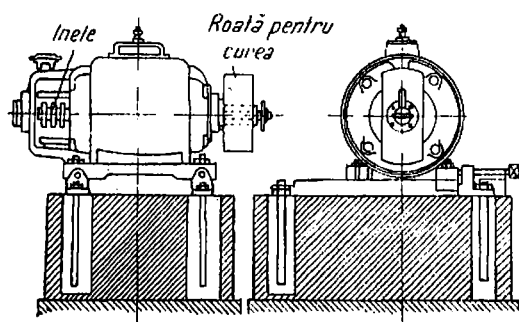


Fig. 14-17. Motor asincron cu rotor bobinat și inele.

În figura 14—17 este reprezentat un motor asincron trifazat cu rotor bobinat și cu inele.

Există și reostate de pornire automate; la acestea, scoaterea

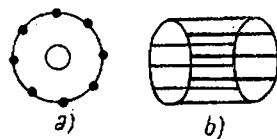


Fig. 14-18. Rotor în colivie.

rezistențelor din bobinajele rotorice se face fie prin intermediul unui dispozitiv a cărui funcționare este bazată pe acțiunea forței centrifuge, fie prin alte metode.

La motoarele de putere mai mică, rotorul nu mai are bobinaje din conductoare, ci este constituit într-un mod special numit *în colivie de veveriță*, sau, pe scurt, *în colivie* (numit de asemenea și *în scurtcircuit*). La acest tip de motor, în creștăturile rotorului se introduc bare de cupru, care formează scheletul unui cilindru. Barele sînt scurtcircuitate la cele două capete prin inele tot de cupru, formînd un fel de colivie, după cum se poate vedea în figura 14—18. Colivia de cupru poate fi înlocuită cu o colivie de aluminiu care este mai ieftină. Aceste colivii, alcătuite din o serie de conductoare legate în scurtcircuit, explică

motivul pentru care motoarele asincrone în colivie se numesc și cu rotorul în scurtcircuit.

La asemenea motoare, cuplul de pornire este mai mic decât la acelea cu reostat, iar curentul de pornire are o valoare mai mare. Pentru a limita acest curent, la motoarele mai mari se utilizează diferite dispozitive, care reduc tensiunea aplicată statorului în perioada pornirii

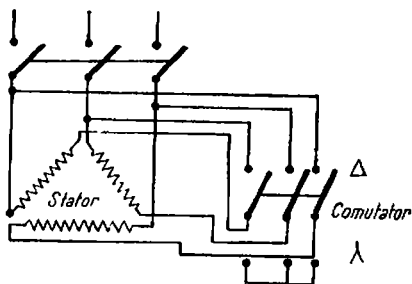


Fig. 14-19. Comutator stea-triunghi.

și astfel se diminuează curentul, dar și cuplul de pornire. Figura 14-19 reprezintă schema statorului unui motor asincron trifazat cu rotorul în colivie și cu statorul legat normal în triunghi. Reducerea tensiunii în momentul inițial al pornirii se obține prin legarea fazelor statorice în stea și apoi — către sfârșitul perioadei de pornire — prin legarea lor în triunghi. Schimbarea legăturilor se obține cu ajutorul unui *comutator stea-triunghi*, după cum se vede în figura 14-19. În felul acesta, dacă la sfârșitul pornirii (legare în triunghi) tensiunea pe fază statorică este  $U$ , la începutul pornirii (legare în stea) tensiunea are valoarea redusă  $U/\sqrt{3}$ .

Tendința de a realiza motoare simple cu cuplu de pornire puternic și curent de pornire limitat a dus la construirea motoarelor cu dublă colivie. Rotorul este prevăzut cu două colivii concentrice. Colivia exterioară are o rezistență electrică mare și o inductanță proprie mică, iar aceea interioară are o inductanță proprie mult mai mare decât colivia exterioară și o rezistență mică.

În orice moment, cuplul este rezultatul cuplurilor datorite fiecărei colivii. Frecvența curenților din rotor are valoarea cea mai mare (aproape egală cu frecvența rețelei de alimentare) în prima perioadă a pornirii. Curenții care trec prin colivia interioară în această perioadă a pornirii sunt mici, din cauza reactanței inductive  $L\omega$  a coliviei, care este mare, deoarece atât inductanța sa proprie  $L$ , cât și pulsația curentului sunt mari. Cea mai mare parte a curentului trece în acest interval de timp prin colivia exterioară, care, având o rezistență mare, face să se obțină un cuplu de pornire puternic și un curent de pornire redus. Pe măsură ce motorul capătă viteză, frecvența curenților din rotor

începe să scadă, ceea ce micșorează din ce în ce reactanța coliviei interioare. Din această cauză, cea mai mare parte a curenților rotorici încep să treacă prin colivia interioară, părăsind colivia exterioară care are o rezistență mare.

Figura 14-20 arată cum variază în funcție de viteza rotorică  $\Omega'$  cuplul motor  $C_e$ , datorit coliviei exterioare, și cuplul motor  $C_i$ , datorit coliviei interioare. Cuplul motor total,  $C$ , este puternic la pornire și variază destul de puțin pînă la atingerea valorii cuplului maxim. Comportarea motorului cu rotorul în dublă colivie este asemănătoare cu a motorului cu rotorul bobinat cu inele și reostat de pornire, prezentînd aceleași avantaje.

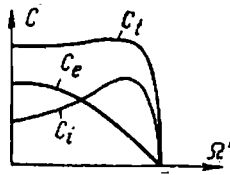


Fig. 14-20. Cuplul motorului asincron în dublă colivie.

## 8. Pornirea, schimbarea sensului de mers și reglajul turației la motoarele asincrone trifazate

S-a arătat la diferitele tipuri de motoare asincrone trifazate felul cum se realizează pornirea, și anume: la motoarele cu inele de contact, cu ajutorul reostatului de pornire, la motoarele în colivie, mai mici, direct prin aplicarea tensiunii la borne, iar la cele mai mari, prin intermediul unui comutator stea-triunghi.

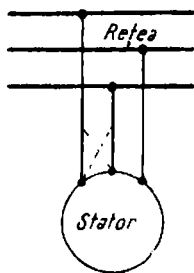


Fig. 14-21. Schimbarea sensului de mers.

Pentru a se schimba sensul de rotație a motorului asincron, trebuie să se schimbe sensul de rotație al cîmpului magnetic învîrtitor. Aceasta se obține prin schimbarea între ele a două legături de la conductoarele de alimentare la bornele statorice. În figura 14-21, legăturile arătate în trăsături pline corespund unui sens de rotație, iar în trăsături punctate, sensului contrar de rotație.

Se poate obține un reglaj al vitezei motoarelor asincrone trifazate prin intercalarea unei rezistențe variabile în fazele rotorice la motoarele cu rotor bobinat. Acest reglaj este neeconomic însă din cauza pierderilor Lenz-Joule în rezistențe și se folosește numai pentru reglarea turației în limite restrinse. Un reglaj economic se poate obține prin modificarea numărului de poli. S-a văzut că turația cîmpului magnetic învîrtitor este invers

proporțională cu numărul perechilor de poli. În consecință, printr-o schimbare a numărului de poli se schimbă turația de sincronism, deci și turația rotorului. Schimbarea numărului de poli necesită însă un întreruptor special și are drept consecință complicații de ordin constructiv. S-a văzut de asemenea că turația de sincronism este proporțională cu frecvența rețelei de alimentare. În consecință, dacă curentul de alimentare al motorului ar trece în prealabil printr-un *convertizor de frecvență* (dispozitiv care poate schimba frecvența), s-ar putea obține de asemenea un reglaj al turației, dar acest procedeu este costisitor și complicat.

## 9. Utilizarea motoarelor asincrone trifazate

Aceste motoare se întâlnesc cel mai des în practică, dat fiind că sînt robuste, simple și ieftine (în special cele în scurtcircuit) și au un cuplu de pornire destul de mare (în special cele cu rotor bobinat și inele, precum și cele în dublă colivie). Ele se utilizează în general în cazurile unde nu este nevoie de un reglaj al turației, dat fiind că turația acestor motoare este practic constantă. Aceste motoare se întâlnesc în special la acționarea mașinilor-unelte, ascensoarelor, ventilatoarelor, pompelor, compresoarelor și a altor utilaje industriale. Inventarea motoarelor asincrone se datorește inginerului rus Dolivo-Dobrovolski.

În R.P.R. se fabrică toate tipurile de motoare asincrone. În figura 14—22 se arată, de exemplu, un asemenea motor tip A de 28 kW, 1 450 rot/min, în scurtcircuit.

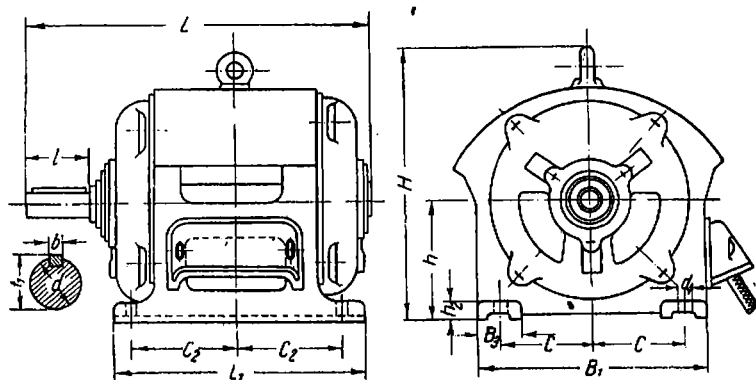


Fig. 14—22. Motor asincron trifazat tip A în scurtcircuit,  
28 kW 1 450 rot/min, fabricație R.P.R.

$B_1 = 455$ ;  $B_2 = 85$ ;  $b = 16$ ;  $C = 185$ ;  $C_2 = 200$ ;  $d = 55$ ;  $d_1 = 24$ ;  $H = 538$ ;  
 $h = 236$ ;  $h_2 = 40$ ;  $L = 665$ ;  $L_1 = 480$ ;  $l = 110$ ;  $l_1 = 60$ .

## 10. Motorul asincron monofazat

Acest motor are rotorul în colivie sau bobinat, iar statorul are un singur bobinaj, legat prin cele două capete la o rețea monofazată de alimentare. În statorul acestui motor nu se mai poate produce un câmp magnetic învîrtitor, ci unul fix în spațiu. După cum se știe, un asemenea câmp magnetic alternativ se poate descompune în două cîmpuri magnetice învîrtitoare egale, care se rotesc în sensuri contrare. Dacă motorul are  $p$  perechi de poli, viteza unghiulară de rotație a celor două cîmpuri este  $\omega/p$ , în care  $\omega$  este pulsația rețelei de alimentare.

Fiecare cîmp magnetic învîrtitor dă naștere la câte un cuplu motor. În figura 14—23, curba 1 reprezintă variația cuplului motor în funcție de viteză, corespunzător unui cîmp magnetic învîrtitor, iar curba 2, variația cuplului corespunzător cîmpului magnetic învîrtitor, care se rotește în sens invers. Cuplurile curbei 2 trebuie socotite de sens contrar cuplurilor care corespund curbei 1. La pornire, cînd turația rotorică este nulă, cele două cupluri fiind egale și de sens contrar, rotorul va rămîne nemișcat. În consecință, *motorul asincron monofazat nu poate porni singur.*

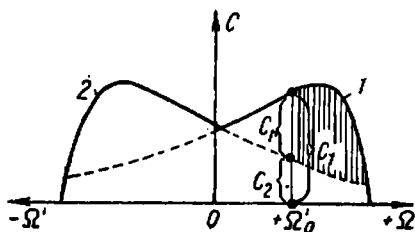


Fig. 14—23. Cuplul motorului asincron monofazat.

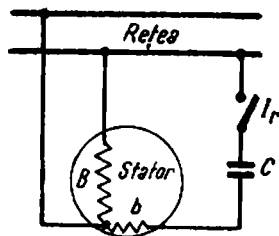


Fig. 14—24. Motor asincron monofazat cu bobinaj auxiliar.

Dacă printr-un mijloc oarecare i se imprimă rotorului o viteză unghiulară oarecare  $+\Omega'$ , se vede în figura 14—23 că, la această viteză, corespunde un cuplu motor  $C_1$  (curba 1) mai mare și de un sens, precum și un cuplu motor  $C_2$  (curba 2) mai mic și de sens contrar. Rotorul va continua deci singur să se rotească mai departe, sub influența cuplului rezultat:

$$C_r = C_1 - C_2.$$

La motoarele mici, impulsul de pornire se poate da chiar cu mâna. La motoarele mai mari, se utilizează însă dispozitive speciale. În statorul motorului se prevede un bobinaj auxiliar, care este astfel așezat în spațiu față de bobinajul normal, încît dacă aceste două bobinaje sînt parcurse de doi curenți bifazați, să se producă un cîmp magnetic învîrtitor, ca și la motorul asincron trifazat. În figura 14—24, statorul motorului conține bobinajul principal  $B$  și bobinajul auxiliar  $b$ , menționate mai înainte. În serie cu bobinajul  $b$  se găsește condensatorul  $C$  (sau o inductanță  $L$ ). La pornire, se închide întreruptorul  $I_r$ . Deoarece în bobinajul  $b$  se găsește un condensator, curentul din acest bobinaj se găsește decalat cu un unghi de aproximativ  $\pi/2$  înaintea curentului din bobinajul  $B$ . Dacă în bobinajul auxiliar  $b$ , în locul condensatorului  $C$  ar fi fost o inductanță  $L$ , curentul din bobinajul  $b$  ar fi fost decalat cu un unghi de aproximativ  $\pi/2$  în urma curentului din bobinajul  $B$ . În ambele cazuri, cei doi curenți din bobinajele  $B$  și  $b$  constituie un sistem asemănător cu doi curenți bifazați, astfel că se produce în stator un cîmp magnetic învîrtitor, cu un anumit sens de rotație, iar motorul pornește singur ca și un motor asincron trifazat. La sfîrșitul perioadei de pornire, se deschide întreruptorul  $I_r$ , iar motorul funcționează în continuare ca motor monofazat.

Motoarele asincrone monofazate se întrebunțează destul de rar, deoarece au un randament mai scăzut decît motoarele asincrone trifazate și afară de aceasta, la putere egală, sînt mai costisitoare și au cuplul de pornire (cu bobinaj auxiliar) mai mic decît la motorul asincron trifazat. De obicei se întrebunțează pentru puteri mici sau acolo unde nu există decît rețea monofazată.

## 11. Generatorul asincron

În figura 14—25 s-a desenat în trăsături punctate caracteristica mecanică a unui motor asincron trifazat. În regiunea de funcționare stabilă, pe măsură ce sarcina motorului (cuplul rezistent) scade, cuplul motor scade și el, iar viteza  $\Omega'$  a rotorului se apropie din ce în ce mai mult de turația de sincronism:

$$\Omega = \frac{\omega}{p}. \quad (14.3)$$

Se poate presupune că, la un moment dat, turația rotorului a atins turația de sincronism, iar cuplul motor s-a anulat complet.

Dacă în această situație se aplică *din afară* un cuplu motor asupra mașinii (de exemplu, prin intermediul unui motor cu ardere internă), atunci turația rotorului depășește turația de sincronism, iar mașina din motor se transformă în *generator* de curent, cuplul electromagnetic al mașinii devenind din cuplu motor, *cuplu rezistent*; curba de variație a cuplului este în continuarea curbei în trăsături pline din figura 14—25, dar sub axa absciselor, după cum rezultă din figură. Mașina asincronă a devenit, din motor asincron, *generator asincron*.

Generatorul asincron este foarte simplu din punct de vedere constructiv și poate fi adaptat ușor la comandă automată. Prezintă însă două dezavantaje importante:

- rețeaua pe care debitează curent trebuie să fie alimentată și de alte generatoare;
- înrăutățește factorul de putere al rețelei.

Pentru motivele arătate, generatorul de curent alternativ care se întâlnește normal în centralele electrice nu este generatorul asincron, ci generatorul *sincron* sau *alternatorul*, care va fi studiat în capitolul următor.

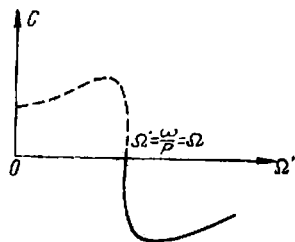


Fig. 14—25. Caracteristica generatorului asincron.

# Mașini sincrone

## 1. Principiul de funcționare, a generatorului sincron

Generatorul sincron sau alternatorul este o mașină electrică, care servește la producerea curentului alternativ. El este constituit dintr-o parte fixă, numită stator și o parte mobilă, numită rotor. Statorul generatorului sincron este realizat la fel ca și statorul motorului asincron. În figura 15—1 s-a reprezentat schematic construcția unui generator sincron. Pe suprafața interioară a statorului *S* se găsesc creștăturile în care se așază conductoarele. În golul cilindric al statorului se găsește rotorul *R*, numit și *roată polară*. Rotorul este format dintr-o serie de poli magnetici *p*, care creează câmpul magnetic al mașinii.

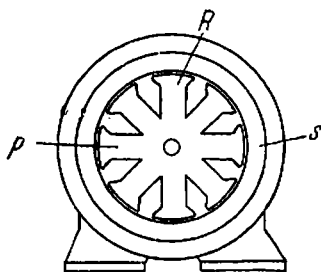


Fig. 15—1. Schema constructivă simplificată a generatorului sincron.

Rotorul generatorului trebuie să fie învîrtit cu ajutorul unui motor primar oarecare (motor Diesel, motor cu explozie, turbină cu apă, turbină cu abur etc.) cuplat direct sau prin curea.

Cele mai frecvente sînt generatoarele trifazate, care au statorul trifazat. Cele trei bobinaje ale statorului se pot lega fie în triunghi, fie în stea, ca și la motorul asincron trifazat.

Polii rotorici sînt astfel realizați, încît după un pol nord urmează un pol sud, iar după un pol sud urmează un pol nord. Ei creează în întrefierul

dintre stator și rotor un câmp magnetic. Dacă rotorul este învîrtit cu o anumită viteză, se va produce un câmp magnetic învîrtitor, ale cărui linii de forță „taie” conductoarele bobinajului statoric.



Cele trei bobinaje statorice se comportă asemănător cu cele trei spire din figura 8—1 care se învîrtesc într-un cîmp magnetic fix, astfel încît în spire apar trei forțe electromotoare trifazate. La generator situația este inversată: spirele sînt fixe, iar cîmpul magnetic se învîrtește. Rezultatul este însă același, adică în cele trei bobinaje se produc prin inducție trei forțe electromotoare trifazate.

Dacă roata polară are  $2p$  poli și este rotită cu o turație de  $n$ , rot/s, înseamnă că prin fața unei spire statorice vor trece într-o secundă  $p \cdot n$ , perechi de poli. Trecerea unei singure perechi de poli prin fața unei spire statorice induce în această spirală o forță electromotoare alternativă. Trecerea a  $pn$ , perechi de poli, într-o secundă, în fața spirei, face ca forța electromotoare indusă în spirală să aibă o frecvență de  $pn$ , perioade pe secundă (sau Hz). În consecință, frecvența forței electromotoare dintr-o spirală a statorului și deci din bobinajele statorice este:

$$f = p n, = \frac{p n}{60}, \quad (15.1)$$

unde prin  $n$  s-a notat numărul de rotații pe minut. Relația aceasta arată legătura dintre numărul de perechi de poli, turația rotorului și frecvența produsă de alternator.

În figura 15—2 se arată felul cum se leagă electric între ele și la rețea cele trei bobinaje statorice ale unui generator trifazat. Figura 15—2, *a* reprezintă legarea în stea, iar figura 15—2, *b*, legarea în triunghi. În cazul legării în stea, rețeaua care pleacă de la generator poate fi cu conductor neutru (trasat punctat în figură) sau fără conductor neutru. Dacă generatorul produce curent electric în circuitul de utilizare, în fazele statorice iau naștere trei curenți trifazați cu o pulsație  $\omega$  dată de:

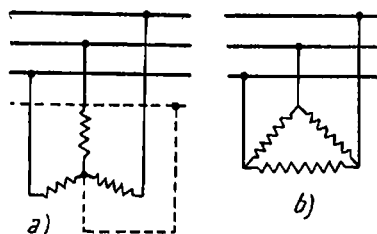


Fig. 15—2. Legarea la rețea a generatorului trifazat:

*a* — legarea în stea; *b* — legarea în triunghi.

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{p n}{60} = 2\pi p n, \quad (15.2)$$

Ca și în statorul motorului asincron trifazat, cei trei curenți trifazați produc trei cîmpuri magnetice trifazate, care dau naștere

la un câmp magnetic învîrtitor, care se rotește cu viteza unghiulară  $\omega/p$ . Dar:

$$\frac{\omega}{p} = \frac{2\pi p n_s}{p} = 2\pi n_s. \quad (15.3)$$

Expresia  $2\pi n_s$ , reprezintă, în rad/s, viteza unghiulară a rotorului și a câmpului învîrtitor rotoric. Rezultă că atât câmpul învîrtitor statoric, cit și câmpul învîrtitor rotoric se învîrtesc cu aceeași turație, care este și turația rotorului. Deoarece rotorul generatorului se învîrtește cu aceeași turație (în același timp) ca și câmpul magnetic învîrtitor, această mașină este numită *sincronă*.

Pentru a avea un câmp magnetic puternic, generatorul are rotorul format din *electromagneți*, iar nu din magneți permanenți. Curentul folosit pentru alimentarea bobinajelor polilor este curentul *continuu* și se numește *curent de excitație*. De obicei, curentul de excitație este produs de o mașină de curent continuu (mașinile de curent continuu vor fi studiate în capitolul următor), așezată pe același ax cu alternatorul, numită *excitatoare*. În acest caz, generatorul se numește cu *excitație proprie*.

Există și generatoare sincrone cu excitație proprie, la care curentul de excitație se obține prin transformarea unei părți din curentul alternativ produs de generator, în curent continuu, cu ajutorul unui *redresor* (aparatură care se va studia la capitolul XVIII).

Dacă excitația se ia de la o sursă separată, generatorul se numește cu *excitație separată*.

În capitolul VII, paragraful 1 s-a arătat că în cazul cînd o spiră se învîrtește într-un câmp magnetic, valoarea maximă a forței electromotoare indusă în spiră este:

$$E_m = \omega \Phi_m$$

în care:

$\omega$  este pulsația forței electromotoare din spiră;

$\Phi_m$  — fluxul magnetic maxim, care străbate spira.

Valoarea eficace a acestei forțe electromotoare este:

$$E = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Phi_m.$$

Formula poate fi utilizată și la determinarea valorii eficace a forței electromotoare care ia naștere în fiecare fază statorică a generatorului. Trebuie însă să se țină seama că la generator o fază statorică are un număr  $s$  de spire, astfel încît forța electro-

motoare din bobinajul unei faze este de  $s$  ori mai mare decât aceea dintr-o singură spirală. De asemenea, în cazul generatorului, în locul fluxului magnetic  $\Phi_m$ , trebuie să se considere fluxul  $\Phi$  care corespunde unui pol rotor. În felul acesta, formula pentru generator devine:

$$E = s \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Phi.$$

S-a arătat că pulsația, în cazul generatorului, este:

$$\omega = \frac{2\pi p n}{60},$$

astfel încît:

$$E = s \cdot \frac{2\pi p n}{\sqrt{2} \cdot 60} \Phi.$$

Din figura 14—11, care reprezintă bobinajele statorice ale unui motor asincron trifazat, identice cu bobinajele statorice ale unui generator trifazat, se vede că fiecare spirală este constituită din cîte două conductoare *active* (care sînt tăiate de liniile de forță) legate între ele, fie în față, fie în spate. Dacă se notează cu  $N$  numărul de conductoare active ale unei faze, rezultă:

$$E = \frac{N \cdot 2\pi p n}{2 \sqrt{2} \cdot 60} \Phi = \frac{\pi p}{\sqrt{2} \cdot 60} N n \Phi$$

și dacă se notează:

$$\frac{\pi p}{\sqrt{2} \cdot 60} = k$$

se obține:

$$E = k N n \Phi, \quad (15.4)$$

adică: *valoarea eficace a forței electromotoare, care se produce în fiecare fază statorică, este proporțională cu numărul de conductoare ale fazei, cu viteza rotorului și cu fluxul magnetic al unui pol rotor.*

Rotorul generatorului este totdeauna învîrtit de către motorul primar cu o viteză constantă, pentru ca și frecvența curentului produs să rămînă constantă. De asemenea, numărul de poli și numărul de conductoare rămîne constant. Singura mărime din expresia forței electromotoare  $E$  care poate fi variată este valoarea fluxului magnetic  $\Phi$ . Într-adevăr, acest flux magnetic depinde de valoarea curentului de excitație. În consecință, printr-o variație a curentului de excitație, se poate varia fluxul  $\Phi$ , și deci se poate

obține un reglaj al forței electromotoare  $E$  produsă de fiecare fază statorică.

În timpul funcționării generatorului, curentul produs trebuie să aibă valori diferite, în funcție de numărul și de puterea consumatorilor. Când curentul crește, în bobinajele statorice se produce o cădere de tensiune mai mare, ceea ce face ca tensiunea la bornele generatorului să scadă. Pentru a menține constantă această tensiune, trebuie să se mărească forța electromotoare  $E$ . În acest scop se mărește fluxul magnetic  $\Phi$  prin mărirea curentului de excitație. Când curentul absorbit scade, se micșorează curentul de excitație, pentru ca tensiunea la bornele generatorului să nu ajungă la valori prea mari. Variația curentului de excitație se obține prin manevrarea unui *reostat de excitație*, introdus în circuitul curentului de excitație.

S-a arătat că pentru a produce energie electrică, generatorul trebuie să fie acționat de un motor, care învîrtește rotorul. Acest motor dă generatorului o anumită energie mecanică, pe care generatorul o transformă în energie electrică.

Energia mecanică este dată generatorului prin intermediul unui *cuplu motor* mecanic de către motorul de antrenare. Curenții care se produc în statorul generatorului se găsesc într-un câmp magnetic și în consecință asupra curenților se exercită forțe electromagnetice. Conform legii lui Lenz, efectul tinde să se opună cauzei, adică aceste forțe electromagnetice constituie un *cuplu electromagnetic rezistent*, care este de sens contrar cuplului motor. Dacă se neglijează pierderile din generator, cuplul electromagnetic rezistent este egal cu cuplul mecanic motor.

În cazul când statorul generatorului are un singur bobinaj, generatorul se numește *monofazat*. În stator se produce prin inducție o singură forță electromotoare monofazată, iar curentul alternativ alimentează o rețea monofazată constituită din două conductoare.

Generatoarele monofazate se întâlnesc rar în practică, deoarece, la putere egală, un generator monofazat este mai costisitor decât un generator trifazat și are un randament mai scăzut.

## 2. Motorul sincron

Generatorul sincron este o mașină reversibilă, adică poate primi de la o rețea energie electrică, pe care o transformă în energie mecanică la arborele său. În acest caz, statorul se leagă la o rețea electrică. Ca și la motorul asincron trifazat, în interiorul genera-

torului ia naștere un câmp magnetic învîrtitor, care se rotește cu viteza unghiulară  $\omega/p$ ,  $\omega$  fiind pulsația rețelei de alimentare, iar  $p$  numărul de perechi de poli ai câmpului. Câmpul magnetic învîrtitor se comportă ca și o serie de poli magnetici nord și sud situați succesiv în întrefierul mașinii și antrenează cu aceeași viteză  $\omega/p$  și polii magnetici ai rotorului, astfel încît rotorul începe să se învîrtească. Deoarece rotorul se învîrtește cu aceeași viteză de rotație ca și câmpul magnetic învîrtitor, motorul acesta se numește *sincron*. Trebuie observat că ploii câmpului magnetic învîrtitor nu pot antrena polii magnetici de nume contrar ai rotorului, decît dacă distanța dintre ploii câmpului învîrtitor și polii rotorici rămîne aceeași. Numai în acest caz se exercită un cuplu de rotație constant ca valoare și ca sens. La început însă, rotorul motorului sincron este nemișcat, iar câmpul magnetic învîrtitor al statorului se rotește. Polii nord, de exemplu, ai câmpului învîrtitor se găsesc cînd înaintea, cînd îndărătul polilor sud rotorici. Din această cauză se vor exercita forțe de atracție asupra polilor rotorici, cînd într-un sens cînd în sensul contrar, astfel încît rotorul va rămîne nemișcat. Rezultă că motorul sincron nu poate porni singur.

Este necesar ca la început rotorul să fie adus printr-un mijloc oarecare la o viteză egală cu viteza unghiulară  $\omega/p$  de rotație a câmpului magnetic învîrtitor. Se spune că trebuie să se aducă rotorul motorului la *sincronism*. Cînd rotorul este adus la sincronism, polii săi se găsesc la distanță invariabilă față de polii câmpului magnetic învîrtitor, iar forțele de atracție asupra polilor rotorici rămîn constante și de același sens, astfel încît rotorul continuă să se rotească singur mai departe și mașina funcționează ca motor sincron. În acest caz, cuplul motor este cuplul electromagnetic care se exercită între câmpul magnetic învîrtitor și polii rotorici, iar cuplul rezistent este cuplul la arbore datorit, de exemplu, unei pompe care trebuie acționată de motorul sincron. De data aceasta, cuplul rezistent este un cuplu mecanic.

Aducerea motorului sincron la sincronism, în perioada de pornire, se poate face cu un motor auxiliar. Un alt mijloc constă în a porni motorul sincron ca motor asincron, ceea ce se numește *pornire în asincron*. Pentru aceasta se leagă în scurtcircuit bobinajul de excitație de pe rotor și mașina se comportă ca un motor asincron în scurtcircuit, putînd deci porni singură, însă cu un cuplu redus. Cînd viteza de rotație a rotorului s-a apropiat cît mai mult de viteza de sincronism, se lasă să treacă curentul de excitație (curent continuu) în bobinajul polilor rotorici și motorul „prinde” ca motor sincron, putînd da un cuplu motor normal.

### 3. Utilizarea mașinilor sincrone

Generatorul sincron este mașina care se întâlnește în mod obișnuit în centralele electrice de curent alternativ. În mod normal, se utilizează generatoare trifazate cu o frecvență de 50 Hz. În cazuri speciale, de exemplu pentru tracțiunea electrică cu curent monofazat de frecvență  $16\frac{2}{3}$  Hz, se folosesc generatoare monofazate cu frecvență  $16\frac{2}{3}$  Hz.

Din cauza dificultăților de pornire semnalate în paragraful precedent și din cauza faptului că nu suportă suprasarcini importante (ca motorul asincron), motorul sincron este mai puțin utilizat în practică ca motor propriu-zis. Se folosește însă ca motor funcționând în gol (fără a avea o sarcină la arbore), pentru ameliorarea factorului de putere al unei rețele electrice. Într-adevăr, dacă un astfel de motor este *supraexcitat*, adică dacă curentul de excitație depășește o anumită valoare, el are proprietatea de a mări factorul de putere al rețelei. Se spune, în acest caz, că motorul îndeplinește funcția de *compensator sincron*.

### 4. Construcția mașinilor sincrone

Figura 15—3 reprezintă aspectul exterior al unui generator sau motor sincron. În dreapta se vede excitatoarea, care este mon-

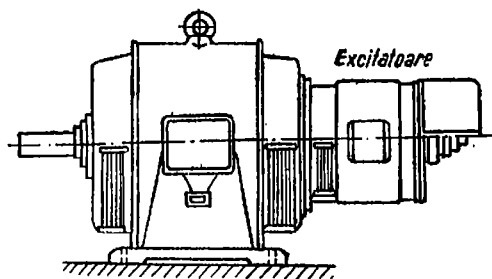


Fig. 15-3. Generator sincron.

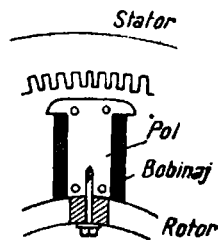


Fig. 15-4. Montarea unui pol pe rotor.

tată pe același ax cu mașina propriu-zisă. Când axul mașinii se învârtă, el pune în mișcare și excitatoarea, care produce curentul continuu necesar excitației mașinii sincrone. În stînga se

vede capătul de arbore liber. Dacă mașina este generator, pe acest capăt de arbore se montează dispozitivul de cuplare (roată de curea sau cuplaj direct) cu motorul care antrenează generatorul. Dacă mașina funcționează ca motor sincron, capătul de ax se lasă liber (cînd motorul servește drept compensator sincron) sau are montat dispozitivul de cuplare cu mașina care trebuie să fie antrenată.

Rotorul unei mașini sincrone este constituit în general dintr-un butuc central din oțel, pe care sînt fixați polii, astfel cum este indicat în figura 15—4. Pentru a se evita efectul dăunător al curenților turbionari (care se produc la micile deplasări ale polilor față de cîmpul învîrtitor statoric), polii sînt executați din tole de oțel izolate între ele și asamblate cu buloane. Extremitatea polilor dinspre stator are o talpă, care permite o repartizare bună a liniilor de forță produse de poli. Bobinajul din jurul polilor este realizat din sîrmă de cupru izolată.

În figura 15—5 este reprezentat aspectul exterior al unui rotor. În stînga se văd cele două inele metalice care se învîrtesc solidar cu rotorul și care servesc la aducerea curentului continuu de excitație.

În cazul cînd un generator este acționat de o turbină cu abur, prin cuplare directă, turația lui este mare (de exemplu 3 000 rot/min) pentru a corespunde turației mari pe care o are de obicei o astfel de turbină. Un asemenea generator, numit *turbogenerator*, nu are poli aparenti, din motive de ordin constructiv; ei se formează prin bobinarea înfășurărilor rotorice într-o serie de creștături prevăzute la periferia rotorului. În figura 15—6 este reprezentat un asemenea rotor de turbogenerator.

Axul mașinii sincrone este de obicei orizontal. Sînt însă cazuri speciale, cînd mașina are axul vertical; acesta este, de

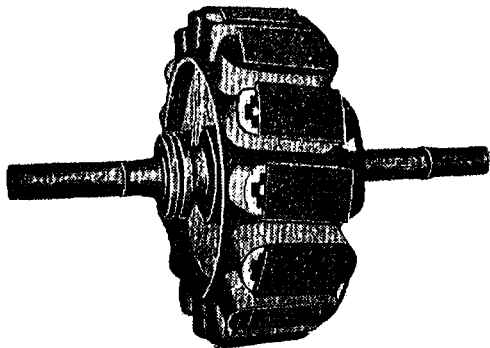


Fig. 15-5. Rotorul generatorului sincron.



Fig. 15-6. Rotor de turbogenerator.

exemplu, cazul generatoarelor cuplate direct cu turbine hidraulice cu ax vertical. În figura 15—7 este reprezentată o secțiune printr-o centrală hidroelectrică echipată cu un grup electrogen

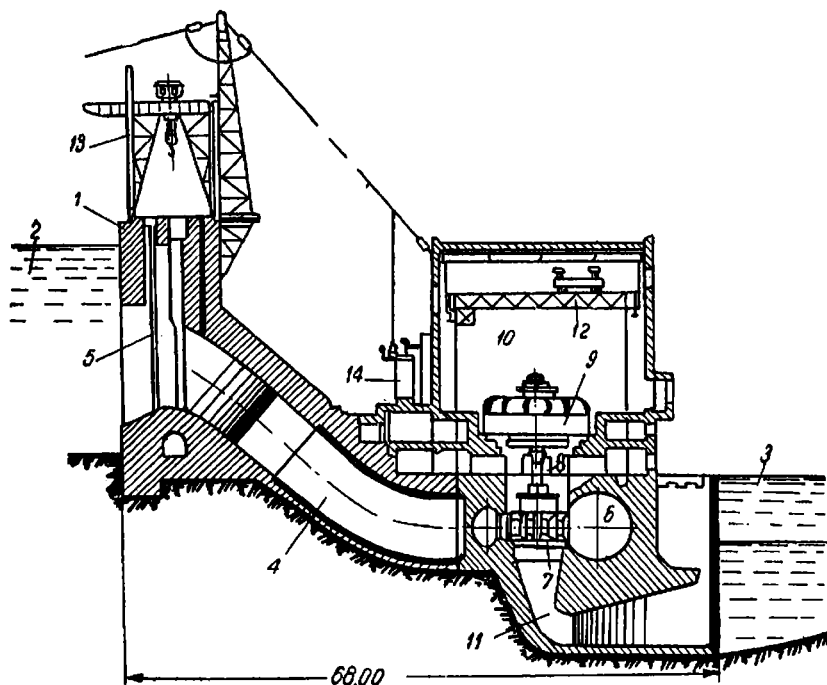


Fig. 15—7. Generator sincron cu ax vertical într-o centrală hidroelectrică: 1 — baraj; 2 — nivelul apei amonte; 3 — nivelul apei aval; 4 — canal de aducție; 5 — vane de închidere a apei; 6 — camera turbinei hidraulice cu ax vertical; 7 — turbina hidraulică; 8 — arborele turbinei; 9 — generator sincron cu ax vertical; 10 — sala mașinilor; 11 — canal de fugă; 12 — pod rulant; 13 — macara pentru vană; 14 — transformator ridicător; 15 — linie de înaltă tensiune.

constituit dintr-o turbină hidraulică cu ax vertical, cuplată direct cu un generator sincron, cu ax vertical, montat deasupra turbinei.

Statorul unei mașini sincrone este construit din tole de oțel izolate între ele (pentru a se reduce curenții turbionari) și prinse cu ajutorul unor buloane. Acest stator este fixat la o carcasă turnată sau sudată.



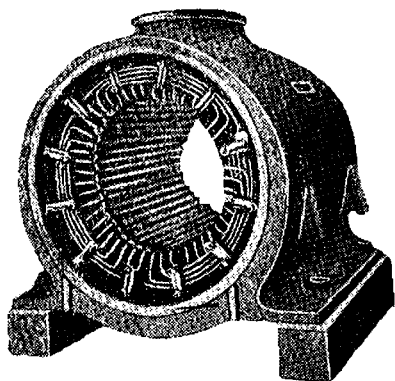


Fig. 15-8. Statorul unui generator sincron.

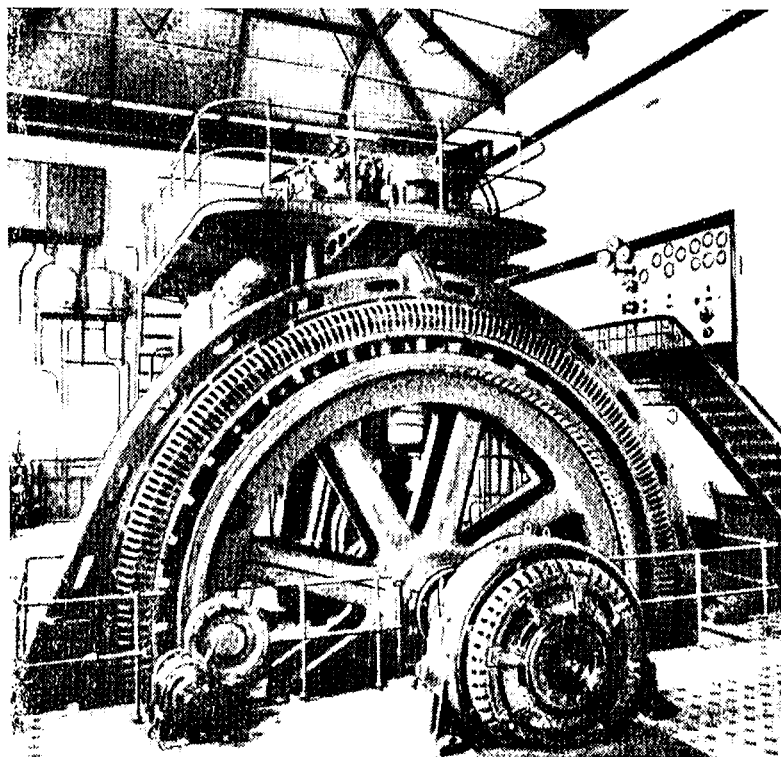


Fig. 15-9. Generator sincron cuplat direct cu motor Diesel.

În figura 15—8 este reprezentat statorul unui generator sincron de putere mijlocie. Pe suprafața interioară a statorului sînt prevăzute creștăturile în care se montează conductoarele care formează bobinajele statorice. În cazul cînd creștăturile sînt „deschise” la partea spre întrefier, bobinele care constituie bobinajul statoric se confecționează separat pe șabloane și apoi se introduc în creștături.

Figura 15—9 reprezintă un generator cuplat direct cu un motor Diesel. În față se vede excitatoarea alternatorului.

În R.P.R. se construiesc în mod curent diferite tipuri de generatoare sincrone trifazate pentru tensiunea nominală de 400/231 V și puteri de 50,75 și 300 kVA. Aceste generatoare pot funcționa și ca motoare sincrone. De asemenea, în R.P.R. se construiește în mod curent un generator trifazat de 400/231 V și o putere de 18 kVA destinat să fie acuplat cu un motor semi-Diesel de 23 CP și putînd fi utilizat în special la S.M.T.-uri, gospodării agricole, mici șantiere etc.

## 5. Mersul în paralel al generatoarelor sincrone

Într-o centrală electrică funcționează de obicei mai multe generatoare sincrone. În figura 15—10 sînt reprezentate în mod schematic două grupuri electrogene notate *I* și *II* dintr-o centrală electrică, care debitează în comun pe aceleași bare colectoare *B*. Fiecare grup electrogen este compus dintr-un motor *M* și un generator *G*. De la barele colectoare pleacă circuitele *C*, care alimentează o rețea electrică. Această rețea poate fi alimentată și de alte centrale electrice. Se spune că cele două generatoare *G* funcționează *în paralel* pe barele colectoare; de asemenea, pot funcționa în paralel și mai multe centrale *interconectate* la aceeași rețea.

Se consideră că la un moment dat funcționează numai grupul *I*, generatorul  $G_1$  fiind legat la bare prin intermediul întreruptorului  $I_1$  care este închis. Al doilea generator  $G_2$  este deconectat de la bare cu ajutorul întreruptorului  $I_2$ , care este deschis. Închizînd întreruptorul  $I_2$ , generatorul grupului *II* debitează și el pe barele *B*, adică generatoarele  $G_1$  și  $G_2$  au fost puse în paralel.

Pentru a se putea pune în paralel generatorul  $G_2$ , acesta trebuie să îndeplinească următoarele condiții de bază:

a) să aibă la borne aceeași tensiune ca și tensiunea barelor;

b) frecvența tensiunii generatorului să fie egală cu frecvența la bare;

c) tensiunea generatorului să fie în fază cu tensiunea barelor.

Tensiunea la bornele generatorului se măsoară cu voltmetrul  $V_a$ , iar la bare, cu voltmetrul  $V_b$  (fig. 15-11). Trebuie ca motorul de antrenare să aducă generatorul cât mai aproape de turația lui normală. După aceasta se manevrează *reostatul de excitație*, care se găsește intercalat în circuitul de excitație, astfel încât tensiunea generatorului să fie egală cu tensiunea la bare.

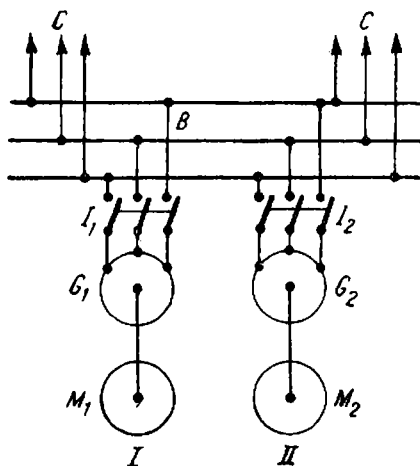


Fig. 15-10. Două grupuri electrogene într-o centrală.

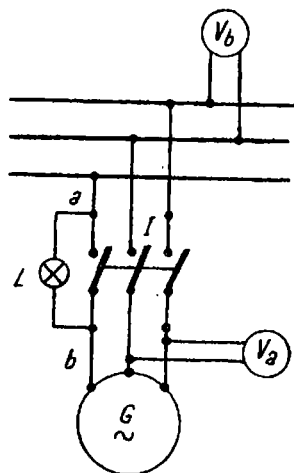


Fig. 15-11. Generator sincron prevăzut pentru mers în paralel.

Pentru a se îndeplini ultimele două condiții de punere în paralel, numite *condiții de sincronism*, este necesar un reglaj mult mai precis al turației. Turația motorului, care antrenează generatorul, poate fi reglată fie manual, fie automat. Reglajul automat se face cu ajutorul unui *regulator automat de turație*, a cărui construcție depinde de felul motorului. Funcționarea acestui regulator este în principiu următoarea:

Dacă generatorul funcționează cu o anumită turație și la un moment dat sarcina generatorului crește, motorul trebuie să învingă un cuplu rezistent mai mare, ceea ce are ca efect o scădere a turației. Scăderea turației face ca regulatorul automat să intervină acționând asupra agentului motor (abur, apă, combustibil) în sensul măririi admisiunii; aceasta are ca efect o creștere a puterii motorului și deci o creștere a turației. Dacă sarcina generatorului scade, motorul are de învins un cuplu rezistent mai mic, ceea ce are ca efect o creștere a turației. Creșterea turației face ca regulatorul să acționeze asupra agentului motor, micșorând admisiunea, ceea ce produce o micșorare a puterii motorului și deci o scădere a turației.

La punerea în paralel, generatorul funcționează fără sarcină (nu produce curent) și este necesar un dispozitiv sensibil care, acționat la comandă, să

mărească sau să micșoreze admisia, pentru a realiza un reglaj cât mai precis al turației.

Cînd generatorul funcționează în gol, forța electromotoare  $E$  este egală chiar cu tensiunea la borne, deoarece căderea de tensiune în statorul generatorului este nulă, neexistînd curent.

Se presupune că această forță electromotoare a fost adusă cu ajutorul reostatului de excitație la valoarea egală cu tensiunea  $U$  la bare. Chiar dacă aceste două mărimi sînt egale, după cum rezultă din diagrama din figura 15-12 între vectorii  $\vec{E}$  și  $\vec{U}$  există în general un anumit unghi de defazaj  $\alpha$ . Deoarece  $\vec{E}$  nu are o frecvență riguros egală cu frecvența tensiunii  $\vec{U}$  la bare, unghiul de defazaj  $\alpha$  este variabil. Din această cauză, între vectorii  $\vec{E}$  și  $\vec{U}$  există o diferență vectorială, egală cu vectorul  $\vec{V}$  și care variază. Se vede din figură că valoarea maximă a vectorului  $\vec{V}$  are loc pentru  $\alpha = \pi$ , iar valoarea nulă, pentru  $\alpha = 0$ . Cu cît diferența dintre cele două frecvențe este mai mare,

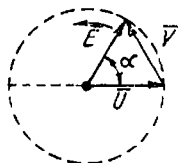


Fig. 15-12. Diagrama vectorială a tensiunii generatorului și barelor.

cu atît  $\alpha$  și deci  $\vec{V}$  variază mai repede. Acționînd printr-un dispozitiv de reglaj fin al motorului, se poate obține ca frecvența generatorului să difere foarte puțin de frecvența la bare. În această situație,  $\alpha$  și  $\vec{V}$  variază foarte lent și dacă în momentul cînd  $\alpha = 0$  (concordanță de fază între  $\vec{E}$  și  $\vec{U}$ ) se închide întreruptorul  $I$  (fig. 15-11), alternatorul rămîne în paralel la bare.

Spre a putea cunoaște momentul indicat pentru închiderea întreruptorului, se folosește o lampă de fază  $L$  arătată în figura 15-11. Lampa se găsește legată între o bară și o bornă a generatorului, astfel încît funcționează pe baza diferenței dintre tensiunea la bare și la generator, adică tensiunea la bornele lămpii depinde de mărimea vectorului  $\vec{V}$  din figura 15-12. Lampa va arde cu o intensitate luminoasă, care variază periodic. Cînd  $\alpha = 0$ , lampa se stinge ( $\vec{V} = 0$ ), iar cînd  $\alpha = \pi$ , lampa are strălucirea maximă ( $\vec{V}$  este maxim).

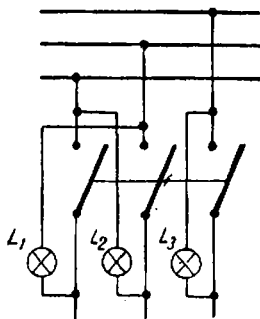


Fig. 15-13. Legarea lămpilor pentru obținerea focului învîrtitor.

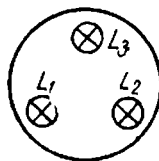


Fig. 15-14. Așezarea lămpilor pentru obținerea focului învîrtitor.

Cu cât  $\alpha$  variază mai încet, cu atât frecvența de stingere și strălucire maximă este mai mică; dacă într-un interval de timp când această frecvență este mică, în momentul când lampa este stinsă ( $\alpha = 0$ ), se închide întreruptorul  $I$  (fig. 15-11), alternatorul este pus în paralel la bare.

În acest moment însă generatorul nu debitează curent (de aceea și lampa de fază este stinsă), adică nu s-a încărcat cu sarcină. Trebuie, așadar, după punerea în paralel, să se încarce generatorul, descărcându-se eventual celelalte generatoare din centrală. Această încărcare se obține măbind admisiunea motorului de acționare a generatorului.

În loc de o singură lampă de fază, se pot monta trei lămpi, câte una pe fiecare fază; în practică se utilizează frecvent montajul celor trei lămpi în felul arătat în figura 15-13, când două lămpi ( $L_1$  și  $L_2$ ) sînt legate în cruce. În acest caz, lămpile se aprind și se sting succesiv într-o anumită ordine. Dacă se așază cele trei lămpi în vîrfurile unui triunghi echilateral și se acoperă cu un geam mat (fig. 15-14), se capătă impresia unei lumini care se mișcă circular, adică a unui foc învîrtitor. Când focul se învîrtește într-un anumit sens, mașina se învîrtește prea repede, iar când se învîrtește în sens invers, mașina se învîrtește prea încet. Punerea în paralel se face în momentul când lampa  $L_3$  se stinge.

La centralele moderne există și dispozitive automate de punere în paralel.

# Mașini de curent continuu

## 1. Principiul de producere a curentului continuu în generatorul de curent continuu

Se consideră în figura 16—1 un tambur de oțel  $T$ , care se poate roti în jurul unui ax orizontal  $OO'$  și se presupune că acest tambur se găsește între cei doi poli  $N$  și  $S$  ai unui magnet. Se înfășoară pe tambur un fir conductor izolat. Pe figură, pentru claritate, s-a arătat numai începutul bobinajului.

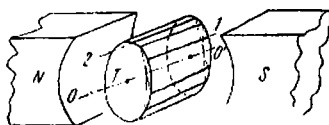


Fig. 16-1. Începutul înfășurării pe tambur la o mașină de curent continuu.

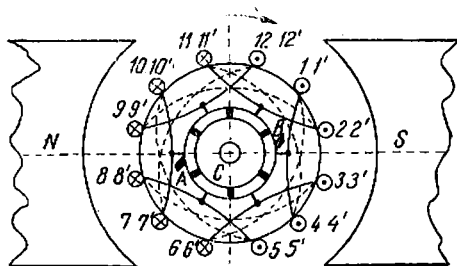


Fig. 16-2. Bobinajul complet pe tambur.

lui, între punctele 1 și 2; în realitate însă bobinajul trebuie considerat completat, astfel încât să se închidă.

În figura 16-2 este reprezentat același tambur la altă scară și văzut din față. Bobinajul a fost trasat complet, după cum se va explica mai departe. Se notează pentru conductoarele de pe suprafața cilindrică a tamburului astfel: capetele de conductoare din față cu 1, 2, 3,... iar capetele de conductoare din spate cu 1', 2', 3'... Bobinajul are următoarea succesiune: 1-4-4'-11'-11-2-2'-9'-9-12-12'-7'-7-10-10'-5'-5-8-8'-3'-3-6-6'-1'-1.

Dacă se presupune că tamburul se rotește în sensul săgeții, în conductoarele de la periferia tamburului vor lua naștere forțe electromotoare, care vor tinde să producă curenți în sensurile

arătate pe figură și care corespund și cu sensurile forțelor electromotoare respective. Sensul curenților se află cu ajutorul legii lui Lenz: efectul se opune cauzei. Ca urmare, forțele electromagnetice care se produc formează un cuplu electromagnetic de sens

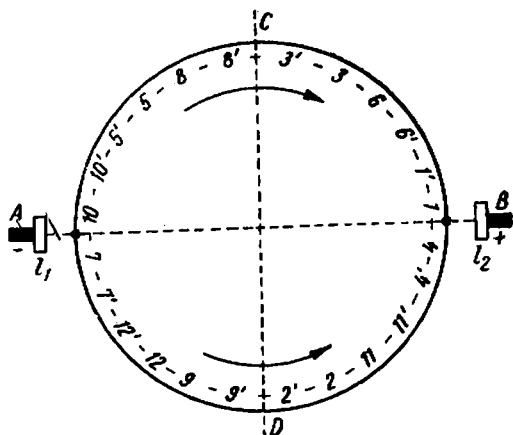


Fig. 16-3. Bobinajul de pe tambur desfășurat.

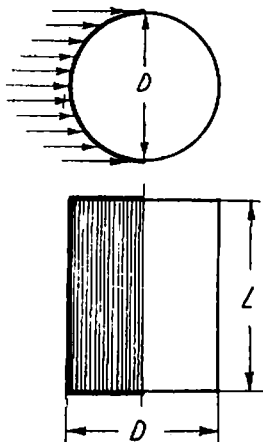


Fig. 16-4. Suprafața corespunzătoare fluxului magnetic datorit unui pol.

contrar cuplului ce produce rotația tamburului în sensul săgeții. Această condiție este îndeplinită, dacă curenții au sensurile indicate pe figură.

Solidar cu tamburul este fixat un cilindru  $C$ , numit colector, alcătuit din lamele din cupru, în formă de sector, izolate între ele și izolate față de tambur și de ax. Spirele sînt legate la lamelele colectorului. Două perii conductoare de cărbune,  $A$  și  $B$ , fixe în spațiu freacă în mod permanent pe colector. Periile sînt așezate pe direcția axei polilor. Pe figură s-au desenat puțin deplasate față de această axă, pentru a face desenul mai clar.

În figura 16-3 s-a considerat întregul bobinaj de pe tambur, desfășurat. S-au notat extremitățile conductoarelor de pe suprafața cilindrică a tamburului cu aceleași cifre ca și în figura 16-2. Cu  $l_1$  și  $l_2$  s-au notat cele două lamele ale colectorului, pe care freacă periile, în momentul considerat. Sensul săgeților din figura 16-3 arată sensul forțelor electromotoare ce iau naștere din cauza rotirii tamburului.

În realitate, bobinajul din figura 16-2 trebuie presupus cu un număr foarte mare de conductoare pe suprafața cilindrică a

tamburului. De asemenea, se presupune că tamburul se învîrtește suficient de repede pentru ca, după un interval de timp  $t_0$ , foarte mic, fiecare conductor să ia locul conductorului precedent. În acest caz, după fiecare interval de timp  $t_0$ , forța electromotoare între periile  $A$  și  $B$  va avea aceeași valoare. Deoarece intervalele de timp  $t_0$  sînt foarte mici, iar variația forței electromotoare în aceste intervale este și ea foarte mică, această forță electromotoare  $E$  poate fi considerată că își păstrează aceeași valoare, adică este o forță electromotoare *continuuă*.

Dacă se presupune că diametrul tamburului este  $D$ , iar lungimea sa  $L$ , suprafața sa cilindrică străbătută de fluxul magnetic  $\Phi$  al polului  $N$  sau  $S$  este (fig. 16—4):  $S = \frac{\pi D L}{2}$ .

Inducția magnetică medie pe această suprafață va fi:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Phi}{\frac{\pi D L}{2}} = \frac{2 \Phi}{\pi D L}.$$

Dacă tamburul are o turație de  $n$  rot/min, respectiv  $n/60$  rot/s, viteza de deplasare a unui punct de pe periferia tamburului, deci viteza de deplasare a oricărui conductor, este:

$$v = \frac{\pi D n}{60}.$$

Forța electromotoare, indusă într-un conductor, este după cum se știe:

$$e = BLv = \frac{2 \Phi}{\pi D L} L \frac{\pi D n}{60} = 2 \Phi \frac{n}{60}.$$

Forța electromotoare totală  $E$  între periile  $A$  și  $B$  (fig. 16—3) este egală cu forța electromotoare din fiecare ramură, deoarece ramurile  $ACB$  și  $ADB$  sînt în paralel. Dacă  $N$  este numărul total al conductoarelor de pe tambur, pe fiecare ramură sînt  $N/2$  conductoare. În consecință, forța electromotoare continuă între periile  $A$  și  $B$  este:

$$E = \frac{N}{2} e = N \frac{n}{60} \Phi = N n_s \Phi, \quad (16.1)$$

în care  $n_s$  este turația, în rot/s.



Această relație a forței electromotoare este valabilă pentru cazul cînd în jurul tamburului se găsesc 2 poli. Dacă în general, sînt 2  $p$  poli și 2  $a$  ramuri în paralel, expresia forței electromotoare devine:

$$E = \frac{p}{a} N n, \Phi. \quad (16.2)$$

Rezultă că forța electromotoare continuă care se produce este proporțională cu numărul de conductoare  $N$ , cu turația  $n$ , și cu fluxul magnetic polar  $\Phi$ .

Dacă fluxul magnetic  $\Phi$  se măsoară în weberi, forța electromotoare se obține în volți.

Dispozitivul descris mai înainte este un generator de curent continuu, deoarece între periile  $A$  și  $B$  se poate lega un circuit de utilizare, care să fie alimentat cu curent continuu. Mașina se numește și *dinam*.

Este de observat că deși forța electromotoare dintre perii este continuă totuși în fiecare conductor în parte, forța electromotoare este *alternativă*. Într-adevăr, conductoarele formează, două câte două, o spiră, care se rotește într-un cîmp magnetic fix în spațiu. Se știe însă că, în acest caz, în spiră ia naștere o forță electromotoare de inducție alternativă.

În figura 16-5 este reprezentat simplificat un generator de curent continuu. Pentru ca fluxul magnetic inductor să fie cît mai puternic, polii sînt înfășurați cu bobinaje, prin care trece un curent continuu numit *curent de excitație*. Polii magnetici sînt fixați de o carcasă fixă de oțel, care are forma unui cilindru gol. Între poli se poate roti tamburul, pe care se găsește înfășurat un bobinaj asemănător celui din figura 16-2. În figura 16-5 se observă și colectorul  $C$ .

Părțile principale ale unui generator de curent continuu sînt, așadar, următoarele:

a) O parte fixă  $S_t$  (statorul) cu polii magnetici  $N$  și  $S$ , care produc fluxul magnetic și poartă numele de *inductor*. Mașina poate fi bipolară (cu 2 poli), tetrapolară (cu 4 poli), hexapolară (cu 6 poli) etc. În jurul polilor se găsește bobinajul  $B$  de excitație.

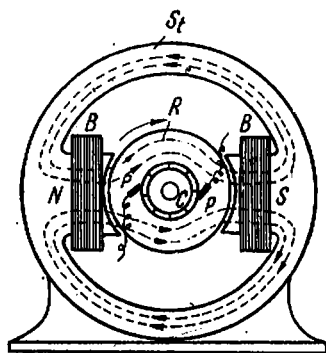


Fig. 16-5. Schema constructivă a generatorului de curent continuu (dynamului).

b) O parte mobilă  $R$  (rotorul), în bobinajul căreia se induce o forță electromotoare și care se numește *indus*. Indusul este rotit prin cuplaj direct sau prin roată de curea, de către un motor primar (Diesel, cu benzină, turbină etc.).

c) Un cilindru cu lamele, care se învîrtește o dată cu indusul, numit *colector* ( $C$ ).

d) Periile  $P$  de cărbune, care culeg curentul de la colector și îl trimit în circuitul de utilizare.

Curentul de excitație poate fi produs fie de o sursă separată (de exemplu o baterie de acumulatoare, un alt generator), fie de însuși generatorul de curent continuu. În primul caz, generatorul se numește cu *excitație separată* sau *independentă*, iar în al doilea caz, cu *excitație proprie* sau cu *autoexcitație*.

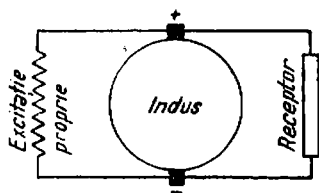


Fig. 16-6. Schema electrică simplificată a generatorului de curent continuu (dinamului) cu excitație separată.

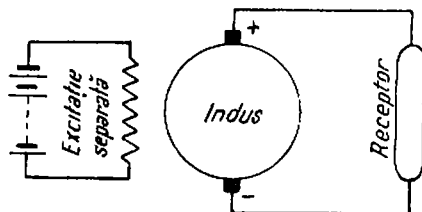


Fig. 16-7. Schema electrică a unui generator de curent continuu (dinam) cu excitație proprie.

În figura 16-6 este reprezentată schema unui generator cu excitație separată, iar în figura 16-7, schema unui generator cu excitație proprie.

În cazul unui generator cu excitație separată, producerea curentului de excitație și deci a fluxului magnetic inductor nu depinde de curentul produs de generator. Dacă generatorul este cu excitație proprie, curentul de excitație este produs chiar de generator. Când un asemenea generator începe să funcționeze, nu are curent de excitație, deci n-ar putea produce fluxul magnetic în inductor. În realitate, oțelul polilor mașinii are un oarecare magnetism, datorită remanenței de la funcționarea anterioară, astfel încît se produce un mic flux magnetic inductor, care dă naștere la o forță electromotoare de valoare redusă. Această forță electromotoare face ca și în bobinajul de excitație să treacă un mic curent de excitație, care întărește magnetismul polilor. Din această cauză, fluxul inductor se mărește, forța electromotoare crește, ceea ce are drept efect și o mărire

a curentului de excitație ș.a.m.d., pînă cînd se ajunge la saturația oțelului din circuitul magnetic, care corespunde situației de funcționare normală a mașinii. În felul acesta, se spune că mașina „a prins“.

## 2. Reacția indusului

Se presupune că un generator de curent continuu funcționează, dar circuitul exterior de utilizare este întrerupt, astfel încît nu se produce curent electric. Sensul de rotație a indusului este acela indicat de săgeți în figura 16-8. Cîmpul magnetic produs de

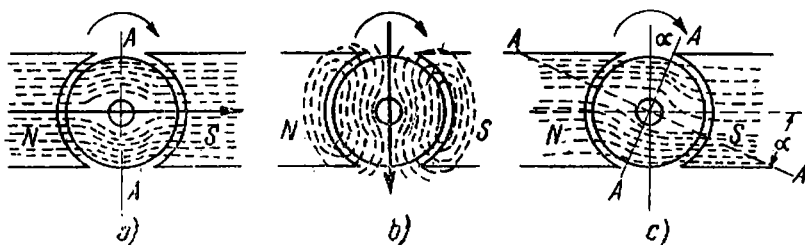


Fig. 16-8. Reacția indusului:

a — cîmpul inductor; b — cîmpul indus; c — cîmpul rezultat.

inductor are liniile de forță astfel după cum este indicat în figura 16-8,a. Sensul acestor linii este de la stînga spre dreapta. Axa pe care se găsesc perile corespunde cu axa polilor. Imediat ce generatorul începe să producă curent în circuitul exterior, bobinajul indusului va fi străbătut de un curent, care va crea în jurul său un alt cîmp magnetic, ale cărui linii de forță sînt trasate în figura 16-8,b. Sensul acestor linii este de sus în jos, în întrefier. În timpul în care generatorul produce curent în circuitul exterior, există deci două cîmpuri magnetice, care dau un cîmp magnetic rezultat, ale cărui linii de forță au aspectul din figura 16-8,c. Axa A-A a cîmpului rezultat este înclinată cu unghiul  $\alpha$  în sensul mișcării, față de axa inițială orizontală a cîmpului inductor (fig. 16-8,a). Compunerea vectorială a celor două cîmpuri este arătată în figura 16-9, unde vectorul  $\overline{OB}$  reprezintă cîmpul inductor, vectorul  $\overline{OC}$ , cîmpul propriu al indusului, iar vectorul  $\overline{OA}$ , cîmpul rezultat.

Cu cât curentul debitat de generator este mai intens, cu atât va fi mai puternic câmpul propriu  $OC$  al indusului și deci cu atât va fi mai mare unghiul de înclinare  $\alpha$ .

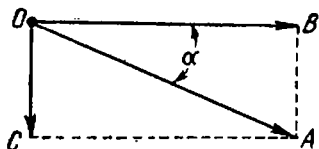


Fig. 16-9. Compunerea vectorială a câmpurilor magnetice din generatorul de curent continuu.

Dacă forța electromotoare produsă de generator este  $E$ , tensiunea între perii  $U$ , curentul debitat  $I$ , iar rezistența totală a indusului  $r$ , se poate scrie:

$$E = U + rI$$

conform legii a doua a lui Kirchhoff. Tensiunea între perii are expresia:

$$U = RI,$$

în care  $R$  este rezistența circuitului exterior de utilizare.

Se deduce:

$$U = E - rI. \quad (16.3)$$

Se vede că tensiunea  $U$  la bornele generatorului de curent continuu (dinamului) depinde de forța electromotoare  $E$  și de căderea de tensiune  $rI$  în indus. Deoarece rezistența  $r$  a indusului este mică, căderea de tensiune nu depășește la mașinile moderne câteva procente din  $E$ .

În afară de căderea de tensiune  $rI$ , există încă o cauză care provoacă diminuarea tensiunii  $U$  și anume *reacția indusului*. Reacția indusului este cauzată de existența câmpului propriu al indusului și constă în două fenomene descrise mai jos.

Câmpul propriu al indusului suprapunindu-se peste câmpul inductorului mărește saturația magnetică a oțelului care constituie indusul și deci și reluctanța magnetică. Aceasta provoacă o micșorare a fluxului magnetic inductor și deci o micșorare a forței electromotoare  $E$ . Dar micșorarea forței electromotoare are drept consecință diminuarea tensiunii  $U$ . Acesta este un prim efect al reacției indusului.

Un al doilea efect se observă în figura 16-8,c și este deformarea sau *distorsiunea* câmpului magnetic. În urma acestei distorsiuni, axul câmpului magnetic rezultat se înclină — după cum s-a arătat — în sensul de rotație a indusului.

### 3. Comutația

În figura 16—2 axa periilor coincide cu axa polilor. Dacă generatorul nu debitează curent, s-a văzut că axa polilor coincide cu axa cîmpului magnetic inductor. Cînd generatorul începe să producă curent, se observă apariția unor scînteii între colector și perii. Dacă se rotește axa periilor în sensul de rotație a indusului, se observă o micșorare treptată a acestor scînteii, iar la un anumit unghi de înclinare, scînteile dispar complet. Dacă se rotește și mai mult axa periilor, scînteile încep să reapară. În cele ce urmează se va da explicația acestui fenomen.

În figura 16—10 s-au reprezentat o perie împreună cu cîteva lamele de colector — presupus desfășurat — precum și cîteva spire din bobinajul indusului.

Trecerea periei de la o lamelă la alta se numește *comutație*. Se presupune că indusul împreună cu colectorul se deplasează în sensul indicat de săgeata orizontală. Spira *s* se găsește în figura 16—10, *a* înainte de comutație, iar în figura 16—10, *b* după comutație. Astfel cum rezultă din figură, înainte de comutație, curentul are un anumit sens în spira *s*, iar după comutație, are sensul opus. Deci, în timpul comutației, curentul și-a schimbat sensul în spirală. Întrucît comutația se face într-un interval de timp foarte scurt, schimbarea sensului curentului trebuie să se facă rapid. Acestei schimbări de sens i se opune o forță electromotoare de autoinducție care apare în spirală și care tinde să mențină sensul inițial al curentului. În momentul cînd lamela spirei *s* părăsește peria, curentul prin spirală și lamelă nu este nul; pe de altă parte, tot în acest moment, rezistența electrică de trecere de la perie la lamela care o părăsește crește mult, deoarece suprafața de contact dintre perie și lamelă se micșorează din ce în ce mai mult. Dacă se notează cu  $r_0$  această rezistență și cu  $i$  curentul care o parcurge, expresia  $r_0 i^2$  capătă o valoare suficient de mare, pentru ca, din cauza căldurii degajate prin efectul Lenz-Joule, mici particule de metal să se volatilizeze, devenind incandescente și producînd astfel scînteile de comutație. Curentul din spira în comutație depinde de forța electromotoare care este indusă în această spirală de fluxul magnetic inductor. În figura 16—2, dacă dinamul nu debitează curent, axa cîmpului magnetic rezultat (constituit numai din cîmpul inductor) coincide cu axa polilor, iar spira în comutație are planul său perpendicular pe direcția liniilor de forță, adică la fel ca și spira din figura 7—2 poziția 1. S-a văzut însă în figura 7—2 că, pentru situația din poziția 1, forța electro-

motoare indusă în spirală este nulă. În consecință și în spira  $s$  din figura 16—10 nu se va induce vreo forță electromotoare, și deci, curentul va fi nul. Neexistând curent, nu pot apărea nici scintei la colector.

Cind generatorul începe să producă curent, axa cîmpului magnetic rezultant se rotește cu un unghi oarecare  $\alpha$  (fig. 16—8,c); spira în comutație se găsește în acest caz față de liniile de forță, ca și spira din figura 7—2 poziția 2; pentru această poziție se vede însă în figura 7—2,c că există forță electromotoare de inducție în spirală.

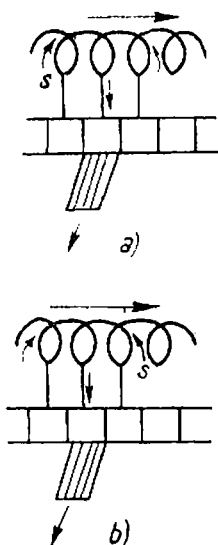


Fig. 16—10. Comutația:  
a — poziția periei înainte de  
comutație; b — poziția periei  
după comutație.

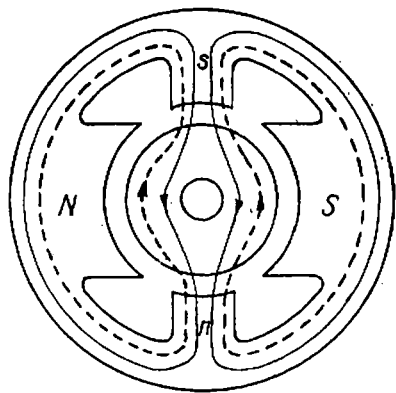


Fig. 16—11. Poli de comutație.

În consecință și în spira  $s$  din figura 16—10 va exista o forță electromotoare în timpul comutației și deci va exista un curent electric, astfel încît se produc scintei la colector.

Dacă axa periiilor se deplasează însă cu unghiul  $\alpha$  în sensul de rotație al indusului, se obține ca spira în comutație să aibă din nou planul său perpendicular pe direcția cîmpului magnetic rezultant, astfel încît nu se mai produc scintei la colector. Fiecare valoare a curentului produs de generator necesită însă o anumită rotație a axei periiilor, care anihilează (anulează) scintele la colector. În mod normal, sarcina unui generator poate să varieze în timpul funcționării sale, astfel încît ar fi necesar să se realizeze un reglaj continuu al axei periiilor, pentru

a nu avea scînteii la colector, care nu numai că produc pierderi de energie, dar uzează foarte repede colectorul.

Deoarece reglajul continuu al axei periilor în raport cu sarcina este greu de realizat, se recurge la utilizarea unor poli speciali numiți *poli de comutație* sau *polii auxiliari*.

După cum se reprezintă schematic în figura 16—11, polii de comutație  $n$ ,  $s$  se așază între polii principali  $N$ ,  $S$ . În jurul polilor de comutație se înfășoară un bobinaj în serie cu circuitul prin care trece curentul produs de generator. Bobinajul polilor de comutație este astfel realizat încît cîmpul magnetic al acestor poli să fie egal și de sens contrar cîmpului magnetic propriu al indușului și care este cauza apariției scînteilor la colector. În figura 16—11, liniile de forță ale cîmpului magnetic al polilor de comutație sînt trasate punctat, iar cele ale cîmpului propriu al indușului, cu linii pline. Curentul din bobinajul polilor de comutație fiind același ca și curentul din induș, compensarea se face la orice sarcină. Utilizarea polilor de comutație permite deci ca axa periilor să nu mai fie rotită în scopul suprimării scînteilor la colector, aceste scînteii fiind suprimate la orice sarcină.

#### 4. Excitația generatoarelor de curent continuu și caracteristicile lor externe

După cum s-a arătat, valoarea forței electromotoare  $E$  este proporțională cu fluxul magnetic inductor  $\Phi$ . Acest flux depinde, la rîndul său, de curentul de excitație. S-a arătat, de asemenea, că tensiunea  $U$  la borne depinde de forța electromotoare  $E$ . În consecință, pentru a putea mări sau scădea tensiunea la borne, trebuie să se mărească sau să se scadă valoarea forței electromotoare, adică să se mărească sau să se micșoreze fluxul magnetic inductor și, în consecință, curentul de excitație  $i$ . Pentru a se putea varia curentul de excitație, se intercalează în circuitul său o rezistență variabilă, care constituie *reostatul de excitație*. În figura 16—12 s-a notat cu  $R_e$  reostatul de excitație al unui generator de curent continuu cu excitație separată.

Dacă nu se manevrează  $R_e$ , curentul de excitație se menține constant, deci și forța electromotoare.

Din relația:

$$U = E - rI$$

rezultă că, în gol, adică pentru  $I = 0$ , tensiunea este egală cu forța electromotoare. Pe măsură ce curentul produs  $I$  crește,

termenul  $rI$  crește, iar tensiunea  $U$  scade, atât din cauza termenului  $rI$ , cât și din cauza reacției indusului. Această scădere a tensiunii poate fi reprezentată grafic printr-o curbă ca în figura 16-13. După cum reiese din figură, curba este ușor descendentă

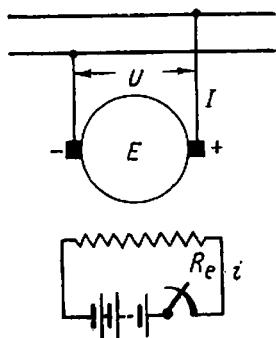


Fig. 16-12. Schema generatorului de curent continuu cu excitație separată.

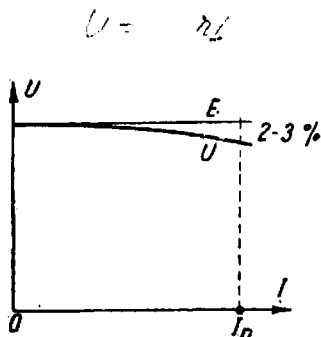


Fig. 16-13. Caracteristica externă a generatorului de curent continuu cu excitație separată.

(coboritoare). Deoarece rezistența  $r$  este mică, iar efectul reacției indusului poate fi compensat în mare parte, diferența dintre tensiunea în gol (egală cu forța electromotoare) și tensiunea la plină sarcină  $I_n$  este de numai 2...3% din tensiunea în gol.

Felul cum variază tensiunea în funcție de curentul debitat (celelalte elemente rămânând neschimbate) constituie o *curbă caracteristică* a generatorului. Deoarece această curbă caracteristică privește tensiunea la bornele circuitului exterior și curentul debitat în același circuit exterior se numește *caracteristică externă*.

Deoarece generatorul trebuie să funcționeze de obicei cu o tensiune constantă, este necesar ca pe măsură ce termenul  $rI$  crește, să se mărească și curentul de excitație  $i$  și prin urmare, forța electromotoare  $E$ , spre a compensa căderea de tensiune. Pentru aceasta se micșorează rezistența reostatului de excitație  $R_e$ . Dacă sarcina generatorului scade, tensiunea la borne crește; pentru a o menține constantă, trebuie să se micșoreze curentul de excitație prin mărirea rezistenței reostatului de excitație.

Dacă generatorul este prevăzut cu excitație proprie, aceasta poate fi: excitație *derivație* (sau *șunt*), *serie* și *mixtă* (compusă sau *compound*).

În figura 16-14 este reprezentată schema unui generator cu excitație derivație. Se observă că circuitul de excitație se



găsește legat în derivație (în paralel) față de circuitul principal. Presupunind turația constantă, pe măsură ce curentul  $I$  produs de generator crește, tensiunea  $U$  la borne scade, ca și în cazul

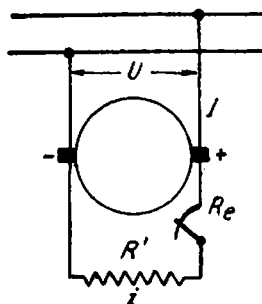


Fig. 16-14. Schema generatorului de curent continuu cu excitație derivație.

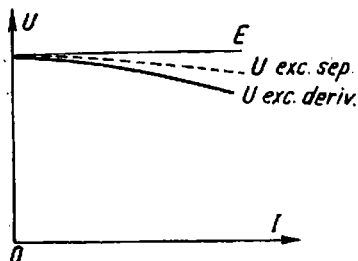


Fig. 16-15. Caracteristica externă a generatorului de curent continuu cu excitație derivație.

excitației separate. Dar tensiunea  $U$  este aplicată și la bornele circuitului de excitație. Curentul de excitație este conform legii lui Ohm:

$$i = \frac{U}{R + R'},$$

în care  $R$  este rezistența reostatului de excitație, iar  $R'$ , rezistența bobinajului de excitație. Relația arată că la o scădere a tensiunii  $U$  (datorită creșterii sarcinii), care produce o scădere a curentului  $i$  de excitație, apare o scădere suplimentară a tensiunii, deoarece scăderea curentului  $i$  provoacă o scădere a forței electromotoare  $E$ , și deci o nouă scădere a tensiunii  $U$ . În consecință, curba caracteristicii externe va fi mai pronunțat descendentă decât în cazul excitației separate, după cum se arată în figura 16-15.

Reglajul tensiunii se obține tot cu ajutorul unui reostat de excitație  $R_e$ , montat în circuitul de excitație (fig. 16-14). Generatoarele excitate în derivație sînt de obicei astfel construite, încît la plină sarcină, căderea de tensiune este de 4-5% din tensiunea în gol.

În figura 16-16 este reprezentat schematic un generator cu excitație serie. Bobinajul de excitație este legat în serie cu circuitul principal al mașinii. Reostatul de excitație  $R_e$  este montat în derivație față de bobinajul de excitație.

Pentru a vedea cum variază tensiunea  $U$  în funcție de curentul  $I$  produs, se presupune deocamdată că mașina funcționează în gol; tensiunea  $U_0$  în gol este egală după cum se știe, cu forța electromotoare  $E$ . Deoarece forța electromotoare este proporțională

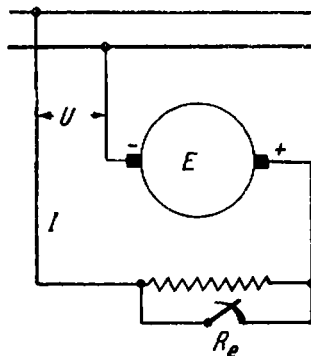


Fig. 16-16. Schema generatorului de curent continuu cu excitație serie.

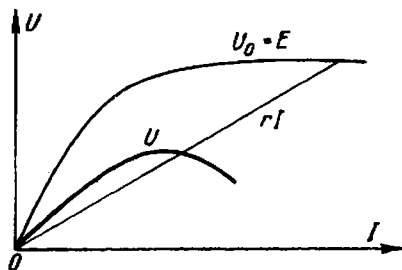


Fig. 16-17. Caracteristica externă a generatorului cu excitație serie.

cu fluxul magnetic inductor  $\Phi$ , iar acesta este proporțional cu inducția magnetică  $B$ , rezultă că variația forței electromotoare  $E$ , în funcție de curentul de excitație  $I$ , care este, la rîndul său, proporțional cu intensitatea cîmpului magnetic  $H$ , va fi redată grafic de o curbă, care va avea aceeași înfățișare ca și curba de magnetizare (curba de magnetizare arată cum variază inducția magnetică  $B$  în funcție de intensitatea cîmpului magnetic,  $H$ ).

În figura 16-17, curba  $U_0 = E$  arată această variație. Dacă se presupune acum că generatorul începe să producă un curent, curentul de excitație este practic egal cu curentul produs de generator în circuitul de utilizare. În acest caz însă, tensiunea la bornele generatorului nu va mai fi egală cu tensiunea dată de curba  $U_0$  din figura 16-17, din cauza căderii de tensiune provocată de curentul  $I$  în indusul generatorului. Felul cum variază această cădere de tensiune  $rI$  — unde  $r$  este rezistența indusului — poate fi reprezentat de dreapta  $rI$  din figura 16-17. În consecință, dacă din ordonatele curbei  $U_0$  se scad ordonatele dreptei  $rI$  se obțin ordonatele curbei  $U$ , care arată cum variază tensiunea  $U$  în funcție de curentul  $I$  produs, adică curba caracteristicii externe. Se vede că la început tensiunea  $U$  crește o dată

cu curentul  $I$  produs, apoi trece printr-un maxim și după aceea începe să scadă.

Reostatul de excitație  $R_e$  se montează în derivație față de bobinajul de excitație, deoarece astfel, prin manevrarea sa,

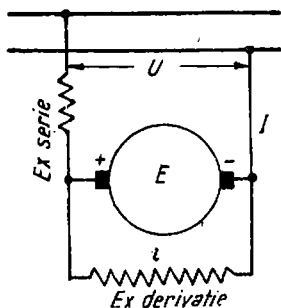


Fig. 16-18. Schema generatorului cu excitație mixtă.

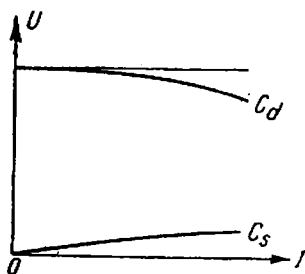


Fig. 16-19. Caracteristica externă a generatorului cu excitație mixtă.

se reglează numai fluxul magnetic inductor; dacă s-ar fi intercalat în serie cu excitația, ar fi fost parcurs de întregul curent  $I$  produs de generator, dînd loc la pierderi importante prin efectul Lenz-Joule.

În figura 16-18 este reprezentată schema unui generator cu excitație mixtă. Mașina are două bobinaje de excitație: unul în serie și altul în derivație. În figura 16-19, curba  $C_d$  arată variația tensiunii în funcție de curentul produs  $I$ , dacă ar exista numai excitația derivație, iar curba  $C_s$ , variația tensiunii, dacă ar exista numai excitația serie. Numărul de spire al excitației serie este suficient de redus pentru ca ordonatele curbei  $C_s$ , care reprezintă o creștere a tensiunii, să compenseze cît mai bine căderile de tensiune datorite curbei  $C_d$ . Bobinajul excitației serie are un număr redus de spire cu secțiune mare, deoarece este parcurs de întregul curent  $I$ , pe cînd bobinajul excitației derivație are un număr mare de spire cu secțiune mică, fiind parcurs de curentul de excitație  $i$ , mult mai mic.

Generatorul cu excitație mixtă are deci posibilitatea de a menține tensiunea la borne practic constantă, cînd variază sarcina, fără a fi necesar un reostat de excitație.

În practică, se folosesc generatoare de curent continuu cu excitație derivație și mixtă.

## 5. Mersul în paralel al generatoarelor de curent continuu

Singura condiție pentru ca două generatoare de curent continuu să funcționeze în paralel este ca să aibă aceeași tensiune. Încărcarea generatorului de curent continuu care se leagă în paralel se obține prin mărirea excitației.

## 6. Principiul de funcționare a motorului de curent continuu

În figura 16—20 s-au reprezentat schematic inductorul și indusul unei mașini de curent continuu. Se presupune că moto-

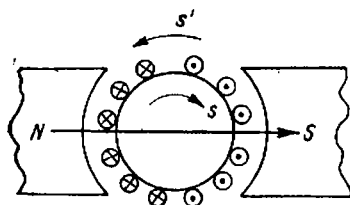


Fig. 16—20. Indusul și inductorul mașinii de curent continuu.

Se știe că puterea electrică  $P$  produsă de generatorul a cărui forță electromotoare este  $E$ , corespunde formulei:

$$P = EI,$$

în care  $I$  este curentul produs de generator.

Puterea mecanică care este dată generatorului de către motor este egală cu  $C\Omega$ , unde  $C$  este *cuplul motor* dat de motor la arbore, iar  $\Omega$  — viteza unghiulară a acestui arbore. Dacă se face abstracție de pierderile care au loc în generator, acest cuplu motor poate fi considerat egal cu cuplul electromagnetic rezistent. În acest caz, se poate scrie:

$$P = EI = C\Omega.$$

Din relația de mai înainte se deduce:

$$C = \frac{EI}{\Omega}.$$

Deoarece:

$$E = kNn\Phi$$

și

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60},$$

$k$  fiind un factor de proporționalitate cunoscut, iar  $n$ —turația generatorului în rot/min, se poate scrie:

$$C = \frac{kNn\Phi I}{\frac{2\pi n}{60}} = \frac{60kN}{2\pi} \Phi I = K \Phi I \quad (16.4)$$

unde s-a notat:

$$K = \frac{60kN}{2\pi}.$$

*Cuplul electromagnetic rezistent al unui generator de curent continuu este, așadar, proporțional cu fluxul magnetic inductor  $\Phi$  și cu curentul produs  $I$ .*

Dacă se presupune că se întrerupe legătura mecanică dintre motor și generator, dar se trimite *din afară* un curent electric în mașina de curent continuu, care să aibă același sens ca în figura 16—20, înseamnă că cuplul electromagnetic cu sensul  $s'$  rămîne. Acest cuplu este acum un cuplu *motor* electromagnetic, care rotește indusul mașinii în sensul  $s'$ , iar mașina, din generator, a devenit *motor*. Dacă la arborele acestui motor electric se cuplează, de exemplu, o mașină-unealtă, aceasta va opune un cuplu *meccanic rezistent*, care este învins de cuplul motor electromagnetic al motorului.

În mașina electrică, devenită motor, ia naștere, prin fenomenul de inducție electromagnetică, o forță electromotoare  $E$  ca și în cazul generatorului electric. Această forță electromotoare poartă de obicei numele de *forță contraelectromotoare*, deoarece se opune tensiunii  $U$  aplicată la bornele motorului de la rețeaua electrică de alimentare. Valoarea forței contraelectromotoare este dată de aceeași relație  $E = kNn\Phi$  ca și în cazul generatorului. De asemenea, din cele arătate rezultă că cuplul electromagnetic motor al motorului electric este dat de aceeași formulă ca și cuplul electromagnetic rezistent al generatorului, adică este proporțional cu fluxul magnetic inductor  $\Phi$  și cu curentul absorbit  $I$ .

O mașină de curent continuu poate primi o energie mecanică, pe care o transformă în energie electrică; în acest caz, func-

ționează ca generator electric, la care cuplul electromagnetic este un cuplu rezistent. De asemenea, mașina de curent continuu poate primi energie electrică, pe care o transformă în energie mecanică; în acest caz mașina funcționează ca un motor electric, la care cuplul electromagnetic este un cuplu motor. Mașina de curent continuu este deci *reversibilă*.

## 7. Pornirea, reglarea turației și schimbarea sensului de mers la motorul de curent continuu

Tensiunea  $U$  care se aplică la bornele unui motor de curent continuu trebuie să compenseze atât forța contraelectromotoare  $E$  ce ia naștere în motor, cât și căderea de tensiune  $rI$  în indusul motorului, adică:

$$U = E + rI, \quad (16.5)$$

în care  $r$  este rezistența indusului, iar  $I$ —curentul absorbit.

Din această relație rezultă:

$$I = \frac{U - E}{r}.$$

În momentul pornirii, turația fiind mică și forța contraelectromotoare  $E$  este mică. Din această cauză și deoarece tensiunea  $U$  a rețelei de alimentare este constantă, curentul  $I$  absorbit de motor la pornire este cu mult mai mare decât în funcționare normală, când forța contraelectromotoare crește la valoarea ei normală. Pentru a se evita ca la pornire să se producă un șoc periculos de curent, se intercalează în serie cu indusul o rezistență variabilă, a cărei valoare se micșorează pe măsură ce motorul își mărește turația. La sfârșitul perioadei de pornire, rezistența este complet scoasă din circuit. Această rezistență variabilă poartă numele de *reostat de pornire* și nu trebuie confundat cu reostatul de excitație, care se găsește în circuitul inductorului.

S-a văzut care este rolul reostatului de excitație la generator. La motor, el îndeplinește un alt rol, după cum se va arăta mai departe. Din relația:

$$E = k N n \Phi$$

se deduce:

$$n = \frac{E}{k N \Phi} = \frac{U - rI}{k N \Phi}.$$

Deoarece termenul  $rI$  este practic neglijabil (cîteva procente faţă de  $U$ ), se poate scrie:

$$n = \frac{U}{k N \Phi} . \quad (16.6)$$

Dat fiind că motoarele de curenţi continuu funcţionează în mod normal sub o tensiune  $U$  constantă, rezultă că turaţia  $n$  este invers proporţională cu fluxul inductor  $\Phi$ . Prin variaţia acestui flux se poate deci obţine un reglaj al turaţiei. Variaţia fluxului se obţine însă prin manevrarea reostatului de excitaţie. În consecinţă, acest reostat serveşte la reglarea turaţiei motorului. Pentru a se mări turaţia, trebuie să se micşoreze fluxul, adică curentul de excitaţie şi invers.

S-ar putea ca, păstrîndu-se fluxul constant, să se obţină un reglaj al turaţiei prin variaţia tensiunii la bornele motorului cu ajutorul reostatului de pornire. Acest procedeu nu se utilizează însă în practică, deoarece este neeconomic, dat fiind că reostatul de pornire este străbătut de întregul curenţi absorbit de motor şi provoacă o importantă pierdere de energie.

Rezultă că la pornirea motorului este necesară o rezistenţă mare în circuitul indusului, pentru a se reduce curentul absorbit de indus şi o rezistenţă mică în circuitul de excitaţie pentru a avea un flux mare şi, în consecinţă, un cuplu de pornire puternic. Pe măsură ce motorul îşi măreşte turaţia, se scot rezistenţele din reostatul de pornire şi se introduc rezistenţe în reostatul de excitaţie pînă cînd se ajunge la funcţionarea normală.

Trebuie avut totdeauna grijă, atît timp cît motorul este sub tensiune, să nu se întrerupă curentul de excitaţie, deoarece curentul absorbit de indus creşte brusc la valori foarte mari (dispare forţa contraelectromotoare), iar motorul se *ambalează* (îşi măreşte foarte mult turaţia).

S-a arătat că cuplul electromagnetice al motorului este proporţional cu fluxul inductor  $\Phi$  şi cu curentul absorbit  $I$ . Sensul de rotaţie dat de acest cuplu corespunde sensurilor celor două mărimi,  $\Phi$  şi  $I$ . Pentru a schimba sensul de rotaţie al motorului trebuie să se schimbe între ele fie legăturile la bornele circuitului de excitaţie (prin aceasta se schimbă sensul fluxului  $\Phi$ ), fie legăturile la bornele indusului (prin aceasta se schimbă sensul curentului absorbit  $I$ ). De obicei se schimbă sensul curentului de excitaţie, care are o valoare mai mică.

## 8. Diferite feluri de motoare de curent continuu și caracteristicile lor mecanice

Motoarele de curent continuu pot avea diferite feluri de excitație. În figura 16—21 este reprezentată schema unui motor cu excitație separată. La un motor interesează totdeauna să se cunoască cum variază turația  $n$  în funcție de cuplul  $C$  (caracteristica mecanică), atunci când celelalte elemente rămân neschimbate.

Se cunosc relațiile:

$$n = \frac{U - rI}{k N \Phi}$$

și

$$C = K \Phi I.$$

Din a doua relație rezultă:

$$I = \frac{C}{K \Phi}.$$

Introducând această valoare în prima relație, se obține:

$$n = \frac{U}{k N \Phi} - \frac{r}{k K N \Phi^2} C. \quad (16.7)$$

Deoarece tensiunea  $U$  aplicată motorului este constantă, iar fluxul  $\Phi$  este de asemenea constant, relația de mai înainte

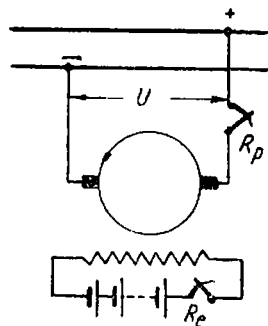


Fig. 16-21. Schema motorului de curent continuu cu excitație separată.

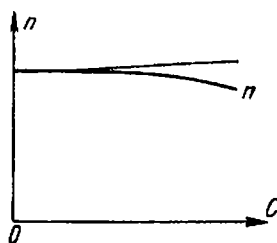


Fig. 16-22. Caracteristica mecanică a motorului de curent continuu cu excitație separată.

arată că pe măsură ce cuplul  $C$  crește, turația  $n$  scade. Curba de variație are aspectul din figura 16—22. O dată cu creșterea



cuplului, turația scade puțin, astfel încît la cuplul nominal de plină sarcină, scăderea este de 2...3% din turația  $n_0$  în gol. Motorul are deci o turație practic constantă. De obicei, nu este nevoie ca excitația motorului să se ia de la o sursă separată. Într-adevăr, dat fiind că pentru alimentarea indusului motorului există o sursă de curent continuu, nu are sens să se utilizeze o altă sursă pentru excitație.

De cîte ori este nevoie de un motor de curent continuu cu turație practic constantă (la mașini-unelte, ventilatoare, pompe și altele), se întrebuintează motorul cu excitație derivație, a cărui schemă este redată în figura 16-23. De aici se vede că cir-

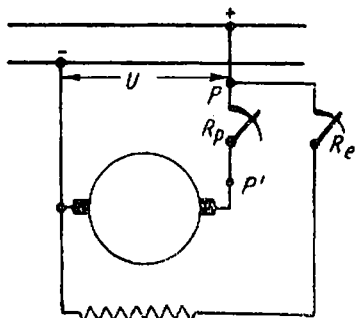


Fig. 16-23. Schema motorului de curent continuu cu excitație derivație.

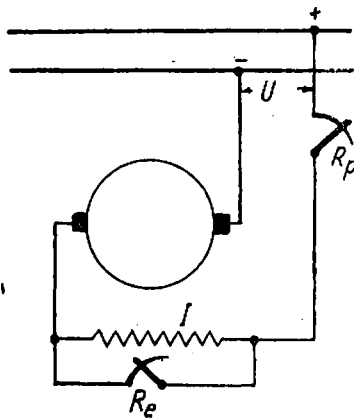


Fig. 16-24. Schema motorului de curent continuu cu excitație serie.

cuitul de excitație este legat în derivație față de circuitul principal al indusului. Deoarece tensiunea  $U$  a rețelei de alimentare este constantă, curentul de excitație, deci și fluxul inductor poate fi de asemenea menținut constant, astfel încît caracteristica mecanică a acestui motor este identică cu aceea a motorului cu excitație separată. Scăderea de turație, între mersul în gol și mersul la plină sarcină, este de 2...3%.

La motorul cu excitație derivație trebuie totdeauna observat ca reostatul de excitație  $R_e$  să fie legat într-un punct  $P$  (fig. 16-23) între reostatul de pornire  $R_p$  și rețeaua de alimentare. Legarea într-un punct ca  $P'$ , de exemplu, este greșită, deoarece în acest caz, curentul de excitație, deci fluxul inductor, este influențat de poziția reostatului  $R_p$ .

În figura 16—24 este reprezentată schema unui motor de curent continuu cu excitație serie, la care bobinajul de excitație se găsește legat în serie cu circuitul principal al indusului.

Se consideră relațiile date mai înainte:

$$C = K \Phi I$$

$$n = \frac{U}{k N \Phi} = \frac{k_1}{\Phi},$$

în care s-a notat:

$$\frac{U}{k N} = k_1.$$

Deoarece curentul principal  $I$  trece practic și prin bobinajul de excitație, acest curent poate fi considerat proporțional cu fluxul inductor  $\Phi$  pe care-l produce, adică:

$$I = k_2 \Phi$$

unde  $k_2$  este un factor de proporționalitate.

Rezultă:

$$C = K k_2 \Phi^2 = k_3 \Phi^2$$

dacă se notează:

$$k_3 = K k_2.$$

În consecință:

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{k_3}} \sqrt{C} = k_4 \sqrt{C}$$

notîndu-se :

$$\frac{1}{\sqrt{k_3}} = k_4.$$

Introducîndu-se ultima valoare obținută pentru  $\Phi$  în expresia de mai înainte a turației se obține:

$$n = \frac{k_1}{k_4 \sqrt{C}} = \frac{k_5}{\sqrt{C}} \quad (16.8)$$

unde s-a notat:

$$\frac{k_1}{k_4} = k_5$$

Relația de mai înainte a turației  $n$  în funcție de cuplul  $C$  arată că unui cuplu mic îi corespunde o turație mare și, pe măsură ce cuplul (sarcina) crește, turația scade. În figura 16—25 este reprezentată curba corespunzătoare a caracteristicii mecanice. Această caracteristică arată că la pornirea motorului, când turația  $n$  este mică, cuplul este puternic. Din această cauză, asemenea motoare se utilizează în special la tracțiune (tramvaie și locomotive electrice), unde condițiile de serviciu cer cuplu mare la pornire.

În figura 16—26 se arată schema motorului cu excitație mixtă sau compound. Un asemenea motor are două circuite de excitație, și anume unul în derivație și altul în serie față de circuitul principal al indusului. Aceste două circuite sînt astfel bobinate, încît fluxurile magnetice respective să aibă

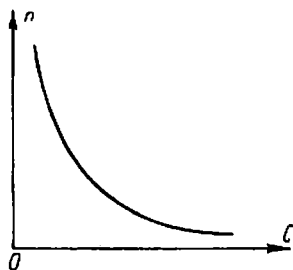


Fig. 16—25. Caracteristica mecanică a motorului serie.

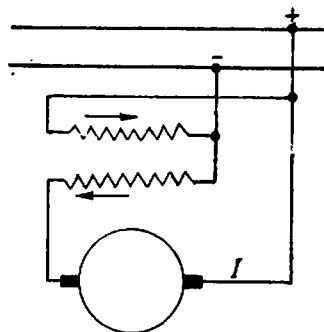


Fig. 16-26. Schema motorului de curent continuu cu excitație mixtă diferențială.

sensuri contrarii. O asemenea excitație se numește *diferențială*. În acest caz, pe măsură ce cuplul motorului crește, se obține ca scăderea de turație datorită excitației derivație să fie compensată de excitația serie. Într-adevăr, când cuplul crește, turația are tendința să scadă; creșterea cuplului corespunde însă unui curent  $I$  absorbit de indus mai mare. Deoarece  $I$  crește, fluxul serie crește și micșorează fluxul derivație, astfel încît fluxul rezultat este mai mic și, în consecință, turația crește pentru a reveni la valoarea inițială. Motoarele cu excitație mixtă diferențială au însă dezavantajul de a nu avea o funcționare suficient de stabilă.

Cînd cele două bobinaje de excitație sînt astfel realizate, încît produc fluxuri magnetice de același sens, excitația se numește

*adițională* și se utilizează atunci cînd este necesar un cuplu mare de pornire sau o micșorare importantă a turației o dată cu creșterea sarcinii.

## 9. Construcția mașinilor de curent continuu

În figura 16—27 se arată modul în care sînt fixați polii de carcasa unei mașini cu patru poli. La mașinile moderne, carcasa este de oțel, turnat sau sudat; la mașinile mai vechi, se execută din fontă. Polii se fabrică din oțel cu mare permeabilitate magnetică. Fiecare pol are la extremitatea dinspre întrefier o talpă, care îmbrățișează indusul și permite o distribuie bună a liniilor de forță în întrefier.

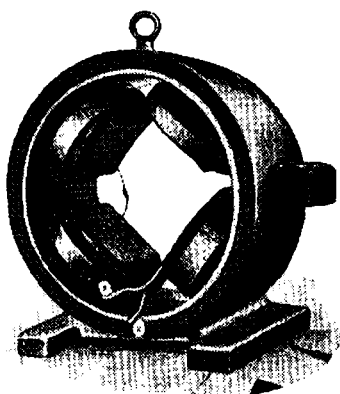


Fig. 16-27. Fixarea polilor de carcasa mașinii.

Indusul generatorului se fabrică tot din oțel cu mare permeabilitate magnetică. El este constituit din tole izolate, în scopul micșorării pierderilor prin curenți turbionari. Conductoarele sînt așezate în creștături pe indus.

Indusul generatorului se fabrică tot din oțel cu mare permeabilitate magnetică. El este constituit din tole izolate, în scopul micșorării pierderilor prin curenți turbionari. Conductoarele sînt așezate în creștături pe indus.

Aceste creștături pot fi *deschise* (fig. 16—28, *a*), *semideschise* (fig. 16—28, *b*) sau *închise* (fig. 16—28, *c*). Cele mai obișnuite sînt creștăturile deschise.



Fig. 16-28. Creștături de indus:  
*a* — deschise; *b* — semideschise; *c* — închise.

Conductoarele nu se bobinează în general direct pe indus, ci se formează mai întîi bobine, care se fixează apoi în creștăturile indusului și apoi se leagă capetele bobinelor. În figura 16—29

se vede o astfel de bobină în curs de montare pe indus.

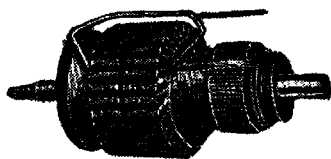


Fig. 16-29. Bobină în curs de montare pe indus.

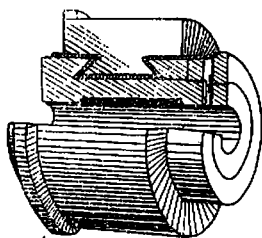


Fig. 16-30. Secțiune prin colector.

Colectorul este solidar pe același ax cu indusul. În figura 16—29 colectorul este reprezentat în dreapta indusului. El este consti-

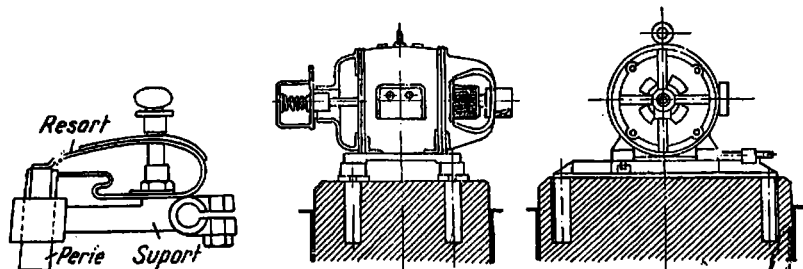


Fig. 16-31. Perie cu suport.

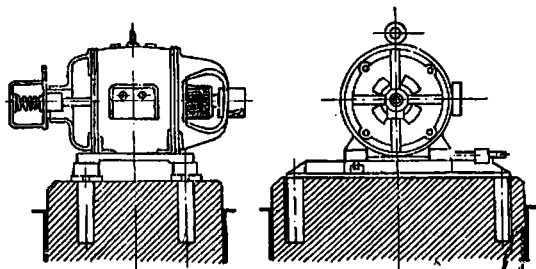


Fig. 16-32. Mașină de curent continuu.

tuit dintr-o serie de lamele din cupru tare, tras. Lamelele formează un inel cilindric (fig. 16—30). Fiecare lamelă este fixată de butuc printr-un dispozitiv în formă de coadă de rândunică. Lamelele sînt izolate atât între ele, cît și față de butuc.

Periile se confecționează din cărbune tare, grafit sau bronz grafitat și servesc la culegerea curentului. Aceste peri sînt fixe în spațiu,

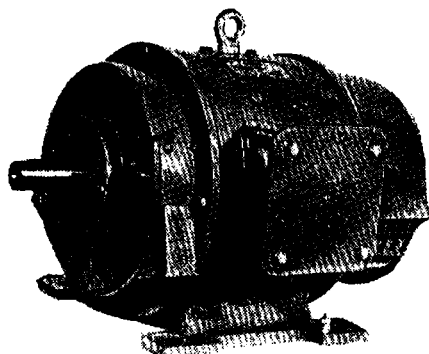


Fig. 16-33. Mașină de curent continuu fabricată în R.P.R.

fiind legate de stator prin intermediul unui suport. De obicei există un dispozitiv, care permite ca periile să se poată totuși roti cu un anumit unghi în jurul colectorului. Presiunea pe care trebuie s-o exercite asupra colectorului pentru a se obține un contact bun se realizează cu ajutorul unui resort reglabil, care apasă asupra periei (fig. 16—31).

Figurile 16—32 și 16—33 reprezintă aspectul general al unei mașini de curent continuu.

În R.P.R. se construiesc mașini de curent continuu. Se menționează, de exemplu, generatorul de curent continuu tip  $D_1$  utilizat la iluminatul vagoanelor și automotoarelor de cale ferată.

## Motoare de curent alternativ cu colector

### 1. Motorul monofazat serie

Dacă un motor de curent continuu cu excitație serie este alimentat cu curent alternativ sub o tensiune eficace  $U$ , va putea da la arbore un cuplu  $C$ , proporțional cu fluxul magnetic inductor  $\Phi$  și cu curentul absorbit  $I$ , adică:

$$C = K \Phi I.$$

Deoarece fluxul  $\Phi$  poate fi considerat proporțional cu curentul absorbit, cuplul va fi proporțional cu pătratul curentului și deci va fi mereu pozitiv, adică de același sens, chiar dacă curentul este alternativ. De aceea, motorul poate funcționa și cu curent alternativ. Deosebirea constructivă față de motorul serie de curent continuu constă în faptul că polii sînt din tole, pentru a reduce curenții turbionari ce se produc din cauza câmpului magnetic alternativ.

Comutația la motorul monofazat serie cu colector se realizează mai greu decît la motorul serie de curent continuu. Dificultatea crește cu cît frecvența curentului alternativ de alimentare este mai mare.

Aceste motoare au o caracteristică mecanică asemănătoare cu aceea a motoarelor serie de curent continuu. Din această cauză, ele se utilizează în tracțiunea electrică.

### 2. Motorul monofazat cu repulsie

În figura 17—1 este reprezentat schematic motorul cu repulsie. Rotorul său este identic cu indusul unei mașini de curent continuu, cu deosebirea că periile sînt legate în scurtcircuit. Sta-

torul este asemănător cu acela al unui motor asincron sau sincron monofazat și se leagă la rețea. Axa periiilor trebuie să facă cu

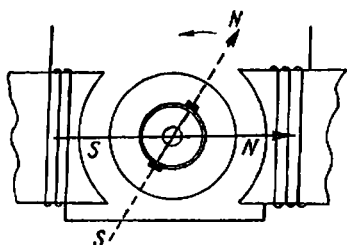


Fig. 17-1. Schema motorului monofazat cu repulsie.

axa cimpului magnetic statoric un unghi diferit de  $90^\circ$ . Dacă la un moment dat, sensul cimpurilor magnetice, rotorice și statorice, sînt acelea din figură, aceste cimpuri comportîndu-se ca doi magneți, asupra rotorului se va produce o forță de repulsie în sensul săgeții. Dacă se schimbă sensul cimpului statoric, se schimbă și sensul cimpului rotorice, astfel încît forța de re-

pulsie se menține avînd ca efect învîrtirea rotorului în sensul săgeții.

Motorul are un cuplu de pornire puternic. Prin rotirea axei periiilor se poate regla turația. Acest motor se întrebuițează în cazurile în care este necesar un reglaj economic și în limite largi ale turației pentru puteri mici și mijlocii, ca de exemplu în industria textilă, aparate electromedicale etc.

### 3. Motorul trifazat serie cu colector

Statorul acestui motor este asemănător celui al unui motor asincron trifazat. Rotorul este construit ca și indusul unei mașini de curent continuu, dar are trei perii așezate la  $120^\circ$  pe periferia colectorului (fig. 17-2). Fiecare fază statorică  $S$  este legată cu o extremitate la rețeaua de alimentare și cu celelalte la cîte o perie. Prin rotirea în mod simultan a celor trei perii, se obține reglajul turației între  $50\%$  și  $120\%$  din viteza de rotație a cimpului magnetic învîrtitor.

Motorul se utilizează atunci cînd este necesar un anumit reglaj economic al turației și un cuplu puternic de pornire ca, de exemplu, la mașini de extracție, ventilatoare, compresoare.

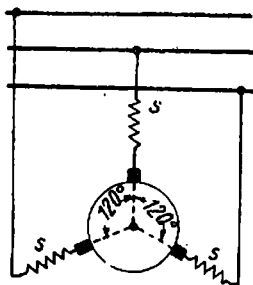


Fig. 17-2. Schema motorului trifazat serie cu colector.



#### 4. Motorul trifazat derivație cu colector

În figura 17—3 este reprezentat schematic acest motor. Statorul  $S$  este asemănător celui al unui motor asincron trifazat și se leagă la rețeaua de alimentare. Rotorul  $R$  este asemănător unui indus de generator de curent continuu, dar are trei peri la  $120^\circ$  pe periferia colectorului. Cele trei peri sint, de asemenea, legate la rețeaua de alimentare prin intermediul unui autotransformator trifazat  $A$ . Turația se reglează prin schimbarea prizelor de legătură la autotransformator. Motorul se utilizează în cazurile unde este necesar un reglaj economic al turației.

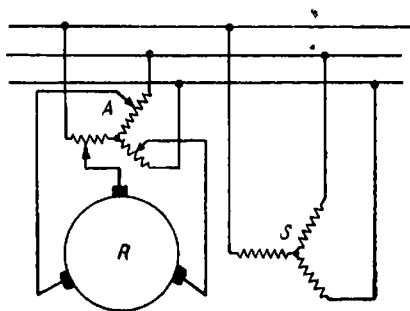


Fig. 17—3. Schema motorului trifazat derivație cu colector.

## Convertizoare și redresoare

Se numește de obicei *convertizor* o mașină sau un grup de mașini care transformă un gen de curent în alt gen; convertizorul poate realiza schimbarea frecvenței, tensiunii, numărul de faze, felul curentului (continuu sau alternativ) etc.

Convertizoarele pot fi grupate în două mari categorii: *rotative* și *statice*. Convertizoarele statice mai sînt cunoscute și sub denumirea de *redresoare*.

### 1. Convertizoare rotative

Un convertizor rotativ poate fi constituit din două mașini electrice rotative cuplate, una funcționînd ca motor și cealaltă, ca generator. Motorul primește energia electrică sub forma sub care este disponibilă și antrenează generatorul, care produce energie electrică sub forma care este necesară. Un astfel de grup de mașini (sau agregat) constituie un *convertizor motor-generator*. Cu ajutorul lui se poate, de exemplu, transforma curentul continuu (motor de curent continuu) în curent alternativ (generator de curent alternativ) sau invers. De asemenea, se poate transforma curentul trifazat de o anumită frecvență în curent monofazat de altă frecvență.

În R.P.R. se construiesc unele tipuri de convertizoare rotative constituite dintr-un motor asincron trifazat și un generator de curent continuu. Se menționează, de exemplu, convertizorul tip GEA cu generator de curent continuu de 10 kW și tensiune variabilă pentru încărcarea bateriilor de acumuloare.

Există și mașini monobloc (cu o singură carcasă), care pot transforma curentul continuu în curent alternativ, sau invers. Principiul de funcționare al acestor mașini, numite *comutatoare electrice*, rezultă din figura 18-1. În figura 18-1,a, *M* repre-

zintă o mașină de curent continuu avînd colectorul în stînga, iar periile colectorului legate la o rețea de curent continuu. Mașina funcționează ca orice motor de curent continuu. Pe capătul din dreapta al arborelui se găsesc trei inele metalice izolate între ele și izolate față de arbore. Pe fiecare inel freacă cite o perie, iar cele trei perii sînt legate la o rețea trifazată. Inelele sînt legate cu trei puncte de pe bobinajul indusului, situate la  $120^\circ$  între ele (fig. 18-1, b). Cînd mașina se rotește, între cele trei inele apar trei tensiuni trifazate, astfel încît prin intermediul inelelor și al periilor respective mașina poate produce curent trifazat și alimentează rețeaua trifazată. Comutatoarea descrisă primește energie sub formă de curent continuu și dă energie sub formă de curent trifazat. Comutatoarea este reversibilă. Ea poate fi alimentată cu curent trifazat prin cele trei inele și se învîrtește ca un motor sincron, iar la periile care freacă pe colector produce curent continuu, ca un generator de curent continuu.

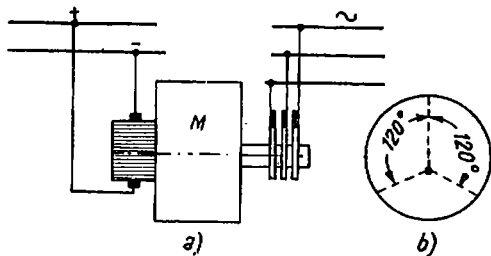


Fig. 18-1. Schema constructivă a comutatoarei.

Între tensiunea eficace  $U_a$  pe partea de curent alternativ trifazat și tensiunea  $U_c$  pe partea de curent continuu există o legătură neschimbată, și anume:

$$U_a = 0,612 U_c. \quad (18.1)$$

## 2. Redresoare

### a. Redresorul cu mercur

În figura 18-2 se consideră un vas  $V$  în care s-a făcut vid. În porțiunea notată cu  $C$  se găsește mercur, iar  $A$  este o piesă de fier sau de grafit.  $T$  reprezintă un transformator, la primarul căruia se aplică tensiunea alternativă avînd valoarea eficace  $U_a$ . Printr-un mijloc oarecare se încălzește pînă la incandescență o porțiune din partea superioară a mercurului. Între piesa  $A$

numită anod și mercurul care constituie catodul există o diferență de potențial și un câmp electric alternativ. Când potențialul anodului este pozitiv față de catodul de mercur, acesta emite electroni — particule de electricitate negativă — care se dirijează spre anodul pozitiv. Această scoatere a electronilor din mercur este posibilă numai dacă mercurul este încălzit pînă la incandescență. Electronii lovesc, în drumul lor spre anod, mole-

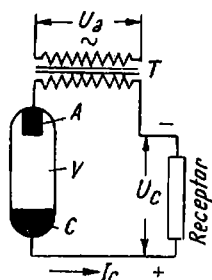


Fig. 18-2. Redresor cu mercur cu un anod.

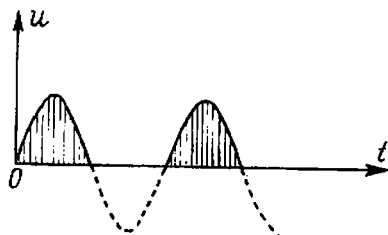


Fig. 18-3. Tensiune redresată cu pulsații intermitente.

culele de vapori de mercur care există în vas. Prin ciocnirile care au loc, unii electroni din atomii moleculelor sînt scoși din acești atomi, fiind apoi și ei atrași de anod. În felul acesta se produce o circulație de electroni în sensul catod-anod în interiorul vasului. În același timp, particulele care au pierdut electronii constituie ioni pozitivi, care sînt atrași de catodul negativ. Această dublă circulație de electroni într-un sens și ioni pozitivi în sens contrar constituie un arc electric, care permite să treacă un curent  $I_c$  în circuitul numit de utilizare și care cuprinde un receptor oarecare, după cum se arată în figură.

Arcul se stinge și curentul se întrerupe cînd anodul se găsește la un potențial negativ față de catod, deoarece din anod nu pot fi atrași electroni spre catod.

În figura 18-3 s-a trasat curba care arată variația tensiunii  $U$  din secundarul transformatorului în funcție de timp. Arcul, deci și curentul  $I_c$ , durează numai pentru intervalele de timp cînd tensiunea  $U$  are valori pozitive, adică pentru porțiunile hașurate din figură. Tensiunea  $U_c$  de la bornele circuitului de utilizare are forma unor pulsații pozitive și intermitente. Curentul  $I_c$  are și el o formă asemănătoare. Acest curent se numește curent redresat, iar aparatul se numește redresor cu mercur.

În figura 18-4 s-a considerat un vas  $V$  cu doi anodi  $A_1$  și  $A_2$ . Circuitul de utilizare este legat cu un capăt la catodul  $C$ , iar cu celălalt capăt, la mijlocul secundarului transformatorului  $T$ .

Cînd tensiunea alternativă aplicată transformatorului are, de exemplu, sensul săgeții pline, anodul

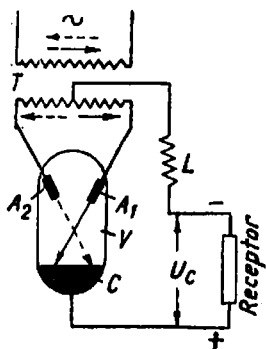


Fig. 18-4. Redresor cu doi anodi.

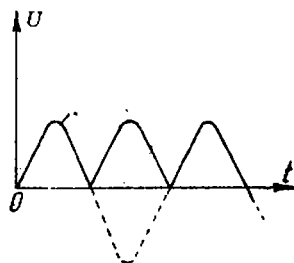


Fig. 18-5. Redresarea ambelor alternanțe.

dul  $A_1$  este pozitiv față de catod, iar cînd tensiunea are sensul săgeții punctate, anodul  $A_2$  este pozitiv față de catod. În consecință, va exista un arc electric la fiecare alternanță a curentului alternativ. Tensiunea  $U_c$  la bornele circuitului de utilizare are forma arătată prin linia groasă din

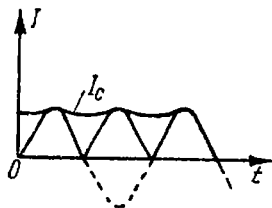


Fig. 18-6. Netezirea pulsațiilor.

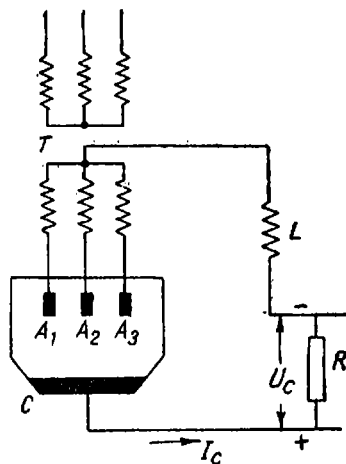


Fig. 18-7. Schema redresorului trifazat.

figura 18-5. S-a obținut o redresare mai bună, deoarece se utilizează ambele alternanțe. Inductanța  $L$  (fig. 18-4) din circuitul

de utilizare face ca pulsațiile curentului  $I_c$  să fie mai nivelate (fig. 18—6), astfel încît curba curentului se apropie de aceea a unui curent continuu.

Redresoarele descrise mai înainte sînt monofazate. Pentru puteri mai mari se utilizează însă redresoare trifazate (fig. 18—7). Transformatorul  $T$  al redresorului este trifazat, iar redresorul are trei anodi  $A_1$ ,  $A_2$  și  $A_3$ . Cele trei tensiuni trifazate  $U_1$ ,  $U_2$

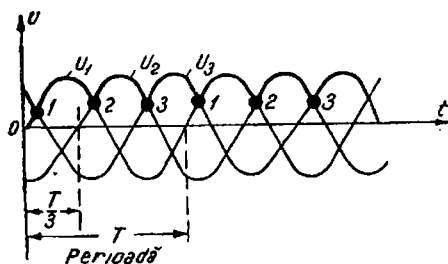


Fig. 18-8. Redresarea tensiunilor trifazate.

și  $U_3$ , pe care secundarul transformatorului le aplică asupra anozilor, sînt reprezentate grafic în figura 18—8. Se consideră de exemplu tensiunea  $U_1$  corespunzătoare anodului  $A_1$ . Arcul anodului  $A_1$  funcționează pentru porțiunea trasată mai gros a curbei corespunzătoare tensiunii  $U_1$ .

În punctul 2, tensiunea  $U_2$  a anodului  $A_2$  devine mai mare decît tensiunea  $U_1$ , astfel încît arcul sare de pe anodul  $A_1$  pe anodul  $A_2$ . În punctul 3, tensiunea  $U_3$  a anodului  $A_3$  devine mai mare decît tensiunea  $U_2$ , iar arcul sare de pe anodul  $A_2$  pe anodul  $A_3$  ș.a.m.d. Tensiunea redresată  $U_c$  are forma arătată prin curba cu trăsături mai groase din figura 18—8, adică este mult mai apropiată de o tensiune continuă. Curentul redresat  $I_c$  are și el o formă apropiată de aceea a unui curent continuu, cu atît mai mult cu cît în circuitul său se introduce bobina  $L$  pentru nivelarea undulațiilor.

Spre a se nivela și mai mult undulațiile tensiunii redresate, se utilizează redresoare cu un număr mai mare de anodi, de exemplu 6. În acest caz, secundarul transformatorului are șase faze.

Relația dintre tensiunea pe fază  $U_r$  a rețelei trifazate de alimentare și tensiunea medie redresată  $U$  este următoarea :

$$U_c = \frac{\sqrt{2}}{k} U_r \frac{n}{\pi} \sin \frac{\pi}{n}, \quad (18.2)$$

în care :

$k$  este raportul de transformare al transformatorului;  
 $n$  — numărul de anodi, sau de faze în secundarul transformatorului.

În practică, vasul redresoarelor este confecționat din sticlă pentru puteri mai mici și din oțel pentru puteri mai mari.

În figura 18-9 este reprezentată schema constructivă a unui redresor monofazat cu vas de sticlă. Redresorul are doi anodi principali  $A_1$  și  $A_2$ , astfel încât redresează ambele alternanțe. Pentru a se aduce catodul de mercur  $C$  la temperatura necesară, se pune în funcțiune anodul de aprindere  $a_a$ , închizându-se întreruptorul  $I_a$  și inclinandu-se astfel vasul, încît mercurul anodului de aprindere  $a_a$  să vină în contact cu mercurul catodului  $C$ . În felul acesta se produce un mic arc inițial. Pentru ca porțiunea incandescentă a catodului, numită *pata*

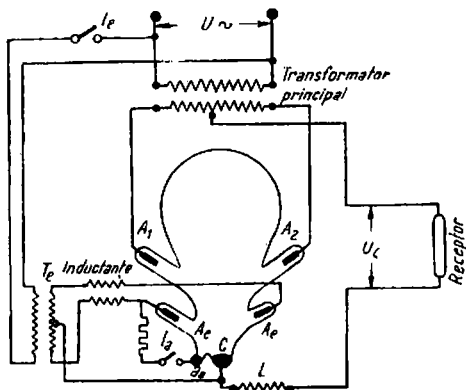


Fig. 18-9. Redresor cu vas de sticlă.

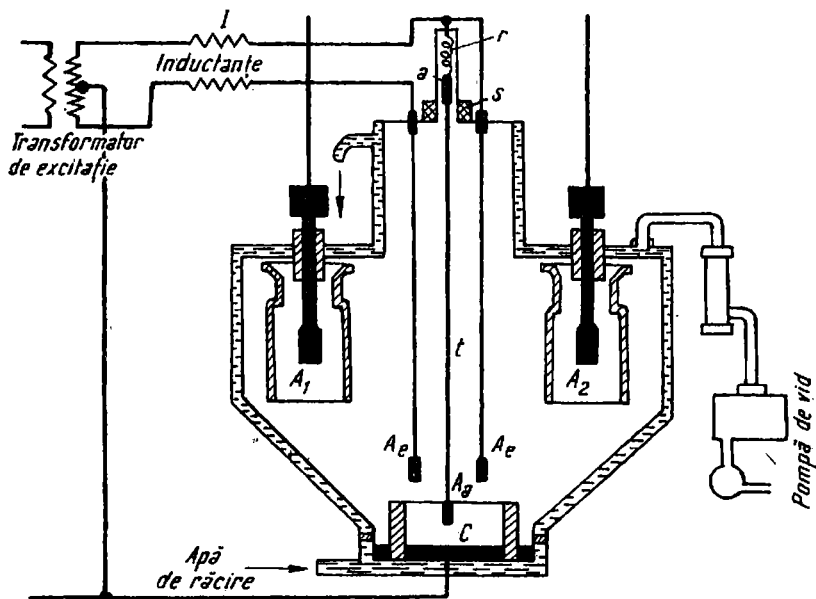


Fig. 18-10. Redresor cu vas metalic.

*catodică*, să se mențină și la sarcini mici, sînt prevăzuți anozii auxiliari  $A_e$ , numiți anozii de *excitație* sau de *întreținere*, alimentați separat prin transformatorul de excitație  $T_e$ , legat la rețea prin întreruptorul  $I_e$ .

În figura 18—10 este reprezentată schema constructivă a unui redresor cu vas metalic. În figură se văd numai doi anozii principali  $A_1$  și  $A_2$ . Aprinderea arcului principal se obține cu ajutorul anodului de aprindere  $A_a$ , fixat la capătul inferior al tijei metalice  $t$ . La capătul superior, tija are o armătură  $a$  care poate fi atrasă de bobina  $S$ , deasupra căreia se găsește resortul  $r$ . La punerea în funcțiune a redresorului, bobina atrăgînd armătura, cufundă anodul  $A_a$  în mercur. Întrurupindu-se apoi curentul din bobină, resortul  $r$  ridică anodul  $A_a$  din mercur, făcînd să apară un mic arc, care provoacă aprinderea anozilor de excitație  $A_e$  și care asigură, la rîndul lor, funcționarea anozilor principali.

Redresoarele se utilizează pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu (redresat) ca, de exemplu: pentru încărcarea bateriilor de acumulate (dacă se dispune numai de curent alternativ), pentru alimentarea tramvaielei (care au motoare de curent continuu), cu ajutorul energiei electrice date de o rețea trifazată și altele.

Aceste redresoare au avantajul de a fi aparate fără piese rotative, cu greutate mică și volum redus, cu un randament bun la orice sarcină.

Redresoarele cu mercur cu mai mulți anozii pot fi polianodice, cînd toți anozii se găsesc într-un singur vas, sau monoanodice, cînd fiecare anod își are vasul său.

Unele redresoare cu mercur monoanodice au un dispozitiv special de aprindere: în mercur se găsește cufundată parțial o piesă numită *ignitor*. În momentul cînd trebuie să se aprindă arcul, se trece un curent electric prin ignitor și mercur; se formează atunci un mic arc care provoacă aprinderea arcului principal, după care curentul electric prin ignitor se întrerupe pentru a fi produs din nou cînd este necesar să se reaprindă arcul principal. Asemenea redresoare se numesc *ignitroane* sau *redresoare ignitronice*.

La unele redresoare, între fiecare anod și catod se găsește un grătar metalic, numit grătar sau *grilă de comandă*. Grilele de comandă pot fi aduse, în anumite momente, printr-un dispozitiv special, la potențiale pozitive sau negative față de catod. Dacă, de exemplu, grila corespunzătoare unui anod este negativă, arcul anodului respectiv nu se mai poate aprinde în momentul arătat în figura 18—8, deoarece electronii care vin spre anod sînt respinși de grila negativă. Arcul se poate aprinde,



În acest caz, cu o anumită întârziere, și anume atunci când grila a devenit pozitivă. Prin această întârziere la aprinderea arcurilor se poate obține o modificare a curbei tensiunii redresate (fig. 18 — 11), ceea ce provoacă o reducere a tensiunii medii redresate. În felul acesta, prin variația întârzierii se poate regla între anumite limite tensiunea medie redresată. În figura 18—11,  $U_{c1}$  reprezintă tensiunea medie redresată în cazul când nu există întârziere la aprinderea arcurilor, iar  $U_{c2}$  în cazul când există o asemenea întârziere.

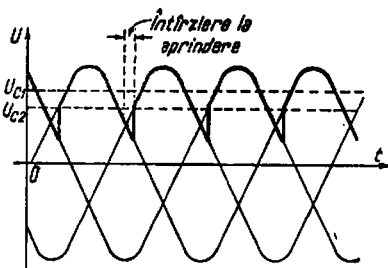


Fig. 18-11. Efectul întârzierii la aprinderea arcului.

### b. Redresoare uscate

Pentru puteri mai mici, se folosesc și redresoare uscate dintre care cele mai obișnuite sînt cu *cupru-oxid* și cu *seleniu*.

Redresorul cupru-oxid (fig. 18—12) este alcătuit dintr-o serie de elemente, fiecare element avînd o placă de cupru  $C$  și una de plumb  $P$ . Suprafața plăcii de cupru dinspre plumb este transformată în oxid de cupru ( $O$ ) printr-un tratament termic. Un asemenea element lasă să treacă curentul numai în sensul plumb-cupru.

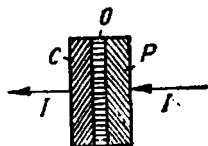


Fig. 18-12.  
Redresor cupru-oxid.

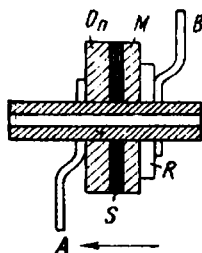


Fig. 18-13.  
Redresor cu seleniu.

Redresorul cu seleniu (fig. 18 — 13) este alcătuit dintr-o placă de oțel nichelat  $O_n$ , un strat de seleniu  $S$  și un strat de metal ușor fuzibil  $M$ . S-a notat prin  $R$  o rondelă elastică, iar prin  $A$  și  $B$ , bornele aparatului. Printr-un astfel de redresor, curentul poate circula numai în sensul seleniu-oțel.

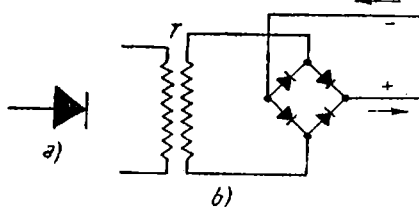


Fig. 18-14. Montaj în punte.

Redresoarele uscate se notează în schemele electrice ca în figura 18—14,*a*. Sensul săgeții arată sensul de circulație al curentului. Pentru a se putea redresa ambele alternanțe ale curentului, aceste redresoare se leagă între ele după diferite scheme, de exemplu, ca în *montajul în punte* reprezentat în figura 18—14,*b*, unde prin *T* s-a notat un transformator legat la rețeaua de curent alternativ.

În ultimul timp s-a început construirea redresoarelor uscate cu *siliciu* și *germaniu*.

### c. Redresoare cu tuburi electronice

Principiul redresării cu ajutorul tuburilor electronice a fost descris în capitolul IX, paragraf 5. În cele ce urmează se dau câteva scheme cu tuburi electronice redresoare.

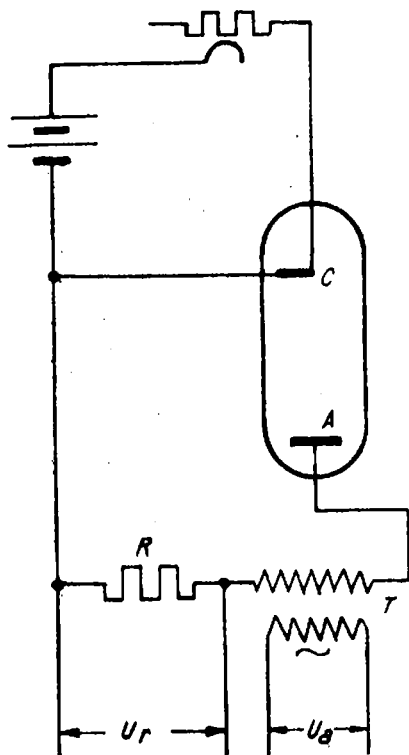


Fig. 18-15. Diodă redresoare.

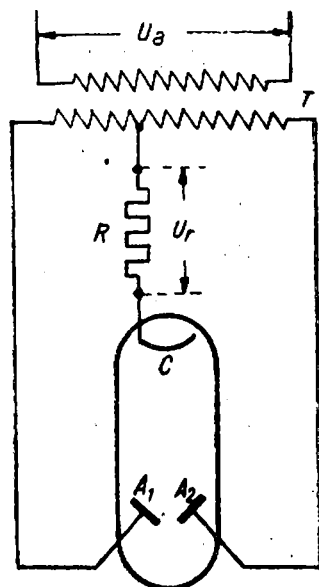


Fig. 18-16. Redresarea ambelor alternanțe printr-o diodă cu doi anodi.

Figura 18—15 reprezintă o diodă simplă redresoare. Cu această schemă se redresează în timpul unei perioade numai o singură alternanță. Tensiunea alternativă  $U_a$ , care trebuie redresată, este aplicată diodei prin intermediul transformatorului  $T$ , iar tensiunea redresată  $U_r$ , se obține la bornele rezistenței  $R$ .

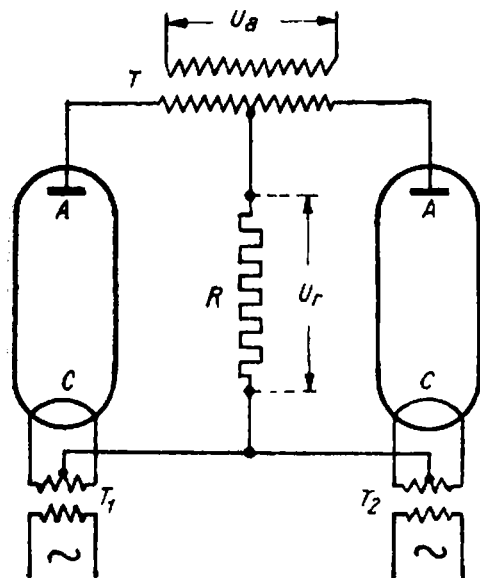


Fig. 18—17. Redresarea ambelor alternanțe cu două diode.

Figura 18—16 reprezintă o diodă cu doi anodi  $A_1$  și  $A_2$ , care redresează ambele alternanțe. Tensiunea alternativă  $U_a$  de redresat

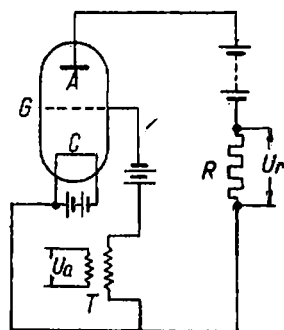


Fig. 18—18. Triodă redresoare.

se aplică și aici prin intermediul unui transformator  $T$ , obținându-se în  $U_r$  tensiunea redresată.

În figura 18—17 se prezintă o schemă cu două diode, care redresează, de asemenea, ambele alternanțe.  $U_a$  este tensiunea alternativă, care trebuie redresată, iar  $U_r$  este tensiunea redresată,  $T$  fiind un transformator. Cele două diode au catodii încălziți cu curent alternativ, prin intermediul transformatoarelor  $T_1$  și  $T_2$ .

Figura 18—18 prezintă o schemă a unei triode redresoare. Tensiunea  $U_a$  care trebuie redresată este aplicată circuitului de grilă cu ajutorul transformatorului  $T$ , iar tensiunea redresată  $U_r$  este obținută la bornele rezistenței  $R$  din circuitul anodic.

## Iluminatul electric

### 1. Noțiuni generale: mărimi și unități fotometrice de bază, sisteme de iluminat

Iluminatul artificial reprezintă, ca și cel natural, o problemă de o importanță deosebită în activitatea omului, deoarece s-a constatat practic că un iluminat de bună calitate îmbunătățește condițiile de muncă, reduce numărul de accidente și evită apariția unor boli profesionale, ca de exemplu, nistagmus (sau cliptul ochilor). În plus, un iluminat de bună calitate mărește productivitatea muncii, asigură o folosire cât mai bună a uneltelor și mașinilor de lucru, mărește calitatea producției și micșorează rebuturile.

Pentru a putea vedea, este necesar să existe un minimum de lumină. Crescând iluminarea, ochiul începe să vadă din ce în ce mai bine. Datorită diferențelor de culoare și de strălucire a diferitelor puncte ale unui obiect, datorită umbrelor, ochiul distinge obiectele.

Mărind iluminarea peste o anumită limită, efectul de îmbunătățire a vederii nu se mai simte, adică, deși iluminarea crește, vederea nu se îmbunătățește mai mult, mărind iluminarea în continuare, obiectele devin strălucitoare, vederea începe să fie jenată și se ajunge la orbire, adică omul nu mai distinge obiectele.

Dacă într-un spațiu iluminat normal se reduce iluminarea, în primele momente se constată o scădere a vederii, dar după un timp oarecare, prin „adaptarea la obscuritate”, ochiul începe să vadă din nou. Timpul pe care îl necesită adaptarea la obscuritate poate ajunge uneori la câteva minute. (De exemplu, când se intră de la lumină într-o sală de cinematograful, în cursul spectacolului, la început, la lumina slabă dată de ecran, nu se pot distinge lucrurile și oamenii din jur, dar după câteva mi-

nute se pot vedea destul de bine rindurile de scaune, oamenii, pereții etc.).

Pentru a distinge clar obiecte așezate la distanțe diferite, ochiul trebuie să se „acomodeze“. Acomodarea necesită (ca și adaptarea) un timp cu atât mai scurt cu cât iluminarea este mai bună. Strălucirea intensă a unui obiect jenează vederea și îngreunează acomodarea.

O instalație de iluminat care nu ține seama de aceste necesități ale unei vederi în bune condiții va fi o instalație necorespunzătoare. (De exemplu, în apropierea tabloului de control al unei instalații nu trebuie să fie obiecte strălucitoare, cum este chiar cazul unei lămpi cu incandescență pentru iluminatul tabloului, dacă i se vede filamentul incandescent, atunci când privești spre tablou; în această situație, prin fenomenul de orbire produs de strălucirea filamentului incandescent, citirea indicațiilor aparatelor este stânjenită).

Mărimile și unitățile fotometrice principale pe baza cărora pot fi apreciate un iluminat și o instalație de iluminat oarecare sînt enumerate și descrise mai jos:

*Fluxul luminos  $\Phi$*  este cantitatea de energie corespunzătoare radiațiilor vizibile emise, în unitatea de timp, de către un izvor de lumină; cu alte cuvinte, fluxul luminos emis de un izvor de lumină este puterea corespunzătoare radiațiilor care produc senzația de lumină.

Fluxul luminos se măsoară în lumeni. Lumenul (lm) este o unitate de putere de 650 ori mai mică decît wattul.

*Intensitatea luminoasă.* Pentru a înțelege această mărime se consideră o sferă de rază  $R$  în centrul căreia se află izvorul de lumină (fig. 19-1); pe suprafața acestei sfere se consideră o zonă cu o suprafață  $S$  prin care iese lumina. Raportul dintre suprafața  $S$  și pătratul razei sferei:

$$\Omega = \frac{S}{R^2},$$

se numește, după cum se știe, unghiul solid  $\Omega$  sub care se vede din centrul sferei aria  $S$ .

Raportul dintre fluxul luminos  $\Phi$  emis printr-un unghi solid elementar  $\Omega$

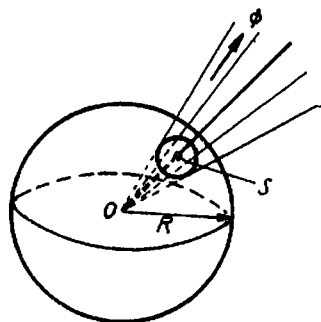


Fig. 19-1. Un izvor de lumină punctiform  $O$  emite un flux luminos  $\Phi$  printr-un unghi solid

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

și unghiul solid elementar reprezintă intensitatea luminoasă  $I$  a izvorului de lumină în direcția considerată:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}. \quad (19.1)$$

Cu cât fluxul emis într-un unghi solid este mai mare, cu atât și intensitatea luminoasă pe direcția respectivă va fi mai mare.

Intensitatea luminoasă se măsoară în *candele*. Candela (cd) este intensitatea luminoasă a unui izvor de lumină care emite un flux de un lumen, printr-un unghi solid unitate. Unghiul solid unitate este unghiul solid determinat de o suprafață  $S = 1 \text{ m}^2$  pe o sferă cu raza  $R = 1 \text{ m}$  și se numește steradian (str). (Cu alte cuvinte, unghiul solid unitate este acela determinat de o suprafață  $S = R^2$  așezată pe o sferă de rază  $R$ .)

*Illuminarea*  $E$  într-un punct al unei suprafețe  $S$  este raportul dintre fluxul luminos  $\Phi$  și suprafața considerată:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (19.2)$$

Cu alte cuvinte, iluminarea este densitatea fluxului luminos care cade pe o suprafață.

Illuminarea se măsoară în *lucși*. Luxul (lx) este iluminarea unei suprafețe de  $1 \text{ m}^2$  pe care cade un flux luminos de  $1 \text{ lm}$ , uniform repartizat.

*Factor de eficacitate luminoasă*  $\eta$ , al unui izvor de lumină este raportul dintre fluxul luminos  $\Phi$  emis de izvorul de lumină și puterea  $P$  consumată de acel izvor pentru producerea fluxului  $\Phi$ :

$$\eta = \frac{\Phi}{P}. \quad (19.3)$$

Factorul de eficacitate luminoasă se măsoară în lumen pe watt (lm/W). Cu cât factorul de eficacitate luminoasă este mai mare, cu atât izvorul de lumină respectiv, va produce, la aceeași putere consumată, un flux luminos mai mare.

Din fluxul luminos care cade pe un obiect, o parte se reflectă, o parte este absorbită de obiect, iar o parte poate fi transmisă mai departe.

Raportul dintre fluxul care se reflectă (flux reflectat  $\Phi_r$ ) și fluxul care cade pe obiect (flux incident  $\Phi_i$ ) se numește factor sau coeficient de reflecție  $\rho$ .

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}. \quad (19.4)$$

Cu cît un material oarecare are un coeficient de reflecție mai mare, cu atît el va reflecta o parte mai mare din fluxul incident. Astfel, un perete sau o suprafață cu o culoare deschisă are un coeficient de reflecție mai mare decît una cu o culoare închisă (vezi tabela 19—6).

Iluminatul artificial poate fi de diferite feluri. Astfel, după locul unde se aplică, el poate fi:

- *iluminat interior* (în clădiri);
- *iluminat exterior* (în spații deschise, șantiere etc.).

După modul cum este iluminat locul de muncă, iluminatul poate fi:

- *iluminat general*, cînd asigură o iluminare uniformă pe o suprafață mai mare de lucru (iluminatul unei hale, o zonă a unui șantier etc.); iluminatul spațiilor destinate circulației publice este un alt exemplu de iluminat general și se numește **i l u m i n a t   p u b l i c**;

- *iluminat local*, cînd se asigură un iluminat mai bun unui loc de muncă de dimensiuni reduse (locul de lucru efectiv la un strung, la un birou etc.);

- *iluminat combinat*, obținut prin suprapunerea unui iluminat general cu un iluminat local.

După modul cum fluxul luminos emis de izvorul de lumină ajunge la suprafața utilă de lucru, iluminatul poate fi:

- *iluminat direct*, cînd circa 90% din fluxul emis de sursă cade direct pe suprafața de lucru (utilă);

- *iluminat indirect*, cînd circa 90% din fluxul emis de sursă ajunge la suprafața utilă după o reflecție (pe tavan, pereți și diverse elemente arhitecturale);

- *iluminat difuz*, cînd circa 40—60% din fluxul emis de sursă realizează un iluminat direct, iar restul, un iluminat indirect;

- *iluminat semidirect*, cînd numai 60—90% din fluxul emis realizează un iluminat direct;

- *iluminat semiindirect*, cînd numai 60—90% din fluxul emis realizează un iluminat indirect.

Ținînd seama de caracterul instalației de iluminat, iluminatul mai poate fi:

- *fix*, realizat prin instalații fixe;
- *mobîl*, realizat prin instalații mobile (lămpi portative alimentate prin cablu flexibil de la rețeaua electrică);
- *portativ*, realizat prin instalații portative la care sursa de alimentare cu energie este înglobată în aparatul de iluminat portativ.

După scopul urmărit:

- *iluminat normal*, utilizat pentru lucru în condiții normale;
- *iluminat de siguranță*, utilizat în cazuri de avarie a iluminatului normal;
- *iluminat de pază*, utilizat pentru paza de noapte a șanti-erelor, clădirilor etc.

## 2. Izvoare de lumină

Izvoarele de lumină utilizate în mod curent sînt *lămpile cu incandescență* și *lămpile cu fluorescență*. Pe lângă acestea, mai

sînt utilizate lămpile cu arc electric, lămpile cu descărcări în gaze și în vapori metalici (mercur, sodiu).

În R.P.R., producția izvoarelor de lumină este asigurată de întreprinderile Electrofarul și Steaua electrică-Fieni, modern utilizate.

a) *Lampa cu incandescență* sau *becul electric* (fig. 19—2) se bazează pe aducerea la incandescență (circa  $2\ 800^{\circ}\text{C}$ ) a unui filament metalic cu ajutorul curentului electric. Pentru a împiedica distrugerea filamentului prin oxidare, acesta este închis într-un balon de sticlă în care se face vacuum sau se introduce un gaz inert (argon, azot, kripton). Lampa este conectată în circuit prin intermediul soclului ei, care se introduce în dulie. Soclul și dulia pot fi cu filet rotund (fig. 19—2,a)

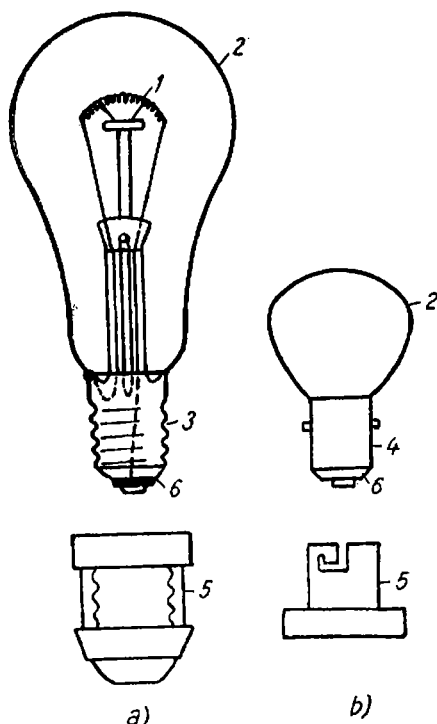


Fig. 19—2. Lampă cu incandescență:

- a — cu soclul și dulia cu filet rotund; b — cu soclul și dulia balonetă; 1 — filament metalic; 2 — balon de sticlă; 3 — soclul cu filet rotund; 4 — soclul balonetă; 5 — dulie; 6 — izolație.



sau cu baionetă (fig. 19—2, b). Dulia are borne pentru conectarea ei la rețeaua electrică.

Factorul de eficacitate luminoasă a lămpilor cu incandescență este cuprins între 11 și 18 lm/W. Strălucirea filamentului este mare. Lămpile sînt construite pentru puteri pînă la 1 000 W și chiar mai mult. Durata utilă a unei lămpi cu incandescență se consideră de 1 000 ore de utilizare; după acest timp, datorită volatilizării în parte a filamentului, fluxul luminos scade cu 10—20 % din valoarea sa normală inițială. Lampa cu incandescență este sensibilă la variațiile de tensiune; la o creștere de tensiune de 10 % peste tensiunea nominală, crește fluxul luminos produs, însă durata de utilizare scade de circa 4 ori; la o scădere a tensiunii sub valoarea nominală, crește durata de utilizare dar se reduce sensibil fluxul luminos produs. De aceea, în rețelele de iluminat, tensiunea trebuie să rămînă cît mai constantă, la valoarea nominală.

Uneori, în calculele de iluminat este necesar să se cunoască intensitatea luminoasă pe care o produce lampa pe o anumită direcție.

Acest lucru este dat în cataloage prin „curba fotometrică polară meridiană a intensității luminoase” a lămpii (sau a izvorului de lumină respectiv); curba fotometrică (fig. 19—3) reprezintă grafic intensitatea luminoasă pe diferitele direcții care trec prin centrul sursei. Astfel, în figura 19—3, direcției de 60° îi corespunde o intensitate luminoasă de  $I_{\alpha=60^\circ} = 80$  cd. De obicei, curba fotometrică este dată pentru o lampă cu un flux luminos de 1 000 lm; pentru o lampă cu aceeași construcție, dar cu un flux luminos  $\Phi$  diferit de 1 000 lm, intensitatea luminoasă  $I_{\alpha\Phi}$  corespunzătoare pe o direcție oarecare se calculează în funcție de intensitatea luminoasă  $I_{\alpha 1000}$  dată de curbă pentru aceeași direcție corespunzătoare lămpii de 1 000 lm, aplicînd formula:

$$I_{\alpha\Phi} = \frac{\Phi}{1\,000} \cdot I_{\alpha 1\,000} = k_{\Phi} \cdot I_{\alpha 1\,000} \quad (19.5)$$

Curbele fotometrice pot fi date și sub formă de tabele. Ele sînt date atît pentru diferitele tipuri și formații de lămpi, cît și pentru lămpi montate în corpuri de iluminat (vezi mai departe; de reținut că un corp de iluminat modifică repartizarea intensității luminoase a lămpii).

În tabela 19—1 sînt arătate caracteristicile principale ale lămpilor cu incandescență fabricate în patria noastră.

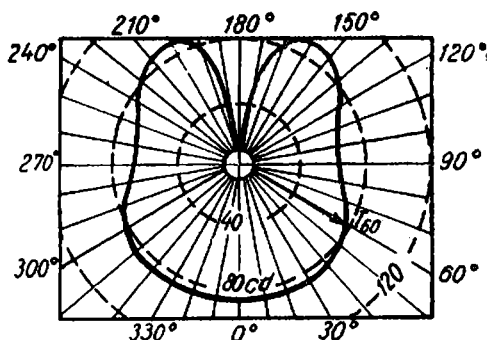


Fig. 19—3. Curba fotometrică polară meridiană a unei lămpi cu incandescență (de 1 000 lm).

**Caracteristicile principale ale lămpilor cu incandescență**  
(NI 69/52)

Tensiune, în V	Pu- tere, în W	Flux luminos, în lm	Socul	Tensiune, în V	Pu- tere, în W	Flux luminos, în lm	Socul
120	15	120	E 27	220	25	190	E 27
	25	218	E 27		40	312	E 27
	40	372	E 27		60	515	E 27
	60	625	E 27		75	705	E 27
	75	840	E 27		100	1 040	E 27
	100	1 210	E 27		150	1 770	E 27
	150	2 020	E 27		200	2 540	E 27
	200	2 880	E 27		300	4 260	E 27, E 40
	300	4 680	E 27, E 40		500	7 350	E 40
	500	8 000	E 40		750	11 800	E 40
	750	12 600	E 40		1 000	16 700	E 40
	1 000	17 700	E 40				

b) *Lampa cu fluorescență*. Funcționarea lămpii cu fluorescență se bazează pe transformarea radiațiilor invizibile ultraviolete, în radiații vizibile, pe baza fenomenului de fluorescență. Radiațiile invizibile ultraviolete sînt produse de o descărcare electrică prin vapori de mercur și gaze conținute într-un tub la presiune scăzută. Din totalul radiațiilor produse, numai 15% sînt radiații violete vizibile, restul sînt radiații ultraviolete invizibile. Pe pereții tubului în care are loc descărcarea se află un strat de compuși chimici numiți luminofori, care fiind supuși acțiunii radiațiilor ultraviolete produc prin fluorescență radiații vizibile.

Factorul de eficacitate luminoasă a lămpilor cu fluorescență este de 33-35 lm/W, adică de 3-3,5 ori mai mare decît la lămpile cu incandescență. Strălucirea lămpii este mult mai redusă, de aproximativ 1 000 ori mai mică decît la lămpile cu incandescență. Durata de utilizare a lămpilor este de 3 000 h. Lămpile cu fluorescență se construiesc sub formă de tuburi (30-150 cm lungime) și pentru puteri de 20-150W: în funcție de compoziția gazelor introduse în tub ele pot da o lumină foarte apropiată de lumina zilei.

Lampa cu fluorescență nu este influențată de variațiile obișnuite de tensiune, n schimb ea este influențată de temperatură (la rece mercurul condensează, la temperaturi mai mari se reduce eficacitatea luminoasă a lămpii).

La tensiunea industrială cu frecvență de 50 Hz, lampa cu fluorescență se stinge de 100 ori pe secundă (la toate trecerile cu-

rentului prin zero); ca urmare, piesele care sînt în mișcare de rotație fiind luminate periodic, se văd fie stînd pe loc, fie mergînd cu o viteză diferită de aceea reală, sau uneori se văd rotindu-se chiar în sens invers decît în realitate; de asemenea, mișcînd repede mina sau o unealtă oarecare, ochiul vede o succesiune de imagini care produce o jenă a vederii. Se spune că lampa produce un „efect stroboscopic”. Cînd se folosesc mai multe lămpi, acest neajuns poate fi micșorat legînd lămpile între faze diferite ale rețelei.

La lampa cu incandescentă, datorită inerției filamentului, care rămîne incandescent chiar cînd curentul trece prin zero, efectul stroboscopic nu este practic observabil.

Lampa cu fluorescență a cărei schemă electrică este reprezentată în figura 19—4, cuprinde: tubul  $T$ , în care se produce descărcarea; cei doi catozi  $C_1$ , sub forma unor filamente metalice, așezate la capetele tubului; o lampă specială  $S$ , numită starter; o reactanță (bobină de șoc) de stabilizare  $R$ , formată dintr-un bobinaj așezat pe un miez de fier; două condensatoare  $C_1$  și  $C_2$ .

Starterul  $S$  este o mică lampă cu descărcare în gaze (neon), la care unul din cei doi electrozi ai săi este executat dintr-o lamă bimetal.

Punînd lampa sub tensiune, între cei doi electrozi ai starterului (care în mod normal nu fac contact între ei) apare o descărcare luminescentă în neon. Această descărcare produce încălzirea electrozilor săi; electrodul bimetalic, deformîndu-se, face contact cu celălalt electrod, închizînd astfel circuitul filamentelor  $C_1$  ale lămpii. Filamentele sînt străbătute de curent, se încălzesc la 800—1 000°C și emit electroni. Între timp, starterul se răcește, și la un moment dat, contactul dintre cei doi electrozi ai lui se deschide, întrerupînd curentul din circuitul filamentelor  $C_1$ ; datorită reactanței (inductive)  $R$ , la întreruperea curentului apare o supratensiune de cîteva sute de volți care, aplicîndu-se la capetele tubului între filamente, amorsează descărcarea prin

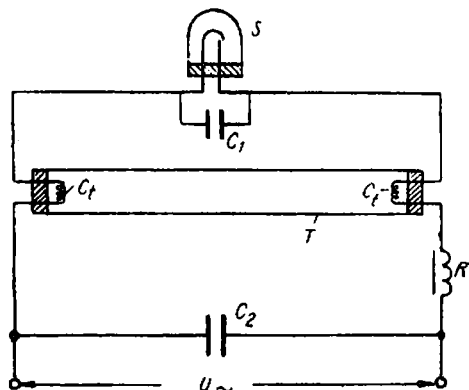


Fig. 19—4. Schema electrică a unei lămpi cu fluorescență, cu catozi calzi:

$T$  — tub de sticlă;  $C_1$  — filamente metalice;  $S$  — starter;  $R$  — reactanță de stabilizare (bobină de șoc);  $C_1, C_2$  — condensatoare.

tub între filamente și lampa intră astfel în funcțiune. Curentul de descărcare în lampă este limitat de reactanța de stabilizare; dacă ea ar lipsi, curentul ar crește la valori care ar distruge lampa. După intrarea în funcțiune a lămpii, tensiunea la capetele tubului scade sub tensiunea de aprindere a starterului și acesta nu mai funcționează. Dacă lampa nu s-a aprins după prima deschidere a contactelor starterului, acesta intră din nou în funcțiune, chiar de mai multe ori, până când lampa se aprinde. De aceea, lampa se aprinde în circa 1 minut. Există lămpi la care starterul este realizat cu ajutorul unui dispozitiv care conține un mic releu electrotermic și un releu electromagnetic.

O dată lampa aprinsă, deși catozii nu mai sînt străbătuți de curent, ei continuă să rămînă calzi datorită bombardamentului cu electrozii la care sînt supuși, ca urmare a descărcării din lampă.

Pentru ca funcționarea starterului să nu producă paraziți, starterul se șuntează cu un condensator  $C_1$ . Pentru a îmbunătăți factorul de putere a lămpii, care este redus datorită reactanței (inductive) de stabilizare, se folosește condensatorul  $C_2$ . În felul acesta, factorul de putere a lămpii este de 0,9—0,95.

În tabela 19—2 sînt arătate caracteristicile principale ale lămpilor cu fluorescență.

Tabela 19—2

Caracteristicile principale ale lămpilor cu fluorescență (U.R.S.S.)

Tensiune în V	Putere, în W	Flux luminos, lm		Dimensiunile tubului, mm	
		lumina albă	lumina zilei	lungime	diametru
127	8	272	—	305	16
127	12	325	—	320	25
127	15	540	465	450	25
127	20	760	660	600	38
220	30	1 230	1 080	900	25
220	40	1 720	1 520	1 200	38

*Lampă cu vapori de mercur de înaltă presiune.* În ultima vreme, în special la iluminatul public, se folosește o lampă cu vapori de mercur de înaltă presiune cu puteri de 50 la 1 000 W, la tensiunea de 220 V și 50 Hz (fig. 19—5). Lampa cu mercur, construită dintr-un tub de cuarț 1, servește ca sursă de radiații ultraviolete; aceste radiații sînt transformate în radiații vizibile cu ajutorul unor substanțe fluorescente (luminofori) așezate pe pereții interiori ai balonului 2 al lămpii. Aprinderea lămpii se face prin intermediul unui electrod auxiliar 3, și durează cîteva

minute, în care timp lumina crește progresiv o dată cu stabilirea descărcării între electrozii principali 4.

Pentru a limita curentul prin lampă la o valoare nepericuloasă, se montează în serie pe circuit o reactanță inductivă 5.

Dacă lampa este deconectată de la rețea și apoi conectată imediat, ea se stinge, dar nu se mai reaprinde decât după un anumit interval de timp.

Ca izvoare de lumină, pe lângă lămpile descrise, care se utilizează la iluminatul obișnuit, în practică se mai întâlnesc lămpi cu incandescență de construcție specială, folosite la aparatele de proiecție, la proiectoare sau alte aparate optice. De asemenea se mai întâlnesc în practică și alte tipuri de lămpi cu mercur sau cu alți vapori metalici, de exemplu, sodiu, și care au în general utilizări speciale.

Lămpile cu descărcări în gaze se întâlnesc sub formă de tuburi lungi (alimentate la tensiuni mari), la realizarea reclamelor luminoase, așa cum s-a mai arătat.

Un alt izvor de lumină utilizat în practică, în special la aparatele de proiecție (cinematograf), la proiectoarele mari și la heliografe este arcul electric în aer, stabilit între doi electrozi de cărbune<sup>1</sup>.

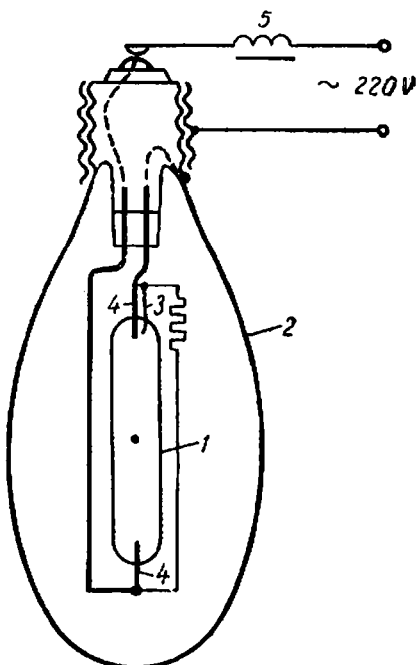


Fig. 19-5. Lampă cu vapori de mercur de înaltă presiune:

1 — tub de cuarț; 2 — balon de sticlă purtând luminofori pe partea interioară; 3 — electrod auxiliar; 4 — electrozi principali; 5 — reactanță inductivă.

<sup>1</sup> De fapt prima utilizare a energiei electrice la iluminat s-a făcut prin intermediul arcului stabilit între doi electrozi de cărbune, lampa respectivă fiind denumită lumina lui Iabločikov. Această lampă avea cărbunii așezați paralel, astfel încât arcul se menținea stabil pînă la arderea completă a electrozilor, fără să fie nevoie de vreun reglaj al distanței dintre ei.

### 3. Aparate de iluminat

Pentru folosirea practică, lămpile — izvoarele de lumină — sînt montate într-un complex de piese denumit armătură sau aparat de iluminat. Aparatele de iluminat au drept scop: să asigure alimentarea cu energie electrică a lămpii; să facă o redistribuire rațională a fluxului luminos în raport cu felul iluminatului; să evite efectul de orbire pe care l-ar produce strălucirea intensă a filamentului lămpilor cu incandescență; în unele cazuri, aparatul de iluminat trebuie să protejeze lampa contra deteriorării ei pe cale mecanică, contra murdăriei, contra efectelor dăunătoare ale mediului (praf, umezeală etc.), iar în alte cazuri, să protejeze mediul înconjurător contra temperaturilor ridicate (scînteii etc.) pe care le poate produce lampa. De aici rezultă și diferite moduri de execuție ale aparatelor de iluminat (execuție normală, protejată, etanșă, antideflagrantă etc.).

Aparatele de iluminat sînt:

- corpuri de iluminat;
- proiectoare.

*Corpul de iluminat* redistribuie astfel fluxul luminos, încît să se obțină iluminarea în bune condiții a unor suprafețe situate la distanțe relativ mici.

*Proiectorul* dirijează fluxul luminos într-un unghi solid mic, în scopul de a produce iluminări bune pe suprafețe situate la distanțe mari.

*Corpurile de iluminat* cele mai uzuale sînt arătate în tabela 19—3. Orice corp de iluminat cuprinde, ca elemente esențiale, o dulie pentru fixarea lămpii electrice și conectarea ei la rețeaua electrică și un sistem optic (globuri opale, reflectoare etc.), care asigură redistribuirea fluxului luminos. În funcționare, datorită prăfuirii, calitățile corpului de iluminat se depreciază. Se definește drept „factor de depreciere”  $\Delta_c$  al unui corp de iluminat raportul:

$$\Delta_c = \frac{\Phi_c}{\Phi_{ei}} \quad (19.6)$$

în care  $\Phi_c$  este fluxul luminos mediu emis de corpul de iluminat în timpul funcționării, iar  $\Phi_{ei}$  este fluxul luminos emis de același corp în condiții inițiale (șters de praf și neuzat). Așa cum se arată și în tabela 19—3, factorul de depreciere depinde de felul corpului de iluminat și de modul în care el este întreținut (șters de praf).

Proiectoarele folosite în general la iluminatul spațiilor mari, de exemplu, lucrări de șantier, gări de triaj, fațade de clădiri, cinematografe etc. sînt de tipul proiectoarelor sovietice tip ПЗ (fig. 19-6) ale căror caracteristici principale sînt redată în tabela 19-4.

În afară de iluminatul șantierelor, proiectoarele sînt folosite și pe vehicule, cînd se numesc faruri.

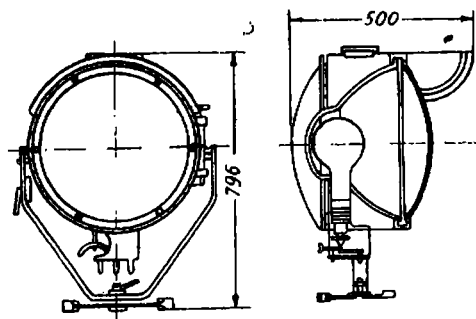


Fig. 19-6. Proiector tip ПЗ.

Tabela 19-4

Caracteristicile principale ale proiectoarelor sovietice tip ПЗ

Tipul proiecto- rului	Ten- siunea, în V	Puterea lămpii, în W	Intensitatea luminoasă maximă, în cd	Deschiderea utilă în plan		Fluxul luminos util (în deschide- rea utilă), în lm	Randamentul	
				orizon- tal $\alpha^\circ$	vertical $\beta^\circ$		total, în %	în des- chiderea utilă, în %
ПЗ-35	110	500	70 000	28	19	3 200	52	38
	220	500	40 000	33	20	2 200	52	38
ПЗ-45	110	1 000	200 000	30	16	7 000	60	38
	220	1 000	135 000	31	18	5 500	60	38

#### 4. Calculul iluminatului cu corpuri de iluminat

Calculul iluminatului are drept scop stabilirea numărului și puterii lămpilor, alegerea aparatelor de iluminat și amplasarea lor, pentru a asigura un iluminat rațional al unei suprafețe de lucru. Prin iluminat rațional se înțelege asigurarea unei iluminări minime necesare și a unui factor bun de uniformitate a iluminării suprafeței de lucru, evitînd efectele de orbire etc., în concordanță cu recomandările normelor.

În tabela 19-5 sint date cîteva valori ale iluminărilor minime recomandate pentru iluminatul cu lămpi cu incandescență la diferite lucrări. Trebuie menționat că utilizarea iluminatului fluorescent tinde să mărească cu mult iluminările minime admise, față de iluminatul cu lămpi cu incandescență.

Tabela 19-5

**Iluminări minime, recomandate pentru diferite lucrări**

L o c u l	Iluminarea lx	L o c u l	Iluminarea lx
Ateliere mecanice....	30	Laboratoare .....	50
Lucrări la banc ....	75	Săli de club, săli de ședințe .....	50
Mașini unelte .....	150-300	Vestibule .....	20
Hale de montaj ....	50	Coridoare, scări ....	10
Lucrări de montaj fine	150	Vestiare, dușuri, clo- sete .....	15
Lucrări de precizie la trasaaj .....	500	Săli de desen .....	100
Forje și prese .....	50	Birouri de proiectare	75
Turnătorie .....	50	Birouri dactilografe	100
Vopsitorie și emailaj	50	Birouri administrative	50
Ringuri și selfactori (textile)	75	Cantine .....	50
Războaie la plină și urzeală .....	75-125	Bucătărie .....	50
		Străzi pe partea caro- sabilă .....	2-6
		Străzi pe trotuar ..	1-3

Pentru evitarea efectului de orbire, practic se cere ca unghiul sub care vede ochiul filamentul cu incandescență (unghiul dintre orizontală și raza care unește filamentul incandescent cu ochiul) să fie mai mare decît 30°; în același scop se utilizează și corpuri de iluminat care au o apărătoare din sticlă mată sau lăptoasă.

Metodele folosite în mod curent pentru calculul iluminatului sint:

- metoda prin puncte;
- metoda fluxului luminos;
- metoda puterii specifice.

a) *Metoda prin puncte.* Cunoscînd poziția unui punct A față de un izvor de lumină, așa cum se arată în figura 19-7, se poate calcula iluminarea pe un plan orizontal  $E_o$  și iluminarea pe un plan vertical  $E_v$  aplicînd relațiile:

$$E_o = \frac{k_{\Phi} I_{\alpha} 1000 \cos^2 \alpha}{k \cdot h^2} \quad E_v = \frac{k_{\Phi} I_{\alpha} 1000 \cos^2 \alpha \sin \alpha}{k \cdot h^2} \quad (19.7)$$



în care:

$E_0$  și  $E_v$  sînt iluminarea pe un plan orizontal, respectiv vertical, în lx;  
 $I_{\alpha 1000}$  (în cd) și  $k\Phi$  au semnificațiile arătate la relația (19.5);

$\alpha$  — unghiul dintre verticală și direcția razei de lumină de la lampă la punctul considerat al suprafeței iluminate;

$h$  — înălțimea de suspendare a lămpii față de punctul considerat al suprafeței iluminate, în m;

$k$  — un coeficient de siguranță care ține seama de scăderea în timp a intensității luminoase produse de lampă, datorită deprecierei prin prăfuire și îmbătrânire. Acest coeficient se ia  $k = 1,2 \dots 2$ .

În cazurile practice, se cunosc de obicei  $k\Phi$  și  $I_{\alpha 1000}$  (prin alegerea lămpii și corpului de iluminat); se cunosc de asemenea  $k$ ,  $h$  și  $\alpha$  (prin amplasarea corpului de iluminat față de suprafața utilă); prin aplicarea formulelor (19-3) se verifică iluminările  $E_0$  și  $E_v$ , după caz.

Cînd același punct este iluminat de mai multe lămpi, iluminările date de fiecare lampă în punctul respectiv se adună.

Calculul iluminatului prin metoda prin puncte nu ține seama de fluxul luminos reflectat de suprafețele vecine spre suprafața utilă de lucru. De aceea, această metodă se aplică la calculul iluminatului spațiilor deschise sau în încăperile cu pereții de culoare închisă (hale industriale mari, iluminat public etc.).

b) *Metoda fluxului luminos* ține seama de fluxul luminos reflectat de suprafețele vecine și nu necesită cunoașterea curbei fotometrice a intensității luminoase a lămpii. Această metodă se aplică la calculul iluminatului camerelor la care pereții și tavanul măresc iluminarea suprafeței utile, prin fluxul reflectat. În acest caz, fluxul total  $\Phi_t$  necesar pentru a produce o iluminare minimă  $E_{min}$  pe o suprafață  $S$  se calculează folosind relația:

$$\Phi_t = \frac{E_{min} \cdot S \cdot k}{u \cdot Z}, \quad (19.8)$$

în care:  $\Phi_t$  este fluxul total, în lm;

$E_{min}$  — iluminarea minimă în lx, conform normelor;

$S$  — suprafața (orizontală) a încăperii iluminate, în m<sup>2</sup>;

$k$  — 1,2...2, coeficient care ține seama de scăderea fluxului luminos prin acoperirea cu praf a corpului de iluminat și prin îmbătrânirea lămpii;

$Z$  — un factor de corecție pentru iluminarea minimă (care diferă de iluminarea medie); valoarea lui variază între 0,67 și 0,97 după cum sînt așezate lămpile; de obicei se ia 0,8;

$u$  — coeficient de utilizare a fluxului luminos, care se determină

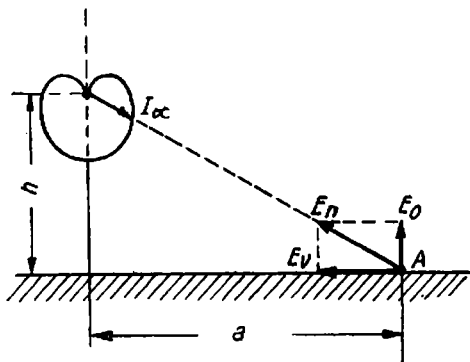


Fig. 19-7 Construcție grafică pentru calculul iluminării folosind metoda prin puncte.

satisfăcător din tabela 19-6, în funcție de factorul de reflecție al pereților și tavanului, de tipul de corp de iluminat folosit și de indicele încăperii,  $i$ ; acest indice se determină folosind relația:

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a + b)} \quad (19.9)$$

unde  $a$  și  $b$  sînt lungimea și lățimea încăperii, în m, iar  $h$  este înălțimea corpului de iluminat deasupra suprafeței utile, în m (suprafața utilă se consideră la 0,8 m de podea).

*Tabela 19-6*

**Coefficientul de utilizare a fluxului luminos (în %)**

Indicele încăperii	Coefficient de reflecție		Coefficient de utilizare a fluxului luminos pentru un corp de iluminat (tabela 19-3)			
	Tavan %	Pereți %	Universal (1)	Reflector adînc (2)	Glob sferic (3)	Reflector emalat (6)
0,6	30	10	27	24	12	28
	50	30	30	27	16	32
	70	50	34	31	17	38
0,8	30	10	35	32	16	37
	50	30	38	34	20	41
	70	50	41	37	21	47
1,0	30	10	40	36	19	43
	50	30	42	38	22	47
	70	50	45	40	24	51
1,25	30	10	44	39	21	47
	50	30	45	41	24	51
	70	50	48	43	28	55
1,5	30	10	46	41	23	50
	50	30	48	43	27	53
	70	50	51	46	30	58
2	30	10	50	44	27	55
	50	30	52	46	30	59
	70	50	55	49	34	63
2,5	30	10	54	48	29	60
	50	30	55	49	33	64
	70	50	59	52	37	68
3	30	10	55	49	31	62
	50	30	57	51	35	65
	70	50	60	53	39	70
4	30	10	57	51	34	66
	50	30	59	52	38	68
	70	50	62	55	42	73
5	30	10	58	52	37	67
	50	30	60	54	40	70
	70	50	63	57	46	74

Numărul de lămpi  $n$ , necesare pentru iluminarea suprafeței  $S$  se determină acum în funcție de fluxul  $\Phi_l$  al lămpii alese, folosind relația:

$$n = \frac{\Phi_l}{\Phi_t} \quad (19.10)$$

Cu cît numărul de lămpi este mai mare, cu atît se asigură o uniformitate mai mare a iluminării. În același scop se recomandă respectarea unor proporții între  $h$  și  $l$  (distanța dintre două corpuri de iluminat). Astfel se recomandă (pentru iluminatul interior incandescent):  $\frac{l}{h} \leq 1,5$  — cînd corpurile de iluminat sînt plasate în colțurile unui dreptunghi,  $\frac{l}{h} \leq 2$  — cînd corpurile de iluminat sînt așezate în zigzag.

Distanța  $D$  a corpului de iluminat față de perete se recomandă să fie:

$D = (0,4 \dots 0,5) l$  — cînd nu se lucrează lîngă perete;

$D = (0,25 \dots 0,3) l$  — cînd se lucrează lîngă perete.

c) *Metoda puterii specifice* se aplică pentru calculele orientative, expeditiv și constă în a determina puterea  $P$  (în W) absorbită de lămpile necesare iluminării unei suprafețe  $S$  (în m<sup>2</sup>) aplicînd relația:

$$P = p \cdot S, \quad (19.11)$$

în care  $p$  este puterea specifică (în W/m<sup>2</sup>) absorbită de lămpile necesare iluminatului, cunoscută pe bază de date statistice sau aproximată cu relația:

$$p = \frac{E_{min}}{3 \dots 4}, \quad (19.12)$$

(unde  $E_{min}$  se exprimă în lx).

Cunoscînd puterea  $P$  necesară și puterea unei lămpi, se poate determina numărul de lămpi electrice necesare.

## 5. Calculul iluminatului cu proiectoare

Pentru a stabili expeditiv numărul de proiectoare necesare să asigure o iluminare medie pe o suprafață, se poate aplica relația:

$$n = \frac{k_1 k_2 E_m S}{\Phi_u}, \quad (19.13)$$

în care:  $n$  — este numărul de proiectoare;  
 $E_m$  — iluminarea medie necesară, în lx;  
 $S$  — suprafața de iluminat, în m<sup>2</sup>;  
 $\Phi_u$  — fluxul util al proiectorului, în lm;  
 $k_1 = 1,15 \dots 1,5$  — coeficient de pierdere a fluxului luminos în părțile laterale, care ține seama că nu tot fluxul  $\Phi_u$  este proiectat asupra suprafeței  $S$ ;  
 $k_2 = 1,2 \dots 1,5$  — coeficient care ține seama de deprecierea proiectorului prin prăfuire.

Înălțimea și distanța la care se așază proiectorul se calculează în raport cu mărimea suprafeței de iluminat și cu deschiderea utilă a fasciculului luminos al proiectorului.

## Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale

### 1. Generalități

Energia electrică s-a impus, înlocuind treptat celelalte forme de energie, la acționarea diferitelor instalații în aproape toate ramurile de activitate, datorită următoarelor calități esențiale:

- energia electrică poate fi produsă în centrele electrice mari, situate în apropierea surselor naturale de energie (surse primare), cum sînt minele de cărbuni și căderile de apă;

- energia electrică poate fi ușor transportată la distanțe mari cu ajutorul liniilor electrice;

- motoarele electrice sînt simple, sigure în funcționare și se adaptează cel mai bine la acționarea diferitelor utilaje;

- instalațiile electrice se manevrează și se întrețin ușor și comod;

- energia electrică dă posibilitatea realizării unor condiții optime de lucru (lipsa zgomotului, iluminat de bună calitate, curățenie);

- energia electrică revine în general mai ieftină decît alte forme de energie, iar instalațiile electrice au randamentele cele mai bune.

În afară de acestea, mecanizarea și automatizarea sînt de neconceput fără energia electrică. Or, se știe că mărirea producției și a productivității muncii se bazează în mod deosebit pe mecanizare și automatizare. În concluzie, se impune evident necesitatea unei acțiuni susținute de „electrificare”. Această acțiune a fost înțeleasă și sprijinită la noi în țară numai în anii de democrație populară. Cu ocazia expunerii obiectivelor planului de electrificare a patriei noastre, tovarășul Gheorghe Gheorghiu-Dej a arătat că, „electrificarea se impune ca o sarcină de cea mai mare urgență și însemnătate. Lichidarea înapoierii econo-

mice și culturale a țării pe baza trecerii la marea producție socialistă în industrie și agricultură este de neconceput fără electrificare<sup>1</sup>.

Pentru aceasta, în țara noastră s-au construit și se construiesc surse puternice de energie electrică numite centrale electrice.

Ca urmare a acestui fapt, producția de energie electrică din țara noastră era în 1960 de peste 7,7 mil kWh, adică de peste 7 ori mai mare decât producția de energie electrică realizată în 1938 de regimul burghezo-moșieresc; conform sarcinilor trasate de Congresul al III-lea al P.M.R. producția de energie electrică va fi în 1965 de 2,7 ori mai mare decât în 1959, realizând nivelul de 18 500 kWh. Acesta este unul din factorii care vor asigura dezvoltarea bazei tehnico-materiale a socialismului în țara noastră, astfel ca până în 1965 să fie încheiat procesul de făurire a relațiilor de producție socialiste în întreaga economie, în vederea desăvârșirii construcției socialismului.

De la centrale, energia electrică este transportată și distribuită, prin intermediul rețelelor electrice, la diferitele receptoare (întreprinderi, gospodării agricole de stat, orașe, sate etc.). Pentru a transporta energia electrică în condiții economice, adică cu cheltuieli minime, transportul ei se face la tensiuni înalte (peste 1 000 V). Din motive economice și de securitate, utilizarea energiei electrice la receptoare se face în general la tensiuni joase. De aceea este necesar ca energia să fie transformată la diferite tensiuni cu ajutorul stațiilor și posturilor de transformare. Tot ansamblul format de rețele, stații de transformare și centrale electrice (care funcționează în paralel) formează un *sistem energetic*, care alimentează cu energie electrică una sau mai multe regiuni. În prezent, la noi în țară sistemele energetice regionale sînt interconectate, formînd un *sistem energetic național*.

În cazuri rare, diferitele receptoare pot fi însă alimentate și din centrale electrice locale (atunci cînd sînt în locuri izolate, ca, de exemplu, șantiere și sate depărtate de sistemul național).

Cînd puterea centralei este mică, aceasta se numește *micro-centrală* și poate fi realizată chiar ca o construcție transportabilă.

În general, producerea și utilizarea energiei electrice se fac în curent alternativ cu o frecvență de 50 Hz. Atunci cînd receptoarele necesită curent continuu, acesta se produce local cu ajutorul redresoarelor, al grupurilor convertizoare (v. capitolul XVIII) sau cu ajutorul grupurilor electrogene de curent continuu (vezi mai jos).

---

<sup>1</sup> Articole și cuvîntări, ed. III, E.P.L.P., pag. 480.

## 2. Producerea și transportul energiei electrice

Producerea energiei electrice se face în centralele electrice. Centrala electrică este complexul de instalații, în care o formă oarecare de energie este transformată în energie electrică. De obicei, energia electrică este produsă într-o centrală cu ajutorul grupurilor electrogene. Grupul electrogen este format dintr-un motor primar care antrenează un generator electric. Motorul primar produce energia mecanică (absorbită de generator) pe baza energiei termice obținute prin arderea combustibililor sau a reacțiilor nucleare, pe baza energiei hidraulice (energia căderilor de apă, a mareelor), pe baza energiei eoliene (energia vântului) etc.

Privind în mare construcția unei centrale electrice, ea cuprinde două părți principale distincte, numite de obicei *partea mecanică* și *partea electrică*. Partea mecanică cuprinde tot complexul de instalații prin care, în ultima fază, se produce energie mecanică la arborele generatorului. Partea electrică începe cu generatorul și cuprinde și celelalte instalații electrice (stații de conexiune și de transformare, tablouri de distribuție) prin care energia electrică este trimisă spre locurile de utilizare sau la liniile de transport al energiei electrice.

După natura sursei primare de energie, centralele electrice pot fi: termice (termocentrale), hidraulice (centrale hidroelectrice), eoliene, atomice etc.

După tipul motoarelor primare folosite, centralele pot fi: cu mașini cu abur, cu turbine cu abur, cu turbine hidraulice, cu turbine cu gaze, cu motoare cu ardere internă (motoare Diésel, motoare cu benzină) etc.

După amplasarea, destinația și puterea lor, centralele pot fi: regionale (care satisfac necesitățile unei regiuni), urbane (satisfac necesitățile unei localități) și de întreprindere sau de uzină (care satisfac necesitățile proprii ale unei întreprinderi, uzine, gospodării agricole etc.).

Energia electrică se produce în centrală pe măsură ce ea se consumă. Deoarece puterea cerută de receptoare variază în decursul timpului, variază în mod identic și puterea produsă de centrală. Puterea produsă de centrala electrică la un moment dat se numește *sarcina centralei*. Reprezentarea grafică a variației sarcinii centralei pe o anumită perioadă de timp se numește *curba de sarcină*, pe perioada respectivă (zi, lună, an). Pentru

ca o centrală să funcționeze cât mai economic, este necesar ca sarcina ei să fie cât mai constantă, iar generatoarele care sînt în funcție să fie încărcate cât mai aproape de puterea lor nominală (în această situație, centrala funcționează cu randamentul cel mai ridicat).

Randamentul unei centrale, adică raportul dintre puterea utilă produsă de generatoare și puterea consumată de centrală (prin combustibil, apă etc.) este de ordinul 27—28%, în cazul termocentralelor cu turbine cu abur și de 32—33%, în cazul centralelor cu motoare cu ardere internă.

Pentru a măări economicitatea unei centrale termoelectrice cu turbine de abur, ea se face cu termoficare. În acest caz, pe lângă energie electrică, centrala produce și abur sau apă caldă pentru diferitele receptoare; datorită acestui fapt, randamentul centralei crește la 60—70%.

Suma puterilor generatoarelor instalate într-o centrală reprezintă „puterea instalată a centralei“. Puterile instalate ale centralelor mari, construite în prezent în țara noastră, sînt de ordinul zeci pînă la sute de MW.

În cazul grupurilor de receptoare care cer în total o putere redusă, cum sînt gospodăriile agricole, stațiunile de mașini și tractoare, șantierele mici etc., atunci cînd acestea sînt depărtate de rețelele electrice, pentru alimentarea lor cu energie se utilizează grupuri electrogene formate dintr-un motor Diesel sau semidiesel care antrenează un generator cu o putere de 18, 30 sau 50 kVA la o tensiune nominală de  $3 \times 380/220$  V și o frecvență de 50 Hz.

Grupurile sînt prevăzute cu tablouri de comandă care cuprind tot aparatajul de conectare, reglaj, protecție și măsură necesar, montat atît pe circuitul generatorului, cît și pe circuitele diferitelor plecări spre receptoare. Uneori, grupurile sînt montate pe o sanie sau chiar pe roți, pentru a fi ușor transportabile.

Pentru exemplificare, în figura 20—1 este reprezentat un grup electrogen fabricat în patria noastră, compus dintr-un motor Diesel de 45 CP (ca motor primar) care antrenează un generator trifazat (alternator) cu o putere de 30 kVA, tensiune de  $3 \times 380/220$  V și frecvența de 50 Hz. Turația grupului este de 1 500 rot/min. Grupul este prevăzut cu un tablou de comandă și control echipat cu: aparate de conectare (întreruptoare), aparate de măsură (voltmetru, frecvențmetru, ampermetru), aparate de reglaj (reostat și regulator automat de tensiune), aparate de protecție (releele cuprinse în construcția între-

ruptorului). Tabloul este prevăzut cu două lămpi de semnalizare.

Energia electrică produsă de centrale este transportată în general la distanțe mari, cu ajutorul liniilor electrice. Cu cît

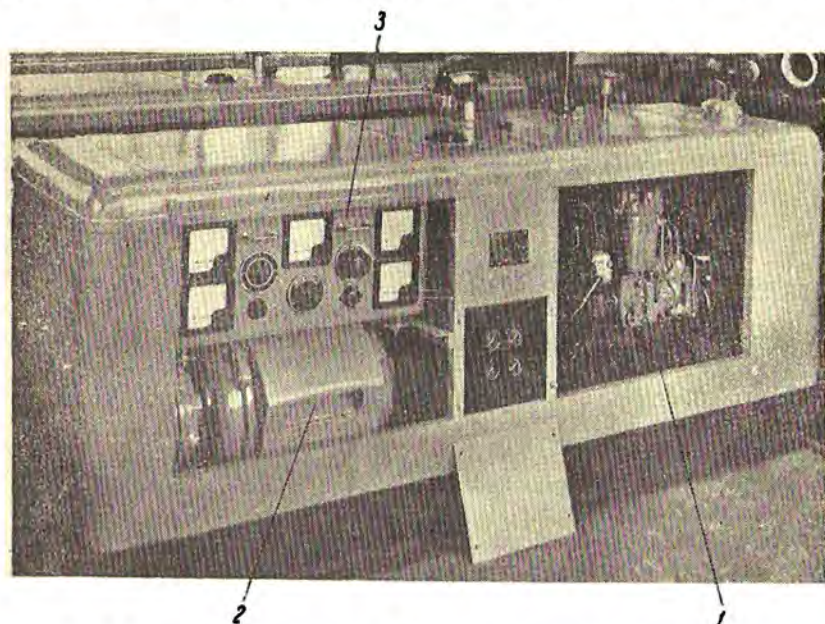


Fig. 20-1. Grup electrogen de 30 kVA,  $3 \times 380/220$  V, 50 Hz (micro-centrală transportabilă):

1 — motorul primar; 2 — generatorul trifazat (alternatorul); 3 — tabloul de comandă și control.

distanța de transport este mai mare, cu atît și tensiunea adoptată pentru linia de transport este și ea mai mare (aproximativ, tensiunea liniei exprimată în kV este numeric egală cu lungimea de transport în km). Aceasta se justifică astfel: la aceeași putere transportată, cu cît tensiunea este mai mare, cu atît curentul care trece prin linie va fi mai mic, necesitînd o secțiune de conductor mai mică, și deci investiții mai reduse. Tensiunile folosite la transportul energiei electrice sînt tensiunile standardizate de 220; 110; 35; 15; 10 și 6 kV. În afară de acestea, în țara noastră se mai folosesc și tensiunile de 60 kV; 25 kV și 5,5 kV (nestandardizate).



### 3. Stații și posturi de transformare

Stațiile și posturile de transformare folosite în întreprinderile industriale au drept scop să reducă valoarea tensiunii energiei electrice de la tensiunile cu care a fost transportată, la tensiunile necesare distribuției și utilizării ei la receptoare (vezi capitolul XX—4).

După destinația lor, stațiile de transformare pot fi: *stații de transformare principale* (stația *ST* din figura 20—6,b), *stații de transformare secundare* sau *posturi de transformare* (*PT*, figura 20—6,b) etc. De obicei, prin post de transformare se înțelege stația de transformare, în general de putere mică (de ordinul cel mult a citorva sute de kVA) care alimentează receptoarele de joasă tensiune; cînd el alimentează un atelier sau un grup de receptoare dintr-un atelier se numește chiar post (stație) de atelier. Stația de transformare principală este o stație care alimentează, în afară de unele receptoare, și posturile de transformare.

În funcție de locul unde sînt montate, stațiile și posturile de transformare pot fi: *exterioare* sau *interioare*. Stațiile exterioare se montează în aer liber pe sol sau pe stîlpi speciali; cele interioare sînt montate în încăperi zidite special.

După numărul de transformatoare pe care le cuprind, stațiile și posturile de transformare ale întreprinderilor pot fi *cu unul* sau *cu mai multe transformatoare*; în cele mai dese cazuri, pentru a se asigura în bune condiții alimentarea neîntreruptă cu energie electrică a întreprinderii, se folosesc două transformatoare; mai rar se folosesc un număr de cel mult trei transformatoare.

Pentru exemplificare, în figura 20—2 este reprezentată construcția unui post de transformare de tip interior, cu două transformatoare, iar în figura 20—3, schema electrică monofilară a unui post de transformare de tip exterior pe stîlp.

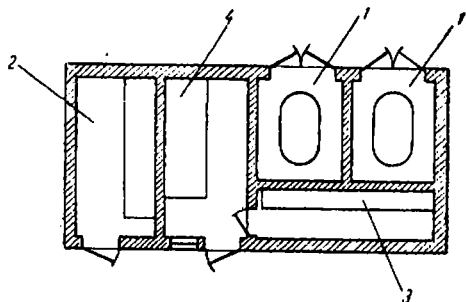


Fig. 20—2. Stație (post) de transformare, de tip interior, cu două transformatoare:

1 — boxele transformatoarelor; 2 — camera aparatului de înaltă tensiune; 3 — camera aparatului de joasă tensiune; 4 — încăperea condensatoarelor statice pentru îmbunătățirea factorului de putere.

Schemele electrice pot fi multifilare sau monofilare. Într-o schemă multifilară diferitele circuite sînt reprezentate complet, fiecărui conductor corespunzîndu-i pe desen o linie. În schema

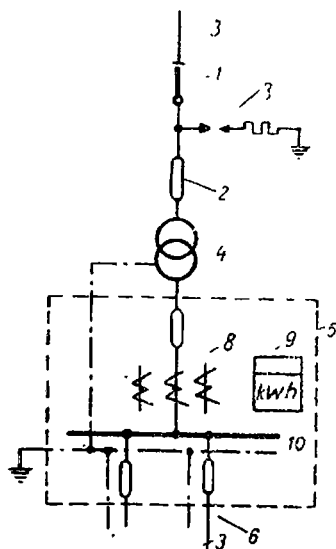


Fig. 20-3. Post de transformare de 6/0,4 kV, 25-100 kVA, de tip exterior pe stîlp de beton armat centrifugat:

1 — separator; 2 — siguranță tubulară; 3 — descărcător; 4 — transformator; 5 — cutia cu aparatul de joasă tensiune; 6 — plecări de joasă tensiune; 7 — dispozitivul pentru acționarea separatorului; 8 — transformatoare de curent; 9 — contor de energie activă; 10 — bare colectoare.

este mai redus și postul are importanță mai mică, cu alți și aparatele folosite sînt mai simple și mai puține pentru a nu ridica costul construcției. În cazul stațiilor și posturilor zidite, aparatajul de înaltă tensiune se montează într-o încăpere separată, în care are acces numai personalul tehnic cu o calificare specială, iar transformatoarele se montează în boxe speciale, astfel amenajate încît să favorizeze răcirea transformatoarelor; pentru a limita efectele unui incendiu produs prin aprinderea uleiului în cazul exploziei cuvei, sub transformatoare se prevede uneori un canal colector de ulei.

Atunci cînd aparatele de joasă tensiune sînt puține, ele se montează într-o simplă nișă cu uși metalice, prevăzută în peretele exterior al postului.

Pentru lucrări de șantier se construiesc și posturi de transformare prefabricate, transportabile pe sanie sau pe roți.

monofilară, diferitele circuite sînt reprezentate simplificat prin cite o singură linie, chiar dacă circuitul respectiv are mai multe conductoare. Numărul de conductoare pe care îl conține circuitul poate fi totuși indicat printr-un număr scris alături de o liniuță care taie oblic circuitul respectiv (fig. 20-3). Schemele monofilare simplifică desenul și sînt indicate atunci cînd se arată schema de principiu a unei instalații.

Stațiile și posturile de transformare cuprind unul sau mai multe circuite de înaltă tensiune și o serie de circuite de joasă tensiune. Cînd la înaltă tensiune sînt mai multe circuite (sosiri de la sursa de energie, plecarea la transformatoare, sau eventual plecări spre alte consumatoare de înaltă tensiune), aceste circuite sînt legate la bare colectoare comune pentru toate circuitele.

În mod asemănător, la joasă tensiune, sosirile de la transformatoare și plecările spre receptoare sînt legate tot la bare colectoare comune. Pe fiecare circuit, atît la înaltă, cît și la joasă tensiune, se montează aparatele de conectare, de protecție și de măsurat necesare (vezi schema din figura 20-3). Cu cît postul este de putere mai mică, cu cît numărul de transformatoare

Puterea transformatoarelor instalate într-un post de transformare trebuie să poată acoperi puterea cea mai mare cerută în funcționare normală de receptoarele alimentate. Pentru aceasta trebuie să se țină seamă de faptul că nu toate receptoarele funcționează simultan și nu toate receptoarele sînt încărcate în permanență la puterea lor nominală; alcătuiind o tabelă în care se indică la fiecare oră puterea cerută de fiecare receptor, se poate trasa o curbă de sarcină a receptoarelor și în felul acesta se determină puterea cea mai mare cerută de ele, în funcționare normală. Tot pe această cale se poate observa că organizînd procesul de producție într-un mod corespunzător, pot fi reduse virfurile de putere ale curbei de sarcină sau, cum se spune, se poate „aplatisa” curba de sarcină. Aplatizarea curbei de sarcină dă posibilitatea alimentării aceluiași grup de receptoare de la o stație sau un post de transformare cu o putere mai mică, ceea ce înseamnă reducerea volumului investițiilor și deci reducerea prețului de cost.

## 4. Distribuția energiei electrice

### a. Generalități

Energia electrică sosită în cuprinsul unei întreprinderi sau al altui consumator de energie sau produsă local este distribuită spre fiecare receptor în parte, cu ajutorul rețelelor electrice și a posturilor de transformare.

Oricare ar fi schema adoptată, alimentarea cu energie electrică trebuie să îndeplinească următoarele condiții principale:

— Să asigure *alimentarea neîntreruptă cu energie* a receptoarelor.

Din acest punct de vedere receptoarele se împart în trei categorii:

*Receptoare de categoria I*, la care întreruperea alimentării cu energie este legată de securitatea oamenilor, de producerea de rebuturi, deteriorări de utilaje sau perturbări mari în procesul tehnologic. Aceste receptoare trebuie prevăzute cu o alimentare de rezervă.

*Receptoare de categoria a II-a*, la care întreruperea alimentării cu energie produce numai o scădere importantă a producției. În acest caz, pe bază de considerente tehnico-economice, se prevede sau nu o alimentare de rezervă.

*Receptoare de categoria a III-a* sînt receptoarele puțin importante, la care nu se prevede o alimentare de rezervă (ex. locuințe, ateliere auxiliare etc.)

— Să asigure furnizarea unei energii de bună calitate, adică la o tensiune care să nu difere practic cu mai mult decît  $\pm 5\%$

față de tensiunea nominală. Variațiile de tensiune sînt foarte supărătoare pentru iluminatul electric, deoarece produc pîlpîiri ale luminii (cînd frecvența pîlpîirilor ajunge la 6—8 pîlpîiri pe secundă, pîlpîirile de lumină sînt extrem de obositoare pentru vedere).

- Să fie economică, adică să fie realizată cu un consum minim de materiale (în special neferoase), iar în funcționare pierderile de putere în rețea și transformatoare să nu depășească anumite limite.

- Să asigure o rezervă de putere pentru extinderile de viitor.

- Să prezinte securitate la deservire.

### b. Tipuri de rețele și tensiuni folosite la distribuirea energiei electrice

Ținînd seama de felul receptoarelor, rețelele pot fi: *de forță*, cînd receptoarele sînt motoarele mașinilor de lucru, rezistențele cuptoarelor mari etc., sau *de lumină*, cînd receptoarele sînt lămpile de iluminat.

Rețelele electrice pot fi de asemenea *de curent continuu* sau *de curent alternativ*. Rețelele de curent continuu, a căror schemă principală este reprezentată în figura 20—4, pot fi *complet izolate față de pămînt* (ca la troleibuze) sau *cu unul din conduc-*

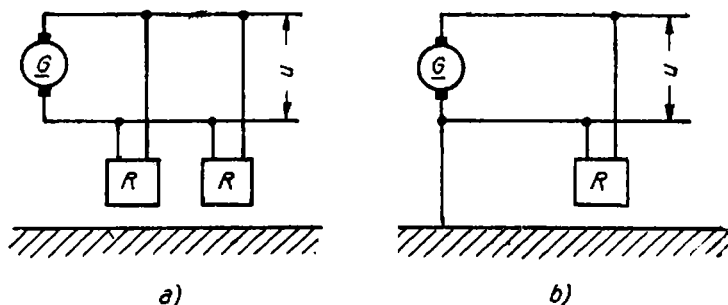


Fig. 20—4. Schemele de principiu ale rețelilor de curent continuu:  
a — complet izolate față de pămînt; b — cu un pol legat la pămînt; R — receptor.

*toare legate la pămînt* (ca în cazul rețelei tramvaielor). Tensiunile folosite sînt 110, 220 și 440 V sau, în cazul tracțiunii electrice, de 250, 500 și 750 V. Utilizarea rețelilor electrice de curent continuu este astăzi limitată la tracțiunea electrică și la utilizări speciale în unele industrii (electroliză, galvanizare, pe nave mici, acționări electrice cu reglaj de viteză în limite mari etc.).

Rețelele de curent alternativ (figura 20—5) pot fi *monofazate* sau *trifazate* și pot fi, de asemenea, *complet izolate față de pământ* sau *cu un punct legat la pământ*. Rețelele monofazate complet izolate față de pământ (fig. 20—5,a) sînt utilizate la iluminatul portativ cu tensiune redusă, la unele circuite de comandă etc. Tensiunile folosite sînt: 12, 24, 36, 48, 110, 120, 127 și chiar 220 V. Rețelele monofazate cu un conductor legat la pământ (fig. 21—5,b) se întîlnesc la rețelele obișnuite de iluminat, la alimentarea receptoarelor monofazate etc.

Rețelele trifazate pot fi *cu trei conductoare* (fig. 20—5,c și d) sau *cu patru conductoare* [trei conductoare de fază și conductorul neutru (fig. 20—5,e), avînd neutrul legat la pământ sau izolat]. Rețeaua cu patru conductoare are avantajul că dispune de două tensiuni: tensiunea de linie și tensiunea de fază. Rețeaua cu patru conductoare și neutrul legat la pământ este utilizată cel mai mult la joasă tensiune, pentru alimentarea receptoarelor de forță și lumină. Receptoarele de forță trifazate sînt conectate între faze la 380 V; receptoarele de lumină, cele de forță monofazate și de putere mai mică sînt conectate între o fază și firul neutru, la 220 V.

Rețeaua cu trei conductoare cu neutrul izolat se utilizează: la înaltă tensiune (6 kV), la joasă tensiune în rețelele care alimentează numai receptoare de forță (1 000 V și 500 V), la rețele care

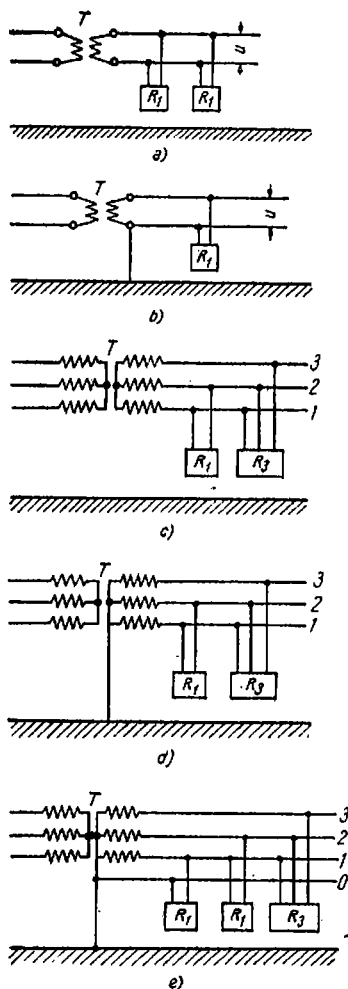


Fig. 20-5. Schemele de principiu ale rețelilor de curent alternativ:

a — monofazată, complet izolată față de pământ; b — monofazată, cu un conductor legat la pământ; c — trifazată, cu trei conductoare, cu punctul neutru izolat; d — trifazată cu trei conductoare cu neutrul legat la pământ; e — trifazată, cu patru conductoare, cu neutrul, legat la pământ;  $R_1$  — receptor monofazat;  $R_2$  — receptor trifazat.

lucrează în condiții grele din punctul de vedere al tehnicii securității (de exemplu în exploatarea miniere subterane, 380 V).

Tensiunile nominale (de linie) folosite pentru rețelele trifazate de distribuție sînt: 127, 220, 380, 500, 1 000, 3 000 și 6 000 V<sup>1</sup>. În prezent, se studiază posibilitatea folosirii pentru receptoarele de forță a tensiunilor de 660 V =  $\sqrt{3} \cdot 380$  V sau 865 V =  $\sqrt{3} \cdot 500$  V. Tendința de a mări tensiunea la receptoarele de forță este impusă de creșterea puterii receptoarelor industriale și de necesitatea construirii rețelelor și posturilor de transformare cu investiții minime.

Receptoarele de forță de putere mare sînt alimentate la tensiunea de 500 V, 1 000 V sau chiar 6 000 V (cazul receptoarelor cu puteri mai mari decît 150—200 kW).

În general, la întreprinderi, energia electrică este adusă la înaltă tensiune (fig. 20—6, *a*); apoi, printr-un singur post de transformare *PT* ea este transformată la tensiunea necesară (380 V) și distribuită receptoarelor *R* prin intermediul unor puncte de distribuție *PD* (vezi capitolul XII); sistemul se numește „distribuție centralizată”. De multe ori, la întreprinderile mai mari, există o stație de transformare *ST* care alimentează cu tensiune înaltă (de obicei 6 kV) mai multe posturi de transformare *PT* care alimentează la rîndul lor — la joasă tensiune (380 V) grupe mari de receptoare; sistemul acesta se numește „distribuție repartizată” și este reprezentat schematic în figura 20—6, *b*.

Cînd receptoarele unei întreprinderi sînt de puteri mici și nu sînt numeroase, astfel încît nu totalizează o putere mare, întreprinderea este alimentată direct la joasă tensiune, de la un post de transformare apropiat, care deservește mai mulți consumatori.

În funcție de modul cum alimentează cu energie electrică diferitele receptoare, rețelele electrice pot fi: *rețele deschise*, *arborescente* sau *radiale*, la care receptoarele sînt alimentate dintr-o singură parte (fig. 20—6) și *rețele închise* sau *rețele buclate*, la care receptoarele pot fi alimentate cel puțin din două părți (fig. 20—7).

În funcție de modul cum sînt construite, rețelele electrice pot fi: *rețele aeriene* sau *rețele în cablu*.

În funcție de locul unde sînt construite, rețelele pot fi: *rețele interioare*, cînd sînt executate în cuprinsul clădirilor și *rețele exterioare*, cînd sînt executate în afara clădirilor.

<sup>1</sup> Tensiunile indicate cu litere cursive sînt utilizate în mod frecvent.

### c. Construcția rețelor

*Rețelele aeriene* sînt construite cu ajutorul conductoarelor montate pe stilpi, prin intermediul izolatoarelor.

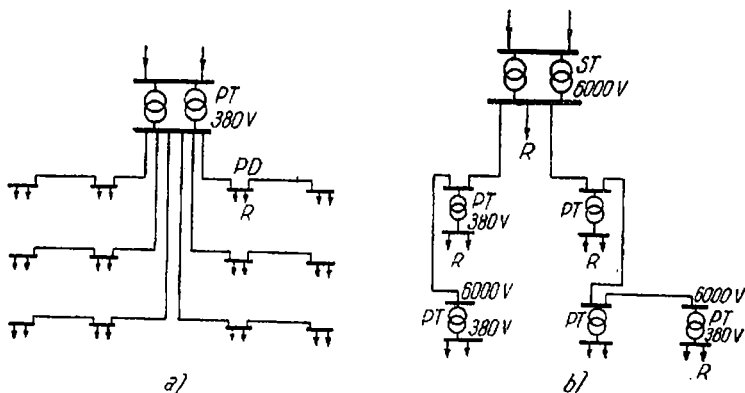


Fig. 20-6. Schema monofilară a unei rețele deschise:

*a* — distribuție centralizată; *b* — distribuție repartizată; *PT* — post de transformare; *ST* — stație de transformare; *R* — spre receptoare; *PD* — punct de distribuție (tablou de distribuție).

Conductoarele folosite sînt din cupru, aluminiu, oțel-aluminiu sau oțel, de obicei multifilare și neizolate. (În cuprinsul șantierelor, în anumite condiții, se utilizează și conductoare învelite, cu un înveliș rezistent la intemperii.)

Conductoarele se îmbină între ele cu ajutorul clemelor care pot fi:

— *cleme de legătură*, care asigură o legătură electrică, mecanică sau electrică și mecanică între două conductoare (de exemplu la liniile electrice aeriene);

— *cleme de derivație*, care dau posibilitatea legării unui conductor în derivație la alt conductor (STAS 1885-51).

Izolatoarele folosite la joasă tensiune și la înaltă tensiune, pînă la 35 kV inclusiv, sînt de tipul „izola-

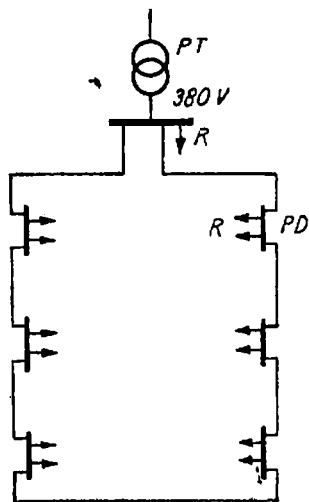


Fig. 20-7. Schema monofilară a unei rețele închise (buclate):

*PT* — post de transformare; *PD* — punct de distribuție (tablou de distribuție); *R* — spre receptoare.

toare suport" STAS 810-49 și STAS 665-49). Ele se fixează de stîlp prin intermediul unui suport metalic, prins chiar de stîlp, sau de o consolă fixată de stîlp. Conductorul se fixează de izolatorul suport legîndu-l cu un conductor metalic. Stîlpii servesc la susținerea conductoarelor. Ei sînt construiți din lemn, beton armat sau metal. Pentru a economisi materialul lemnos în patria noastră s-a dat o mare extindere utilizării stîlpilor de beton armat.

*Rețelele în cablu* sînt construite cu ajutorul cablurilor așezate în pămînt (fig. 20—8,a), în canale (fig. 20—8,b) sau pe pereți (fig. 20—8,c).

Cablurile utilizate sînt de obicei cabluri în manta de plumb, armate, cu izolație de hîrtie sau cu izolație de cauciuc.

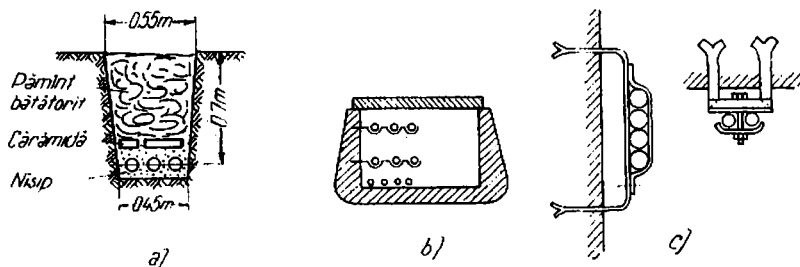


Fig. 20-8. Așezarea cablurilor:  
a — în pămînt; b — în canale; c — pe pereți.

Îmbinarea cablurilor se face cu ajutorul manșoanelor de legătură sau de derivație (STAS 1570-50). La capete, cablurile sînt prevăzute cu cutii terminale de cablu STAS 1572-56; 1573-56; 3535-50; 2876-51. În cazul cablurilor cu izolație de hîrtie, pentru a împiedica scurgerea uleiului care îmbibă hîrtia, atît manșoanele, cît și cîuțile terminale sînt umplute cu o masă izolantă. Masa izolantă se toarnă, fiind topită prin încălzire la locul de montaj. La montarea unui manșon, se controlează cu o grijă deosebită să se asigure o bună legătură electrică între mantalele de plumb și armăturile cablurilor care se leagă prin manșon, deoarece ele sînt folosite drept conductor de punere la pămînt.

La montare, cablurile nu trebuie să fie îndoite cu o rază de curbură mai mică decît circa 15 ori diametrul cablului, deoarece în caz contrar, izolația sa se poate deteriora (poate plezui).

*Rețelele interioare* se construiesc atît cu conductoare neizolate sau izolate, cît și cu cabluri. Conductoarele neizolate (bare ro-



tunde sau dreptunghiulare din cupru, aluminiu, oțel sau bare de oțel profilat) se montează aparent pe pereți, fiind fixate pe izolatoare (de exemplu rețeaua care alimentează podul rulant).

Cablurile se montează pe pereți sau în canale așa cum s-a arătat mai sus.

Conductoarele izolate se pot monta aparent pe pereți, fixându-se pe izolatoare rolă (STAS 1653-50); acest sistem nu se mai folosește. În mod frecvent, conductoarele izolate se montează cite unu, două, trei sau patru, în tuburi de protecție. Tuburile de protecție folosite sînt de trei feluri:

— *tuburi izolante ușor protejate (IP)*, numite și tuburi Bergman (STAS 546-49). Aceste tuburi sînt construite din carton impregnat; tubul de carton este învelit într-o manta din tablă subțire de oțel plumbuit; ele se montează aparent pe tencuială sau îngropat sub tencuială în șanțuri săpate pe cît posibil între rosturile cărămizilor;

— *tuburi de protecție P*, numite și tuburi Peschel (STAS 547-49). Sînt construite din bandă de oțel, cu marginile petrecute una peste alta (pe generatoare); tuburile sînt lăcuite atît în interior, cît și în exterior, cu lacuri de protecție împotriva coroziunii. Aceste tuburi se montează numai aparent pe tencuială;

— *tuburi izolante de protecție etanșe (IEP)*, numite și tuburi Panzer (STAS 548-49). Sînt construite din tablă de oțel sudată pe generatoarea tubului. În interiorul tubului de oțel se află un tub de carton impregnat; ele se folosesc la instalațiile supuse solicitărilor mecanice în încăperi umede, cu abur, agenți corosivi, cu pericol de explozie sau de incendiu. În practică, de multe ori, în locul tuburilor IEP sînt folosite țevi de oțel fără sudură, STAS 441-49 (folosite la instalațiile de gaze).

Pentru a simplifica montarea instalațiilor electrice și a le reduce prețul de cost, în încăperi uscate (birouri, locuințe etc.) se utilizează conductoare speciale INTENC (în tencuială). Ele constau de fapt din două sau trei conductoare metalice, izolate fiecare în policlorură de vinil și asamblate într-o manta de cauciuc sau de masă plastică comună, conductoarele fiind așezate în același plan (ansamblul lor apare ca o panglică). Aceste conductoare se montează aparent sau în tencuială într-un șanț săpat cu o dalță (fără să mai fie nevoie de un șanț în cărămidă).

În cazul rețelilor interioare, îmbinarea și legăturile de derivație ale conductoarelor se fac în piese speciale numite „doze”, care se montează la locul de întîlnire a tuburilor de protecție. Tot în doze (doze de aparat — STAS 552-53) se montează prizele, întreruptoarele și comutatoarele așezate îngropat sub tencuială.

Circuitele electrice principale prin care energia electrică este distribuită spre un grup de receptoare se numesc „coloane electrice” sau fideri, linii principale, derivații.

*Fiderul* alimentează un singur punct de distribuție sau receptor mare, izolat. *Linia principală* alimentează pe parcurs mai multe puncte de distribuție. *Derivațiile* alimentează receptoarele de la un punct (tablou) de distribuție sau de la o linie principală. Locul în care energia electrică se distribuie spre diferitele receptoare sau grupuri de receptoare se numesc, așa cum s-a mai spus, „puncte de distribuție” sau „puncte de alimentare” (fig. 20—6, a); acestea se construiesc sub formă de tablouri electrice (tablouri secundare, tablouri principale, tablouri generale). Tablourile se construiesc din plăci de marmură (când sînt mai mici), din oțel sau cu ajutorul cutiilor de distribuție (fig. 12—45).

#### d. Calculul rețelelor electrice

Pentru a asigura respectarea condițiilor impuse unei rețele electrice (vezi punctul 20—4, a), alegerea conductoarelor acestora (dimensionarea conductoarelor) se face pe baza următoarelor calcule: 1) calculul termic; 2) calculul electric; 3) calculul economic; 4) calculul mecanic.

*Calculul termic* al rețelelor sau calculul conductoarelor la încălzire constă în alegerea secțiunii conductoarelor astfel, încît curentul de durată (sarcina permanentă) care va trece prin conductor să nu depășească curentul maxim admisibil indicat de fabricile constructoare pentru fiecare secțiune și tip de conductor în narte. Practic pot fi folosite tabelele 20—1 ... 20—5. Unele corme indică, pentru anumite secțiuni, curenți de durată mai mare; aceste valori sînt scrise în paranteză și sînt recomandate pentru întreprinderile care lucrează într-un singur schimb.

Dacă curentul depășește limitele indicate în tabele, încălzirea conductorului prin efectul Joule-Lenz produsă de trecerea curentului va depăși și ea limitele admise.

Aceste limite sînt 70°C pentru conductoarele neizolate instalate în interiorul clădirilor, de 55—65°C pentru conductoarele izolate și de 65°C la cablurile de 6 kV cu izolație de hirtie.

Încălzirile peste limitele admise îmbătrînesc izolația înainte de vreme, sau o deteriorează producînd eventual scurtcircuite care pot duce chiar la incendii.

Tabela 20.1

Curentul de durată în A maxim admisibil pentru conductoare din cupru, aluminii și oțel, neizolate, așezate în aer la temperatura de 25° C a mediului ambiant și curentul nominal, maxim admisibil, al fuzibilului în A, pentru conductoarele din cupru

Secțiunea nominală mm <sup>2</sup>	Curentul de durată A		Curentul nominal al fuzibilului A (pentru conductoare din cupru)			
	Cupru	Alu- miniu	Oțel	Instalații de forță		Instalații de iluminat
				derivații la receptoare	linii principale	
4	45	—	—	80	35	25
6	60	—	—	100	60	35
10	85	—	—	160	80	60
16	110	105	—	300	160	100
25	140	135	—	430	200	160
35	175	170	75	500	260	200
50	220	215	90	600	300	225
70	280	265	125	850	430	300
95	340	325	140	—	500	350
120	405	370	175	—	600	430
150	480	440	—	—	700	500

Pentru conductoarele monofilare din oțel, curenții de durată admisibili sînt:

$\varnothing = 3,5$  mm — 30 A;  $\varnothing = 4$  mm — 35 A;

$\varnothing = 5$  mm — 40 A;  $\varnothing = 6$  mm — 60 A.

Tabela 20-2

Curentul de durată, în A, maxim admisibil pentru conductoarele din cupru și aluminiu, izolate, așezate în tuburi de protecție, în aer, la temperatura de 25°C, și curentul nominal al fuzibilului în A

Secțiunea nominală, mm <sup>2</sup>	Curentul de durată, maxim admisibil A		Curentul nominal al fuzibilului, A					
			Instalații de forță				Instalații de lumină	
			derivații la receptoare		linii principale			
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1	12	—	—	—	—	—	6	—
1,5	16	12	25	—	15	—	10	6
2,5	21	17	35	25	25	15	15	10
4	27	22	60	35	35	25	20	15
6	35	28	100	60	60	35	25	20
✓ 10	✓ 48 A	38	160	100	80	60	35	25
16	66	53	225	160	125	80	60	35
25	90	72	300	225	160	125	80	60
35	110	90	350	300	200	160	100	80
50	140	110	430	350	225	200	125	100
70	175	140	600	430	300	225	160	125
95	225	175	700	600	350	300	200	160
120	255	205	850	700	430	350	225	200
150	295	235	—	800	500	430	260	225

Tabela 20-3

Curentul de durată în A, maxim admisibil la cablurile în manta de plumb cu conductoare din cupru, cu izolație de cauciuc, pentru tensiuni până la 1 kV, instalate în aer, la o temperatură a mediului ambiant de + 25°C

Secțiunea nominală, mm <sup>2</sup>	Curentul de durată, A maxim admisibil în cabluri			Secțiunea nominală, mm <sup>2</sup>	Curentul de durată, A maxim admisibil în cabluri		
	cu un conductor	cu două conductoare	cu trei conductoare		cu un conductor	cu două conductoare	cu trei conductoare
1,5	10(20)	10(17)	10(15)	35	150	120	120
2,5	15(27)	15(24)	15(22)	50	190	165	150
4	25(36)	25(34)	25(31)	70	240	200	185
6	35(46)	35(41)	35(37)	95	290	—	—
10	60(68)	60	55	120	340	—	—
16	90	75	70	150	390	—	—
25	125	100	90	185	450	—	—

Tabelă 20-4

Curentul de durată în A, maxim admisibil la cablurile în manta de plumb, cu conductoare din cupru și izolație din hirtie, instalate în aer la o temperatură de + 25°C a mediului ambiant

Secțiunea nominală, mm <sup>2</sup>	Curentul de durată, maxim admisibil, A					
	la cabluri de 1 kV				cablu de 3 kV cu trei conductoare	cablu de 6 kV cu trei conductoare
	cu un conductor	cu două conductoare	cu trei conductoare	cu patru conductoare		
1,5	15 (30)	15 (25)	15 (20)	—	15 (20)	—
2,5	25 (40)	25 (30)	25	25	25	—
4	40 (55)	40	35	35	35	—
6	60 (75)	55	45	45	45	—
10	95	75	60	60	60	55
16	120	95	80	80	80	65
25	160	130	105	100	105	90
35	200	150	125	120	125	110
50	245	185	155	150	155	145
70	305	225	200	185	200	175
95	360	275	245	215	245	215
120	415	320	285	260	285	250
150	470	370	330	300	330	290

Observație: temperatura maximă admisă a cablurilor este de 65°C pentru cablul de 6 kV și de 80°C pentru celelalte cabluri.

Tabela 20-5

Curentul de durată în A, maxim admisibil la cablurile în manta de plumb, cu conductoare din cupru și izolație din hirtie, așezate în pământ la temperatura de + 15°C

Secțiunea nominală, mm <sup>2</sup>	Curentul de durată maxim admisibil, A					
	cu un conductor	cu două conductoare	cu trei conductoare	cu patru conductoare	cablu 3 kV cu trei conductoare	cablu 6 kV cu trei conductoare
1,5	15 (45)	15 (35)	15 (30)	—	15 (30)	—
2,5	25 (60)	25 (45)	25 (40)	25 (35)	25 (40)	—
4	40 (80)	40 (60)	40 (55)	40 (50)	40 (55)	—
6	60 (105)	60 (80)	60 (70)	60	60 (7)	—
10	100 (140)	100 (105)	95	85	95	60
16	160 (175)	140	120	115	120	105
25	235	185	160	150	160	136
35	285	225	190	175	190	160
50	360	270	235	215	235	200
70	440	325	285	265	285	245
95	520	380	340	310	240	295
120	595	435	390	350	390	340
150	675	500	435	395	435	390

Observație: temperatura maximă admisă a cablurilor este de 65°C pentru cablul de 6 kV și de 80°C pentru celelalte cabluri.

Cînd conductoarele și cablurile lucrează în condiții diferite de cele specificate în tabele, curenții de durată maxim admisibilă se înmulțesc cu coeficienții de corecție arătați în tabelele 20—6, 20—7 și 20—8.

În cazul curenților mai mari, dar de scurtă durată, cum sînt curenții de pornire și curenții de scurtcircuit, încălzirile admise pentru conductoare sînt mai mari (de ordinul 150 ... 250°C). Pentru a evita apariția unor încălziri exagerate prin sarcini de scurtă durată, se recomandă ca densitatea de curent prin conductor să respecte relațiile de mai jos:

$$(20.1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta = \frac{I_p}{s} \leq 35 \text{ A/mm}^2 - \text{la cabluri și conductoare din} \\ \hspace{15em} \text{cupru cu izolație de cauciuc} \\ \delta = \frac{I_p}{s} \leq 45 \text{ A/mm}^2 - \text{la cabluri și conductoare din} \\ \hspace{15em} \text{cupru cu izolație de hirtie} \\ \delta = \frac{I_{sc}}{s} \leq 90 \text{ A/mm}^2 \end{array} \right.$$

în care:  $\delta$  este densitatea de curent, în A/mm<sup>2</sup>;  
 $I_p$  — curentul de pornire care trece prin conductor, în A;  
 $I_{sc}$  — curentul de scurtcircuit (maxim) care trece prin conductor, în A;  
 $s$  — secțiunea conductorului, în mm<sup>2</sup>.

*Calculul electric* al rețelelor constă în a determina secțiunea conductoarelor unei linii electrice astfel încît căderea de tensiune produsă de trecerea curentului prin linie să nu depășească anumite limite date; invers, cînd se cunoaște secțiunea conductoarelor și curentul prin ele, trebuie să se verifice că valoarea căderii de tensiune este sub limitele admisibile.

Prin cădere de tensiune se înțelege diferența  $\Delta U$  dintre tensiunea  $U_1$  aplicată la începutul unei linii și tensiunea  $U_2$  existentă la sfîrșitul ei (la receptor); căderea de tensiune se produce datorită trecerii curentului prin rezistența și reactanța conductoarelor liniei.

În cazul unei linii de curent continuu, cu o sarcină la capăt (fig. 20—9) se poate scrie:

$$U_1 - U_2 = \Delta U = 2RI, \quad (20.2)$$

în care:

$R$  este rezistența electrică a unui conductor al liniei;  
 $I$  — curentul prin conductoarele liniei.

Tabela 20-6

**Coefficienții de corecție, funcție de temperatura mediului înconjurător, pentru conductoarele și cablurile așezate în aer**

Felul conductoarelor	Temperatura maximă admisibilă, în °C	Temperatura aerului °C								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
Conductoare neizolate	70	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
Conductoare și cabluri cu izolație de cauciuc	55	—	—	—	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
Cabluri cu izolație de hirtie.....	80	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,73
	65	1,17	1,12	1,05	1,00	0,94	0,87	0,79	—	—

Tabela 20-7

**Coefficienții de corecție în funcție de temperatura solului, pentru cablurile îngropate în pământ la o adâncime de 0,7—1 m**

Temperatura maximă admisă a cablului, în °C	Temperatura în pământ °C							
	+ 5	+ 10	+ 15	+ 20	25	+ 30	+ 35	+ 40
80	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
65	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71

Tabela 20-8

**Coefficienții de corecție, funcție de numărul cablurilor în funețlune, așezate alături în pământ**

Numărul de cabluri în același șanț	1	2	3	4	6
Coefficienții de corecție, cînd distanța dintre cabluri este:					
10 cm	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78
20 cm	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82
30 cm	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86

La așezarea cablurilor în canale, curentul admisibil se reduce la 65%.

Rezistența  $R$  a unui conductor, în funcție de rezistivitatea  $\rho$  a materialului, de lungimea  $l$  și de secțiunea lui  $s$  este dată de relația :

$$R = \rho \frac{l}{s}. \quad (20.3)$$

Din relațiile (20.2) și (20.3) se deduce:

$$s = \rho \frac{2l}{\Delta U} I. \quad (20.4)$$

Cu relația (20.4) se calculează secțiunea  $s$  a conductorului dintr-un material cu rezistivitatea  $\rho$  și de lungime  $l$ , astfel ca la trecerea curentului  $I$ , căderea de tensiune pe linie să fie  $\Delta U$ .

Exprimind căderea de tensiune în procente față de tensiunea nominală:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100, \quad (20.5)$$

relația (20.4) devine:

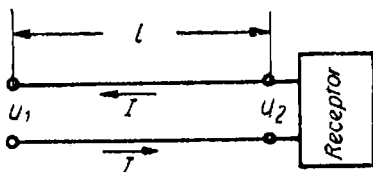
$$s = \rho \frac{200 l I}{\Delta U \% U_n}. \quad (20.6)$$

Dacă se ține seama și de expresia puterii absorbite  $P$  de către receptorul prin care trece curentul  $I$ , la tensiunea nominală  $U_n$ :

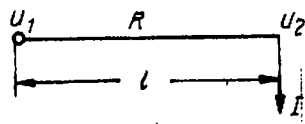
$$P = U_n I, \quad (20.7)$$

din relația (20.6) și (20.7) se deduce:

$$s = \rho \frac{200 l}{\Delta U \% U_n^2} P. \quad (20.8)$$



a)



b)

Fig. 20-9. Alimentarea unui receptor, în curent continuu sau alternativ monofazat:

a — schema multifilară; b — schema mono-filară.

În curent alternativ, pe lângă rezistența liniei, căderile de tensiune sînt produse și de reactanța ei. Se notează cu  $R$ ,  $X$  și  $Z$  rezistența, reactanța și impedanța pe o fază a unei linii trifazate, cu  $I$  curentul pe linie, cu  $U_1$  tensiunea pe fază la începutul liniei și cu  $U_2$  tensiunea pe fază la sfîrșitul ei (fig. 20-10). La receptor, curentul  $I$  este defazat cu unghiul  $\varphi$  în urma tensiunii  $U_2$  (segmentul  $OA$  — fig. 20-10, c); trecînd prin rezistența liniei, curentul produce o cădere de tensiune  $RI$  (segmentul  $AB$ ) în fază cu curentul  $I$ ; trecînd prin reactanța liniei, curentul  $I$  produce o cădere de tensiune  $XI$  (segmentul  $BC$ ) defazată cu  $90^\circ$  înaintea lui.



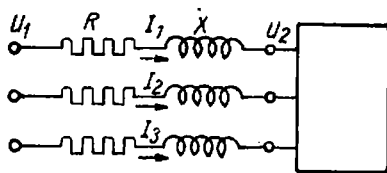
Însumind (vectorial) tensiunea  $U_2$  cu căderile de tensiune  $RI$  și  $XI$ , se obține tensiunea  $U_1$  (segmentul  $OC$ ); se construiește un arc de cerc cu centrul în  $O$  și rază  $OC$ , care intersectează dreapta  $OA$  în  $C'$ . Diferența algebrică dintre tensiunea  $U_1$  și tensiunea  $U_2$  este dată de segmentul  $AC'$ , care reprezintă căderea de tensiune în linie, pe fază,  $\Delta U_f$ .

Pentru a simplifica formulele de calcul, în locul segmentului  $AC'$  se consideră dreptă cădere de tensiune segmentul  $AC''$ ,  $C''$  fiind piciorul perpendicularei din  $C$  pe  $OA$ . Această aproximație nu introduce erori mari, deoarece în cazul diagramelor corespunzătoare cazurilor reale, unghiul  $\gamma$  dintre tensiunile  $U_1$  și  $U_2$  este foarte mic, iar  $C'$  și  $C''$  sînt foarte apropiate. În acest caz, notînd cu  $b$  piciorul perpendicularei din  $B$  pe  $OA$ , se poate scrie:

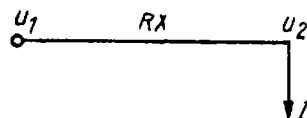
$$\begin{aligned}\Delta U_f &= AC'' = Ab + bC'' = \\ &= RI \cos \varphi + XI \sin \varphi\end{aligned}\quad (20.9)$$

Relația 20.9 permite să se calculeze căderea de tensiune pe fază la un sistem trifazat echilibrat (sau la care curentul prin firul neutru este practic zero). După cum tensiunea de linie este de  $\sqrt{3}$  ori mai mare decît tensiunea de fază, și căderea de tensiune între faze  $\Delta U_L$  (căderea de tensiune a tensiunii de linie) este de  $\sqrt{3}$  ori mai mare decît cea din relația 20.9, deci are expresia:

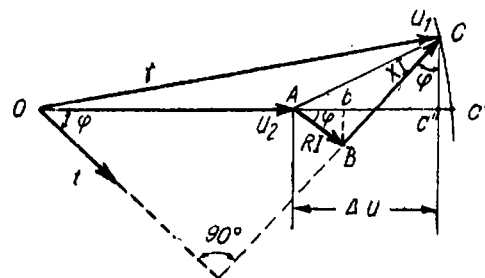
$$\begin{aligned}\Delta U_L &= \sqrt{3} \Delta U_f = \\ &= \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi).\end{aligned}\quad (20.10)$$



a)



b)



c)

Fig. 20-10. Alimentarea unui receptor în curent alternativ trifazat:

a — schema multifilară; b — schema monofilară; c — diagrama vectorială a tensiunilor și căderilor de tensiune pe o fază.

Înmulțind și împărțind relația (20.10) cu tensiunea de linie  $U_L$  și ținând seama de expresia puterii active  $P$  (relația 8.7) și a puterii reactive  $Q$  (relația 8.8) se poate scrie:

$$\Delta U_L = \frac{PR + QX}{U_L}. \quad (20.11)$$

În relațiile (20.9), (20.10) și (20.11), notațiile au următoarele semnificații:

- $U_L$  este căderea de tensiune între faze, în V;
- $U_f$  — căderea de tensiune pe fază, în V;
- $P$  — puterea activă a receptorului, în W;
- $Q$  — puterea reactivă a receptorului, în var;
- $U_L$  — tensiunea de linie, în V;
- $I$  — curentul de linie, în A;
- $R$  — rezistența pe fază a liniei, în  $\Omega$ ;
- $X$  — reactanța pe fază a liniei, în  $\Omega$ .

În curent alternativ, datorită reactanței care depinde de secțiunea conductoarelor și de distanța dintre ele, calculul secțiunii conductoarelor este o problemă complicată. De aceea, în curent alternativ este, în general, mai comod să se verifice căderea de tensiune cunoscând caracteristicile liniei.

La rețelele în cablu, la care reactanța este mică în comparație cu rezistența și deci se poate neglija, relația (20.9) se poate scrie:

$$\Delta U_f = RI \cos \varphi = \rho \frac{l}{\Delta U_f} I \cos \varphi;$$

de unde rezultă:

$$s = \rho \frac{l}{\Delta U_f} I \cos \varphi, \quad (20.12)$$

sau, în mod analog, pornind de la relația 20.10, se obține:

$$s = \sqrt{3} \rho \frac{l}{\Delta U_L} I \cos \varphi. \quad (20.13)$$

În cazul rețelelor de curent alternativ monofazat, când se produc căderi de tensiune pe ambele conductoare, căderea de tensiune se calculează folosind relația:

$$\Delta U = 2I(R \cos \varphi + X \sin \varphi). \quad (20.14)$$

Pe baza unor demonstrații asemănătoare celor de mai sus, se pot obține și relațiile pentru determinarea secțiunii conductoarelor în cazul când pe linie sînt mai multe receptoare. Cazurile uzuale și relațiile folosite, neglijînd reactanța, se găsesc în tabela 20.9.

Formule pentru calculul secțiunii conductoarelor pe baza căderilor de tensiune și invers

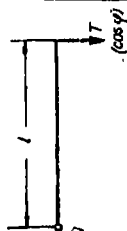
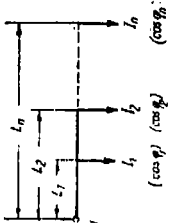
Schema monoilărară a rețelei	Felul curentului	Formule de calcul	
		Pentru secțiune	Pentru căderea de tensiune
	continuu	$s = 2 \rho \frac{II}{\Delta U} = 2 \rho \frac{P}{\Delta U \cdot U_n}$ $s = 200 \rho \frac{II}{\Delta U \% U_n} = 200 \rho \frac{IP}{\Delta U \% U_n^2}$	$\Delta U = 2 \rho \frac{II}{s} = 2 \rho \frac{IP}{s \cdot U_n}$ $\Delta U \% = 200 \rho \frac{II}{s \cdot U_n} = 200 \rho \frac{IP}{s \cdot U_n^2}$
	alternativ monofazat (neglijind reactanța)	$s = 2 \rho \frac{II \cos \varphi}{\Delta U} = 2 \rho \frac{PI}{\Delta U \cdot U_n}$ $s = 200 \rho \frac{II \cos \varphi}{\Delta U \% U_n} = 200 \rho \frac{PI}{\Delta U \% U_n^2}$	$\Delta U = 2 \rho \frac{II \cos \varphi}{s} = 2 \rho \frac{PI}{s \cdot U_n}$ $U \% = 200 \rho \frac{II \cos \varphi}{s \cdot U_n} = 200 \rho \frac{PI}{s \cdot U_n^2}$
	alternativ trifazat (neglijind reactanța)	$s = \sqrt{3} \rho \frac{II \cos \varphi}{\Delta U_L} = \rho \frac{IP}{\Delta U_L \cdot U_n}$ $s = 100 \sqrt{3} \rho \frac{II \cos \varphi}{\Delta U \% U_n} =$ $= 100 \rho \frac{IP}{\Delta U_0 \% U_n^2}$	$\Delta U_L = \sqrt{3} \rho \frac{II \cos \varphi}{s} = \rho \frac{IP}{s \cdot U_n}$ $\Delta U \% = 100 \sqrt{3} \rho \frac{II \cos \varphi}{s \cdot U_n} =$ $= 100 \rho \frac{IP}{s \cdot U_n^2}$

Tabela 20—9 (urmare)

Schema monofilară a rețelei	Felul curentului	Formule de calcul	
		Pentru secțiune	Pentru cădere de tensiune
	continuu	$s = 2 \rho \frac{\Sigma LI}{\Delta U} = 2 \rho \frac{\Sigma LP}{\Delta U \cdot U_n}$ $s = 200 \rho \frac{\Sigma LI}{\Delta U \% U_n} = 200 \rho \frac{\Sigma LP}{\Delta U \% U_n^2}$	$\Delta U = 2 \rho \frac{\Sigma LI}{s} = 2 \rho \frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n}$ $\Delta U \% = 200 \rho \frac{\Sigma LI}{s \cdot U_n} = 200 \rho \frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n^2}$
	alternativ	$s = 2 \rho \frac{\Sigma LI \cos \varphi}{\Delta U} = 2 \rho \frac{\Sigma LP}{\Delta U \cdot U_n}$	$\Delta U = 2 \rho \frac{\Sigma LI \cos \varphi}{s} = 2 \rho \frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n}$
	monofazat (neglijind reactanța)	$s = 200 \rho \frac{\Sigma I \cos \varphi}{\Delta U \% \cdot U_n} = 200 \rho \frac{\Sigma LP}{\Delta U \% \cdot U_n^2}$	$\Delta U \% = 200 \rho \frac{\Sigma LI \cos \varphi}{s \cdot U_n} = 200 \rho \frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n^2}$
	alternativ	$s = \sqrt{3} \rho \frac{\Sigma LI \cos \varphi}{\Delta U_L} = \rho \frac{\Sigma LP}{\Delta U_L \cdot U_n}$	$\Delta U_L = \sqrt{3} \rho \frac{\Sigma LI \cos \varphi}{s} = \rho \frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n}$
	trifazat (neglijind reactanța)	$s = 100 \sqrt{3} \rho \frac{\Sigma LI \cos \varphi}{\Delta U \% \cdot U_n} = 100 \rho \frac{\Sigma LP}{\Delta U \% \cdot U_n^2}$	$\Delta U \% = 100 \sqrt{3} \rho \frac{\Sigma LI \cos \varphi}{s \cdot U_n} = 100 \rho \frac{\Sigma LP}{s \cdot U_n^2}$

În relațiile de mai sus:

$s$  este secțiunea, în  $\text{mm}^2$ ;

$\rho$  = rezistivitatea în  $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

$l$  și  $L$  — lungimi, în m;

$I$  — curentul cerut de receptor din rețea, în A;

$P$  — puterea absorbită de receptor din rețea, în W;

$U_n$  — tensiunea rețelei, în V;

$\Delta U$  — căderea de tensiune, în V;

$\Delta U \%$  — căderea de tensiune, în procente;

$\cos \varphi$  — factorul de putere al receptorului.

$$\text{pentru cupru } \rho \left( \frac{1}{55} \cdot \frac{1}{57} \right) = \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \left[ \text{pentru aluminiu } = \left( \frac{1}{29} \cdot \frac{1}{35} \right) = \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

Căderea de tensiune admisă în mod practic pe linie este de cel mult 5—7% din tensiunea nominală, în cazul rețelelor de forță și de 3%, în cazul rețelelor de lumină.

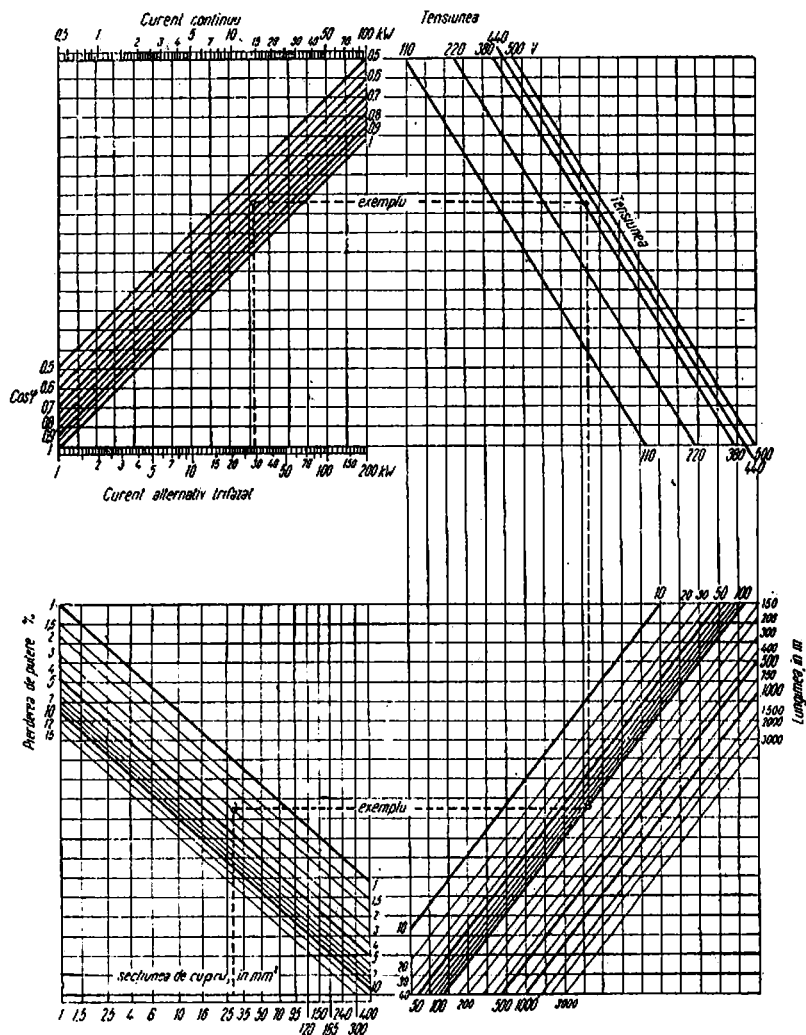


Fig. 20-11. Nomograme pentru stabilirea secțiunii conductoarelor din cupru ale unei linii trifazate, cu sarcina la un capăt.

De obicei, în practică, se stabilesc mai întâi secțiunile conductoarelor pe baza curenților normali de funcționare (se face mai întâi calculul termic) și apoi se stabilește prin calcul că valoarea căderii de tensiune pentru cel mai îndepărtat receptor nu depășește limitele admise; în caz contrar, se mărește secțiunea conductoarelor și se face o nouă verificare a căderii de tensiune. Când secțiunile cablurilor ies mai mari decât circa 150 mm<sup>2</sup>, se obișnuiește să se monteze în paralel mai multe cabluri de secțiune mai mică.

Cunoscând puterea, factorul de putere, tensiunea, lungimea unei linii și pierderile admisibile, determinarea secțiunii necesare unui conductor din cupru, într-o linie trifazată cu un singur receptor la capăt, se poate face în mod expeditiv folosind nomogramele din figura 20—11.

Pentru conductoarele de aluminiu, secțiunea obținută din nomogramă se înmulțește cu 1,6.

La liniile aeriene, pentru a ține seama și de reactanță, valorile  $s$  și  $\Delta U$ , obținute cu ajutorul formulelor arătate în tabela 20—9, se înmulțesc cu coeficienții din tabela 20—10.

Tabela 20—10

Coeficienții care înmulțesc valorile  $s$  și  $\Delta U$  din tabela 20—9, pentru a ține seama de reactanța liniilor aeriene

Secțiunea nominală, în mm <sup>2</sup>	Pentru distanța dintre conductoarele liniei de											
	40 cm $\cos \varphi =$				50 cm $\cos \varphi =$				60 cm $\cos \varphi =$			
	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7	0,6
10	1,1	1,15	1,2	1,27	1,1	1,16	1,21	1,28	1,1	1,16	1,22	1,29
16	1,15	1,23	1,31	1,41	1,15	1,24	1,32	1,43	1,16	1,25	1,34	1,44
25	1,22	1,34	1,47	1,61	1,23	1,36	1,49	1,63	1,24	1,37	1,5	1,65
35	1,3	1,47	1,63	1,83	1,31	1,48	1,66	1,86	1,32	1,5	1,68	1,89
50	1,41	1,64	1,87	2,14	1,43	1,67	1,91	2,19	1,45	1,7	1,94	2,24
70	1,56	1,86	2,17	2,54	1,59	1,9	2,23	2,62	1,61	1,84	2,28	2,68
95	1,73	2,13	2,54	3,02	1,77	2,19	2,61	3,12	1,8	2,24	2,69	3,2

Calculul economic al rețelelor constă în a stabili că pierderile de putere în linie nu depășesc anumite limite (5—10% din puterea care trece prin linie); de asemenea, rețeaua trebuie astfel dimen-

sionată, încît consumul de conductoare (din metale neferoase) să fie minim.

*Calculul mecanic* al rețelelor se face în special la liniile aeriene și are drept scop să verifice că atât conductoarele, cît și stîlpii nu vor fi solicitați, mecanic, peste limitele admise, chiar în cele

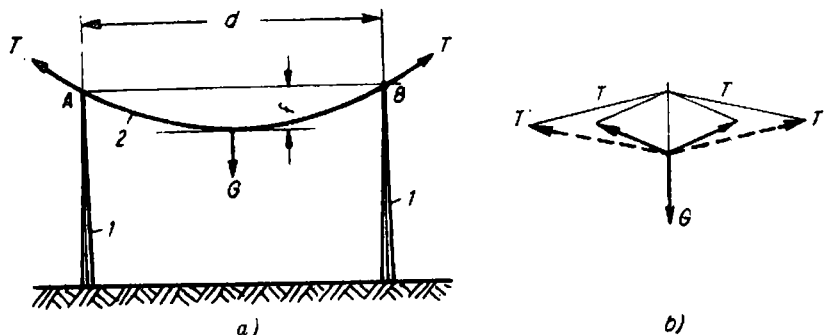


Fig. 20-12. a — Conductor întins între doi stîlpi; b — diagrama vectorială a forțelor care apar în conductor la punctele de suspensie:

1 — stîlpi; 2 — conductor;  $d$  — deschidere;  $f$  — săgeată;  $G$  — greutatea proprie;  $T$  — tensiunea în conductor în punctele de suspensie.

mai grele condiții de funcționare posibile. Astfel, un conductor trebuie să suporte, în afară de greutatea sa proprie, greutatea poleiului sau a chiciurii, care se poate depune iarna pe conductor și forțele produse de presiunea vîntului. Conductorul întins între doi stîlpi nu poate sta după o linie dreaptă, ci ia forma unei curbe numite „lăntîșor“ (fig. 20—12, a). Distanța dintre doi stîlpi se numește deschidere  $d$ , iar distanța de la punctul cel mai de jos al conductorului la linia care unește punctele sale de suspensie se numește săgeată  $f$ . Cu cît săgeata este mai mică, cu atît sînt mai mari eforturile de întindere  $T$  care apar în conductor la punctele de suspensie A și B, sub influența greutății proprii  $G$  a poleiului și a vîntului (fig. 20—12, b). Iarna, la frig, conductorul contracțundu-se, săgeata scade și eforturile în conductor cresc. De aceea, la instalarea conductorului trebuie lăsată o anumită săgeată care depinde de temperatura exterioară, astfel încît iarna, la frig, cu polei sau cu vînt, tensiunea ( $\text{kg/mm}^2$ ) care ia naștere în conductor să nu depășească valoarea maximă admisă.

De asemenea, tot pentru considerente de rezistență mecanică, la construcția liniilor aeriene nu se folosesc conductoare cu secțiuni mai mici decît  $10 \text{ mm}^2$  la cupru și la oțel și decît  $16 \text{ mm}^2$

la aluminiu; la treceri ale liniei peste locuri cu circulație intensă sau locuite, secțiunile minime admisibile se măresc la 16 mm<sup>2</sup>, respectiv, 25 mm<sup>2</sup> (prin aceasta se evită accidentele provocate de ruperea conductoarelor și de căderea lor pe pământ).

## 5. Îmbunătățirea factorului de putere

Se știe că în curent alternativ, un receptor absoarbe din rețea o putere aparentă  $S = \sqrt{3} UI$ , din care numai o anumită parte este putere activă  $P = \sqrt{3} UI \cos \varphi = \sqrt{3} UI_a$  (Cap. VII și VIII).

Raportul:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (20.15)$$

se numește factor de putere, în care, după cum se cunoaște,  $\varphi$  este unghiul de defazaj dintre curentul absorbit din rețea și tensiunea de alimentare a rețelei

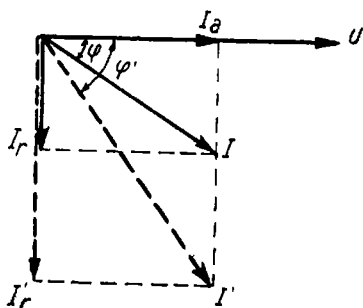


Fig. 20-13. Diagrama vectorială a curentilor printr-un receptor inductiv față de tensiunea aplicată la borne:

$U$  — tensiunea aplicată la borne;  
 $I_a = I \cos \varphi$  — curentul activ;  
 $I_r = I \sin \varphi$  — curentul reactiv;  $I$  — curentul total;  $\varphi$  — defazaajul între curentul total și tensiunea aplicată la borne.

(fig. 20-13). Cu alte cuvinte, factorul de putere arată ce cantitate din puterea aparentă reprezintă puterea activă.

Neegalitatea puterilor aparente și active se datorează faptului că în afară de curentul activ,  $I_a$  în fază cu tensiunea, receptorul mai absoarbe un curent reactiv, defazat cu 90° în urma tensiunii (la receptoarele inductive), necesar magnetizării circuitelor magnetice ale receptorului. Corespunzător, receptorul absoarbe o putere reactivă  $Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi = \sqrt{3} UI_r$ . Între aceste puteri se cunoaște relația:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Din cele de mai sus rezultă că pentru aceeași putere activă, deci același curent activ, receptorul va absorbi din rețea o putere aparentă cu atât mai mare, cu cît factorul de putere va fi mai redus, ceea ce se traduce pe circuit printr-un curent total  $I'$  mai mare (fig. 20-13).

Un factor de putere scăzut duce la următoarele neajunsuri:  
*Mărirea puterii instalate* la transformatoare și la generatoarele sistemului. De exemplu, dacă o întreprindere oarecare absoarbe



o putere activă de 80 kW la un factor de putere  $\cos \varphi = 0,5$ , puterea instalată la transformator va trebui să fie:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{80}{0,5} = 160 \text{ kVA}.$$

Dacă factorul de putere ar fi fost  $\cos \varphi = 0,8$ , puterea transformatorului putea fi:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{80}{0,8} = 100 \text{ kVA}.$$

*Mărirea secțiunii conductoarelor* pentru ca pierderile de tensiune și pierderile de energie provocate de curentul total să nu depășească limitele admise.

Mărirea factorului de putere sau, cum se spune, îmbunătățirea factorului de putere pentru o instalație dată va duce la micșorarea curentului total absorbit și, prin aceasta, la posibilitatea de a conecta noi receptoare la aceeași rețea.

În cazul unei instalații noi proiectate, luând toate măsurile ca factorul de putere să fie cât mai mare, instalația proiectată va fi mai economică (secțiunea conductoarelor mai mică, puterea postului de transformare mai mică).

În prezent, la noi în țară, baza de dezvoltare a tuturor întreprinderilor fiind electrificarea lor, puterile cerute de acestea de la sistemele energetice sînt din ce în ce mai mari. În consecință, problema factorului de putere capătă o importanță națională și trebuie să i se dea toată atenția. Întreprinderile care funcționează cu un factor de putere scăzut sînt penalizate conform tabelului (20—11), ceea ce are drept consecință mărirea prețului de cost al producției respective.

*Tabela 20—11*

**Penalizările și bonificările (reducerea sumei de plată) în procente din suma de plată a energiei electrice, în funcție de factorul de putere al întreprinderii**

Factorul de putere mediu lunar ( $\cos \varphi$ )	penalizare (+) bonificare (—) în %	$\cos \varphi$	penalizare (+) bonificare (—) în %	$\cos \varphi$	penalizare (+) bonificare (—) în %
1,00	— 15	0,75	0	0,5	+ 60
0,95	— 12,5	0,70	+ 5	0,45	+ 80
0,90	— 10	0,65	+ 20	0,4	+ 85
0,85	— 7,5	0,60	+ 35	0,35	+ 110
0,80	— 5	0,55	+ 50	0,3	+ 125

*Determinarea factorului de putere al unei întreprinderi se realizează cu ajutorul indicațiilor contoarelor de energie activă și energie reactivă care sînt montate de obicei la orice întreprindere.*

Notînd cu  $W_a$  indicația contorului de energie activă, pe timp de o lună (de exemplu) și cu  $W_r$  — indicația contorului de energie reactivă în același interval de timp, factorul de putere mediu pe intervalul de timp respectiv este dat de relația:

$$\cos \varphi = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}. \quad (20.16)$$

*Procedee pentru îmbunătățirea factorului de putere.* Îmbunătățirea factorului de putere se poate face pe două căi:

- prin măsuri organizatorice, cu ajutorul cărora factorul de putere este mărit fără nici un fel de investiții;

- prin producerea puterii reactive la fața locului.

Principalele măsuri organizatorice sînt:

- utilizarea rațională a electromotoarelor, astfel încît să fie încărcate, pe cît posibil, la puterea lor nominală. În adevăr, puterea reactivă absorbită de un motor asincron depinde puțin de sarcină. De aceea, cu cît un motor asincron merge cu o sarcină mai mică, cu atît factorul său de putere va fi mai redus;

- reducerea tensiunii aplicate fazelor motorului, prin schimbarea conexiunii din triunghi în stea. Aceasta se admite numai la motoarele la care încărcarea nu depășește 0,4... 0,5 din puterea nominală și se poate aplica numai la motoarele la care pornirea se face cu comutator stea-triunghi. Trebuie amintit însă că, trecînd la conexiunea stea, cuplul de pornire și cuplul maxim al motorului scade de trei ori. În instalațiile electrice moderne, la care sarcina motorului variază în decursul timpului, se utilizează comutatoarele stea-triunghi automate, care la scăderea sarcinii motorului schimbă conexiunile pe stea, iar la creșterea sarcinii, revin pe conexiunea triunghi în mod automat, în funcție de curentul care trece prin motor;

- evitarea mersului în gol al motoarelor asincrone și al transformatoarelor de sudură în special, prin deconectarea lor de la rețea, atunci cînd nu au sarcină;

- utilizarea, atunci cînd este posibil, a motoarelor sincrone. Motoarele sincrone pot funcționa cu factor de putere  $\cos \varphi = 1$  și, în plus, pot produce energie reactivă, pe care o dau rețelei;

- sincronizarea motoarelor asincrone mari.

Producerea puterii reactive chiar la întreprindere se realizează cu ajutorul mașinilor de curent alternativ sincrone sau cu ajutorul condensatoarelor statice;

ele absorb din rețea o putere reactivă capacitivă, care compensează puterea reactivă inductivă, necesară magnetizării circuitelor magnetice, ceea ce înseamnă, cu alte cuvinte, că aceste receptoare produc putere reactivă inductivă.

Mașinile sincrone folosite sînt motoarele sincrone obișnuite sau generatoarele sincrone special construite pentru producerea puterii reactive, numite compensatoare sincrone.

Pentru îmbunătățirea factorului de putere se folosesc și condensatoare statice sub formă de baterii.

Utilizarea lor este uneori avantajoasă, deoarece condensatoarele funcționează cu pierderi mici și fără zgomot, au greutate mică, nu au piese în mișcare și se instalează destul de simplu.

Capacitatea  $C$  a unei baterii de condensatoare legate în triunghi, pentru a compensa o putere reactivă  $Q$ , absorbită de un grup de receptoare la tensiunea  $U$ , se determină cu ajutorul relației:

$$C = \frac{Q}{3 U^2 \omega}, \quad (20.17)$$

In care: $C$	— capacitatea unei faze a bateriei, în $F$ ;
$U$	— tensiunea de linie a rețelei, în $V$ ;
$Q$	— puterea reactivă de compensat, în $var$ ;
$\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 314$	— pulsația curentului alternativ industrial de 50 Hz.

Puterea reactivă de compensat  $Q$  se poate lua egală cu puterea medie corespunzătoare energiei reactive înregistrate de contoarele de energie reactivă pe un anumit interval de timp, pentru grupul de receptoare considerat.

Compensarea puterii reactive se face în următoarele feluri:

- *individual*, instalînd condensatoarele lângă fiecare receptor în parte;
- *pe grupe*, instalînd bateria la plecarea cablurilor unui grup de receptoare mai importante;

- *centralizat*, instalînd bateria de condensatoare în cuprinsul stației de transformare principală a întreprinderii. Acest ultim procedeu descarcă de puterea reactivă numai sistemul energetic care alimentează exploatarea. Primul și al doilea procedeu permit reducerea puterii transformatoarelor și a secțiunii cablurilor chiar în cadrul exploatarei, însă complică instalațiile acestea.

Calculule tehnice economice arată că este rațional ca factorul de putere să fie îmbunătățit pînă la 0,9...0,95.

## Protecția instalațiilor electrice

### 1. Cazurile anormale în care trebuie să intervină dispozitivele de protecție

În instalațiile electrice apar uneori defecte sau regimuri anormale de funcționare care ar putea pune în pericol fie instalația respectivă, fie viața personalului de deservire, fie mediul înconjurător; acestea ar putea provoca distrugerea unor piese electrice și prin aceasta întreruperea funcționării instalației și deci oprirea procesului de lucru (stagnări, rebuturi), ar putea provoca accidente mortale, explozii ale mediului înconjurător sau incendii.

În toate aceste cazuri trebuie să intervină dispozitivele de protecție care, la ivirea unui regim anormal, să comande izolarea părții defecte prin deconectarea ei (în cazul unei stări imediat periculoase) sau numai să semnalizeze apariția regimului anormal (în cazul unei situații care nu este imediat periculoasă). De exemplu, în cazul apariției unui scurtcircuit, deconectarea părții unde s-a produs defectul trebuie făcută imediat, deoarece în caz contrar, consecințele pot fi foarte grave (distrugerea instalației respective). În cazul unei puneri la pământ a unei faze într-o rețea cu neutrul izolat, funcționarea rețelei poate continua, deoarece pericolul grav apare numai la o a doua punere la pământ pe altă fază (scurtcircuit bifazat); în acest caz, este suficientă numai o semnalizare, deoarece deconectarea instalației ar provoca în mod inutil oprirea procesului de lucru.

Regimurile anormale care pot apărea în funcționarea unei instalații electrice sînt:

- suprasarcinile;
- supratensiunile;
- dispariția tensiunii sau scăderea ei sub anumite limite;
- apariția tensiunii pe piese care în mod normal nu sînt sub tensiune;

- punerea la pământ a unei faze;
- producerea de scintei în medii explozive.

a) *Suprasarcini* (supraintensități sau supracurenți) se numesc depășirile curentului unei instalații sau al unui receptor oarecare peste curentul nominal respectiv. Suprasarcinile se exprimă în general în procente sau în multipli față de curentul nominal al receptorului. Suprasarcinile sînt de două feluri:

*Suprasarcină de lungă durată* sau pe scurt *suprasarcină* cînd curentul  $I$  capătă, în general, valori care nu sînt cu mult prea mari peste curentul nominal  $I_n$  ( $2I_n > I > I_n$ ) și de aceea acest curent poate fi admis, prin instalație, o durată oarecare de timp (cu atît mai mică cu cît suprasarcina este mai mare).

Suprasarcinile se produc, de exemplu, prin încărcarea unui motor cu o putere mai mare decît puterea lui nominală.

În cazul motoarelor trifazate, curentul prin motor poate depăși curentul nominal chiar dacă puterea cerută de la el rămîne cea nominală, însă se întrerupe una din faze (de cele mai multe ori prin topirea unei siguranțe fuzibile necorespunzătoare<sup>1</sup>). Aceasta este cauza arderii în practică a celor mai multe motoare asincrone care merg cu putere constantă, cum sînt motoarele pompelor, ventilatoarelor etc.

Suprasarcina este periculoasă deoarece, după un timp oarecare, încălzirea instalației depășește limitele admise. Contra suprasarcinilor se face o protecție maximală de curent cu acțiune temporizată, folosind relee maximale de curent temporizate, relee termice sau chiar siguranțe fuzibile. Timpul de acționare a protecției trebuie să fie cu atît mai mic cu cît suprasarcina este mai mare. În același timp, temporizarea acestei protecții evită ca ea să acționeze la șocurile de curent care apar în mod normal în funcționare, cum ar fi, de exemplu, șocurile de curent produse la pornirea motoarelor, care, avînd o durată scurtă, nu sînt periculoase.

*Suprasarcină de scurtă durată*, cînd curentul depășește cu mult valoarea nominală; el trebuie întrerupt cît mai repede. Acesta este cazul scurtcircuitelor ( $I > 7...8 I_n$ ) și de aceea aceste suprasarcini se mai numesc și *scurtcircuite*.

---

<sup>1</sup> Neglijînd randamentul motorului și considerînd că factorul de putere rămîne neschimbat se poate scrie:

$$P_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n \text{ — cînd motorul este conectat trifazat;}$$

$$P_n = U_n \cdot I' \cdot \cos \varphi_n \text{ — cînd motorul este conectat numai la două faze.}$$

Se observă că în acest caz curentul  $I'$  este cu circa de  $\sqrt{3}$  ori mai mare decît curentul nominal al motorului.

Scurtcircuitele sînt periculoase prin forțele electrodinamice<sup>1</sup> și încălzirile mari pe care le produc în instalație dacă nu sînt întrerupte la timp. Sub acțiunea forțelor electrodinamice, diferitele elemente ale unei instalații (izolatoare, bare etc.) pot fi distruse.

Contra scurtcircuitelor se face o protecție maximală de curent în general cu acțiune instantanee, folosind relee maximale de curent sau siguranțe fuzibile.

b) *Supratensiuni* se numesc depășirile tensiunii peste valoarea tensiunii nominale. Supratensiunile sînt de două feluri:

*supratensiuni de origine internă* care apar fie ca urmare a unor fenomene de rezonanță în rețea, fie ca urmare a conectărilor greșite sau a defectelor de izolație, cînd o tensiune mai mare pătrunde într-o instalație cu tensiune mai mică;

*supratensiuni de origine externă* care sînt supratensiuni produse de electricitatea atmosferică. Acestea sînt foarte periculoase, în special pentru instalațiile de joasă tensiune.

Contra supratensiunilor, îndeosebi de origine externă, se face o protecție specială, maximală de tensiune, folosind eclatoare și descărcătoare. Supratensiunile de origine internă sînt în general mici și sînt suportate de izolația instalațiilor electrice.

Suprasarcinile, scurtcircuitele și supratensiunile pun în pericol instalația în care ele se manifestă.

c) *Dispariția tensiunii sau scăderea ei sub anumită limită*, urmată de revenirea neașteptată a tensiunii la valoarea normală, reprezintă o situație periculoasă atît pentru instalație, cît și pentru oameni. La dispariția tensiunii, motoarele se opresc; dacă nu se iau măsuri speciale, la revenirea tensiunii, motoarele oprite sînt găsite cu reostatele de pornire scurtcircuitate (din funcționarea anterioară); ca urmare, motoarele vor suferi șocuri importante de curent. Din acest motiv, motoarele trebuie decolate automat la dispariția tensiunii sau la scăderea ei sub anumită limită. Personalul de deservire care ar constata lipsa tensiunii într-o instalație și ar cerceta remedierea defectului este pus în pericol la reapariția neașteptată a tensiunii. De asemenea, cînd tensiunea scade, dacă puterea cerută la arborele motoarelor rămîne constantă, la valoarea nominală, motoarele intră în regim

---

<sup>1</sup> Se reamintește că între două sau mai multe conductoare paralele străbătute de curenți, apar forțe mecanice de atracție sau de respingere după cum curenții sînt de același sens sau de sens contrar; aceste forțe sînt denumite *forțe electrodinamice*.

de suprasarcină<sup>1</sup>; în cazul motoarelor sincrone și asincrone de curent alternativ, la care cuplul maxim este proporțional cu pătratul tensiunii, motoarele se pot opri.

În toate cazurile, cînd într-o instalație revenirea tensiunii este nedorită (sau cum se spune, cînd nu este permisă autopornirea), trebuie făcută o protecție minimală de tensiune, folosind relee minimale de tensiune cu acțiune instantanee sau temporizată.

d) *Apariția tensiunii pe piesele metalice care în mod normal nu sînt sub tensiune*, ca urmare a unui defect de izolație, pune în pericol viața oamenilor prin accidente de electrocutare care se pot produce; de asemenea, cînd aceste piese vin în contact cu altele, se pot produce scînteii foarte periculoase, dacă instalația funcționează într-un mediu exploziv.

Contra acestei situații anormale se face un control cît mai eficient al izolației (de preferat un control permanent) și se leagă la pămînt toate piesele metalice care în mod normal nu sînt sub tensiune și care, ajungînd întîmplător sub tensiune, ar putea fi atinse cu mîna<sup>2</sup>.

e) *Producerea de scînteii în medii explozive*, de către contactele aparatelor de conectare, de către periile colectoarelor și inelelor colectoare etc. pot produce aprinderea mediului.

Pentru a evita acest lucru, aparatele și mașinile destinate a funcționa în medii explozive sînt închise în carcase speciale antideflagrante.

Deoarece scurtcircuiturile reprezintă unul din cazurile care pot avea urmări foarte grave într-o instalație, iar reglarea aparatelor de protecție se face în funcție de valoarea lor, înainte de a trece la studiul protecției diferitelor instalații, se va analiza pe scurt problema curenților de scurtcircuit.

## 2. Curenții de scurtcircuit

Cînd izolația dintre două conductoare ale unei instalații electrice, ale unei rețele sau ale unui aparat se degradează și cele două conductoare, între care există o diferență de potențial, ajung în contact unul cu celălalt, direct sau prin intermediul unei impedențe foarte mici, se spune că s-a produs un *scurtcircuit*.

---

<sup>1</sup> Neglijînd randamentul motorului:  $P_n = U_n \cdot I_n$  în curent continuu și  $P_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cos \varphi_n$  în curent alternativ trifazat, dacă  $P_n$  este constantă, iar tensiunea  $U_n$  scade, atunci curentul prin motor crește peste valoarea nominală  $I_n$ , deci, motorul intră în regim de suprasarcină.

<sup>2</sup> Vezi Cap. XXII.

Curentul care trece prin circuitul astfel închis se numește *curent de scurtcircuit* și este foarte mare în comparație cu curentul normal al instalației.

Înteruperea curenților de scurtcircuit se face cu înteruptoare automate sau cu siguranțe fuzibile care să aibă o putere de rupere satisfăcătoare (curentul de rupere al aparatului trebuie să fie, la tensiunea respectivă, mai mare sau egal cu curentul de scurtcircuit). De multe ori, apare necesitatea ca, montind în serie pe circuit o bobină de reactanță, curenții de scurtcircuit să fie limitați la valori mai mici, considerate suportabile de instalație (ca eforturi electrodinamice și încălziri) și care să poată fi înterupte de înteruptoarele și siguranțele montate pe circuit.

În afară de degradarea izolației (cauza cea mai frecventă), scurtcircuitele mai pot fi produse în urma unor manevre greșite sau din cauza animalelor (șoareci, păsări) care vin în contact cu piesele sub tensiune.

Scurtcircuitele pot fi de mai multe feluri:

a) *scurtcircuit trifazat*, cînd scurtcircuitul se produce între toate cele trei conductoare ale unei rețele trifazate. De obicei, în acest caz, curenții pe fiecare fază sînt egali între ei și simetric defazați la  $120^\circ$ ;

b) *scurtcircuit bifazat*, cînd scurtcircuitul se produce numai între două faze. În acest caz, curenții care circulă pe cele două faze defecte sînt egali și de sens contrar.

Atît scurtcircuitele trifazate, cit și cele bifazate pot fi însoțite de puneri la pămînt;

c) *scurtcircuit monofazat*, cînd scurtcircuitul se produce între o fază și pămînt sau între o fază și conductorul neutru. În rețelele cu neutrul izolat, defectarea izolației față de pămînt a unei singure faze nu duce la apariția unui curent de scurtcircuit, deoarece nu se închide un circuit pe care să poată circula curentul. Dacă simultan cu aceasta se mai degradează și izolația unei alte faze, atunci apare un scurtcircuit bifazat.

### 3. Protecția motoarelor electrice

Motoarele folosite în mod curent sînt protejate:

- contra suprasarcinilor;
- contra scurtcircuitelor;
- contra dispariției sau scăderii tensiunii sub anumite limite.

a) *Protecția motoarelor electrice contra suprasarcinilor* se face de obicei cu ajutorul releelor electrotermice sau al releelor maxi-



male de curent temporizate, și mai rar cu ajutorul siguranțelor fuzibile.

Releul electrotermic, folosit în special la joasă tensiune, trebuie astfel reglat, încît curentul său de lucru ( $I_{l\ rel}$ ) să fie egal cu curentul nominal al motorului protejat ( $I_{n\ mot}$ ). Curentul de lucru al releului electrotermic poate fi reglat în fracțiuni  $k = 0,6-1$  din curentul nominal al releului ( $I_{n\ rel}$ ); aceste fracțiuni sînt marcate pe dispozitivul de reglaj al releului. În consecință, releul trebuie reglat pe reperul:

$$k = \frac{I_{n\ mot}}{I_{n\ rel}}. \quad (21.1)$$

Curentul nominal al releului (curentul pentru care a fost construit releul) este de obicei același cu curentul nominal al aparatului în care este montat releul; curentul nominal al aparatului este marcat pe plăcuța indicatoare a aparatului. Rezultă că un aparat cu un curent nominal,  $I_{n\ ap}$ , care conține rele electrotermice, poate asigura protecția contra suprasarcinilor la orice motor electric al cărui curent nominal  $I_{n\ mot}$  este cuprins între limitele

$$0,6\ I_{n\ ap} \leq I_{n\ mot} \leq I_{n\ ap}. \quad (21.2)$$

Cînd curentul prin relele electrotermice depășește valoarea reglată ( $I_{l\ rel}$ ), ele comandă, prin contactele lor de lucru, deschiderea întreruptorului, ca și în cazul aparatelor din figurile 12-15; 12-16; 12-28 și 12-30, *b*.

Timpul de acționare a releului electrotermic este cu atît mai mic, cu cît suprasarcina este mai mare; deoarece producerea încălzirii releului prin efect Joule-Lenz cere un timp oarecare, releul nu lucrează la șocurile de curent (la curenții de pornire).

Deoarece suprasarcina reprezintă o creștere de curent simultană pe toate trei fazele sau cel puțin pe două faze (cînd se întrerupe una din faze și „motorul rămîne în două faze“), relele electrotermice se montează numai pe două faze ale unui circuit trifazat.

Cînd motorul electric funcționează în regim intermitent sau condițiile de răcire ale releului diferă de cele ale motorului (care este amplasat în alt loc), releul nu se mai încălzește la fel cu motorul și protecția efectuată nu mai este corespunzătoare (cînd condițiile de răcire ale motorului sînt mai rele decît cele ale releului, motorul se poate arde). În aceste cazuri, este rațional ca releul termic să fie așezat chiar pe carcasa motorului și să comande de la distanță deschiderea aparatului de conectare a motorului.

Utilizarea siguranțelor fuzibile normale pentru protecția contra suprasarcinilor este dificilă, deoarece siguranța aleasă să se ardă la o anumită suprasarcină se va arde la curentul de pornire al motorului; dacă siguranța se alege atât de mare încât să nu se ardă la curentul de pornire, ea nu mai poate face protecția contra suprasarcinilor. Numai folosirea siguranțelor cu inerție și cu întârziere poate soluționa problema în acest caz.

Pentru protecția contra suprasarcinilor a motoarelor de putere mai mare, de joasă tensiune, dar mai ales de înaltă tensiune, se folosesc relee maximale de curent cu acțiune temporizată, cum sînt releele electromagnetice prevăzute cu dispozitiv de temporizare sau care acționează prin intermediul unui releu de timp; de asemenea, se folosesc relee de inducție (maximale de curent) care, așa după cum s-a arătat, pot lucra atât temporizat cît și instantaneu.

b) *Protecția motoarelor electrice contra scurtcircuitelor* se face cu ajutorul releelor maximale de curent cu acțiune instantanee sau cu ajutorul siguranțelor fuzibile.

În cazul rețelelor cu neutrul legat la pămînt, unde pot apărea și scurtcircuite monofazate, releele electromagnetice sau siguranțele fuzibile trebuie montate pe toate cele trei faze; în rețelele cu neutrul izolat, unde scurtcircuitele monofazate nu pot apărea, este suficient ca aparatele de protecție (relee, siguranțe) să fie montate numai pe două faze.

Releul trebuie astfel reglat, încît el să nu lucreze la curentul de pornire al motorului, dar să lucreze la curenți mai mari decît acesta. La joasă tensiune se ia:

$$I_{l \text{ rel}} = 1,2 \ I_{p \text{ mot}} \quad (21.3)$$

în care:

$I_{l \text{ rel}}$  este curentul de lucru al releului (reglat pe releu);  
 $I_{p \text{ mot}}$  — curentul de pornire al motorului, apreciat după standarde sau cataloage.

Cînd aparatul de conectare (întreruptor sau contactor) acțional de aparatele de protecție se găsesc la o distanță mai mare de motorul respectiv, releele trebuie să asigure și protecția cablului; în acest caz, curentul de lucru al releului trebuie să satisfacă o condiție în plus, și anume să fie mai mic decît curentul minim de scurtcircuit pentru un defect bifazat la capătul cablului dinspre motor:

$$I_{l \text{ rel}} \leq (0,75 \dots 0,85) I_{sc} \quad (21.4)$$

Cînd curentul prin releu depășește valoarea reglată ( $I_{l \text{ rel}}$ ), releul comandă deschiderea întreruptorului fie indirect, printr-un contact de lucru (figura 12—21, b; 12—26, b; 12—24; 12—30, b

și 12—40), fie direct, acționând mecanic asupra sistemului de zăvorire al întreruptorului (fig. 12—21, a).

c) *Protecția motoarelor electrice contra dispariției sau scăderii tensiunii sub o anumită limită* se face cu ajutorul releelor minime de tensiune care — la joasă tensiune — lucrează conform STAS 4196-51, așa cum s-a arătat în capitolul XII, paragraful 3. În cazul contactoarelor sau în cazul întreruptorului DITU, bobina de acționare a contactelor are chiar rolul releului minimal de tensiune. La joasă tensiune, releele minime de tensiune nu au repere gradate pentru reglaj, acesta efectuându-se la fabrică, în funcție de tensiunea nominală a aparatului, înscrisă pe plăcuța sa indicatoare.

#### 4. Protecția rețelelor electrice

În cele ce urmează se va avea în vedere numai protecția rețelelor de joasă tensiune.

Protecția se face contra suprasarcinilor și scurtcircuitelor care, prin încălzirile pe care le-ar produce, ar îmbătrâni izolația, ar distruge-o, sau ar constitui chiar o sursă de incendiu.

Protecția se realizează cu ajutorul siguranțelor fuzibile sau al releelor electromagnetice (cu acțiune instantanee).

Siguranțele fuzibile se aleg conform relațiilor 12.3...12.5 și tabelelor 20—1 și 20—2.

Pentru ca la scurtcircuit siguranța să se ardă suficient de repede, astfel încât cablul să nu ajungă la încălziri periculoase, se recomandă ca, în cazul rețelelor în cablu, curentul minim de scurtcircuit ( $I_{sc}$ ), pentru un defect la capătul cablului protejat, să fie de circa trei ori mai mare decât curentul nominal al fuzibilului folosit.

Când cablul protejat este prea lung, curentul de scurtcircuit poate deveni prea mic în raport cu fuzibilul ales și protecția nu funcționează corespunzător; în acest caz, ar trebui mărit curentul de scurtcircuit prin folosirea unui cablu cu secțiunea mai mare.

Când protecția contra scurtcircuitelor se face cu relee electromagnetice maxime de curent, curentul de lucru al releelor trebuie să respecte relațiile:

$$\begin{aligned} I_{l \text{ rel}} &\geq 1,2 I_{max} \\ I_{l \text{ rel}} &\leq 0,75 \dots 0,85 I_{sc} \end{aligned} \quad (21.5)$$

în care:  $I_{max}$  este curentul maxim care poate apărea în cablu în funcționare normală și care se determină cu relația 12-4, iar  $I_{sc}$  — curentul pentru un scurtcircuit bifazat la sfârșitul cablului protejat.

În plus se recomandă ca valoarea curentului de lucru al releului să nu depășească cu mai mult decât 50% curentul nominal al fuzibilului indicat în tabele la secțiunea respectivă a cablului.

În cazul rețelelor arborescente, protejate cu siguranțe fuzibile, curentul nominal al unui fuzibil din amonte trebuie să fie mai mare cel puțin cu o treaptă decât curentul nominal al siguranței din aval; în felul acesta se asigură selectivitatea protecției, adică protecția întrerupe numai circuitul defect. Când protecția se face cu relec, selectivitatea se obține măbind curenții de lucru ai releelor întreruptoarelor, pe măsură ce se parcurge rețeaua de la receptoare spre transformator.

Se înțelege că asigurarea selectivității se face cu respectarea relațiilor de alegere a fuzibilelor sau de reglaj al releelor.

## 5. Protecția transformatoarelor

Defectele care pot apărea la un transformator se împart în:

- defecte externe, care constau în suprasarcini și scurtcircuite produse pe circuitul secundar legat la transformator;
- defecte interne, care constau în scurtcircuit între bobinajele transformatorului sau în defecte de izolație între bobinaje și cuvă sau miez. Când se strică izolația dintre primar și secundar, înalta tensiune pătrunde în instalația de joasă tensiune.

Protecția contra defectelor externe se face de obicei cu aparate montate pe partea de joasă tensiune, la ieșirea din transformator. În general, se folosesc siguranțe fuzibile.

Protecția contra defectelor interne se realizează cu ajutorul aparatelor montate pe înalta tensiune, la intrarea în transformator.

În cazul postului de transformare cu un singur transformator, aparatele montate la intrarea transformatorului pot fi reglate să funcționeze și la defectele externe; atunci nu mai sînt necesare aparate la ieșirea din transformator și acesta poate fi conectat direct la barele de joasă tensiune, obținîndu-se astfel o schemă mai simplă.

Pentru protecția contra defectelor interne se folosește și un releu special, numit „releu de gaze” (sau releu Bucholz). Releul de gaze se montează pe conducta de legătură între conservatorul de ulei și cuvă transformatorului. Funcționarea lui se bazează pe producerea de gaze în transformator, la apariția unui defect; la defecte neînsemnate, cantitatea de gaze produse este mică, iar releul, sesizîndu-le, pune în funcțiune o semnalizare; dacă defectul este grav, cantitatea de gaze este mare și releul comandă deconectarea transformatorului de la rețea. Releul de gaze se utilizează la transformatoarele cu puteri de la 320 kVA în sus.

## 6. Protecția instalațiilor contra supratensiunilor

După cum s-a arătat, supratensiunile deosebit de periculoase sînt supratensiunile de origine externă, produse de electricitatea atmosferică. Pentru protecția contra loviturilor directe de trăsnet se folosesc paratrăznete. Paratrăsnetul este o tijă metalică bine legată la pămînt printr-o priză de pămînt. Priza de pămînt este realizată fie printr-o placă metalică, fie prin una sau mai multe țevi metalice îngropate în pămînt (vezi capitolul XXII-3). Zona cuprinsă în jurul paratrăsnetului este ferită de loviturile directe de trăsnet. Pentru a mări zona protejată se folosesc mai multe paratrăznete.

Contra supratensiunilor ce vin de pe rețelele aeriene și pătrund în instalațiile electrice se folosesc descărcătoarele. Descărcătorul este un aparat care se leagă între conductele liniei aeriene și pămînt. Cînd tensiunea crește peste o anumită limită, descărcătorul „se amorsează”, scurgînd spre pămînt sarcinile electrice care au produs supratensiunea; cînd tensiunea revine la normal, descărcătorul iese din funcțiune. Sub forma cea mai simplă, descărcătorul este construit cu un eclator.

Eclatorul se compune din două piese metalice, una legată la linie, iar alta la pămînt; între cele două piese metalice se află un spațiu de aer. Cînd tensiunea liniei crește peste o anumită limită, spațiul de aer este străpuns iar sarcinile electrice datorite electricității atmosferice se scurg, prin arcul format, de la linie la pămînt; cînd tensiunea revine la normal, arcul electric se stinge și legătura la pămînt este întreruptă. Descărcătoarele moderne folosesc rezistențe variabile cu tensiunea; la creșterea tensiunii, rezistența descărcătorului scade, scurgînd sarcinile la pămînt; la revenirea tensiunii la valoarea normală, rezistența descărcătorului devine din nou foarte mare, izolînd linia față de pămînt.

## Protecția contra accidentelor de electrocutare

### 1. Accidente de electrocutare

Trecerea curentului prin corpul omenesc se numește electrocutare. În anumite condiții, cînd curentul care trece prin corpul omenesc depășește o anumită valoare (de obicei peste 50 mA), accidentele de electrocutare pot fi mortale.

Pentru ca prin om să treacă un curent electric, între două puncte ale corpului, trebuie să i se aplice o tensiune electrică numită *tensiune de atingere*  $U_a$ . Curentul care va trece prin corpul omului va depinde de rezistența  $R_{om}$  a acestuia și va avea valoarea:

$$I = \frac{U_a}{R_{om}}.$$

Rezistența corpului omenesc depinde de foarte mulți factori și poate fi de ordinul 100 000  $\Omega$ , cînd pielea este uscată și intactă; ea scade la 800—1 000  $\Omega$ , cînd pielea este umedă și contactul este bine făcut. În calculele practice se consideră că rezistența minimă a corpului omenesc este de 1 000  $\Omega$  în locurile foarte periculoase (locuri și încăperi umede, încăperi cu vapori corozivi, cu praf bun conducător de electricitate, locuri cu temperatură peste 30°C etc.) și de 3 000  $\Omega$  în locuri periculoase (locuri în apropierea instalațiilor electrice deservite de personal calificat, încăperi cu pardoseală bună conducătoare de electricitate — pămînt, cărămidă, beton, plăci metalice etc.). Folosirea în practică a mănușilor de cauciuc, a galoșilor de cauciuc și a covorașelor izolante au ca scop să mărească în mod artificial rezistența circuitului închis prin corpul omului, micșorînd astfel la valori nepericuloase curentul electric care trece prin organism.

Curentul electric, trecînd prin organism, produce *șocuri electrice* și *traumatisme electrice*. Șocul electric este urmarea acțiunii curentului electric asupra organelor interne și asupra sistemului nervos; șocul electric produce zguduitură și comotii sau poate

duce la paralizia respirației și la paralizia inimii, urmată de moarte. Intensitatea acestor efecte depinde de durata și de mărimea curentului și de drumul parcurs de curent prin corp. Situația cea mai periculoasă este atunci cînd tensiunea de atingere se aplică între *mîna dreaptă* și *picioare*, deoarece în acest caz, curentul care trece prin inimă este maxim. Pe baza cercetărilor s-a stabilit că de la 50 mA în sus, curentul devine periculos, deoarece poate produce paralizia respirației. Rezultă de aici că tensiunea de atingere de la care începe să apară pericolul, în caz de electrocutare, este:

$$U_a = R_{om} \cdot i_{om} = 1\,000 \cdot 0,050 = 50 \text{ V.}$$

De aceea, tensiunea nepericuloasă este considerată la noi în țară (STAS 2 612-54) cea de 50 V în curent continuu și de 36 V în curent continuu sau alternativ (aceasta pentru locuri de lucru cu umiditate de 100%, încăperi cu vapori corozivi sau cu gaze și lichide refrigerente, precum și la lucrări pe construcții metalice). În multe țări, tensiunea nepericuloasă este considerată 50 V în c.c. și 24 V în c.a. Practica a dovedit însă că, în general, chiar la tensiuni de atingere de 40 V nu apar cazuri mortale.

Traumatismul electric constă în semne electrice (umflături pe piele), arsuri sau electrometalizări produse de acțiunea curentului și a arcului electric. Este de reținut că, oricît de grave ar fi traumatismele, ele produc rareori moartea. *În general, dacă inima nu a încetat să bată, un electrocutat moare prin asfizie din cauza paraliziei respirației. De aceea, făcînd respirație artificială unui electrocutat, el poate fi readus la viață.* Respirația artificială trebuie făcută rațional, așa cum se arată în normele de tehnică a securității și un timp suficient de lung, care uneori poate atinge 6 și chiar 8 ore. Deseori, în practică, se face greșeala de a nu începe respirația artificială imediat și din lipsă de instruire ea este făcută și într-un mod defectuos, ceea ce duce la pierderea unei vieți care putea fi salvată.

## 2. Producerea accidentelor de electrocutare și mijloace pentru prevenirea lor

Cauzele accidentelor de electrocutare sînt: a) atingerea de către om a pieselor sub tensiune, de exemplu, a conductoarelor unei linii aeriene, a bornelor unui aparat etc.; b) atingerea pieselor care în mod normal nu sînt sub tensiune, de exemplu a

carcaselor mașinilor, a carcaselor aparatelor etc., dar care ajung sub tensiune în mod accidental, de cele mai multe ori în urma unor defecte de izolație.

Din analiza cauzelor rezultă și principalele mijloace de prevenire a accidentelor de electrocutare. Astfel, pentru a micșora riscul atingerii pieselor sub tensiune, instalațiile și aparatele electrice sînt construite în așa fel, încît piesele sub tensiune nu sînt accesibile. Pentru aceasta se respectă anumite norme de construcție, se asigură o izolație corespunzătoare sau se fac uneori o serie de blocaje mecanice și electrice, care nu permit atingerea pieselor (contacte, relee etc.) decît după scoaterea lor de sub tensiune (pe scurt: nu se poate deschide carcasa unui aparat decît după ce au fost scoase de sub tensiune piesele care ar putea fi atinse cînd carcasa este deschisă; repunerea sub tensiune se poate face numai după ce se reînchide carcasa). În alte cazuri, pentru ca atingerea pieselor sub tensiune să nu reprezinte un pericol se utilizează tensiuni reduse (12 V, 24 V, 36 V, 48 V).

Pentru a micșora riscul atingerii sub tensiune a pieselor metalice care, în mod accidental, pot ajunge sub tensiune, se întreține în cît mai bune condiții izolația instalației, iar piesele metalice, care, în mod normal, nu sînt sub tensiune, se leagă la pămînt prin prize de punere la pămînt sau se leagă la firul neutru; dacă aceste piese pot veni, în mod normal, în contact cu corpul omenesc (ex. minerele uneltelor electrice), ele se acoperă și cu un strat izolant (cauciuc).

Cazul cel mai periculos de electrocutare este atunci cînd omul atinge simultan două faze ale rețelei; în această situație,

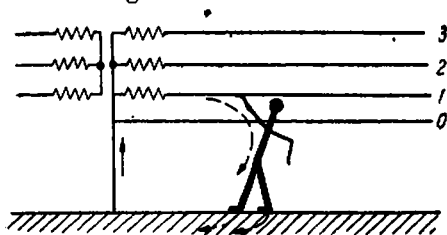


Fig. 22-1. Atingerea de către om a unei singure faze la rețeaua cu neutrul pus la pămînt.

oricare ar fi tensiunea rețelei (127, 220, 380, 500 sau 660 V), curentul care trece prin corpul omului este la fel de periculos și poate produce moartea.

Practic însă, cele mai frecvente accidente se întîmplă prin atingerea unei singure faze a rețelei de către un om care stă cu picioarele pe pămînt. În

această situație, dacă rețeaua are neutrul legat la pămînt (fig. 22-1), tensiunea de atingere va fi cel mult egală cu tensiunea de fază a rețelei. În rețeaua cu neutrul izolat, atingerea



unei faze (fig. 22—2) nu duce la nici un accident, deoarece atît timp cît izolația rețelei față de pămînt este bună, prin corpul omului nu trece un curent periculos; cu cit însă re-

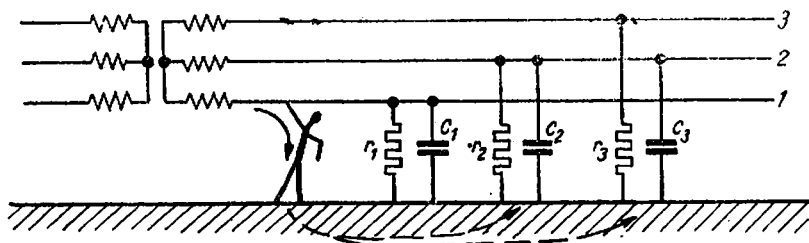


Fig. 22-2. Atingerea de către om a unei singure faze la rețeaua cu neutrul izolat.

zistențele de izolație  $r$  sînt mai mici și cu cit capacitățile  $C$  ale fazelor față de pămînt sînt mai mari (cazul unei rețele cu o lungime mare de linii și cabluri), curentul care trece prin corpul omului crește și poate deveni periculos. În acest caz, circuitul electric este următorul (fig. 22—2): faza 1, corpul omului, rezistența  $r_2$  în paralel cu capacitatea  $C_2$ , faza 2 și tot de la corpul omului mai departe rezistența  $r_3$  în paralel cu capacitatea  $C_3$ , faza 3. (Curenții care trec prin capacitățile fazelor față de pămînt se numesc *curenți capacitivi*.) În cazul particular, cînd una dintre faze este pusă la pămînt și omul atinge una din celelalte două faze, pericolul este maxim, deoarece tensiunea de atingere devine egală cu tensiunea de linie.

Este însă de remarcat că punerea la pămînt a unei singure faze în rețeaua cu neutrul izolat nu duce la apariția unui curent de scurtcircuit și de aceea nu implică deconectarea circuitului respectiv. Este necesar însă ca printr-un control riguros al izolației rețelei să se detecteze imediat orice defect de izolație între o fază și pămînt (defect monofazat) și să se înlăture, pentru a se evita astfel, pericolul maxim arătat mai înainte.

În rețeaua cu neutrul legat la pămînt, atingerea unei faze este totdeauna periculoasă, iar punerea la pămînt a unei faze duce, în acest caz, la apariția unui curent de scurtcircuit monofazat, ceea ce impune deconectarea circuitului respectiv. Rețeaua cu neutrul legat la pămînt are însă avantajul că oferă două tensiuni (tensiunea de fază, folosită pentru receptoarele de ilumi-

nat și unele receptoare de forță monofazate și tensiunea de linie folosită pentru receptoarele de forță).

De aceea, deși din punctul de vedere al pericolului de electrocutare, rețeaua cu neutrul izolat este mai avantajoasă, ea nu are totuși utilizare generală, ci ea se utilizează numai acolo unde pericolul de electrocutare este foarte mare, că, de exemplu,

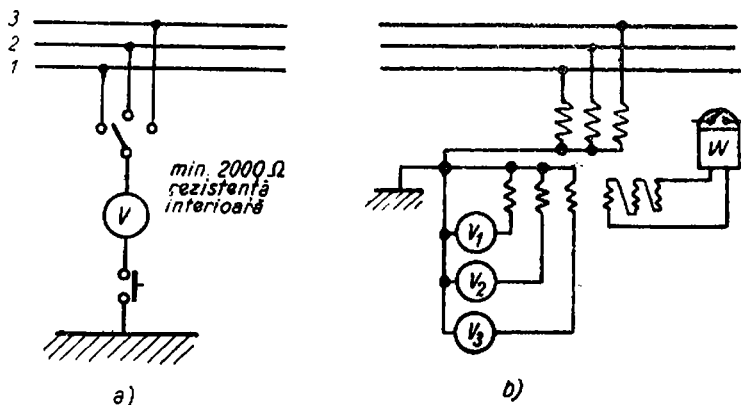


Fig. 22-3. Controlul izolației rețelei cu neutrul izolat:

a) prin folosirea unui singur voltmetru; b) prin folosirea a trei voltmetre și a unui transformator de tensiune.

în exploatările miniere subterane, sau acolo unde nu este nevoie de două tensiuni.

Controlul izolației rețelei cu neutrul izolat se efectuează, rețeaua fiind în funcțiune, folosind un voltmetru legat pe rând între faze și pământ (fig. 22-3, a) sau trei voltmetre legate între faze și pământ prin intermediul unui transformator de tensiune special, cu cinci coloane (fig. 22-3, b). În mod normal, fiecare voltmetru indică tensiunea de fază a rețelei.

La apariția unui defect de izolație între fază și pământ, tensiunea fazei respective față de pământ scade, iar tensiunile celorlalte două faze cresc spre valoarea tensiunii de linie. În cazul folosirii transformatorului cu cinci coloane, acesta mai dispune de trei bobinaje auxiliare care — legate în serie — alimentează un releu de tensiune; tensiunea produsă de ele este cu atât mai mare, cu cât defectul de izolație este mai pronunțat; la un anumit grad de defect, releul pune în funcțiune o semnalizare sau comandă, chiar deconectarea circuitului.

Acste sisteme nu sînt însă prea corespunzătoare în rețelele de cabluri. În aceste cazuri, sistemele moderne de control al izolației rețelei cu neutrul izolat se bazează pe măsurarea în curent continuu a rezistenței de izolație, în mod permanent, chiar atunci cînd rețeaua este în funcțiune.

### 3. Protecția contra electrocutării prin punerea la pământ

Toate carcasele mașinilor și aparatelor, precum și alte piese metalice care pot fi atinse, de exemplu, manșoanele de legătură, armătura cablurilor etc. care, în mod normal, sînt izolate de piesele sub tensiune, dar accidental, pot ajunge sub tensiune, se leagă la pământ cu ajutorul prizelor de punere la pământ. Prin aceasta se urmărește ca pământul și diferitele piese metalice să fie legate electric între ele și să aibă mereu același potențial; în această situație, un om care, stînd cu picioarele pe pământ, atinge o piesă metalică (ajunsă accidental sub tensiune), nu va mai fi supus unei diferențe de potențial — prin corpul lui nu va mai trece un curent și deci nu va mai fi electrocutat. În realitate, datorită curenților<sup>1</sup> care se scurg prin priza de pământ, atunci cînd apare tensiune pe piesa legată la pământ, între piesa respectivă și pământ apare totuși o diferență de potențial, egală cu căderea de tensiune  $RI$  produsă de trecerea curenților (de scurgere) prin priza de pământ; de aceea, pentru ca tensiunea de atingere să fie cît mai mică, trebuie ca rezistența prizei de pământ să fie cît mai mică și curenții de scurgere să fie cît mai mici. După cum s-a arătat, curenții sînt mici numai în rețelele cu neutrul izolat; de aceea, în aceste rețele, protecția prin punerea la pământ este eficace.

În rețelele cu neutrul legat la pământ, curenții de scurgere sînt mari și de aceea tensiunile de atingere pot fi mari; aici însă, la apariția unui defect de izolație, se contează pe deconectarea automată a circuitului respectiv. Pentru ca, în adevăr, curentul care apare la un defect monofazat de izolație să fie suficient de mare ca să poată provoca arderea siguranței sau deschiderea întreruptorului automat, toate piesele metalice (carcasele) se leagă în mod obligatoriu la firul neutru; firul neutru este legat la pământ în mai multe puncte. În acest caz, se spune că protecția se face prin legarea la firul neutru (sau la nul).

Prizele de punere la pământ se construiesc din electrozi formați din țevi de oțel cu un diametru de minimum 35 mm și cu o lungime de cel puțin 1,5—2 m, îngropați într-un pământ cu o rezistivitate cît mai mică (în acest scop, pământul poate fi umezit sau tratat special cu săruri). Legarea pieselor metalice

---

<sup>1</sup> Curentul de scurtcircuit monofazat la rețeaua cu neutrul legat la pământ; curenții capacitivi și prin rezistența de izolație la rețeaua cu neutrul izolat.

la prizele de pământ se face prin conductoare de oțel de o secțiune de cel puțin 50 mm<sup>2</sup>.

În locul țevilor, se pot utiliza benzi de oțel sau plăci de oțel cu o suprafață de cel puțin 0,6 m<sup>2</sup>. Rezistențele prizelor astfel construite, cu un singur electrod, sînt de ordinul zecilor de ohmi; pentru a obține rezistențe mai mici se leagă mai mulți electrozi în paralel (se fac prize multiple). Prizele se dimensionează astfel, încît la cel mai mare curent de scurgere al instalației respective, tensiunile de atingere să nu depășească: 40 V — la instalații mobile în general, sau la orice instalație în subteranul minelor; de 65 V — la instalații fixe; 150 V — la stațiile de transformare cu personal de deservire; 200 V — la stațiile de transformare fără personal de deservire.;

## Tracțiunea electrică

### 1. Noțiuni generale. Clasificarea principalelor tipuri de tracțiune electrică

Una din cele mai importante aplicații mecanice ale electricității o constituie tracțiunea electrică, adică utilizarea motoarelor electrice pentru acționarea diferitelor mijloace de transport.

Spre deosebire de alte sisteme de motoare, cum sînt cele cu abur sau cu explozie, care produc energia mecanică direct din combustibili, constituind adevărate uzine mobile atunci cînd sînt folosite pe vehicule și funcționînd cu randament scăzut, motorul electric reprezintă numai un transformator de energie electrică în energie mecanică.

Ținînd seamă de faptul că randamentul centralelor termoelectrice este mult superior celui al motoarelor termice mici de pe vehicule, și de faptul că randamentul mașinilor electrice mari este în general mai mare decît 0,95, se deduce lesne că, din punctul de vedere, al economiei de combustibili, tracțiunea electrică este mai avantajoasă decît alte mijloace de tracțiune care produc energia mecanică direct din combustibili.

Motoarele electrice au o greutate, un gabarit și un cost cu mult mai redus decît orice alt sistem de acționare, însă, necesită în schimb instalații speciale de linii de contact, rețele de transport și substații electrice.

În consecință, cu cît numărul de vehicule în funcțiune este mai mare, cu atît avantajul tracțiunii electrice este mai mare.

Alte avantaje ale tracțiunii electrice sînt:

— lipsa fumului, avantaj deosebit de important la utilizarea tracțiunii electrice în mine, în uzine, pe traseele subterane, sau în interiorul aglomerărilor de locuințe;

— mărirea vitezei transporturilor efectuate, prin faptul că accelerarea vehiculului poate fi sporită, cuplul de pornire al motoarelor electrice folosite în tracțiune fiind mai mare decât la motoarelor cu abur sau cu explozie;

— realizarea unui cuplu motor uniform care, împreună cu micșorarea timpului de pornire și oprire, conduce la scurtarea timpului de ocupare a liniei între stații și la sporirea capacității de transport a unei linii date;

— posibilitatea recuperării unei părți din energia consumată de alte convoaie, prin restituirea în rețeaua de alimentare a energiei cistigate prin efectuarea frinării electrice recuperative la oprire sau la coborîri de pante mai lungi.

Afară de avantajele amintite, se mai pot cita altele:

— o importantă economie de transport, prin faptul că dispăre necesitatea de a transporta combustibil mult și greu, cum este cazul la tracțiunea cu abur;

— locomotivele electrice au o mare capacitate de supraîncărcare temporară;

— tracțiunea electrică permite comanda dintr-un singur post a mai multor vehicule motoare;

— locomotivele electrice au posturi de comandă la ambele capete, deci nu mai este necesară placa turnantă sau manevre în triunghi;

— personalul utilizat lucrează în condiții mult mai ușoare, fără a fi supus intemperiei și fără a executa munci fizice grele.

Dezavantajele pe care le prezintă față de tracțiunea cu abur, sînt:

— cost mai ridicat atît pentru locomotiva propriu-zisă, cît și pentru instalațiile fixe;

— necesită un personal cu o calificare tehnică ridicată.

*Clasificare.* Tracțiunea electrică se poate clasifica după mai multe criterii:

a) În funcție de poziția pe care o ocupă liniile de trafic față de așezările omenești, tracțiunea poate fi urbană sau feroviară.

b) În funcție de felul energiei folosite: *în curent continuu, în curent alternativ monofazat sau în curent alternativ trifazat.*

c) În funcție de mărimea tensiunii de distribuire a energiei electrice: *de joasă tensiune* (numai în curent continuu pînă la 500 V), și *de înaltă tensiune* (600—3 000 V pentru curent continuu și 15 000 V pentru curent alternativ).

d) În funcție de felul alimentării cu energie electrică: prin linii de contact alimentate de la centrale sau stații de redresare, respectiv de transformare, prin acumulateoare schimbate periodic sau alimentate la stații fixe, și prin grupuri generatoare acționate direct de motoare, instalate pe vehicule, de obicei motoare cu combustie internă și mai rar prin turbine.

## 2. Tracțiunea electrică feroviară

Tracțiunea electrică feroviară poate fi clasificată în:

— tracțiune electrică propriu-zisă, în care energia mecanică e produsă de motoare electrice alimentate de la o linie de contact;

— tracțiune Diesel-electrică, în care se folosesc de asemenea motoare electrice, însă alimentarea acestora se face de la un generator plasat pe locomotivă și antrenat de un motor Diesel. Din aceeași categorie face parte și tracțiunea abur-electrică.

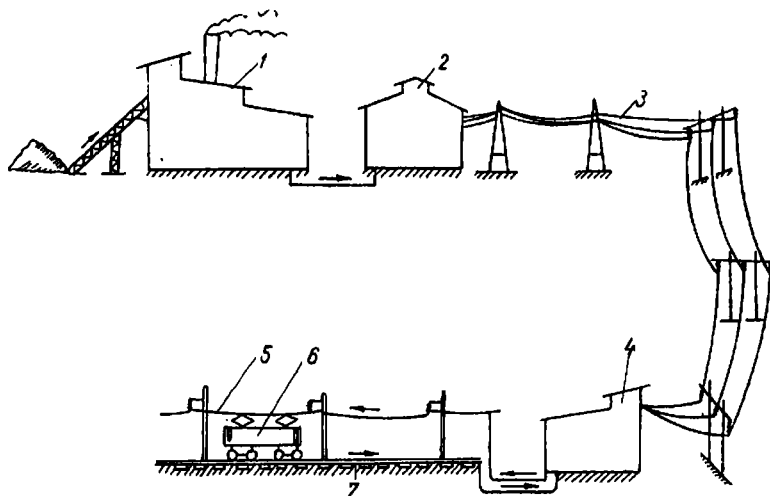


Fig. 23-1. Schema unei instalații de tracțiune electrică feroviară.

**Tracțiunea electrică.** O instalație de tracțiune electrică feroviară cuprinde în mod obișnuit elementele schițate în figura 23-1. Centralele electrice 1, care pot fi termo- sau hidroelectrice, furnizează energie electrică, care este transformată de stațiile de transformare 2 la o tensiune înaltă și apoi este transportată prin liniile 3 la substațiile electrice de tracțiune 4, plasate

de-a lungul căii ferate și care alimentează tronsoane de lungimi potrivite ale liniei de contact 5. Locomotivele electrice 6 preiau energia electrică de la linia de contact și o transformă în energie mecanică, de tracțiune. Drept conductor de întoarcere a curentului electric la substații servește calea de rulare a liniei ferate 7, care trebuie să prezinte deci continuitate electrică.

Sistemele de tracțiune electrică feroviară se deosebesc ținând seama de felul curentului la linia de contact și pot fi: în curent continuu, în curent alternativ monofazat cu frecvența redusă ( $16 \frac{2}{3}$  sau 25 Hz), în curent alternativ monofazat cu frecvența industrială (50 Hz) și în curent alternativ trifazat.

Sistemul în curent continuu se realizează principal conform figurii 23-2. Substațiile de tracțiune sînt alimentate din rețeaua generală de transport, trifazată, de 50 Hz și produc curentul continuu prin redresarea curentului alternativ cu un număr de faze mai mare decît trei (de obicei 12-18); în acest scop, se folosesc transformatoare cu secundarul special. Tensiunile uzuale la linia de contact sînt: 1,5; 3 și 3,3 kV, limitarea fiind impusă de funcționarea motoarelor serie de curent continuu de pe locomotivă.

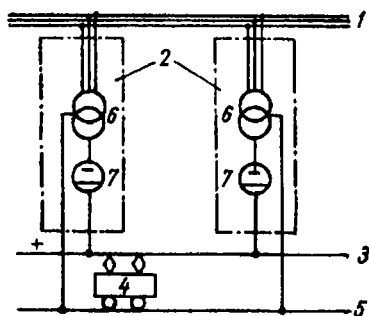


Fig. 23-2. Sistem de tracțiune feroviară în curent continuu:

1 — linie generală de transport de energie electrică; 2 — substație de tracțiune; 3 — linie de contact; 4 — locomotivă electrică; 5 — cale de rulare; 6 — transformatoare trifazate coborâte de tensiune; 7 — redresoare.

Avantajul principal al acestui sistem constă în faptul că motoarele de curent continuu serie folosite sînt foarte robuste, simple și prezintă caracteristici ideale pentru tracțiune. În plus, se poate realiza ușor frînarea electrică reostatică sau recuperativă. Dezavantajele sînt: substații complicate și numeroase, din cauza tensiunii reduse la firul de contact, ceea ce duce de asemenea la un consum mare de cupru pentru linia de contact.

Sistemul în curent alternativ trifazat se folosește rar din cauza complicațiilor care apar în stații

și la încrucișări la linia de contact bifilară.

Sistemul monofazat cu frecvență redusă  $16 \frac{2}{3}$  și 25 Hz a apărut la începutul introducerii tracțiunii electrice, pentru a se putea folosi motoarele monofazate serie cu colector, cu o funcțio-



nare acceptabilă din punctul de vedere al comutației. Sistemul prezintă avantajele unei tensiuni ridicate la linia de contact (15 000 V), deci secțiune redusă a conductorului de contact și distanțe mari între substațiile de tracțiune (50—70 km). De asemenea, are avantajul unei mari elasticități în exploatare, deoarece faptul că pe locomotivă există un transformator coboritor de tensiune cu multe prize pentru reducerea și reglajul tensiunii aplicate motorului, permite un reglaj fin al vitezei. Ca dezavantaj principal trebuie menționat acela că sistemul reclamă sau o rețea proprie de tracțiune de frecvență redusă (fig. 23—3, a), ceea ce este costisitor, sau reducerea frecvenței industriale, de la 50 Hz, în substațiile de tracțiune, ceea ce le complică și le scade randamentul (fig. 23—3, b).

Sistemul monofazat cu frecvență industrială (50 Hz) a rezultat din tendința de a simplifica și ieftini instalațiile fixe de tracțiune,

menținându-se totuși tensiunea ridicată la linia de contact (fig. 23—4). Acest sistem întrunește toate avantajele sistemelor precedente și de aceea, în ultimii ani, câștigă din ce în ce mai mult teren și apare ca un sistem de tracțiune feroviară a viitorului.

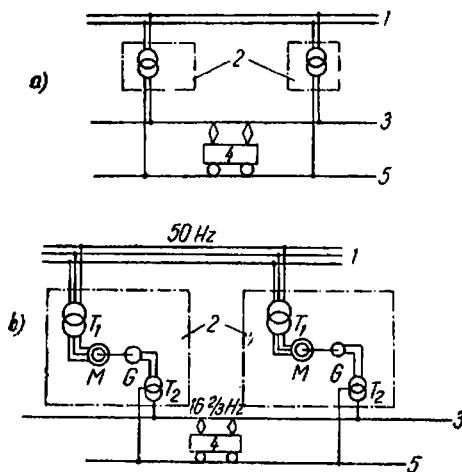


Fig. 23-3. Sistemul de tracțiune feroviară în curent monofazat și frecvență redusă, cu alimentarea din:

a — rețeaua proprie, de frecvență joasă;  
b — rețeaua de frecvență industrială (50 Hz).

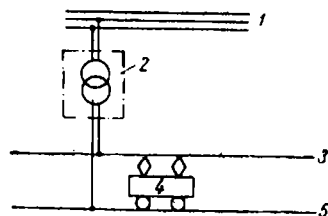


Fig. 23-4. Sistem de tracțiune feroviară în c.a. monofazat de frecvență industrială de 50 Hz.

Dificultatea principală la acest sistem este aceea, de a se crea un motor serie cu colector pentru tracțiune, capabil să funcționeze la 50 Hz. Problema nu este încă definitiv rezolvată.

Există însă și alte variante ale acestui sistem, ca de exemplu acela cu locomotivă convertizoare, având montat pe locomotivă

un convertizor (static sau rotativ) de curent alternativ de la 50 Hz în curent continuu (motoarele de tracțiune sînt de curent continuu).

*Tracțiunea Diesel-electrică.* Ca și tracțiunea electrică propriu-zisă, tracțiunea Diesel-electrică prezintă față de tracțiunea cu abur avantajele enumerate în primul paragraf.

Tracțiunea Diesel-electrică are însă, chiar față de tracțiunea electrică propriu-zisă, unele avantaje esențiale, cum sînt:

— un randament mult mai ridicat. Tracțiunea electrică are un randament total cuprins între 0,12 și 0,18, pe cînd tracțiunea Diesel-electrică are un randament de 0,23—0,25, deci aproape dublu;

— cheltuieli de investiție mult mai mici decît tracțiunea electrică. Neavînd nevoie de linii de contact, de stații de transformare sau de redresare, trecerea de la tracțiunea cu abur la tracțiunea Diesel-electrică poate rezulta, în unele cazuri, mai avantajoasă decît trecerea la tracțiunea electrică.

O locomotivă Diesel-electrică cuprinde un motor Diesel cuplat direct cu un generator de curent continuu care alimentează mai multe motoare cu excitație în serie, acționînd fiecare o osie motoare prin intermediul unui angrenaj fix. Pe arborele motorului Diesel este cuplat și un generator auxiliar de putere mai mică, servind la alimentarea cu energie a serviciilor auxiliare de pe locomotivă (compresoare, ventilatoare, baterie de acumulate, instalații de iluminat, circuite de comandă la distanță ș.a.).

Locomotivele Diesel-electrice sînt utilizate din ce în ce mai des în rețelele mari și grele de cale ferată, acolo unde tracțiunea electrică normală cu linie de contact nu a putut fi încă realizată, constituind prima etapă în trecerea de la tracțiunea cu abur la tracțiunea electrică.

### 3. Tracțiunea electrică urbană

Prin tracțiune electrică urbană se înțelege aplicarea electricității la propulsia mijloacelor de transport în comun, în interiorul orașelor, pe trasee dinainte stabilite.

Caracteristica principală a tracțiunii electrice urbane (fig. 23-5) constă în folosirea unor rețele de contact 4 instalate pe trasee fixe, prin care sînt alimentate cu energie electrică motoarele vehiculelor mobile 6, 7, 8 de la substații de alimentare fixe 1 deservite de instalațiile de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

Mijloacele de transport urban în comun se împart în două mari categorii:

— mijloace de transport pe străzi, a căror circulație se face în comun cu a celorlalte vehicule (tramvaiul, troleibuzul, autobuzul ș.a.);

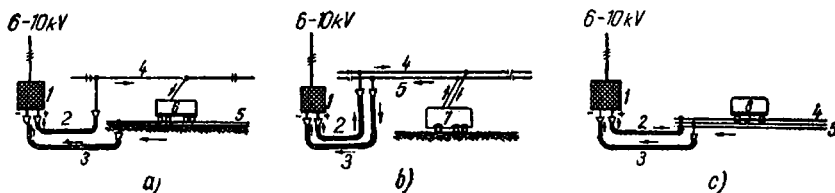


Fig. 23-5. Schema unei instalații de tracțiune electrică urbană:

1 — stație de alimentare; 2 — cablu de alimentare; 3 — cablu de întoarcere; 4, 5 — rețea de contact; 6 — vagon de tramvai; 7 — troleibuz; 8 — vagon de metropolitan.

— mijloace de transport în afara străzilor, care au o cale de rulare proprie la un nivel diferit de cel al străzilor (metropolitanele și căile ferate suburbane și de centură).

Mijloacele de transport în comun pe străzi sînt cele mai vechi și mai importante, asigurînd și astăzi cea mai mare parte din traficul intern al orașelor.

*Tramvaiele electrice* reprezintă un mijloc de transport în comun foarte răspîndit, fiind compuse din vagoane de pasageri automotoare, cu sau fără remorci, care circulă pe șine montate pe străzi, astfel încît să nu împiedice circulația celorlalte vehicule. Alimentarea lor se face în curent continuu sub o tensiune de 600 sau 800 V de la un conductor de contact (fig. 23—5, a), întoarcerea curentului făcîndu-se prin șine.

*Troleibuzele* reprezintă un mijloc de transport în comun mai modern, care are caracteristici comune cu tramvaiul (fiind alimentat printr-o rețea de contact) și cu autobuzul (avînd roțile cu cauciucuri și oarecare libertate în circulația sa care se face totuși după un traseu anumit). Întrucît întoarcerea curentului nu se mai poate face prin șine, rețeaua electrică de contact este prevăzută cu două conductoare (fig. 23—5, b). Tensiunea de serviciu a rețelei este de 800 V și chiar mai mult (1 000 sau 1 500 V).

În afară de aceste mijloace de transport, pe străzi se folosesc, mai rar, și alte mijloace de transport care derivă din acestea prin anumite modificări, și anume:

*Autobuzele cu transmisie electrică*, care sînt de fapt autobuze echipate cu motoare Diesel și cu o transmisie electrică

în locul uneia mecanice, formată dintr-un generator care alimentează unul sau mai multe motoare electrice cuplate cu osiile motoare.

*Acubuzele.* Acestea sînt vehicule asemănătoare cu autobuzele, dar acționate prin motoare electrice alimentate cu curent electric furnizat de o baterie de acumulatori montată pe vehicul și care se încarcă periodic.

*Electrocarele.* Sînt vehicule mici folosite pentru transporturi în ateliere, magazine, gări etc. Energia electrică este furnizată de baterii de acumulatori montate chiar pe vehicule. Pot avea platforme de încărcare fixe sau care se pot ridica.

*Locomotivele electrice de mină.* Sînt acționate de motoare de curent continuu alimentate de baterii de acumulatori montate pe ele. Se folosesc în mine pentru remorcarea convoaielor de vagonete cu minereu.

*Electrobuzele cu curenți de înaltă frecvență* sînt vehicule electrice de transport acționate de motoare electrice alimentate cu energie electrică prin inducție de la conductoare montate în tuburi sub pavajul străzii și străbătute de curenți de înaltă frecvență, rețeaua de contact fiind astfel suprimată. Randamentul transmisiei energiei electrice prin cuplaj inductiv la distanță fiind redus, acest tip de vehicul nu este folosit în mod curent și se află încă în stadiu de experimentare.

*Girobuzele* sînt vehicule asemănătoare cu acubuzele, dar la care acumularea energiei necesare pentru acționare este obținută sub formă de energie cinetică, înmagazinată într-un volant adus la o rotație ridicată cu ajutorul unui motor electric alimentat de la instalații fixe, plasate în anumite puncte ale traseului.

Mijloacele de transport în comun în afara străzilor sînt de fapt căi ferate cu cale de rulare proprie, plasată la un nivel diferit de nivelul străzilor, pentru ca circulația lor să nu stînjenească circulația celorlalte vehicule.

*Metropolitanul* (metroul) este mijlocul de transport care utilizează căi ferate instalate în interiorul orașelor, cu mici extinderi în comunele suburbane învecinate, circulația trenurilor făcîndu-se într-o succesiune regulată, la intervale scurte, ca și la tramvaie (1,5—2 min) pe cale dublă (dus și întors). Pe porțiunile de traseu comune cu alte trasee de metropolitan, sau la încrucișări de linii, fiecare linie este plasată la un nivel diferit de celelalte. În acest scop, calea metropolitanului este fie înălțată pe toată lungimea traseului, pe deasupra solului, pe estacade, sub forma unui viaduct construit deasupra unei porțiuni din

bulevardele oraşului, fie de preferinţă în subteran, sub forma unui tunel executat sub nivelul străzilor sau la mare adâncime. Trenurile au 6—8 vagoane mari de construcţie specială, cele mai multe fiind vagoane electromotoare conduse de un singur manipulant prin comandă electrică multiplă.

Căile ferate suburbane şi de centură sînt la fel cu căile ferate interurbane, dar se întind puţin în jurul oraşelor (pînă la 50—60 km), au traseul situat în parte în interiorul oraşului şi au o frecvenţă de circulaţie a trenurilor mai mare decît căile ferate normale.

## Sudarea electrică

### 1. Noțiuni generale. Clasificarea procedeelor de sudare electrică

*Definiții.* Sudarea electrică constituie unul dintre cele mai rapide, mai ușoare și mai ieftine procedee de îmbinare a pieselor metalice. Îmbinarea realizată prin sudare constă în intrarea atomilor de la periferia pieselor de sudat într-o rețea cristalină comună. Dacă piesele au aproape aceeași compoziție chimică, sudarea este *omogenă*; în practică, acest procedeu este denumit *sudare autogenă*, ori mai simplu, *sudare*. Dacă cele două piese au compoziții diferite, sudarea este *eterogenă*; în vorbirea curentă, această sudare este denumită *lipitură*.

#### *Clasificare:*

Sudarea electrică se poate executa:

— în stare solidă, printr-o acțiune mecanică de presare și la temperatură potrivită, încălzirea fiind produsă prin trecerea curentului electric prin piesele de sudat. Acest procedeu poartă numele de *sudare prin rezistență de contact*;

— în stare lichidă, prin topirea capetelor care urmează să fie sudate sau prin topirea unui metal de adaos care mijlocește sudarea, provocate de un arc electric. Acest procedeu poartă numele de *sudare cu arc electric*.

Lipirea electrică se execută numai în stare lichidă, prin formarea unui aliaj între piesele de îmbinat și un material așezat între ele, a cărui temperatură de topire este inferioară celei a pieselor de lipit.

Aplicațiile sudării în tehnică sînt foarte numeroase: în construcțiile metalice, la construcții de rezervoare, conducte, șine de cale ferată, autovehicule, avioane, turbine, mașini agricole, aparate casnice, aparate de radio etc.

Sudarea electrică se execută atât manual, în cazul atelierelor mici sau al șantierelor, cât și automat, în aplicațiile industriale mari. Puterea generatoarelor și a transformatoarelor de sudare manuală este de câțiva kilowați; prin urmare, racordul acestor aparate la rețeaua electrică se poate face cu ușurință, în oricare loc. Pentru sudarea automată, puterea instalațiilor este mai mare și costul instalațiilor este mai ridicat.

Sudarea prin rezistență de contact se aplică mai ales la producția în serie și este cea mai indicată pentru automatizare. Puterea electrică necesară este de ordinul sutelor de kilowați. Pentru atelierele mici, cel mai potrivit procedeu este acela al sudării cu arc electric.

Față de alte procedee de sudare (prin focul de forjă, cu gaz și aluminotermică), sudarea electrică se distinge prin folosirea unei energii ieftine și ușor accesibile la orice loc de lucru, și prin faptul că nu modifică structura internă a materialelor sudate, păstrându-le rezistența la rupere la valori foarte ridicate (aproape 100%). Sudarea electrică prin rezistență de contact mai are și avantajul că, în afară de energie electrică, nu are nevoie de nici un fel de material de adaos și la sudare nu intervin nici radiații nocive, nici gaze dăunătoare sănătății, nici gaze deflagrante.

## 2. Sudarea electrică prin rezistență de contact

Această metodă de sudare se bazează pe efectul termic al trecerii curentului electric prin rezistența pe care o constituie suprafața de contact a pieselor ce urmează a fi îmbinate; dacă aceste piese sînt în același timp strinse laolaltă cu o astfel de forță, încît în regiunile lor marginale să se producă o deformare plastică, adică alunecări, atomii marginali intră în sferele lor reciproce de atracție și se încadrează într-o rețea cristalină comună. Sudarea prin această metodă se poate obține cu atât mai ușor cu cît temperatura produsă de trecerea curentului prin rezistența de contact este mai înaltă, din cauza posibilității mărite de a se produce deformarea plastică și a mobilității mărite pe care o au atomii.

Piesele de sudat, oricît ar părea de netede suprafețele lor, nu fac contact decît în cîteva puncte (fig. 24—1), în care densitatea de curent este foarte mare. Gîturile liniilor de curent determină *rezistența de contact*  $R$ . Căldura dezvoltată în unitatea

de timp,  $RI^2$ , fiind concentrată numai în anumite puncte, materialul se încălzește foarte mult în acele puncte și, datorită forței de compresune exercitate asupra celor două piese, se produce o deformare și apar noi puncte de contact; încălzirea se extinde

astfel, treptat, asupra întregii suprafețe de contact, aducând-o la temperatura necesară sudării.

După metoda folosită procedeele de sudare prin rezistență se clasifică în:

— sudare în stare solidă;  
— sudare prin topire intermediară și

— sudare prin energie înmagazinată; după modul de îmbinare a pieselor sudate, se deosebesc: sudare prin puncte (fig. 24—2, a), sudare prin cusătură (fig. 24—2, b) și sudare cap la cap (fig. 24—2, c).

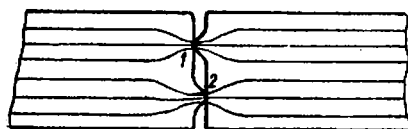


Fig. 24—1: Trecerea curentului prin locul de contact dintre două piese.

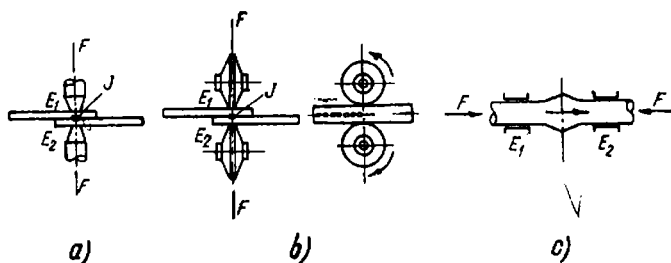


Fig. 24—2. Tipuri de sudură prin rezistență de contact:  
a — sudură prin puncte; b — sudură prin cusătură;  
c — sudură cap la cap.

*Sudarea în stare solidă* constă în trecerea curentului prin piesele de sudat apăsate continuu cu o forță exterioară; sub efectul trecerii curentului, suprafețele în contact se încălzesc la o temperatură înaltă, iar sub influența compresiei, se produce refularea materialului și deci sudarea. Dezavantajul acestui procedeu constă în faptul că impuritățile de pe suprafețe și oxizii care se formează în cursul încălzirii rămân incluși în sudură.

Sudarea cap la cap, în stare solidă, se aplică puțin în practică, și anume pentru îmbinarea unor bare sau tuburi de diametru mic (15—20 mm), precum și a zalelor de lanț.



*Sudarea prin topire intermediară* diferă de metoda precedentă prin faptul că are trei etape distincte: preîncălzirea, topirea și refularea materialului. În timpul operației de sudare prin topire intermediară, piesele se aduc în contact și se mențin sub curent pînă cînd în locul de contact apare o punte de metal topit; apoi se apasă puternic piesele, producîndu-se refularea metalului topit și sudarea pieselor. La acest procedeu este exclusă posibilitatea vreunei oxidări. După ploaia de scînteii, care se formează la sudare, procedeul se mai numește și sudare electrică prin scînteii.

Sudarea prin topire intermediară are aplicații numeroase, datorită ușurinței de execuție și a rezistenței mecanice mari care se poate obține la îmbinările sudate folosind acest procedeu. Astfel, se sudează: caroseriile autovehiculelor, șinele de tramvai și de cale ferată, țevile generatoarelor de abur ș.a.

*Sudarea prin înmagazinare de energie electrică.* Energia electrică necesară sudării este înmagazinată de obicei într-o baterie de condensatoare. Piesele de sudat se aduc în contact printr-o ciocnire violentă și atunci energia înmagazinată în condensator se eliberează sub forma unui curent de descărcare. Căldura care se dezvoltă de către acest curent în locul atingerii pieselor produce sudarea într-un timp foarte scurt, de ordinul de mărime al unor sutimi, sau zecimi de secundă.

Sudarea prin înmagazinare de energie se folosește numai la sîrme și la plăci subțiri.

Metalele și aliajele care se pretează la sudarea electrică prin rezistență de contact sînt: fierul, nichelul, cuprul, aluminiul precum și aliajele lor.

Pentru sudarea electrică prin rezistență de contact se folosește exclusiv curentul alternativ. Tensiunea necesară sudurii (în secundarul transformatoarelor speciale de sudură) este de 2—10 V, iar puterea nominală, de 25—175 kVA (mai rar, 250 și chiar 350 kVA). La sudarea prin înmagazinare de energie, tensiunea alternativă este redresată cu ajutorul unor redresoare cu vapori de mercur și apoi este aplicată unui condensator. Tensiunea la condensator atinge 3 000—4 000 V, iar capacitatea este de 3 000—4 000 F. În condensator se poate înmagazina o energie suficientă pentru sudarea unor table de aliaj ușor de 2—2,5 mm grosime.

*Sudarea prin puncte.* Acest procedeu se aplică în special la îmbinarea prin suprapunere a tablelor metalice și se aseamănă intrucitva nituirii. Tablele care urmează să fie sudate *A* și *B* sînt suprapuse și strînse între electrozii *C* și *D* de cupru dur,

racordați la secundarul 2 unui transformator (fig. 24—3), asupra lor aplicându-se o forță de compresiune  $F$  suficientă pentru a realiza un contact bun al tablelor. Când se închide circuitul primar 1 al transformatorului, prin secundarul său trece un curent care produce căldură în rezistența circuitului exterior

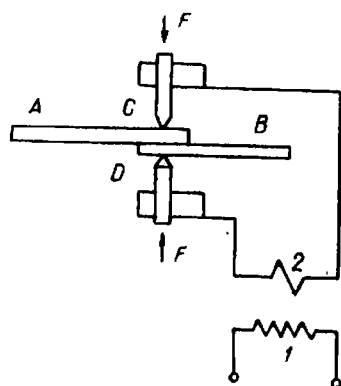


Fig. 24-3. Schema dispozitivului de sudare prin puncte.

al secundarului. Temperatura între electrozi și table se ridică relativ puțin, deoarece căldura este evacuată prin metalul bun conducător de căldură al electrozilor și prin apa de răcire care circulă

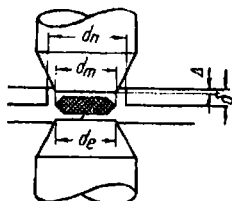


Fig. 24-4. Nucleul topit la sudarea prin puncte.

prin aceștia; la locul de contact dintre cele două table, căldura dezvoltată pentru trecerea curentului, rămânând practic localizată într-un spațiu restrâns, se atinge temperatura de topire. Sudarea se produce sub efectul forței de compresiune, aplicată după ce s-a format nucleul topit.

Sudura se consideră bună dacă diametrul  $d_m$  al cercului în interiorul căruia materialul s-a topit este aproape egal cu diametrul  $d_e$  al electrodului, care trebuie să aibă o valoare  $d_e = 2\delta + 3 \text{ mm}$ ,  $\delta$  fiind grosimea, în mm, a tablei mai subțiri (fig. 24—4). Sub acțiunea forței de compresiune, electrozii produc în table imprimări de adâncimea  $\Delta = (0,1 \dots 0,2) \delta$ . La dimensionarea electrozilor trebuie ținut seama de faptul că o parte a curentului trece prin punctele sudate în prealabil, care sînt legate în paralel cu punctul care se află în curs de sudare.

Reglarea procesului de sudare se face, la mașinile cele mai simple, după aprecierea operatorului, iar la producția în serie, în mod automat, deoarece prin aceasta se obțin o producție mărită și o calitate uniformă a sudurii. La sudarea automată, curentul trebuie întrerupt imediat ce sudura a fost terminată,

Însă mai înainte ca punctul de sudură să se fi lăsat sub influența compresiunii. Drept criteriu pentru întreruperea automată a curentului servește fie timpul (menținându-se pentru toate punctele; un timp constant), fie timpul și curentul, atunci când tensiunea rețelei variază în limite largi ( $t = \text{const}$ ,  $I = \text{const}$ ), fie energia consumată, fie temperatura atinsă la locul de sudură, ultimul criteriu fiind cel mai rațional, dar și cel mai dificil de realizat practic.

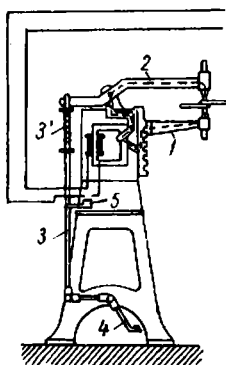


Fig. 24-5. Aparat de sudare prin puncte.

În figura 24 — 5 este reprezentat un aparat neautomat de sudare prin puncte. Aparatul are brațul de jos 1 fix, iar cel de sus 2 mobil și apăsător pe piesa de sudat de către tija 3, printr-un arc 3', atunci când se apasă pe pedala 4. Datorită ridicării tijei 3, arcul 3' se comprimă și se realizează presiunea necesară între cele două piese de sudat după care se închide contactul 5 din primarul transformatorului. După terminarea sudării, se eliberează pedala și prin aceasta se întrerupe

întâi curentul și apoi încetează acțiunea forței de compresiune. Dacă nu s-ar proceda astfel, arcul care ar apărea la îndepărtarea

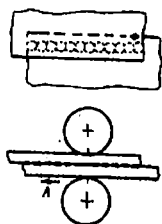


Fig. 24-6. Sudură prin cusătură, obținută prin mai multe puncte de sudură înșiruie.

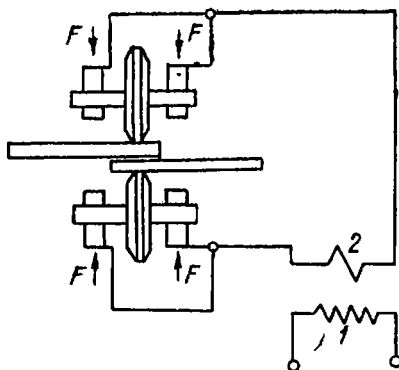


Fig. 24-7. Schema dispozitivului de sudare prin cusătură.

electrozilor ar putea distruge piesele sudate. Valoarea curentului și durata sa, precum și forța de apăsare a electrozilor depind de grosimea tablelor de sudat și de materialul de sudat.

*Sudarea prin cusătură.* Această sudare se utilizează pentru îmbinarea, în lungul unor muchii, a pieselor confecționate din tablă și este în realitate o sudare prin puncte, atât de apropiate între ele, încît se suprapun parțial (fig. 24—6).

Aparatul de sudat prin cusătură poate fi același aparat din figura 24—5, însă înzestrat cu un dispozitiv (fig. 24—7) compus din doi electrozi în formă de discuri, așezați în același plan și care strâng puternic tablele între ele. Electrozii sînt conectați la secundarul transformatorului de sudură. Prin deplasarea tablelor cu o viteză  $v$  (m/min), discurile-electrozi se rostogolesc și asigură o sudare prin puncte care se succed la distanța  $d$ :

$$d = 8,33 \frac{v}{f} \text{ (mm),}$$

$f$  fiind frecvența curentului alternativ.

La unele aparate de sudare prin cusătură, discurile se învîrtesc intermitent, curentul trecînd numai în timpul cît discurile sînt oprite.

Dimensiunile discurilor-electrozi, forța de apăsare, valoarea curentului, duratele impulsurilor, ale pauzelor și viteza de înaintare sînt parametri care depind de grosimea tablelor de sudat și de felul materialului.

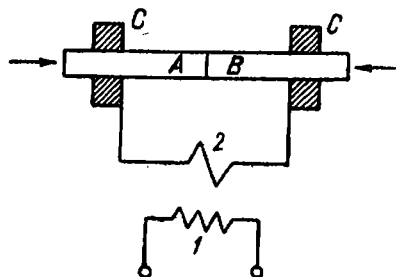


Fig. 24—8. Schema dispozitivului de sudare cap la cap.

*Sudarea cap la cap* este folosită pentru sudarea pieselor în formă de bară sau de țevi și a șinelor de cale ferată și de tramvaie.

În figura 24—8 este reprezentat schematic dispozitivul de sudare cap la cap; barele de sudat  $A$  și  $B$  sînt fixate în clemele  $C$  conectate la înfășurările secundare ale transformatorului de sudură și sînt supuse unor forțe de compresie  $F$ . Densitatea curentului care trece prin secțiunea de sudat este de 1 800—2 500 A/cm<sup>2</sup>.

### 3. Sudarea prin arc electric

Sudarea prin arc electric se realizează datorită temperaturii mari dezvoltate de arcul electric care poate topi extremitățile electrozilor între care se produce, electrozii putînd fi chiar capetele pieselor care trebuie îmbinate sau un metal de adaos care mijlocește sudarea. Se creează astfel o cantitate de metal topit în zona marginală a pieselor de sudat, ceea ce permite atomilor să intre în sfere de atracție reciprocă și să se încadreze într-o rețea cristalină comună.

La producerea arcului electric pot servi atât curentul continuu cît și cel alternativ. În curent continuu, existența arcului este strîns legată de catod; la o deplasare a electrozilor, piciorul arcului rămîne pe loc (fig. 24—9). În curent alternativ, cei doi electrozi schimbă între ei rolurile de catod și anod la fiecare jumătate de perioadă, astfel încît deplasarea electrozilor nu mai este însoțită de fenomenul arătat în figura 24—9.

Caracteristica arcului electric,  $U = f(I)$  este reprezentată în figura 24—10. Se observă că pentru apariția arcului este

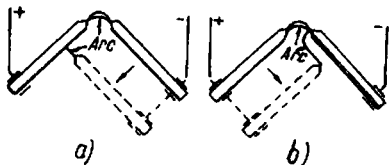


Fig. 24—9. Poziția neschimbată a piciorului arcului electric:  
a — formarea arcului la deplasarea catodului; b — formarea arcului, la deplasarea anodului.

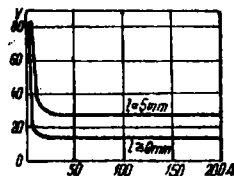


Fig. 24—10.  
Caracteristica unui arc electric de c.c.

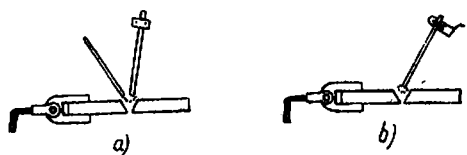


Fig. 24—11. Schemele principalelor procedee de sudare cu arc electric  
a — procedeu Benardos; b — procedeu Slavianov.

necesară o tensiune de aprindere de circa 60—80 V dar, o dată aprins, arcul funcționează sub o tensiune aproape constantă, de 15—25 V, a cărei valoare depinde doar de lungimea arcului și de natura electrozilor.

Temperatura piciorului arcului este de 2 500—4 000°C la electrozi și de 6 000—7 000°C în centrul coloanei arcului, depinzând de electrozi și de densitatea de curent în electrozi (circa 7 000 A/mm<sup>2</sup>).

Principalele procedee de sudare sînt cele reprezentate în figura 24—11.

*Sudarea cu electrod de cărbune (Benardos)* (fig. 24—11, a) a fost inventată de tehnicianul rus N. Benardos, în 1881. Potrivit acestui procedeu, obiectul de sudat se leagă la polul pozitiv al unei surse de curent continuu, iar electrodul (de cărbune), la polul negativ al sursei (deoarece piciorul arcului este la catod) (fig. 24—9). Prin trecerea curentului între metal și electrodul de cărbune, în locul unde se execută sudarea, apare un arc care topește porțiunile respective ale pieselor care trebuie sudate. Cînd piesele de sudat depășesc o anumită grosime sau cînd sudura trebuie încărcată cu material, se adaugă pe locul sudurii un supliment de metal, topindu-se în arc electric o bară subțire metalică, din același material ca și piesa sudată (fig. 24—11, a). Procedul de sudare Benardos se efectuează numai în curent continuu. Pentru reducerea cantității de carbon care se introduce în metalul topit pe locul sudurii și care alternează calitățile acesteia, electrozii de cărbune au fost înlocuiți prin electrozi de grafit.

*Procedul de sudare cu electrod de metal (Slavianov)* a fost elaborat între 1888 și 1890 și descris în anul 1892 la Petersburg de metalurgistul rus B. Slavianov. Acesta a introdus, în locul electrodului de cărbune sau de grafit, un electrod metalic, confecționat din același material ca și piesele de sudat, servind deci atît la întreținerea arcului, cît și la furnizarea suplimentului de material topit necesar la completarea cusăturii sau la încărcarea piesei cu metal (fig. 24—11, b). În acest fel dispăre principalul inconvenient al procedului Benardos, acela al carburării metalului pe locul sudurii.

În prezent, procedul Slavianov este cel mai răspîdit sistem de sudare prin arc, prezentînd avantajul că este simplu și poate fi folosit atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.

Sursele de curent pentru sudarea cu arc sînt fie de curent continuu (generatoare de sudură), fie de curent alternativ (transformatoare de sudură), de o construcție specială, care le permite să suporte cu ușurință scurtcircuitul care intervin frecvent la atingerile electrodului de piesa sudată. Aceste surse trebuie să producă o tensiune de mers în gol de 35—75 V, necesară pentru aprinderea arcului și un curent reglabil de 50—500 A, pentru sudare.

Operația de sudare se face punind în contact, pentru un timp scurt, electrodul cu piesa de sudat, după care electrodul este îndepărtat (apare arc electric) și este menținut la o distanță de 3—10 mm atât timp cât durează sudarea, într-o poziție aflată în planul bisector al planelor pieselor de sudat și puțin înclinat în sensul înaintării sudării.

În timpul sudării, sudorul trebuie să fie protejat contra scinteiilor care sar în jur și contra razelor de tot felul care sînt emise de arc.

Cablul de sudură, monofilar, este de obicei un cablu izolat în cauciuc, flexibil, protejat contra loviturilor, de 5—10 m lungime.

Electrozii folosiți în sudarea electrică cu arc sînt sirme de oțel sau de alt metal, de secțiune rotundă și acoperiți cu un înveliș format din anumite substanțe, care au un triplu scop:

- de a mări stabilitatea arcului electric;
- de a forma în jurul arcului și al metalului topit un strat protector, compus din gaze și din zgură, în scopul de a feri metalul de oxidare și de combinare cu azotul din aerul înconjurător și de a încetini răcirea sudurii;
- de a introduce în metal componente de aliaj în scopul îmbunătățirii proprietăților mecanice ale sudurii.

## Acționarea electrică a utilajelor industriale

### 1. Principiile generale ale acționării electrice

Procesele tehnologice industriale fac necesară funcționarea a diverse feluri de utilaje, de exemplu mașini-unelte, mașini de ridicat și transportat, pompe, compresoare, ventilatoare, precum și utilajele specifice diferitelor industrii, ca: industria siderurgică, metalurgică, chimică, petroliferă, extractivă, textilă, de construcții, alimentară etc. Pentru ca un utilaj să funcționeze, trebuie să consume o anumită energie mecanică. Această energie îi este dată de unul sau de mai multe motoare, care împreună cu accesoriile și anexele necesare funcționării formează dispozitivul de acționare a utilajului sau pe scurt acționarea utilajului. Dacă motorul este electric, acționarea se numește electrică. Motorul electric constituie partea cea mai importantă a acționării electrice. În afară de motor, acționarea electrică cuprinde aparatajul electric necesar, precum și conductoarele de legătură.

Cea mai importantă condiție care se pune acționării electrice este să realizeze o productivitate maximă a utilajului respectiv. Pentru aceasta, trebuie ca acționarea să fie studiată în special în raport cu reglarea turației motorului și cu regimul său de lucru. Cunoașterea fenomenelor tranzitorii (porniri, opriri, frinări) la care va trebui să facă față motorul are de asemenea un rol important în aprecierea calității unei acționări.

Acționarea electrică s-a făcut la început astfel, încât un singur motor electric să pună în funcțiune toate utilajele situate la diferitele etaje ale clădirii unei fabrici. Această acționare generală necesită o serie întreagă de transmisii mecanice pe etaje și între etaje. Transmisiiile micșorau mult randamentul acționării, erau voluminoase, costisitoare și constituiau o sursă de accidente posibile.



S-a trecut apoi la acționarea *pe grup*, cînd, de exemplu, toate utilajele unui etaj erau acționate de un singur motor electric, ceea ce constituie o îmbunătățire față de acționarea generală.

În sfîrșit, s-a trecut la acționarea *individuală* a utilajelor, cînd fiecare utilaj își are propriul său motor electric de acționare. Față de sistemele care comportă și transmisii mecanice, acționarea electrică individuală prezintă avantajul că echipamentul său se poate monta complet în gabaritul propriu-zis al utilajului, conducînd în acest fel la forme compacte și simple. Acționarea electrică individuală elimină mersul în gol al diferitelor transmisii mecanice, evitînd astfel pierderile de energie respective.

Față de acționarea electrică individuală, s-a realizat încă un progres prin acționarea *multiplă*, cînd același utilaj este acționat de mai multe motoare electrice, de exemplu o mașină de frezat poate avea un motor electric pentru acționarea mișcării principale și un alt motor electric pentru acționarea avansului.

## 2. Alegerea motoarelor electrice în raport cu regimul de lucru

### a. Regimuri nominale de lucru

Prin regim nominal de lucru al unui motor electric, se înțelege regimul de lucru pentru care motorul a fost proiectat și construit. Regimul nominal de lucru se caracterizează prin valorile specificate pe plăcuța indicatoare a mașinii. Aceste valori se referă la: putere, tensiune, curent principal, factor de putere, turație, frecvență, curent de excitație. Pentru motoarele electrice sînt stabilite trei regimuri nominale de lucru, și anume:

- regim de durată;
- regim de scurtă durată;
- regim intermitent.

Fiecare regim este caracterizat printr-o anumită încălzire a motorului electric. Această încălzire este provocată de pierderile care se produc în motor, prin efectul Joule-Lenz, histeresis, curenți turbionari și frecări.

Regimul de lucru al motorului electric se numește *de durată*, dacă perioada *activă* (de funcționare) este atît de îndelungată,

incît toate organele motorului ating temperaturi practic stabile. În cazul regimului de lucru de durată, dacă motorul este încărcat cu puterea  $P$  un interval de timp  $t$  suficient de mare, supratemperatura (temperatura bobinajelor și a oțelului mașinii deasupra mediului ambiant) sau încălzirea  $\theta$  a unui organ oarecare tinde să se stabilizeze (rămîne constantă) la o anumită valoare  $\theta_f$  (fig. 25—1,a). Se numește regim *nominal* de durată, acel regim în care motorul poate funcționa timp nelimitat, fără ca încălzirea organelor sale să depășească limitele admise, apropiindu-se însă cît mai mult de aceste limite.

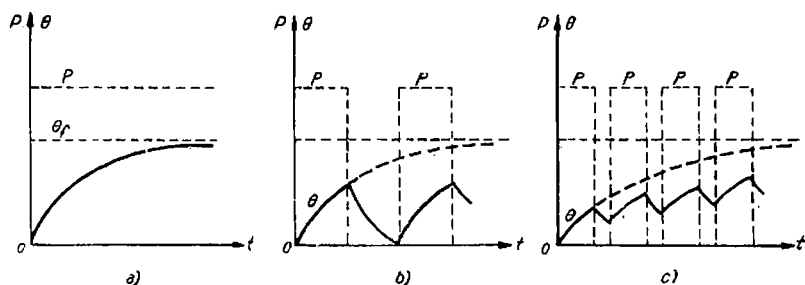


Fig. 25-1. Regimuri de lucru:  
— regim de durată; b — regim de scurtă durată; c — regim intermitent.

Regimul de lucru se numește *de scurtă durată*, dacă perioada activă nu este suficient de îndelungată pentru ca diferitele părți ale motorului să atingă temperaturi practic stabile, iar perioada de pauză este suficient de mare, pentru ca motorul să revină la temperatura mediului ambiant. În acest caz supratemperatura  $\theta$  a unui organ oarecare crește în perioada activă de la zero pînă la o anumită valoare și scade în timpul pauzei pînă la zero (fig. 25—1,b). Se numește regim *nominal* de lucru de scurtă durată, acel regim de scurtă durată în care motorul poate lucra în decursul timpului arătat pe plăcuța indicatoare fără ca încălzirea organelor sale să depășească limitele admisibile, apropiindu-se însă cît mai mult de aceste limite. Sînt stabilite următoarele durate standardizate pentru perioadele active ale regimului de scurtă durată: 15, 30 și 60 minute.

Regimul de lucru se numește *intermitent*, dacă perioadele active, în timpul cărora organele motorului nu ating temperaturi practic stabile, alternează cu perioade scurte de pauză, în timpul cărora motorul nu ajunge la temperatura mediului ambiant (fig. 25—1,c). Regimul intermitent se caracterizează prin rapor-

tul dintre durata intervalului activ și durata *ciclului de funcționare*, care este constituit din durata intervalului activ și durata pauzei. Acest raport se notează cu  $D_A$  și se numește *durată activă relativă*, dîndu-se de obicei în procente. Se numește regim *nominal* de lucru intermitent, acel regim intermitent în care motorul poate să lucreze timp nelimitat, corespunzător raportului  $D_A$  arătat pe plăcuța indicatoare, fără ca încălzirea diferitelor lui organe să depășească limitele admisibile, apropiindu-se însă cît mai mult de aceste limite. Pentru raportul  $D_A$  sînt stabilite următoarele valori standardizate: 15%, 25% și 40%. Durata unui ciclu nu trebuie să depășească 10 minute.

Regimul de durată se întîlnește de obicei la utilajele grele cu funcționare practic continuă. Regimul de scurtă durată se întîlnește, de exemplu, la acționarea plăcilor turnante de cale ferată, la acționările auxiliare ale mașinilor-unelte (deplasarea păpușilor, acționarea dispozitivelor de fixare) ș.a. Regimul intermitent este caracteristic pentru acționarea principală a celor mai multe mașini-unelte.

Regimurile reale de lucru ale utilajelor pot să nu corespundă riguros unui regim tip, dintre cele menționate. Totuși, un regim real poate fi echivalent din punctul de vedere al încălzirii cu unul dintre cele trei regimuri tip.

La alegerea motorului electric destinat să acționeze un anumit utilaj, trebuie să se țină seama de regimul lui de lucru. De obicei, fabricația curentă a motoarelor electrice corespunde unei standardizări după regimul nominal de durată. Asemenea motoare pot fi alese nu numai în cazul unui regim de lucru de durată, dar și în cazul regimurilor de lucru intermitent și de scurtă durată, după cum se arată mai departe.

Unele fabrici construiesc însă și tipuri speciale de motoare electrice, standardizate pentru un regim nominal intermitent sau de scurtă durată; alegerea unor astfel de motoare în cazurile respective duce la o utilizare mai economică a lor.

## **b. Alegerea motorului în cazul regimului de durată**

Dacă puterea  $P$  cerută de utilaj este constantă, se alege un motor standardizat pentru regimul de durată, cu o putere nominală  $P_n$  cel puțin egală cu  $P$  și cît mai apropiată de această valoare.

Dacă puterea de durată cerută de utilaj este variabilă, trebuie să se calculeze în prealabil o *putere de durată, echivalentă*

din punctul de vedere al încălzirii cu puterea reală variabilă. Pentru a se determina puterea echivalentă necesară, se alege la început în mod arbitrar din catalog un motor cu o putere nominală de durată  $P_n$ . Se calculează apoi expresia:

$$p_e = \frac{p_1 \cdot t_1 + p_2 \cdot t_2 + p_3 \cdot t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}, \quad (25.1)$$

unde  $p_1, p_2, p_3, \dots$  sînt *pierderile de putere* (datorite randamentului) ale motorului ales, pentru diversele sarcini la care va trebui să facă față în intervalele de timp  $t_1, t_2, t_3, \dots$  care constituie ciclul real de lucru. Pierderile  $p_1, p_2, p_3, \dots$  la diverse sarcini se cunosc din datele constructive ale motorului. Expresia  $p_e$  poartă numele de expresia *pierderilor echivalente*. Se compară  $p_e$  cu pierderile de putere  $p_n$  ale motorului ales, la sarcina nominală  $P_n$ . Expresia  $p_n$  trebuie să fie cel puțin egală cu  $p_e$  și cît mai apropiată de această valoare. În caz contrar, se alege un alt motor din catalog, pînă cînd se obține un rezultat satisfăcător. Metoda aceasta de calcul se numește *metoda pierderilor echivalente*. Pierderile de putere ale unui motor electric pot fi determinate, dacă se cunoaște curba care arată cum variază randamentul motorului în funcție de puterea dată la arbore. Dacă, de exemplu, pentru puterea la arbore  $P$ , randamentul motorului este  $\eta$ , pierderile  $p$  ale motorului la această putere rezultă din relația:

$$p = \frac{P}{\eta} - P.$$

*Aplicația 25-1.* Un utilaj cere în timpul ciclului de lucru care se repetă indefinit, o putere de 5,5 kW timp de 4 s, 5 kW timp de 15 s și 3 kW timp de 5 s. Să se verifice dacă pentru acest utilaj este indicat un motor electric cu următoarele caracteristici:

Puterea nominală de durată  $P_n = 4,5$  kW.

Pierderile de putere la sarcina nominală  $p_n = 1,05$  kW.

Pierderile de putere la sarcina de 5,5 kW ...  $p_1 = 1,29$  kW.

Pierderile de putere la sarcina de 5 kW ...  $p_2 = 1,10$  kW.

Pierderile de putere la sarcina de 3 kW ...  $p_3 = 0,66$  kW.

*Rezolvare.* Făcînd calculele se găsește expresia pierderilor echivalente de putere:

$$p_e = \frac{p_1 \cdot t_1 + p_2 \cdot t_2 + p_3 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{1,29 \cdot 4 + 1,10 \cdot 15 + 0,66 \cdot 5}{4 + 15 + 5} = 1,04 \text{ kW}.$$

Deoarece expresia  $p_n = 1,05$  kW este mai mare decît  $p_e = 1,04$  kW și foarte apropiată de  $p_e$ , rezultă că motorul electric este bine ales.

### c. Alegerea motorului în cazul regimului intermitent

Alegerea motorului se poate face tot cu ajutorul metodei pierderilor echivalente, după cum s-a arătat mai înainte. Se alege în mod arbitrar un motor din catalogul cu motoare standardizate după regimul nominal de durată. Pentru acest motor se cunosc pierderile la diverse sarcini. Se calculează apoi cu relația (25.1) pierderile echivalente  $p_e$  și se verifică dacă pierderile  $p_n$  la sarcina nominală ale motorului ales sînt cel puțin egale cu  $p_e$  și cît mai apropiate de  $p_e$ . În caz contrar, se alege un alt motor din catalog, pînă cînd se capătă un rezultat satisfăcător.

### d. Alegerea motorului în cazul regimului de scurtă durată

În practică, se alege un motor normalizat după regimul nominal de durată, ținîndu-se însă seamă de suprasarcina pe care o poate suporta și care corespunde coeficientului de suprasarcină indicat prin datele constructive ale motorului pentru un interval de timp egal cu durată activă a ciclului de lucru. Dacă puterea care se cere la arborele motorului în perioada activă este  $P$ , se alege un motor standardizat după regimul nominal de durată cu o putere nominală cel puțin egală cu:

$$\frac{P}{k}$$

și cît mai aproape de această valoare, unde  $k$  este coeficientul de suprasarcină menționat mai înainte.

Deoarece aceste motoare pornesc de obicei cu o sarcină însemnată față de sarcina lor nominală, verificarea cuplului de pornire are o deosebită importanță.

*Aplicația 25-2.* Să se aleagă un motor destinat să funcționeze în regim de scurtă durată pentru a deplasa cu viteză  $v = 12$  m/min, căruciorul cu o greutate  $G = 650$  kgf al unui strung. Coeficientul dinamic de frecare al ghidajelor este  $C_d = 0,12$ , iar randamentul transmisiei  $r = 0,11$ .

*R e z o l v a r e.* Considerînd pentru motoarele din catalog un coeficient de suprasarcină  $k = 1,5$ , puterea nominală de durată a motorului trebuie să fie:

$$P_n = \frac{G \cdot v}{6 \cdot 120} \cdot \frac{C_d}{r \cdot k} = \frac{650 \cdot 12 \cdot 0,12}{6 \cdot 120 \cdot 0,11 \cdot 1,5} = 0,93 \text{ kW.}$$

Se alege un motor standardizat pentru regimul nominal de durată cu o putere  $P_n = 1$  kW și o turație nominală  $n = 1450$  rot/min. Se presupune că cuplul de pornire al motorului ales este:

$$M_p = 1,6 M_n$$

în care  $M_n$  este cuplul nominal. Rezultă:

$$M_p = 1,6 M_n = 1,6 \frac{975 P_n}{n} = 1,6 \frac{975 \cdot 1}{1\,450} = 1,08 \text{ kgf} \cdot \text{m}.$$

Acest cuplu trebuie comparat cu cuplul rezistent la pornire. Se presupune că la pornire coeficientul de frecare static este  $C_s = 1,8 C_d$ . Cuplul rezistent la pornire este:

$$M_r = \frac{975 \cdot G \cdot v \cdot C_s}{6\,120 r \cdot k \cdot n} = \frac{975 \cdot 650 \cdot 12 \cdot 1,8 \cdot 0,12}{6\,120 \cdot 0,11 \cdot 1,5 \cdot 1\,450} = 1,12 \text{ kgf} \cdot \text{m}.$$

Deoarece  $M_p < M_r$ , trebuie să se aleagă un motor mai puternic standardizat după regimul nominal de durată. Se presupune că motorul de putere imediat superioară are puterea nominală  $P'_n = 1,7 \text{ kW}$  la turația  $n = 1\,450 \text{ rot/min}$ . În acest caz, cuplul său de pornire este:

$$M'_p = 1,6 \frac{975 \cdot 1,7}{1\,450} = 1,83 \text{ kgf} \cdot \text{m}.$$

Deoarece  $M'_p > M_r$ , înseamnă că al doilea motor este bine ales.

### 3. Echipamente și scheme electrice de acționare

#### a. Intocmirea schemelor electrice

Echipamentul unei acționări electrice rezultă din schema sa. Cele mai utilizate scheme pentru acționări electrice sînt schemele numite *desfășurate*, care reprezintă toate aparatele și mașinile electrice împreună cu conexiunile dintre ele, astfel încît funcționarea și legăturile electrice să fie ușor de înțeles. În acest scop se utilizează o serie de simboluri, dintre care cele mai uzuale sînt date în tabela 25—1.

Diversele aparate și, în special, contactoarele și releele sînt desenate descompuse în elementele lor principale, bobine și contacte. Aceste elemente nu sînt grupate pe schemă la un loc (așa cum sînt situate în aparatele respective); fiecare element se găsește în circuitul din care trebuie să facă parte, deși aceste circuite sînt situate în schemă, pentru claritate, la anumite distanțe unele de altele. Spre a se putea ușor identifica elementele aceluiași aparat, se utilizează o notație corespunzătoare. De multe ori se notează bobinele diferitelor contactoare cu  $1C$ ,  $2C$ ,  $3C$  ... iar bobinele diferitelor relee cu  $1R$ ,  $2R$ ,  $3R$  ... Contactele bobinei  $2C$ , de exemplu, se notează  $2C1$ ,  $2C2$  iar contactele

Simboluri folosite la întocmirea schemelor desfășurate

Nr. crt.	Simbolul	Semnificația simbolului
1		Conductor în circuitele principale de forță
2		Conductor în circuitele secundare de comandă și control
3		Bobină de contactor
4		Bobină de releu
5		Bobină de releu cu temporizare (întârziere)
6		Contact normal deschis al unui aparat cu acțiune instantanee
7		Contact normal închis al unui aparat cu acțiune instantanee
8		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare (întârziere) la deschidere
9		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare la închidere
10		Contact normal deschis al unui aparat, cu temporizare la deschidere și închidere
11		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la deschidere
12		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la închidere
13		Contact normal închis al unui aparat, cu temporizare la deschidere și închidere
14		Contact normal deschis al unui aparat fără revenire automată

Tabela 25-1 (continuare)

Nr. crt.	Simbolul	Semnificația simbolului
15		Contact normal închis al unui aparat fără revenire automată
16		Element termic (bimetalic) al unui releu
17		Buton de comandă manuală, normal deschis cu revenire automată
18		Buton de comandă manuală, normal închis cu revenire automată
19		Contact normal deschis acționat mecanic (între-rupător de cale sau de sfârșit de cursă)
20		Contact normal închis acționat mecanic
21		Contact normal deschis al unui controler
22		Contact normal închis al unui controler

bobinei  $3R$ , cu  $3R1$ ,  $3R2$  ... Uneori, pentru bobinele releelor și contactelor se utilizează încă o literă, caracterizînd felul de funcționare al releului. Bobina unui releu termic, de exemplu, se poate nota  $1RT$ , a unui releu de viteză  $1RV$ , a unui releu cu temporizare  $1RC$  etc.

#### b. Exemplu referitor la acționarea electrică a unei mașini de honuit

În figura 25—2 se arată schema electrică desfășurată a acționării electrice pentru o mașină de honuit. Mașina este echipată cu trei motoare electrice, și anume:

— un motor asincron trifazat în scurtcircuit  $M_p$  de 10 kW, 380 V, 1 450 rôt/min, care asigură mișcarea principală de rotație a honului;



- un motor asincron trifazat în scurtcircuit  $M_b$  de 4,5 kW, 380 V, 950 rot/min, pentru acționarea pompei sistemului hidraulic, care asigură mișcarea de du-te-vino în sens vertical a honului;
- un motor asincron trifazat în scurtcircuit  $M_r$  de 0,1 kW, 380 V, 2 800 rot/min, pentru acționarea pompei de răcire.

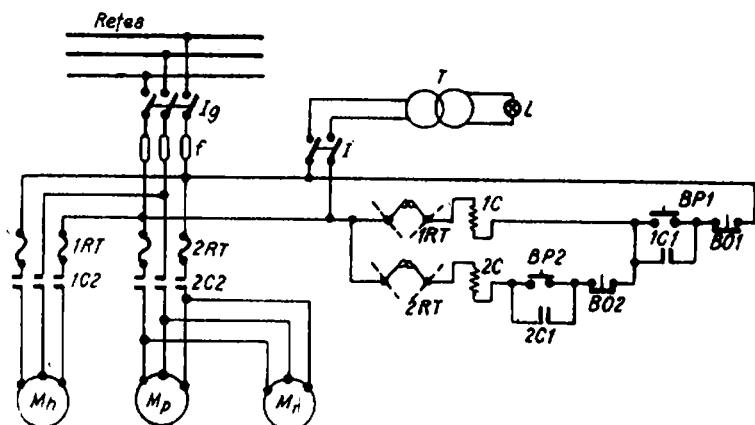


Fig. 25-2. Acționarea electrică a unei mașini de honuit.

Restul echipamentului rezultă din schema electrică. Protecția contra scurtcircuitelor se realizează prin siguranțe cu fuzibile  $f$ , iar contra suprasarcinilor de durată prin relele termice  $1RT$  și  $2RT$ . Pentru pornire, după ce s-a închis întreruptorul general  $I_g$ , se apasă pe butonul de pornire normal deschis  $BP1$  cu revenire automată în poziția deschis cînd nu mai este apăsător. Curentul electric trece prin bobina contactorului  $1C$ , ceea ce face să se închidă contactele sale normal deschise  $1C1$  și  $1C2$ . Închiderea contactului  $1C1$  permite trecerea curentului prin bobina contactorului  $1C$  și după ce s-a ridicat mîna de pe butonul  $BP1$ . Închiderea contactelor  $1C2$  pune în funcțiune motorul  $M_b$ , care acționează sistemul hidraulic.

Se apasă apoi pe butonul normal deschis  $BP2$  cu revenire automată. Curentul electric trece prin bobina contactorului  $2C$ , care își închide contactele sale normal deschise  $2C1$  și  $2C2$ . Închiderea contactului  $2C1$  permite trecerea curentului prin bobina contactorului  $2C$  și după ce s-a ridicat mîna de pe  $BP2$ ,

iar închiderea contactelor  $2C2$  pune în funcțiune motoarele electrice  $M_p$  și  $M_r$ , care acționează axul principal și pompa de răcire.

Dacă se apasă pe butonul de oprire normal închis  $BO1$  cu revenire automată în poziția închis, se întrerupe curentul în bobinele contactoarelor  $1C$  și  $2C$ , iar contactele lor  $1C1$ ,  $1C2$  respectiv  $2C1$ ,  $2C2$  se deschid, ceea ce oprește toate motoarele.

Cînd toate motoarele sînt în funcțiune și trebuie oprite numai motoarele  $M_p$  și  $M_r$ , se apasă pe butonul de oprire normal închis  $BO2$  cu revenire automată, ceea ce întrerupe curentul bobinei  $2C$ , astfel încît contactele  $2C1$  și  $2C2$  se deschid, oprind cele două motoare.

Prin închiderea întreruptorului  $I$  și prin intermediul transformatorului coborîtor  $T$  se aprinde lampa  $L$  de iluminat local. Elementele termice  $1RT$  din circuitul de alimentare a motorului  $M_b$ , precum și elementele termice  $2RT$  din circuitul de alimentare a celor două motoare  $M_p$  și  $M_r$ , deschid, în caz de suprasarcină prelungită, contactele  $1RT$  sau  $2RT$  ale releelor respective. În felul acesta, se întrerupe curentul prin bobina  $1C$  respectiv  $2C$  și se opresc motorul  $M_b$  sau motoarele  $M_p$  și  $M_r$ .

Contactele releelor termice sînt fără revenire automată în poziția închis. După ce s-a deschis unul din aceste contacte din cauza unei suprasarcini, închiderea trebuie realizată manual, ceea ce presupune că între timp s-a cercetat și eliminat cauza care a produs suprasarcina.

## Procedee electrotehnologice

### 1. Cuptoare electrice

#### a. Generalități

În cuptoarele electrice, energia electrică este transformată în energie termică. Relația de transformare între aceste două feluri de energie este:

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal.}$$

Avantajele principale ale cuptoarelor electrice sînt: curățenie, simplitate, reglare continuă și precisă, posibilitatea de a obține temperaturi înalte ș.a.

Dezavantajele principale sînt datorite costului ridicat al energiei electrice și al instalației.

Clasificarea lor se poate face după modul în care se realizează transformarea energiei electrice în energie termică. Din acest punct de vedere, există cuptoare *cu rezistență* și cuptoare *cu arc*. În cuptoarele cu rezistență, curentul electric trecînd printr-un conductor de o anumită rezistență electrică produce căldură pe baza legii Lenz-Joule. În cuptoarele cu arc, căldura este produsă de arcul electric ce se obține între electrozii cu care este prevăzut cuptorul.

Cuptoarele electrice cu rezistență se impart în cuptoare *cu acțiune indirectă*, *cu acțiune directă* și *de inducție*. La cuptoarele cu acțiune indirectă, căldura se produce în elemente încălzitoare speciale (rezistoare) și se transmite materialului care trebuie încălzit, prin radiație și convecție. La cuptoarele cu acțiune directă, curentul electric luat de la rețea trece direct prin materialul care trebuie încălzit. La cuptoarele de inducție, materialul care trebuie încălzit este așezat într-un câmp magnetic alternativ. În interiorul materialului apar curenți de inducție, care produc căldură pe baza legii Lenz-Joule. De multe ori, numai

primele două tipuri (cu acțiune directă și indirectă) sînt denumite cu rezistență, ultimul tip fiind numit, pe scurt, de inducție, deși în realitate și la cuptorul de inducție căldura se datorează trecerii curentului de inducție printr-un conductor (materialul de încălzit) cu o anumită rezistență electrică.

Cuptoarele electrice cu arc se împart în cuptoare cu acțiune directă și cuptoare cu acțiune indirectă. La primele, arcul se produce între electrozi și materialul ce trebuie încălzit, iar la ultimele, arcul se produce numai între electrozi, căldura transmitîndu-se prin radiație și convecție materialului ce trebuie încălzit.

### b. Cuptoare cu rezistență și cu acțiune indirectă

Acestea se împart în două grupe: cu temperaturi joase, pînă la circa  $700^{\circ}\text{C}$  și cu temperaturi înalte, pînă la circa  $1\,400^{\circ}\text{C}$ . Cuptoarele cu rezistență și acțiune indirectă se utilizează pentru tratamente termice, topirea în creuzete, încălzirea băilor cu săruri ș.a.

Figura 26—1 reprezintă schema constructivă a unui asemenea cuptor pentru temperaturi joase. În 1 sînt indicate elementele

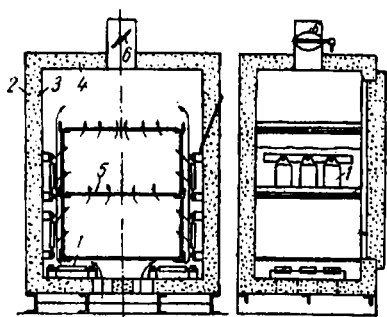


Fig. 26-1. Cuptor cu rezistență și acțiune indirectă pentru temperaturi joase.

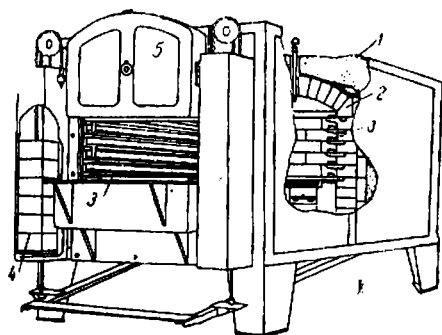


Fig. 26-2. Cuptor cu rezistență și acțiune indirectă pentru temperaturi înalte.

încălzitoare (rezistoare), care sînt parcurse de curent electric. Între peretele exterior 2 și peretele interior 3 se găsește un material termoizolant 4. Pieseile care trebuie încălzite se așază pe rafturile 5. Săgețile indică curenții de aer din interiorul cuptorului,

care pot fi reglați cu clapeta specială 6. Asemenea cuptoare se construiesc de obicei pentru temperaturi de 200—300°C.

În figura 26—2 se arată cel mai întrebuintat cuptor electric cu rezistență și acțiune indirectă pentru temperaturi înalte. Un asemenea cuptor este utilizat mai ales pentru tratamente termice la sculării. Camera internă are o formă paralelipipedică cu o înălțime de circa 400 mm și dimensiuni în plan de aproximativ 500 × 700 mm. Pentru temperaturi pînă la circa 1 000°C, rezistoarele 3 se execută din oțeluri aliate cu crom și nichel. Pentru temperaturi între 1 000°C și 1 350°C rezistoarele se execută din *silită* (carbură de siliciu). În exterior cuptorul este prevăzut cu izolarea termică 1, căptușeala 2 fiind realizată din șamotă. Ușa 5 a cuptorului poate fi ridicată cu ajutorul contragreutății 4.

### c. Cuptoare cu rezistență și acțiune directă

La aceste cuptoare, curentul electric produs de secundarul unui transformator trece direct prin piesa ce trebuie încălzită. Acest sistem de încălzire este foarte economic, deoarece întreaga căldură produsă trece prin piesă. Totuși, metoda prezintă un mare neajuns tehnic: deoarece piesele care se încălzesc n-au de obicei o secțiune uniformă și o structură omogenă, nu se poate obține o încălzire corespunzătoare. Din această cauză, metoda este rar întrebuintată și numai pentru piesele la care se poate asigura o încălzire uniformă.

### d. Cuptoare de inducție

Acestea se clasifică în *cuptoare cu frecvență normală* (50 Hz) și *cuptoare cu frecvență înaltă*, de la 200 pînă la 100 000 Hz. Cuptoarele de inducție se întrebuintează în special pentru topit metale. Cuptoarele de înaltă frecvență își găsesc utilizare și la călirea pieselor de oțel.

Principiul de funcționare al cuptorului de inducție cu frecvență normală este ilustrat în figura 26—3. În jurul unui miez de oțel se găsește o înfășurare prin care trece curent electric cu frecvență normală de 50 Hz. Această înfășurare constituie primarul unui transformator. Secundarul transformatorului este realizat chiar din materialul care trebuie topit, după cum se arată în figură: Curentul de inducție care trece prin secundar

încălzește materialul respectiv. Aceste cuptoare pot fi monofazate sau trifazate. În figura 26—4 se arată schema electrică a unui cuptor de inducție monofazat cu frecvență normală. Circuitul primar 1 cuprinde două înfășurări legate în paralel. Secundarul este constituit, după cum se știe, din materialul care trebuie încălzit. Se obișnuiește însă să se adauge încă un circuit secundar,

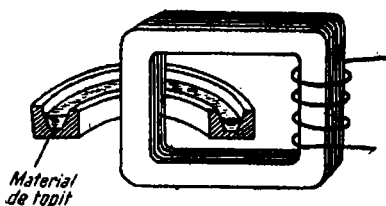


Fig. 26-3. Principiul cuptorului de inducție cu frecvență normală.

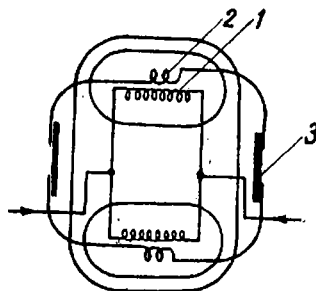


Fig. 26-4. Schema electrică a unui cuptor de inducție monofazat cu frecvență normală.

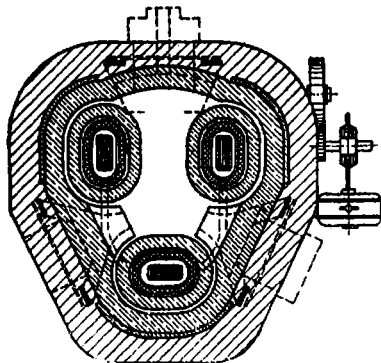
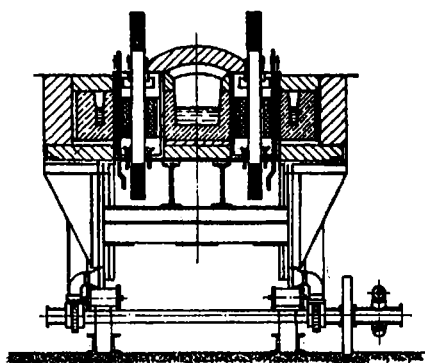


Fig. 26-5. Secțiuni printr-un cuptor de inducție trifazat cu frecvență normală.

realizat din înfășurările 2 și plăcile de cupru 3. În timpul funcționării, plăcile de cupru, încălzindu-se, măresc cantitatea de căldură produsă.

Figura 26—5 reprezintă două secțiuni printr-un cuptor de inducție trifazat cu frecvență normală. Transformatorul unui asemenea cuptor are trei coloane de oțel. Principiul de funcționare este analog cu acela al cuptorului monofazat.

Cuptoarele de inducție cu înaltă frecvență prezintă particularitatea că transformatorul respectiv nu are miez de oțel.

În figura 26—6 se reprezintă un asemenea cuptor. El cuprinde un creuzet 1 izolat termic ce conține materialul de încălzit.

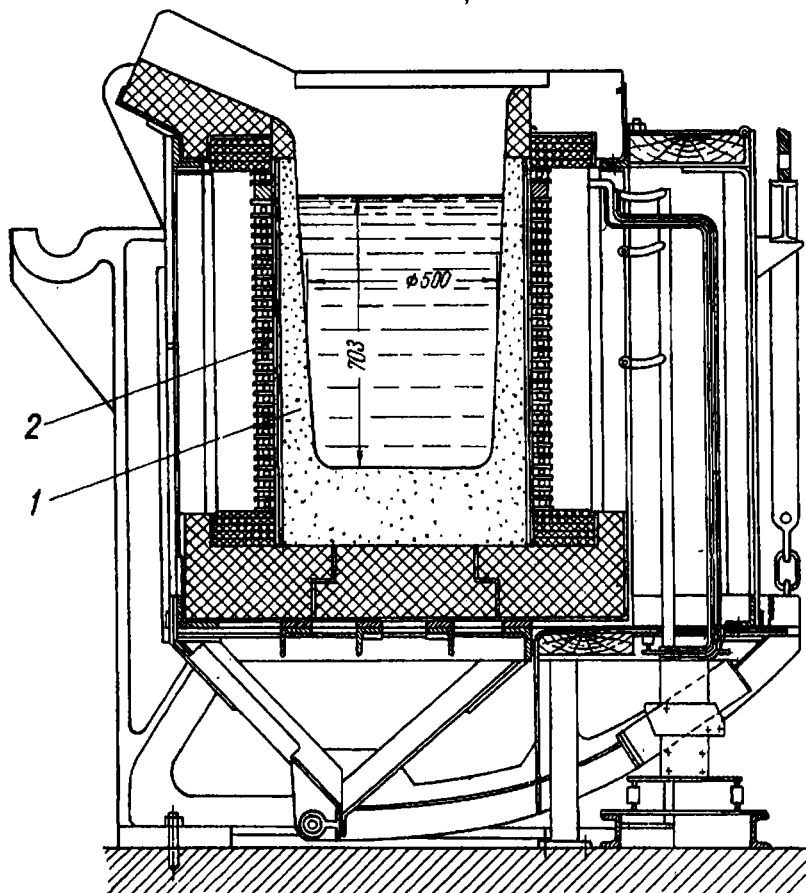


Fig. 26-6. Cuptor de inducție cu înaltă frecvență.

Creuzetul se găsește așezat în interiorul unui solenoid 2 străbătut de curent electric de înaltă frecvență. Solenoidul se execută din țevă de cupru, prin care trece apă de răcire. Alimentarea cu energie electrică se face fie de la o mașină generatoare de înaltă frecvență, fie de la un dispozitiv cu tuburi electronice.

Pentru cuptoarele de topit cu puteri mici se folosesc de obicei frecvențe de 1 000—100 000 Hz, iar în cazul puterilor mari, frecvențe de 200—2 500 Hz.

Cuptoarele de înaltă frecvență pot servi și la călirea superficială a pieselor de oțel. Cu cât frecvența este mai înaltă, cu atât curentul se repartizează mai mult la periferia piesei. În felul acesta, piesa se încălzește numai pe o grosime mică, astfel încât nu se produc modificări structurale în interiorul piesei, ceea ce de multe ori are un rol foarte important în procesele tehnologice.

### e. Cuptoare cu arc

Cuptoarele cu arc nu permit, în general, o reglare prea precisă a temperaturii, astfel încât nu pot fi utilizate la tratamente termice, ci aproape numai la topirea metalelor. Figura 26—7 reprezintă schema constructivă de principiu a unui cuptor trifazat cu arc și cu acțiune directă. Arcul se produce între cei trei electrozi

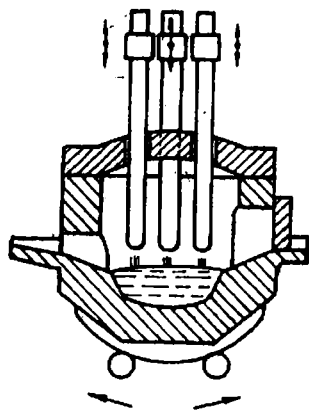


Fig. 26-7. Schema constructivă de principiu a unui cuptor trifazat cu arc și acțiune directă.

verticali și metalul situat sub electrozi, care trebuie topit prin încălzire. Cuptoarele cu acțiune directă sînt de obicei trifazate și se realizează pentru puteri mari, de 10—15 mii kVA, servind la topirea metalelor greu fuzibile și, mai ales, la topirea oțelului.

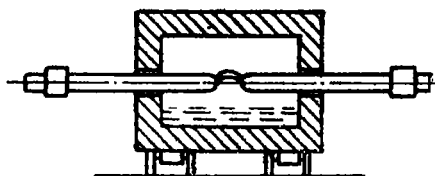


Fig. 26-8. Schema constructivă de principiu a unui cuptor monofazat cu arc și acțiune indirectă.

În figura 26—8 se arată schema constructivă de principiu a unui cuptor cu arc și acțiune indirectă. Arcul se formează între electrozii orizontali fără să atingă metalul de topit. Asemenea



cuptoare sînt de obicei de puteri mai mici (500 ... 600 kVA) și produc temperaturi de 1 300 ... 1 400°C. Ele sînt monofazate și se folosesc la topirea metalelor neferoase.

## 2. Procedee electrochimice

### a. Generalități

Prin procedee electrochimice se înțeleg metode de utilizare în tehnică a unor fenomene electrochimice, adică fenomene în care intervin în mod esențial atât energia electrică, cît și cea chimică. În capitolul III s-a explicat fenomenul de electroliză, care este un proces electrochimic cu multe aplicații tehnice. De asemenea, s-au explicat fenomenele electrochimice pe baza cărora funcționează acumulatele și pilele electrice. În capitolul de față se vor arăta unele procedee electrochimice utilizate în tehnică la fabricarea unor elemente, rafinarea unor metale și acoperirea cu metale a unor obiecte.

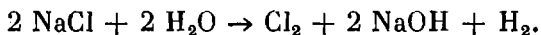
### b. Fabricarea electrolitică a hidrogenului și a oxigenului

În anul 1888, savantul rus profesorul *D.A. Lacinov* a construit primul aparat pentru fabricarea hidrogenului și oxigenului prin electroliză. Procedeeul este avantajos atunci cînd se dispune de energie electrică ieftină, de exemplu energie hidroelectrică.

Se știe că o moleculă de apă conține doi atomi de hidrogen și unul de oxigen. Prin electrolizarea apei se obțin hidrogen și oxigen. În practică nu se întrebunțează însă apă pură, ci o soluție de hidroxid de potasiu sau sodă caustică. Dacă electroliza are loc la temperaturi mai joase, este de preferat hidroxidul de potasiu, deoarece are o conductibilitate electrică mai bună. La temperaturi mari, provoacă însă o coroziune a aparaturii, astfel încît devine mai avantajoasă soda caustică. Baia electrolitică este de obicei o cutie de fier în care sînt cufundați electrozii tot din fier. Acești electrozi au diverse forme ca de exemplu foi perforate, jaluzele ș.a. Tensiunea dintre anod și catod este de 2—3 V, iar intensitatea curentului poate ajunge pînă la circa 15 000 A. Hidrogenul se degajă în jurul electrodului negativ (catod), iar oxigenul, în jurul electrodului pozitiv (anod).

### c. Fabricarea electrolitică a clorului

Primul brevet pentru fabricarea electrochimică a clorului a fost obținut în anul 1879 de către inventatorii ruși *N. Gluhov* și *F. Vașciuk*. Metoda de fabricare a clorului se bazează pe electrolizarea unor soluții apoase de clorură de sodiu (sau potasiu), conform cu relația chimică:



Se vede că din clorura de sodiu cu apă se produc, în timpul electrolizei, clor, hidroxid de sodiu și hidrogen. La anod se degajă clor, iar la catod, hidrogen.

### d. Rafinarea electrolitică a metalelor

Prin rafinarea unui metal se înțelege obținerea lui într-o stare cât mai pură. Principiul procedurii de rafinare electrolitică a cuprului, de exemplu, este următorul: în baia electrolitică se introduc anodi de cupru brut, cu impurități. Catodul este format din foi subțiri de cupru pur, iar electrolitul, dintr-o soluție de sulfat de cupru și acid sulfuric. În timpul fenomenului de electroliză, cuprul de pe anodi și metalele mai puțin nobile decât cuprul se dizolvă. Metalele nobile din anodi se depun la fund, formând un nămol împreună cu impuritățile. Metalele mai puțin nobile rămân în soluție, iar cuprul se depune pe catod, care se îmbogățește în cupru pur.

De asemenea, se pot rafina prin electroliză și alte metale, ca de exemplu aurul, argintul, nichelul ș.a.

### e. Acoperirea electrolitică cu metale (tehnica galvanică)

Se pot acoperi cu metale pe cale electrolitică, atât obiectele metalice, cât și cele nemetalice. Obiectele metalice se acoperă cu alte metale, pentru a le feri împotriva coroziunii, pentru ca suprafața lor să devină mai rezistentă la uzură sau pentru a le da un aspect exterior mai frumos (luciu). Acoperirea unui metal cu alt metal prin electroliză se numește *galvanostegie*.

Se poate depune un strat metalic prin electroliză și pe un obiect nemetalic, dacă suprafața acestui obiect a fost făcută bună conducătoare de electricitate (prin grafitare de exemplu). Această operație poartă numele de *galvanoplastie*. În felul acesta se pot confecționa țevi de fier sau cupru, statuete etc.

În baia electrolică, obiectul de acoperit se așază la catod. Soluția conține metalul ce urmează să se depună. Anozii conțin metalul de acoperit.

Oțelul se protejează, de exemplu, împotriva coroziunii prin zincare sau cadmiere. În cazul zincării electrolitice, baia conține sulfat de zinc, iar în cazul cadmierii, sulfat de cadmiu. Acoperirea cu nichel sau crom produce un luciu frumos, protejează împotriva coroziunii și mărește rezistența la uzură. De asemenea, se pot realiza prin electroliză arămirea, argintarea, aurirea, cositorirea etc. a metalelor.

Galvanoplastia a fost descoperită în anul 1837 de către academicianul B.S. Iakobi. Pentru reproducerea unui obiect prin galvanoplastie, se confecționează în prealabil din ghips, ceară sau altă substanță plastică (ce se poate modela) o copie negativă a obiectului. În figura 26—9 se arată un obiect *a* și copia sa negativă *b*. Copia negativă, după ce se grafitează, se așază la catodul băii electrolitice.

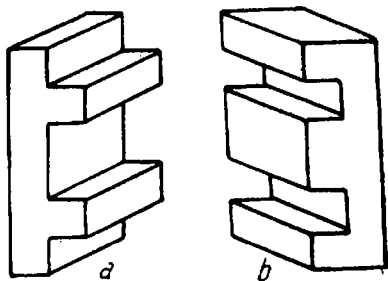


Fig. 26-9. Un obiect *a* și copia sa negativă *b*.

### 3. Prelucrarea metalelor prin metoda anodo-mecanică

În figura 26—10 se explică principiul metodei anodo-mecanice (propusă de ing. Gusev) pentru tăierea unei piese de oțel *P*. Această piesă constituie anodul instalației și se leagă

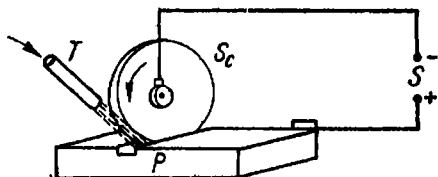


Fig. 26-10. Principiul tăierii prin metoda anodo-mecanică.

la polul pozitiv al unei surse de curent continuu *S*, care produce la bornele sale o tensiune de 20—30 V. Scula tăietoare *S<sub>c</sub>* este un disc rotativ de oțel sau de cupru și se leagă la polul negativ al sursei, constituind catodul instalației.

În spațiul dintre electrozi se lasă să curgă prin tubul  $T$  o soluție de *silicat de sodiu* (sticlă solubilă). Sub acțiunea curentului electric, lichidul formează o *peliculă* (pojghiță) pe suprafața de prelucrat a piesei. Discul exercită o mică presiune, care micșorează grosimea peliculei pe porțiunea de tăiat. Pe această porțiune, densitatea curentului crește și provoacă o anumită încălzire. Materialul este îndepărtat prin topire și eroziune electrochimică. Pelicula se reface continuu, iar căldura nu are timp să se propage în interiorul piesei și să-i modifice structura. Procedul are avantajul de a nu necesita decît presiuni mici între sculă și piesă, oferind posibilitatea de a prelucra metale cu duritate mare. Se utilizează atît la tăiere cît și pentru ascuțirea sculelor la mașinile-unelte. La unele mașini anodo-mecanice de tăiat mai noi, în locul discului rotativ se găsește o bandă fără sfîrșit.

#### 4. Prelucrarea (găurirea) metalelor prin scînteii electrice

Prelucrarea prin scînteii electrice a fost propusă inițial de N. și B. Lazarenko. Principiul este arătat în figura 26—11 (cazul găuririi). Piesa metalică  $P$  (anod) ce trebuie prelucrată și scula  $S_c$  (catod) se leagă la o sursă de curent continuu  $S$ . Instalația cuprinde două circuite cu o ramură comună, care conține condensatorul  $C$ . Locul de prelucrare este cufundat în *lichidul de*

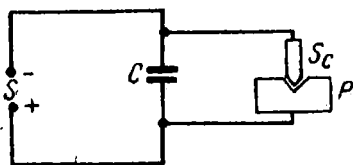


Fig. 26—11. Principiul prelucrării prin scînteii electrice.

*lăcru*, constituit din petrol lampant, ulei mineral ș.a. Sursa încarcă condensatorul, iar acesta se descarcă apoi în circuitul sculă-piesă, fenomenele de încărcare-descărcare repetîndu-se periodic. În timpul descărcărilor, lichidul dintre electrozi este străpuns, iar în punctele de străpungere temperatura crește mult, producîndu-se

o eroziune a piesei. Cavitatea ce se formează ia forma electrodului-sculă, care are o mișcare de înaintare (avans). Procedul prezintă avantaje deosebite la prelucrarea metalelor dure și extradure, precum și la obținerea unor orificii cu formă complicată. Tensiunea sursei este de obicei de 50—220 V, după felul prelucrării.

## 5. Încălzirea în electrolit și prin pierderi în dielectric

Principiul încălzirii în electrolit rezultă din figura 26—12.

Vasul metalic  $V$  conține un electrolit  $E$ , în care se cufundă piesa metalică  $P$ . Instalația se alimentează de la o sursă de curent continuu  $S$ , astfel încât piesa  $P$  (catod) să fie legată la polul negativ, iar vasul  $V$  (anod), la polul pozitiv. Se obține o încălzire rapidă și intensă a suprafeței piesei  $P$  în contact cu electrolitul din vas. Procedul se aplică la călirea unor anumite piese și are avantajul de a încălzi suprafețele ce trebuie călite, mai înainte de a se produce o pătrundere importantă de căldură în interiorul piesei care să-i modifice structura.

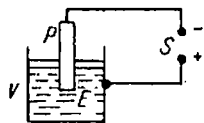


Fig. 26-12. Principiul încălzirii în electrolit.

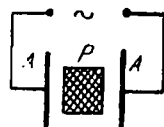


Fig. 26-13. Principiul încălzirii prin pierderi în dielectric.

Figura 26—13 ilustrează principiul încălzirii prin pierderi în dielectric, metodă care se aplică pieselor nemetalice. Între armăturile  $A$  ale unui condensator se așază piesa  $P$  și se aplică armăturilor o tensiune de înaltă frecvență.

În dielectricul constituit din piesa  $P$  se produc pierderi de energie, care se transformă în căldură și încălzesc piesa. Acest procedeu se aplică la uscarea lemnului, a cartonului, a fibrelor textile, a unor materiale de construcții etc.<sup>1</sup>

## 6. Încălzirea prin radiații infraroșii

Radiațiile din spectrul vizibil au lungimi de undă cuprinse între  $0,380$  și  $0,760 \mu^1$ . Limita superioară corespunde culorii roșii. Prin radiații infraroșii sau termice se înțeleg acele radiații care au lungimi de undă cuprinse între  $0,760$  și  $1\,000 \mu$ . Corpurile care absorb asemenea radiații se încălzesc destul de repede și practic independent de temperatura mediului înconjurător.

<sup>1</sup>  $1\mu$  (micron) =  $10^{-6}$  m.

Pentru producerea acestor radiații se construiesc lămpi cu incandescență pentru radiații infraroșii cu puteri de 250—1 000 W și avind forma arătată în figura 26—14. Filamentul incandescent 1

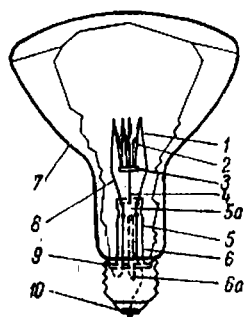


Fig. 26—14. Lampă electrică cu incandescență pentru radiații infraroșii.

din wolfram este susținut de cirligele de molibden 2, fixate în lentila 3 de la extremitatea superioară a bastonașului metalic 4 sudat în 5 a de piciorul 5. În 6 există un mic tub, care după evacuarea aerului se închide în 6a. Lampa se umple cu un gaz inert. Balonul 7 din sticlă conținând sodiu, potasiu și calciu este acoperit în interior pînă la calotă cu un strat reflectant de aluminiu, iar calota este mătușită pentru a realiza o distribuție uniformă a radiațiilor. Electrozii 8 ai lămpii sînt legați la bornele 9 și 10 prin care se face legătura cu dispozitivul de aducere a energiei electrice.

Asemenea lămpi se pot întrebuința pentru încălzirea și uscare anumitor corpuri, ca: vopsele, textile, materiale ceramice, legume, fructe, făină, paste făinoase, chimicale, lemn, hîrtie, piele ș.a.

## Semnalizări și telecomunicații

Prin semnalizări și telecomunicații se înțeleg, în general, transmițerile de informații între un post emițător și unul receptor.

Semnalizările sînt operațiile de transmitere a unui semnal acustic, optic, combinat, sau prin unde electromagnetice la distanțe relativ mici și de obicei în sens unilateral, de la un emițător la un receptor. Informația transmisă prin semnalizare este sumară și se execută după un cod convențional ales.

Telecomunicațiile sînt operații de emisiune, transmisie și recepție a informațiilor de orice natură (semne, texte, imagini, semnale, sunete etc.) prin intermediul exclusiv al fenomenelor electromagnetice sau optice, la distanțe mari și în sens uni- sau bilateral.

Telecomunicațiile se clasifică în electrocomunicații și în comunicații optice, ultimele fiind folosite mai ales în navigația aeriană și maritimă.

Electrocomunicațiile cuprind telegrafia, telefonía, radio-comunicațiile și televiziunea.

### 1. Semnalizări acustice

*Sonerie electrică.* Soneria este un aparat electroacustic, compus dintr-un electromagnet a cărui armătură mobilă are un ciocănel care lovește într-un clopot, pentru a emite sunete de semnalizare (vezi capitolul IV, figura 4—25).

În figura 27—1 s-a dat schema unei sonerii care poate funcționa și cu o singură lovitură în clopot dacă circuitul se închide numai prin electromagnet, fără a mai trece și prin întreruptorul lamelei vibrante. În acest caz, armătura stă atrasă atît timp cît durează apăsarea pe butonul *C*, ciocănelul dînd doar o singură lovitură. Butonul *B* servește pentru funcționare ca sonerie obișnuită, vibrantă. O astfel de sonerie poate fi folosită în instalațiile

industriale pentru semnalizări, utilizând diverse coduri pentru diversele informații ce se transmit (spre exemplu: semnal vibrant prelungit = avertizare; semnale scurte și lungi, alternate după un cod anumit = informații).

După felul sursei de curent se deosebesc sonerii de curent continuu, alimentate de obicei de elemente galvanice sau baterii uscate și sonerii de curent alternativ, legate la rețeaua de energie electrică prin intermediul unui transformator coborîtor de tensiune, a cărui tensiune secundară este de 3—8 V

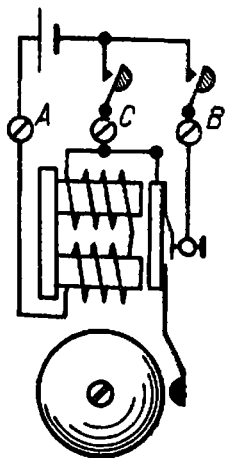


Fig. 27-1. Sonerie electrică cu o singură lovitură.

Sonerie reprezentată în figura 27 — 1 poate fi întrebuințată atât în curent continuu, cât și în curent alternativ. Există însă și sonerii numai pentru curent alternativ, care funcționează fără întreruperea curentului (fig. 27—2), numite sonerii cu electromagnet polarizat. Această sonerie are în circuitul magnetic al electromagnetului un magnet permanent, iar cele două bobine sînt înfășurate în sensuri contrare. Armătura A așezată în fața miezurilor K este fixată astfel, încît se poate roti cu ușurință în jurul unei axe de rotație, mișcînd totodată un ciocănaș care este solidar cu ea. Magnetul permanent face ca miezurile K să fie magnetizate permanent. La

trecerea curentului alternativ prin înfășurare, într-o jumătate de perioadă fluxul printr-unul din miezuri se întărește, și prin celălalt miez slăbește, iar în jumătatea de perioadă următoare, curentul schimbînd de semn situația fluxurilor prin cele două miezuri, se inversează. Din cauza diferenței fluxurilor magnetice prin cele două miezuri armătura este atrasă înspre miezul în care fluxul este mai intens. Deci, în cazul folosirii unui curent alternativ cu frecvența de 50 Hz, armătura efectuează într-o secundă  $2 \times 50 = 100$  oscilații, iar ciocănelul solidar cu ea lovește de tot atîtea ori în cele două clopote.

Soneriile de curent alternativ sînt foarte sensibile și pot funcționa cu curenți foarte mici, dacă bobinele au spire multe. Față de cele cu întreruperea circuitului, ele au avantajul că nu produc paraziți radiofonici prin scînteile ce apar la acestea din urmă, la fiecare întrerupere a curentului. Soneriile de curent alternativ se folosesc îndeosebi în instalațiile telefonice.



Pentru distingerea sunetelor unor sonerii care funcționează într-o aceeași încăpere, clopotele lor se execută în forme și dimensiuni diferite: clopotele plate dau sunete ascuțite, pe când cele de formă alungită dau sunete grave.

Soneriile descrise mai sus se montează numai în derivație.

În figura 27—3 sînt reprezentate diferite montaje de sonerii: în *A* este reprezentată o sonerie cu o singură lovitură, în *B*, o sonerie cu un întreruptor pentru scoaterea din funcțiune, în *C*, două sonerii legate în paralel, putînd fi acționate simultan din două locuri diferite (unde „se

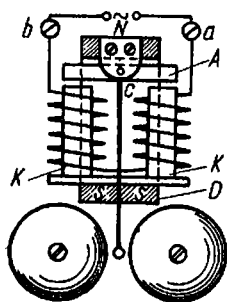


Fig. 27-2. Sonerie numai pentru curent alternativ.

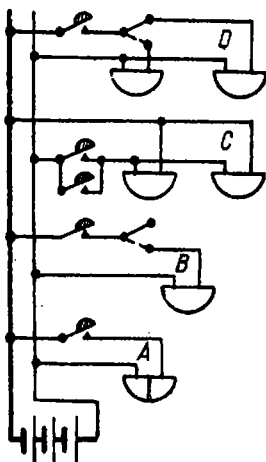


Fig. 27-3. Montaje de sonerii.

află plasate butoanele), iar în *D*, două sonerii putînd fi puse pe rînd în serviciu, cu ajutorul unui comutator.

În afară de sonerii, pentru semnalizarea acustică se mai folosesc: buzzere, clacsoane și sirene.

*Buzzerul* este de fapt o sonerie fără clopot și cu dimensiunile electromagnetului mai reduse; ciocănelul său este înlocuit de o paletă care vibrează la fel ca la soneria simplă și lovește în carcasa de bachelită a buzzerului, producînd un bîzîit. Buzzerul este folosit în locuințe sau birouri, sunetul său fiind mai puțin strident și supărător decît cel al soneriei.

*Clacsoanele* (hupele) sînt dispozitive de semnalizare mai puternice decît soneriile. Există clacsoane care funcționează în curent continuu sau în curent alternativ. În figura 27—4 este reprezentat un clacson care funcționează în curent continuu. Curentul trece de la clema *A* la contactul vibrant *U*, apoi, prin arcul *F*, care este legat galvanic de inelul de stringere *S*, la

clema inelului și de aici, prin bobină, la clema *B*. Bobina parcursă de curent atrage miezul de fier *K*: acest miez, fiind solidar cu membranele *M*<sub>1</sub> și *M*<sub>2</sub>, produce deplasarea acestora în jos. Arcul *F*, care apasă în jos, întrerupe în *U* circuitul, ceea ce face ca membranele să revină în poziția inițială, fenomenul repetându-se apoi cu o

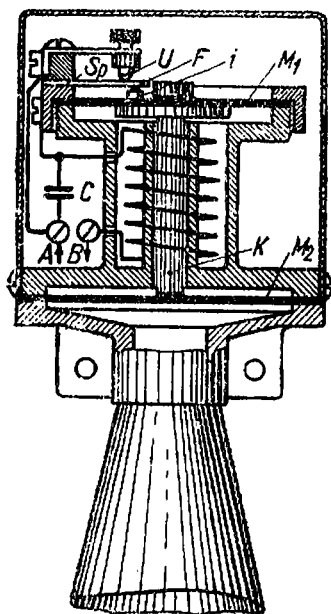


Fig. 27-4. Clacson cu funcționarea în curent continuu.

frecvență care depinde, printre altele, de elasticitatea, diametrul și grosimea membranelor. Sunetul produs este dirijat în afară printr-o pilnie dreaptă sau curbă. Condensatorul *C* are rolul de a stinge scintele la întreruperile circuitului, protejând prin aceasta contactul *U* și eliminând paraiziții radiofonice care s-ar produce în lipsa lui. Sunetul produs de clacson are o frecvență cuprinsă între 400 și 800 Hz.

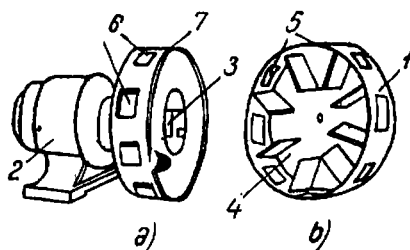


Fig. 27-5. Sirenă cu curent de aer.

*Sirenele* sint aparate emițătoare de sunete de o foarte mare intensitate, folosite pentru semnalizare în uzină, circulație, sau navigație sau pentru emiterea unor semnale de alarmă. Sirenele pot funcționa cu curent de aer sau de abur. Sunetul produs are un singur ton și o intensitate foarte mare, putînd fi auzit pînă la distanțe de 10—20 km.

În figura 27—5 este reprezentată o sirenă care funcționează prin curent de aer, antrenată de un motor electric. Toba 1, care are un număr oarecare de camere 4 cu deschideri dreptunghiulare 5, este învîrtită de motorul electric 2, aerul este antrenat prin deschiderea circulară 3, trece apoi prin camerele 4, prin deschiderile 5 și prin deschiderile dreptunghiulare 6 ale tobei fixe 7, egale ca mărime și ca număr cu cele ale tobei rotitoare.

Curentul de aer este deci, în mod alternativ, oprit și lăsat să treacă de cealaltă parte a tobei fixe, în atmosferă, suferind astfel comprimări și destinderi succesive, cu o anumită frecvență, producând astfel undele sonore. Frecvența sunetului se poate modifica variind turația, iar intensitatea sunetului, prin varierea debitului de aer (prin modificarea deschiderii prin care intră aerul).

Dacă  $m$  este numărul de deschideri ale tobei rotitoare și  $n$  (rot/s) este turația ei, frecvența sunetului produs este  $f = m \cdot n$  per/s).

## 2. Noțiuni de telegrafie

Prin telegrafie se înțelege de obicei acel sistem de telecomunicație, în care se transmit unilateral sau bilateral comunicări la distanță prin semne vizibile sau auzibile, prin întreruperea unor curenți electrici care se propagă de-a lungul unor conductoare, dintre care, drept conductor pentru întoarcerea curentului se folosește aproape exclusiv pământul.

Părțile principale ale unui telegraf electric sînt: *bateria* de alimentare, *linia telegrafică*, *manipulatorul* și *receptorul*.

*Bateria* este formată, în general, dintr-un mare număr de elemente dispuse în serie și se află la stația de plecare.

*Linia telegrafică* care stabilește legătura între stațiunile telegrafice este construită din sîrmă de fier galvanizat, adică acoperit la suprafață cu un strat de zinc care apără fierul de oxidare. Diametrul sirmei este, de obicei, de 4—5 mm, astfel încît rezistența electrică a liniei este de 10  $\Omega$ /km. Liniile sînt aeriene, conductoarele fiind susținute pe stîlpii de lemn sau de beton armat, de către izolatoarele de sticlă sau de porțelan, fixate la partea superioară a stîlpilor cu ajutorul unor cîrlige de fier.

În telegrafie, drept conductor de întoarcere a curentului este folosit de obicei pământul, deoarece în acest fel se reduce la jumătate cantitatea de material necesară realizării liniei (conductoare și izolatoare); totodată, se reduce și sursa de curent la jumătate (față de o linie cu două conductoare aeriene), deoarece rezistența liniei este de două ori mai mică.

*Manipulatorul Morse*. Acest aparat este în realitate un întreruptor de curent (fig. 27—6) și se compune dintr-o pîrghie metalică care se poate mișca în jurul unui ax orizontal  $A$  închizînd unul din cele două contacte cu care este prevăzută pîrghia la extremitățile sale. Un resort  $f$  menține pîrghia manipulatorului într-o poziție anumită, de repaus. Apăsînd asupra mînerului  $M$ ,

pirghia se apleacă în jos, contactul de sub mîner se închide și cel din partea opusă se deschide. Cînd apăsarea încetează, sub acțiunea resortului, pirghia revine în poziția sa de repaus.

*Receptorul Morse* este destinat primirii semnalelor transmise de manipulator. Receptorul Morse (fig. 27—7) este compus dintr-un electromagnet  $E$  care atrage (cînd bobina sa este străbătută de curent) o plăcuță de fier  $A$  fixată de pirghia  $AOD$  și înclină

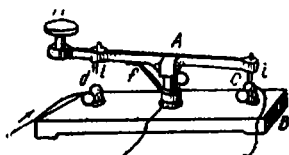


Fig. 27-6. Manipulator Morse.

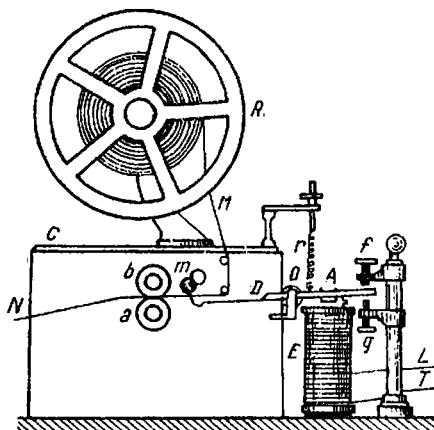


Fig. 27-7. Receptor Morse.

pirghia; extremitatea brațului  $OD$  al pirghiei apasă în acest caz asupra benzii de hîrtie  $MN$  care este antrenată de mișcarea uniformă a cilindrilor  $a$  și  $b$  învîrțiți de un mecanism de ceasornicărie care se află în interiorul cutiei  $C$ . Banda de hîrtie este apăsată astfel pe un cilindru  $m$  acoperit cu pîslă îmbibată în cerneală și va primi o linie de cerneală a cărei lungime depinde direct de durata trecerii curentului prin bobina electromagnetului  $E$ . La alte sisteme de receptoare, în locul pîslei îmbibate cu cerneală se folosește o roțiță imprimatoare, fixată la extremitatea brațului  $OD$  și stînd cu jumătatea ei inferioară într-o baie de cerneală tipografică.

Mișcarea pirghiei  $AOD$  a receptorului Morse este limitată de două șuruburi verticale,  $f$  și  $g$ , care împiedică pirghia să se depărteze prea mult de electromagnet, cînd curentul este întrerupt sub acțiunea resortului  $r$  sau să atingă electromagnetul, în care caz piesa  $A$  ar păstra un magnetism remanent care ar face ca aparatul să nu mai funcționeze regulat. După mărimea timpului de trecere a curentului prin electromagnet se imprimă pe hîrtie linii sau puncte. Pauzele sînt date de absența curentului. Prin combinarea liniilor și punctelor a fost alcătuit un alfabet convențional numit *alfabetul Morse* (tabela 27—1), în care literelor din

alfabet, cifrelor și diferitelor semne de punctuație le corespund anumite grupe de linii și de puncte.

Tabela 27-1

Alfabetul Morse

a	· -	r	-	1	- - - - -
b	-	s	-	/	- - - .
c	- . . .	t	-	-	- . . . -
d	-	u	-	?	- - . .
e	-	v	-	1	. - - - -
f	-	w	- -	2	- - - -
g	- -	x	- .	3	. . - - -
h	- -	y	- . . -	4	- - - -
i	- -	z	- . . .	5	- - - -
j	. - - - -	ch	- - - -	6	- - - -
k	. - -	ă	- -	7	- - - -
l	- . . .	é	. - -	8	- - - . .
m	- -	ö	- - - .	9	- - - - .
n	- .	ü	- -	0	- - - - -
o	- - -			Greșeală	. . . . .
p	. - -		- . . . -	Prileput	. . . . .
q	- - - .		- . . . -	Sfârșit	- -

Dintre diferitele montaje folosite în telegrafie (numite montaje Morse), cel mai simplu este cel reprezentat în figura 27-8, numit montaj cu curent de lucru.

La acest montaj, bateria fiecărei stații telegrafice trebuie să fie suficient de puternică pentru a putea trimite de-a lungul întregului traseu curentul necesar acționării receptorului, mai ales pentru conducte lungi, fără stații intermediare.

Dacă se apasă (în stația I de exemplu) pe manipulatorul Morse, învingându-se rezistența resortului  $f$ , se închide

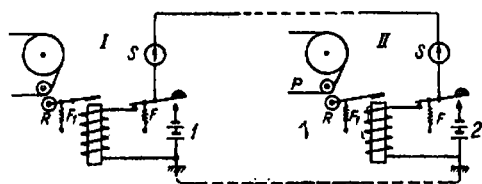


Fig. 27-8. Montaj Morse cu curent de lucru.

circuitul bateriei I și aceasta va debita un curent prin electromagnetul receptorului stației II și de acolo, înapoi, prin pământ, curentul se întoarce la bateria I.

În stația II, receptorul intră astfel în funcțiune, electromagnetul atrage armătura respectivă, iar roțița imprimatoare R apasă

pe banda de hirtie. Mișcarea benzii de hirtie este declanșată o dată cu apariția curentului în electromagnet, ceea ce asigură mersul benzii pînă la terminarea transmisiei telegramei.

Acest montaj are două principale dezavantaje, și anume: instalația nu poate fi controlată cînd nu se află în funcțiune și apoi nu există un control al telegramelor transmise.

Montajul din figura 27—9, numit cu curent de repaus, elimină aceste dezavantaje.

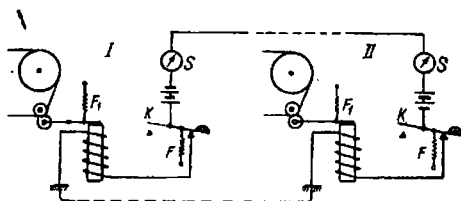


Fig. 27—9. Montaj Morse cu curent de repaus.

În timpul cît cele două stații sînt în repaus, manipuloarele sînt fixate în poziția „apăsă”, astfel încît, după cum se vede din figură, traseul stă tot timpul sub controlul curentului debitat de baterie și in-

dicat de miliampermetrele  $S$  din cele două stații.

Cînd se începe transmiterea telegramei, se înlătură piedica ce fixa manipulatorul în poziția „apăsă”, la stația care transmite. La dispariția curentului prin electromagneți este declanșată mișcarea benzii care va dura pînă la terminarea transmiterii telegramei (există un mecanism de ceasornicărie care oprește mișcarea benzii cînd armătura electromagnetului receptorului stă atrasă un timp mai îndelungat decît cel necesar scrierii a două cuvinte). Semnalele Morse se inscriu simultan pe banda postului receptor și pe aceea a postului transmițător, permițînd astfel controlul transmiterii telegramei chiar la locul de emisiune.

În prezent, există sisteme perfecționate de telegrafie, și anume:

- telegrafie duplex, în care transmisia se face simultan, în ambele sensuri;

- telegrafie multiplă, avînd transmisia mai multor comunicații deodată, pe același fir și în același sens, realizată prin legarea succesivă și periodică a diverselor perechi de aparate telegrafice emițătoare și receptoare pe același fir sau prin utilizarea unor curenți electrici de frecvențe diferite pentru fiecare pereche de aparate telegrafice, care se separă la recepție prin filtre de bandă (dispozitive care lasă să treacă numai un anumit interval de frecvențe);

- telegrafia rapidă, în care telegramele, scrise în prealabil pe o bandă de hirtie cu ajutorul unui perforator, sînt transmise automat și rapid, cu ajutorul unor dispozitive cu ace echipate cu pîrghii și contacte. La recepție se obțin, tot automat,

puncte și linii pe banda de hirtie, care trebuie apoi descifrată și transcrisă.

O altă perfecționare a telegrafiei a constat în traducerea semnalelor Morse în litere obișnuite și scrierea lor direct pe banda de hirtie. Aceste aparate sînt denumite *teleimprimatoare*. Cu ajutorul teleimprimatoarelor se pot transmite și recepționa comunicările telegrafice direct în litere.

### 3. Noțiuni de telefonie

Prin telefonie se înțelege sistemul de telecomunicație în care se transmit bilateral convorbirile, prin mijlocirea curenților electrici care circulă în circuitul închis compus din două conductoare metalice izolate: microfonul și receptorul.

*Microfonul* este un dispozitiv sensibil, capabil să poată transforma șocurile slabe provocate de vibrația aerului care reprezintă vocea omenească, în variații de curent electric destul de puternice. Partea microfonului care primește vibrațiile aerului este membrana microfonului, o placă rotundă, de 0,2—0,3 mm grosime, din tablă de alamă sau aluminiu (fig. 27—10). Membrana este strinsă într-o capsulă de alamă sau aluminiu, nichelată. În spatele membranei se găsesc grăunțe sferice de cărbune presat, de diametru mic, conținute într-un inel de pîslă montat într-un corp de cărbune masiv. Inelul de pîslă este în contact cu membrana și vibrează o dată cu ea. Întrucît inelul de pîslă este elastic, membrana nu este împiedicată în oscilațiile ei, ci numai puțin amortizată. Atît membrana, cit și corpul de cărbune sînt polizate fin, pentru ca micile scînteii care apar în interiorul capsulei să nu provoace arderea sau lipirea grăunțelor. Recipientul cu grăunțe de cărbune trebuie să fie doar parțial plin cu grăunțe, pentru ca ele să se poată amesteca bine la începutul convorbirii (cînd microfonul este mișcat), evitîndu-se astfel lipirile grăunțelor.

Funcționarea microfonului se bazează pe variația rezistenței pe care o opune trecerii curentului electric, prin modificarea rezistenței de contact între grăunțele de cărbune, în funcție de presiunea exercitată asupra lor de vibrațiile membranei. Atît

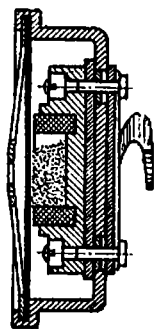


Fig. 27—10. Microfon telefonic cu cărbune.

timp cît nu se vorbește în fața microfonului, curentul microfonic rămîne un curent continuu constant, care depinde de rezistența microfonului în starea sa de repaus și de tensiunea bateriei. În timpul cît se vorbește în fața microfonului, membrana vibrează și produce variația rezistenței interne a microfonului; curentul care trece prin microfon este astfel variabil în timpul funcționării sale, oscilînd în jurul curentului constant de alimentare, cu frecvența sunetelor pronunțate în fața microfonului.

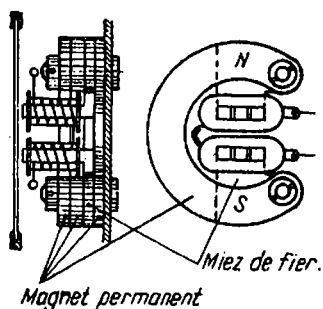


Fig. 27-11. Receptor telefonic.

Microfoanele se montează într-un suport terminat printr-un capac de formă bombată, avînd o sită și cîteva fante paralele prin care se vorbește.

*Receptorul telefonic* este construit ținînd seama de principiul electromagnetic. El este alcătuit dintr-un magnet permanent, din bobine și dintr-o membrană (fig. 27-11).

De magnetul permanent sînt fixate două miezuri de fier moale în jurul cărora sînt înfășurate bobinele. Magnetii permanenți sînt confecționați din oțel special și au rolul de a ține continuu membrana puțin atrasă. Bobinele sînt executate din sîrmă subțire de cupru izolată cu lac sau mătase. Membrana este confecționată din fier moale lăcuit și este potrivită exact și menținută în acea poziție de către un capac care se înșurubează pe carcasa care conține receptorul.

Curentul care trece prin receptor este identic cu curentul ce trece prin microfon, adică un curent variabil, avînd o componentă continuă și una alternativă de frecvență vocală. Trecînd prin receptor, acest curent va provoca vibrația membranei în ritmul componentei sale alternative, deci va reproduce sunetele rostite în fața microfonului.

Magnetul permanent din receptorul telefonic are rolul de a crea o forță de atracție suficient de mare a membranei, astfel încît forțele alternative de atracție sau de respingere, care apar ca rezultat al componentei alternative (vocale) a curentului microfonic, să poată solicita membrana în ambele sensuri. Dacă n-ar exista magnetul permanent, membrana nu ar putea fi decît atrasă, atît în timpul alternanțelor pozitive ale curentului microfonic, cît și în timpul alternanțelor negative. Sunetul produs în acest fel ar fi puternic distorsionat.



În practică, deoarece transmisiile telefonice sînt bilaterale, microfonul de la postul transmițător și receptorul postului ascultător sînt reunite într-un singur aparat, numit aparat telefonic. *Circuitul telefonic* cel mai simplu este cel reprezentat în figura 27—12, în care microfonul, receptorul și bateria de alimentare sînt legate în serie în circuit.

Într-un astfel de circuit, variația curentului este mică, deoarece variația rezistenței microfonului la care se vorbește este mică,

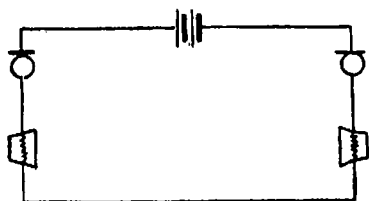


Fig. 27-12. Schema unui circuit telefonic cu montaj direct.

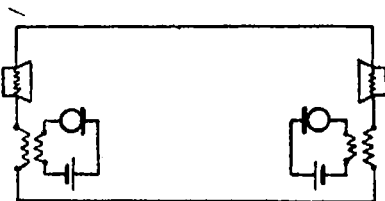


Fig. 27-13. Schema unui circuit telefonic cu montaj indirect, cu baterie locală.

procentual, față de rezistența întregului circuit, astfel încît efectul sonor este slab. Acest montaj poate fi folosit doar în instalații cu aparatele aflate în apropiere (în aceeași clădire).

Spre a putea învinge rezistența circuitelor lungi cu căderi de tensiune cît mai mici, curentul alternativ vocal, produs în circuitul local al microfonului cu baterie locală (fig. 27—13), este transformat în curent de tensiune mare și intensitate mică, în bobine de inducție. În acest scop, microfonul este astfel montat într-un circuit în care, pe lângă rezistența sa, variabilă, se mai află rezistența bobinei primare, a bobinei de inducție și rezistența internă a bateriei locale. Ultimele două rezistențe sînt relativ mici în raport cu rezistența proprie a microfonului. În timpul funcționării se modifică doar rezistența microfonului, adică rezistența mare, astfel că variațiile de curent sînt apreciabile, asigurînd claritatea convorbirii.

Pe lângă microfon și receptor, un aparat telefonic mai cuprinde și alte dispozitive, necesare pentru punerea în legătură și asigurarea convorbirii între doi corespondenți, ca: soneria pentru chemare, comutatorul pentru întreruperea anumitor circuite (microfon, sonerie) și întreruptorul cu numere.

Un astfel de aparat, pentru instalații automate, este cel reprezentat în figura 27—14, unde nu s-au reprezentat întreruptorul cu numere (discul cu numere) și comutatorul de circuite.

Cele două conductoare *a* și *b* leagă aparatul de centrala telefonică și prin același circuit se obțin atât apelul, cât și convorbirea. Rezistența *R* de o valoare apropiată de rezistența circuitului exterior aparatului (linia) are rolul amortizării emisiunii microfonice proprii, care s-ar auzi puternic în cască în lipsa acestei rezistențe.

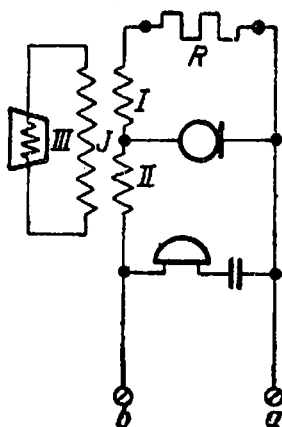


Fig. 27-14 — Schema simplificată a unui aparat telefonic cu instalație automată.

Sistemele de transmisie telefonică pot fi (după construcție și modul de stabilire a legăturilor):

— *cu baterie locală la abonați*. Acesta este sistemul cel mai vechi și este astăzi ieșit din uz în instalațiile urbane. Se folosește însă pe șantiere sau în locurile unde instalațiile sînt temporare;

— *cu baterie centrală și cu stabilirea manuală a comunicațiilor* de către operatoarele aflate la tablourile de conexiune din centralele telefonice;

— *cu baterie centrală și cu stabilirea automată a comunicațiilor* prin sisteme electromagnetice care înlocuiesc operatoarele din centralele telefonice.

După felul curentului folosit, transmisiile telefonice pot fi:

— *cu frecvență vocală*, în care curentul transmis prin linie este alternativ și are frecvența produsă de vorbitor (200 — 3 500 Hz);

— *cu curenți purtători*, în care frecvențele vocale ale convorbirii se transpun pe frecvențele înalte ale unor curenți care se trimit apoi prin linia telefonică. La recepție, curenții care „poartă” frecvențele vocale sînt separați de frecvențele vocale. În acest fel se poate realiza o transmisie simultană pe același circuit a mai multor convorbiri (telefonie multiplă), fără a se perturba una pe alta, dacă frecvențele curenților purtători se aleg diferite.

Constructiv, liniile telefonice pot fi: aeriene sau în cabluri subterane.

*Rețelele de linii telefonice aeriene* sînt formate din conductoare metalice neizolate, din bronz fosforos, cupru și, pentru distanțe scurte, din oțel galvanizat, fixate pe izolatoare de sticlă sau porțelan, sprijinite de suporturi curbăți sau de console fixate pe stâlpi de lemn de înălțimi și grosimi corespunzătoare numărului de circuite pe care au să le suporte.

*Cablurile subterane și subacvatice* sînt construite dintr-un număr relativ mare de perechi de conductoare de cupru sau de

bronz, izolate fiecare separat cu hirtie impregnată cu o compoziție specială izolatoare și hidrofugă, avind fiecare câte un fir de bumbac colorat diferit, răsucit în spirală în lungul conductorului, pentru a permite recunoașterea perechii de conductoare care formează un circuit telefonic. Toate aceste conductoare sînt învelite într-o singură manta continuă de plumb, care le apără de umezeală. Pentru protecție împotriva acțiunilor mecanice (lovituri), cablurile au blindaje speciale din benzi de oțel.

#### 4. Noțiuni de radiofonie

Radiofonia este sistemul de telecomunicație în care se transmit comunicări sau programe vorbite sau muzicale, de la o stație de emisie la diferitele posturi de recepție, prin intermediul undelor electromagnetice de înaltă frecvență care se propagă prin întregul spațiu.

Schema simplificată a unui post de emisie se poate vedea în figura 27-15. Unul dintre elementele sale principale îl constituie circuitul oscilant, format din condensatorul  $C$  și inductanța  $L_2$ , montate în paralel, fiind montate împreună în circuitul anodic al unei triode (v. capitolul IX). Un circuit oscilant are (după cum se știe) o frecvență proprie de rezonanță, dată de relația:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ Hz}$$

în care  $L$  și  $C$  sînt inductanța și capacitatea sa, exprimate în henry, respectiv în farazi. La frecvența de rezonanță, tensiunea la bornele circuitului oscilant este maximă. În figura 27-15 oscilațiile care ar apărea în circuitul ( $L_2, C$ ) la conectarea bateriei anodice  $BA$  s-ar amortiza repede dacă nu ar exista bobina  $L_3$  cuplată

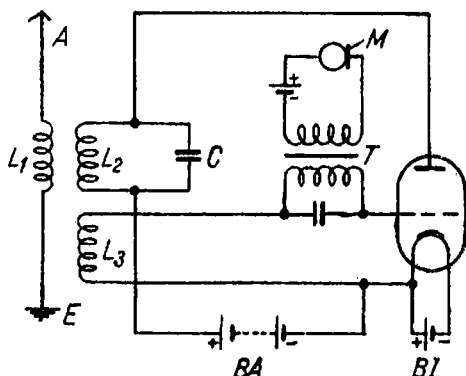


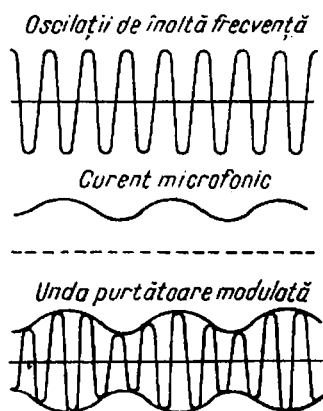
Fig. 27-15. Schema simplificată a unui post de radioemisie.

inductiv cu bobina  $L_2$  a circuitului oscilant și conectată în așa fel în circuitul de grilă al triodei, încît să producă o reacție pozitivă asupra curentului anodic al triodei. Pierderile de putere din circuitul oscilant sînt astfel în permanență înlocuite și tubul împreună cu circuitul ( $L_2$ ,  $C$ ) încep să oscileze regulat pe frecvența proprie a circuitului acordat. În același timp, tensiunea alternativă de la bornele circuitului oscilant se induce în bobina de antenă  $L_1$ , datorită cuplajului inductiv care există între  $L_1$

și  $L_2$ , iar din bobina  $L_1$  încep să fie radiate în spațiu unde electromagnetice de frecvență  $f$  (înaltă).

Cele două înfășurări ale transformatorului  $T$  sînt de asemenea cuplate inductiv între ele, astfel încît fluctuațiile de curent provocate de microfonul  $M$  acționează de asemenea asupra grilei triodei, cauzînd oscilații de tensiune în ritmul vorbirii. În consecință, curentul anodic al tubului variază în același ritm cu vorbirea. Undele electromagnetice de înaltă frecvență radiate de antenă vor fi, prin urmare, *modulate* în ritmul semnalelor sonore produse în fața microfonului (fig. 27—16). Bateria  $BI$  servește la încălzirea tubului.

Fig. 27—16. Modul de formare a undelor modulate în amplitudine.



Fiecărui emițător îi este atribuită o anumită frecvență înaltă, denumită *undă purtătoare* a unei de frecvență acustică, pentru a nu se suprapune programele diferitelor posturi de emisie existente. În loc de frecvența  $f$  a undelor purtătoare radiate se dă, uneori, lungimea lor de undă  $\lambda$ , relația care le unește fiind:

$$\lambda \cdot f = c,$$

în care  $c$  este viteza de propagare a undelor electromagnetice, egală cu viteza luminii (aproximativ 300 000 km/s).

Lungimea de undă a undelor radiate de diferitele posturi de emisie variază de la câțiva metri pînă la peste 2 km și se clasifică în unde ultracurte (de ordinul metrilor), scurte (11—50 m), medii (175—600 m) și lungi (800—2 500 m).

*Propagarea undelor* are loc în două feluri: o *undă de suprafață* (fig. 27—17) care se propagă în linie dreaptă, de obicei puțin

peste limita vizibilității și așa-numita *undă spațială* care se propagă în spațiu și este reflectată de păturile superioare ale atmosferei, situate la circa 100 km deasupra solului (stratul lui Heaviside). Între zona acoperită de unda de suprafață și zona acoperită de unda spațială reflectată, se găsește o zonă în care nu este posibilă recepția emițătorului; această zonă se numește „zonă de tăcere”.

Trebuie remarcat faptul că undele ultracurte nu sînt reflectate de stratul lui Heaviside, ci îl străbat și scapă din zona terestră. În cazul undelor ultracurte, nu se pot recepționa, așadar, decît undele de suprafață.

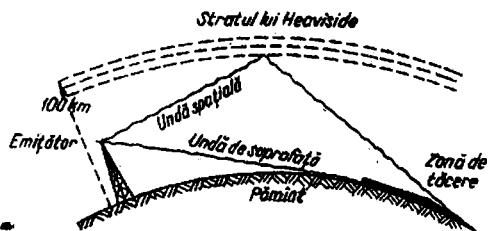


Fig. 27-17. Propagarea undelor radiofonice.

Recepția undelor se face în posturile de recepție, care au la bază de asemenea o antenă și un circuit oscilant acordat pe frecvența undei de recepționat, în scopul de a capta tensiunea maximă. După aceasta, unda purtătoare modulată este demodulată, adică este separată unda purtătoare de unda de joasă frecvență (de frecvență acustică). În figura 27-18 se arată modul în care se realizează demodularea, și anume, prin îndepărtarea unora din alternanțele undei modulate. Demodularea se mai numește și *deteecție*.

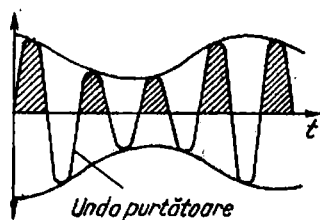


Fig. 27-18. Deteecția.

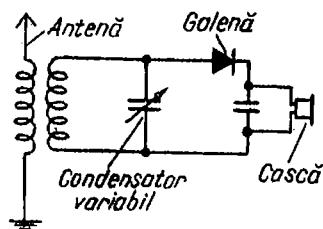


Fig. 27-19. Receptor cu galenă.

Tensiunea de frecvență acustică obținută prin detecție se aplică fie unei căști telefonice (fig. 27-11), fie unui dispozitiv de redat sunetele, construit după un principiu asemănător, dar avînd dimensiuni mult mai mari, numit *difuzor*.

Deteecția se poate efectua fie cu ajutorul unor tuburi redresoare, fie cu ajutorul unei galene. Aceasta este compusă dintr-un

cristal de sulfură de plumb cu care vine în atingere un vîrf ascuțit. Acest dispozitiv permite trecerea curentului doar într-un singur sens. În figura 27—19 este reprezentată schema electrică a unui receptor cu galenă care poate da rezultate bune în apropierea posturilor de radioemisie, unde radiațiile culese de antenă au o intensitate mare.

Dacă postul care trebuie recepționat este situat într-o regiune îndepărtată, trebuie realizată o amplificare a undelor recepționate (eventual în mai multe etaje) înainte de a fi aplicate difuzorului, din cauza atenuării undelor de-a lungul drumului lung parcurs de ele pînă la recepție.

La început, receptoarele erau construite pe baza principiului amplificării directe, descris mai sus. Dezavantajul principal al acestor receptoare constă în faptul că, în timpul funcționării lor, influențează recepția posturilor receptoare învecinate, prin emisiunea unor unde de frecvențe dependente de frecvența postului recepționat.

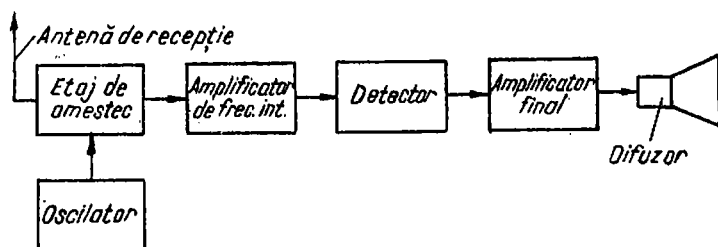


Fig. 27—20. Receptor superheterodină.

În prezent, majoritatea receptoarelor sînt construite după principiul *superheterodinei*. În figura 27—20 este redată schema simplificată a unui astfel de receptor. În acest receptor, unda purtătoare modulată, culeasă de antenă, este amestecată (în etajul de amestec) cu o tensiune auxiliară generată în etajul de intrare al receptorului, de către oscilatorul local, avînd frecvența întotdeauna mai mare decît frecvența tensiunii modulate recepționate cu o valoare egală cu frecvența intermediară a receptorului (constantă). În tubul de amestec rezultă, ca urmare a amestecului celor două tensiuni de frecvență diferite, așa-numita tensiune de frecvență intermediară, a cărei frecvență este egală cu diferența frecvențelor celor două tensiuni amestecate.

De obicei se folosește o frecvență intermediară  $f_i$  de 470 kHz. Aceasta înseamnă că frecvența  $f_o$  a tensiunii produse de oscila-

torul local este în oricare poziție a condensatorului variabil de acord mai mare decât frecvența tensiunii modulate recepționate  $f_r$ , cu valoarea  $f_i$  a frecvenței intermediare, adică

$$f_o = f_r + f_i = f_r + 470.$$

În etajul de amestec, în urma amestecului tensiunilor de frecvență  $f_r$  și  $f_o$  apare, ca rezultat al fenomenului de „bătăi”, o tensiune a cărei frecvență este egală cu diferența frecvențelor tensiunilor amestecate, adică tocmai o tensiune de frecvență intermediară:

$$f_i = f_o - f_r = 470 \text{ kHz},$$

care păstrează modulația tensiunii recepționate.

În urma unei amplificări și a detecției acestei frecvențe intermediare, se obține tensiunea de frecvență acustică, care apoi este amplificată și aplicată difuzorului care produce sunetele.

Avantajul superheterodinei, față de receptoarele cu amplificare directă, constă în faptul că tensiunea pe care o amplifică apoi receptorul are întotdeauna o frecvență constantă. Elementele de montaj necesare în acest scop (filtrele de bandă) pot fi mult mai eficace, deoarece pot fi calculate să lucreze pentru o anumită frecvență (egală cu frecvența intermediară). În afară de aceasta, amplificarea unei superheterodine este mult mai mare.

În prezent, majoritatea aparatelor de radiorecepție sînt alimentate prin intermediul unor redresoare de la rețeaua de iluminat.

## 5. Noțiuni de televiziune

Prin televiziune se înțelege un sistem de telecomunicație, prin care se transmit imagini ale unor obiective fixe sau în mișcare de la un post de emisie, la posturi de recepție, prin intermediul undelor electromagnetice de foarte mare frecvență.

Televiziunea este bazată pe transmiterea succesivă a elementelor (punctelor) unei imagini, traducînd variațiile de lumină în variații de curent, la postul de emisie, și apoi variațiile de curent în variații de lumină, la postul de recepție.

Emisia și recepția se fac pe elemente (puncte) separate din imagine, succesiv, dar într-un timp foarte scurt în raport cu timpul necesar transmiterii întregii imagini, astfel că, datorită persistenței imaginilor luminoase pe retină, ochiul are impresia

unei imagini întregi iluminate, simultan pe toate punctele ei, deși aceste puncte au fost iluminate succesiv.

În figura 27—21 este reprezentată schema unei transmisii de televiziune. Deosebirea fundamentală dintre televiziune și radiofonie constă, așadar, în faptul că în cazul televiziunii, punctele luminoase sînt transmise succesiv, pe cînd în cazul radio-

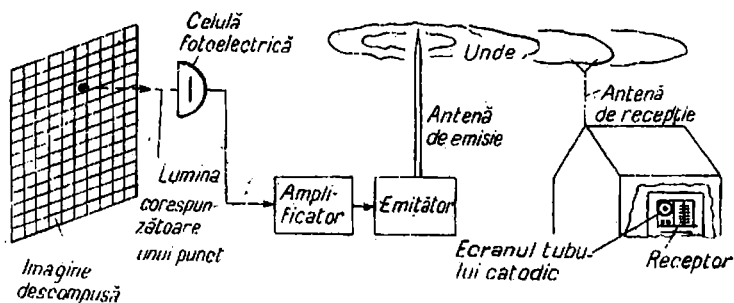


Fig. 27—21. Schema unei transmisii de televiziune.

foneiei transmisia sunetelor se face concomitent. Această deosebire pune grele probleme de sincronizare tehnicii de înaltă frecvență, pe care însă aceasta le-a rezolvat.

Elementul principal al unui receptor de televiziune este tubul catodic, descris în capitolul IX, paragraful 7. Ca substanțe fluorescente se folosesc silicatul de zinc, wolframatul de calciu, și alte substanțe. Fasciculul electronic este deviat pe 625 linii orizontale de 25 ori într-o secundă. Numărul de puncte ale unei imagini televizate în acest mod rezultă a fi de:

$$\frac{4}{3} \times 625 \times 625 \times 25 = 13\,000\,000,$$

$\frac{4}{3}$  fiind raportul între lățimea și înălțimea imaginii. Presupunînd jumătate din puncte albe și jumătate negre, rezultă 6 500 000 impulsuri de curent pe secundă, deci 6,5 MHz (megaherți) este frecvența curentului fotoelectric și, totodată, aceasta este lățimea benzii de frecvență ce se transmite prin televiziunea cu 625 linii și 25 imagini pe secundă. Pentru unda purtătoare se ia o frecvență și mai mare, de circa 8 ori, așa încît frecvența purtătoare rezultă de aproximativ 50 MHz, deci cu o lungime de undă

$$\lambda = \frac{300\,000\,000\text{ m}}{f} = 6\text{ m.}$$



Totuși, frecvențe mai înalte au început a fi folosite în scopul reducerii paraziților, ajungându-se la frecvența de 200 MHz. Rezultă că televiziunea folosește undele ultracurte, despre

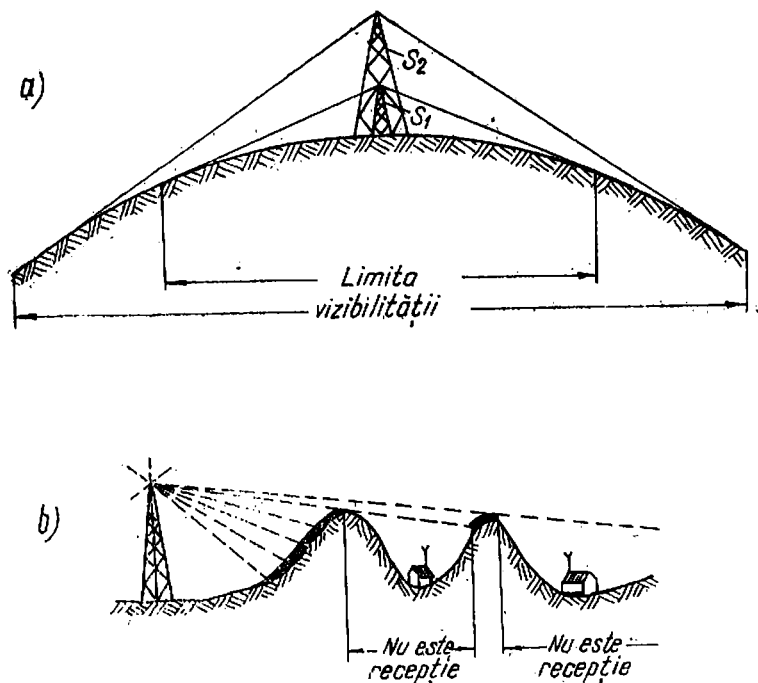


Fig. 27-22. Propăgarea undelor ultracurte:  
a — mărirea limitelor vizibilității; b — umbrele.

care se știe că se propagă în linie dreaptă, la distanțe care nu depășesc limitele vizibilității.

Bătaia unui post emițător de televiziune nu depășește cu mult orizontul (fig. 27-22, a) și nu trece prin obstacole (de ex. munți: fig. 27-22, b).

**Modulația** unei purtătoare în ritmul sunetului sau al imaginii (v. fig. 27-16) nu se face în amplitudine, ca în radiofonie, ci în **frecvență** (adică se variază frecvența unei purtătoare în ritmul sunetului sau imaginii). În acest caz, transmisia este deranjată mult mai puțin de către paraziții atmosferici sau industriali, care sînt de fapt oscilații atenuate modulate în amplitudine și nu influențează unda care este modulată în frecvență.

Schemele aparatelor de emisie și de recepție de televiziune sînt mult mai complicate decît cele ale aparatelor de radiorecepție și descrierea lor iese din cadrul lucrării de față.

Trebuie subliniat faptul că, atît la emisie cît și la recepție, se transmit atît semnalele de imagine cît și cele de sunet.

Tendința actuală în televiziune este ca într-un viitor apropiat să se părăsească procedeele de transmisie în alb-negru și să se adopte procedee de redare a imaginilor în culori și în relief.

Pe lângă radiofonie și televiziune, s-au studiat și găsit și alte aplicații undelor electromagnetice scurte (metrice și centimetrice).

Astfel, cu ajutorul unor antene de formă specială se pot obține radiosemnale dirijate care, întîlnind în drumul lor diferite obstacole, pot fi absorbite și, parțial, reflectate și difuzate de acestea. Pe fenomenul de reflecție al undelor radiofonice pe corpuri metalice, se bazează metoda de observare a obiectelor la distanțe mari și de determinare a poziției lor. Această metodă a primit numele de *radiolocație*.

Principiul acestei metode constă în următoarele: cu ajutorul unui generator și al unui sistem special de antene, se obține un fascicul dirijat de radiunde. După reflecția lor pe obiecte (navă, avion etc.) undele ajung la instalația de recepție și sînt înregistrate. Pentru ca emisia semnalelor să nu dăuneze recepției lor, semnalele durează în total cîteva milionimi de secundă, iar întreruperile dintre semnale sînt de cîteva sute de ori mai mari. Recepția undelor reflectate are loc în timpul întreruperilor dintre semnale. Din timpul scurs între plecarea și întoarcerea semnalului se determină distanța pînă la obiectul observat. Instalațiile care permit determinarea în acest fel a poziției obiectelor cu ajutorul radiosemnalelor au căpătat denumirea de *instalații radar*.

## TABLA DE MATERIE

Introducere .....	3
Capitolul I. <b>Electrostatica</b> .....	9
1. Natura electricității și structura materiei	9
2. Electrizare, sarcini și forțe electrice	10
3. Legea lui Coulomb	11
4. Câmp electric .....	13
5. Potențial electric. Diferențe de potențial	15
6. Linii de forță și suprafețe echipotențiale .....	18
7. Corpuri conductoare, izolante și semiconductoare	19
8. Diferite feluri de electrizări. Inducție electrică	20
9. Densitate electrică. Paratrăsnet .....	21
10. Fenomene electrostatice și electrocinetice	22
11. Condensatorul electric .....	23
12. Legarea condensatoarelor electrice ..	25
13. Străpungerea dielectricului. Rigiditate dielectrică	26
14. Condensatoare industriale și fabricarea lor	27
Capitolul II. <b>Circuite de curent continuu</b>	29
1. Curentul electric	29
2. Forța electromotoare	30
3. Rezistența electrică	30
4. Legea lui Ohm .....	32
5. Legile lui Kirchhoff	34
6. Legarea rezistențelor .....	35
7. Legea lui Joule-Lenz. Energia electrică	37
8. Puterea electrică	39
Capitolul III. <b>Pile. Acumulatori</b>	41
1. Curentul prin electroliți. Electroliza	41
2. Pile și acumulatori .....	42
3. Gruparea pilelor și a acumulatorilor	46
Capitolul IV. <b>Magnetism și electromagnetism.</b>	49
1. Magneți naturali și magneți artificiali. Câmp magnetic.....	49
2. Câmp magnetic datorit curentului electric. Spectre magnetice	50
3. Inducția magnetică. Linii de forță magnetică	52
4. Flux de inducție magnetică .....	54
5. Inducția magnetică și câmpul magnetic datorite curenților electrice .....	56
6. Forțe electromagnetice și forțe electrodinamice ....	58
7. Magnetizarea și demagnetizarea oțelului. Histerezis.	60
8. Electromagneți .....	64
9. Circuitul magnetic .....	65
10. Forța portantă a electromagnetului	67

<b>Capitolul V. Inducția electromagnetică</b>	<b>68</b>
1. Producerea forței electromotoare de inducție prin variația fluxului magnetic în spire	68
2. Producerea forței electromotoare de inducție prin tăierea de către un conductor a liniilor de forță magnetică	72
3. Curenți turbionari (Foucault)	74
4. Inducția proprie	76
5. Inducția mutuală	78
6. Cuplajul bobinelor	80
<b>Capitolul VI. Unități de măsură</b>	<b>81</b>
<b>Capitolul VII. Circuite de curent alternativ monofazat</b>	<b>86</b>
1. Producerea curentului alternativ	86
2. Caracteristicile principale ale mărimilor electrice alternative sinusoidale	91
3. Efectele curentului alternativ	93
4. Reprezentarea vectorială a mărimilor electrice alternative sinusoidale	94
5. Condensatorul în cazul curentului alternativ	97
6. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în serie	97
7. Circuit de curent alternativ cu rezistență, inductanță și capacitate în paralel	103
8. Puterea și energia electrică în cazul curentului alternativ	105
9. Ameliorarea factorului de putere cu ajutorul condensatorului	107
10. Rezonanța electrică	108
<b>Capitolul VIII. Circuite de curenți alternativi trifazați</b>	<b>113</b>
1. Producerea curenților trifazați	113
2. Gruparea forțelor electromotoare și tensiunilor trifazate	115
3. Relații între tensiuni și curenți în cazul legării în triunghi și al legării în stea	116
4. Legarea receptoarelor la rețelele trifazate în stea și în triunghi	119
5. Puterea și energia electrică în cazul rețelelor trifazate simetrice	120
<b>Capitolul IX. Fenomene electrice în gaze rarefiate și în vid</b>	<b>123</b>
1. Descărcări electrice în gaze	123
2. Raze X (Röntgen)	126
3. Emisiunea termoelectronică	127
4. Tuburi electronice	128
5. Tuburi ionice	132
6. Emisiunea fotoelectrică. Celula fotoelectrică	132
7. Tubul catodic. Televiziunea	134
<b>Capitolul X. Materiale electrotehnice</b>	<b>137</b>
1. Noțiuni generale, clasificare	137
2. Materiale conductoare	138
3. Materiale semiconductoare	146
4. Materiale izolante	148
5. Materiale magnetice	154
<b>Capitolul XI. Măsurări electrice</b>	<b>157</b>
1. Generalități asupra aparatelor electrice de măsurat	157

2. Eroarea aparatelor. Clasa de precizie	163
3. Marcarea aparatelor de măsurat	164
4. Măsurarea curentului:	166
5. Măsurarea tensiunii	168
6. Măsurarea rezistențelor	170
7. Măsurarea puterii	173
8. Măsurarea energiei electrice	177
9. Măsurarea factorului de putere ( $\cos \varphi$ )	177
10. Măsurarea frecvenței	178
11. Reguli practice pentru folosirea aparatelor de măsurat	179
12. Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice	180
<b>Capitolul XII. Aparataj electric</b>	<b>182</b>
1. Generalități. Clasificare, definiții	182
2. Contacte electrice	184
3. Aparate de protecție. Relee	186
4. Aparate de conectare	205
5. Aparate de reglare	232
6. Cutii de distribuție	235
7. Celule de înaltă tensiune	236
8. Aparate pentru limitarea curenților de scurtcircuit	239
9. Montare, exploatare, întreținere	239
<b>Capitolul XIII. Transformatoarele</b>	<b>242</b>
1. Principiul de funcționare al transformatorului electric	242
2. Utilizarea transformatoarelor	246
3. Construcția transformatoarelor	247
4. Tensiunea de scurtcircuit și mersul în paralel al transformatoarelor	251
5. Autotransformatorul	252
6. Transformatoarele de măsură	254
<b>Capitolul XIV. Mașini asincrone</b>	<b>257</b>
1. Generalități	257
2. Producerea unui câmp magnetic învârtitor	258
3. Descompunerea unui câmp magnetic alternativ în două câmpuri magnetice învârtitoare	261
4. Principiul de funcționare al motorului asincron	262
5. Alunecarea motorului asincron	264
6. Cuplul motorului asincron	266
7. Construcția motorului asincron	268
8. Pornirea, schimbarea sensului de mers și reglajul turației la motoarele asincrone trifazate	271
9. Utilizarea motoarelor asincrone trifazate	272
10. Motorul asincron monofazat	273
11. Generatorul asincron	274
<b>Capitolul XV. Mașini sincrone</b>	<b>276</b>
1. Principiul de funcționare al generatorului sincron	276
2. Motorul sincron	280
3. Utilizarea mașinilor sincrone	282
4. Construcția mașinilor sincrone	282
5. Mersul în paralel al generatoarelor sincrone	286

<b>Capitolul XVI. Mașini de curent continuu</b>	<b>290</b>
1. Principiul de producere a curentului continuu în generatorul de curent continuu	290
2. Reacția indusului	295
3. Comutația	297
4. Excitația generatoarelor de curent continuu și caracteristicile la externe	299
5. Mersul în paralel al generatoarelor de curent continuu	304
6. Principiul de funcționare al motorului de curent continuu	304
7. Pornirea, reglarea turației și schimbarea sensului de mers la motorul de curent continuu	306
8. Diferite feluri de motoare de curent continuu și caracteristicile lor mecanice	308
9. Construcția mașinilor de curent continuu	312
<b>Capitolul XVII. Motoare de curent alternativ cu colector</b>	<b>315</b>
1. Motorul monofazat serie	315
2. Motorul monofazat cu repulsie	315
3. Motorul trifazat serie cu colector	316
4. Motorul trifazat derivație cu colector	317
<b>Capitolul XVIII. Convertizoare și redresoare</b>	<b>318</b>
1. Convertizoare rotative	318
2. Redresoare	319
<b>Capitolul XIX. Iluminat electric</b>	<b>328</b>
1. Noțiuni generale: mărimi și unități fotometrice de bază, sistem de iluminat	328
2. Izvoare de lumină	332
3. Aparat de iluminat	338
4. Calculul iluminatului cu corpuri de iluminat	339
5. Calculul iluminatului cu proiectoare	343
<b>Capitolul XX. Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale</b>	<b>344</b>
1. Generalități	344
2. Producerea și transportul energiei electrice	346
3. Stații și posturi de transformare	349
4. Distribuția energiei electrice	351
5. Îmbunătățirea factorului de putere	372
<b>Capitolul XXI. Protecția instalațiilor electrice</b>	<b>376</b>
1. Cazuri anormale în care trebuie să intervină dispozitivele de protecție	376
2. Curenții de scurtcircuit	379
3. Protecția motoarelor electrice	380
4. Protecția rețelelor electrice	383
5. Protecția transformatoarelor	384
6. Protecția instalațiilor contra supratensiunilor	385
<b>Capitolul XXII. Protecția contra accidentelor de electrocutare</b>	<b>386</b>
1. Accidente de electrocutare	386
2. Producerea accidentelor de electrocutare și mijloace pentru prevenirea lor	387
3. Protecția contra electrocutării prin punerea la pământ	391

<b>Capitolul XXIII. Tracțiunea electrică</b>	<b>393</b>
1. Noțiuni generale. Clasificarea principalelor tipuri de tracțiune electrică .....	393
2. Tracțiunea electrică feroviară	395
3. Tracțiunea electrică urbană	398
<b>Capitolul XXIV. Sudarea electrică</b> .....	<b>402</b>
1. Noțiuni generale. Clasificarea procedeelor de sudare electrică	402
2. Sudarea prin rezistență de contact	403
3. Sudarea prin arc electric	409
<b>Capitolul XXV. Acționarea electrică a utilajelor industriale</b>	<b>412</b>
1. Principiile generale ale acționării electrice .....	412
2. Alegerea motoarelor electrice în raport cu regimul de lucru	413
3. Echipamente și scheme electrice de acționare	418
<b>Capitolul XXVI. Procedeo electrotehnologice</b>	<b>423</b>
1. Cuptoare electrice .....	423
2. Procedeo electrochimice .....	429
3. Prelucrarea metalelor prin metoda anodo-mecanică	431
4. Prelucrarea (găurirea) metalelor prin scintei electrice	432
5. Încălzirea în electrolit și prin pierderi în dielectrice	433
6. Încălzirea prin radiații infraroșii	433
<b>Capitolul XXVII. Semnalizări și telecomunicații</b>	<b>435</b>
1. Semnalizări acustice și optice	435
2. Noțiuni de telegrafie	439
3. Noțiuni de telefonie	443
4. Noțiuni de radiofonie	447
5. Noțiuni de televiziune	451
<b>Tabla de materii</b>	<b>455</b>

Redactor responsabil: Ing. RĂSMERITA RODICA  
Tehnoredactor: RUSU VIRGINIA

---

Dat la cules 22.11.1969. Bun de tipar 20.03.1961.  
Apărut 1961. Tiraj 4000+120 ex. leg.  $\frac{1}{2}$  pinză.  
Hârtie semivellină de 65 g/m<sup>2</sup>, 16,61×88. Coli edi-  
toriale 26,204. Coli de tipar 28,75. A 06197.  
C.Z. pentru bibliotecile mari 621.3(075.36). C.Z. pen-  
tru bibliotecile mici 621.3.

---

Intreprinderea Poligrafică „13 Decembrie 1918”,  
str. Grigore Alexandrescu nr. 93—95, București,  
R.P.R., comanda nr. 3298.



# E R A T A

<i>Pag.</i>	<i>Rîndul</i>	<i>În loc de</i>	<i>Se va citi</i>	<i>Din vina</i>
345	7 de sus	7,7 mil kWh	7,7 miliarde kWh	Editurii
345	12 de sus	18 500 kWh	18,5 miliarde kWh	„