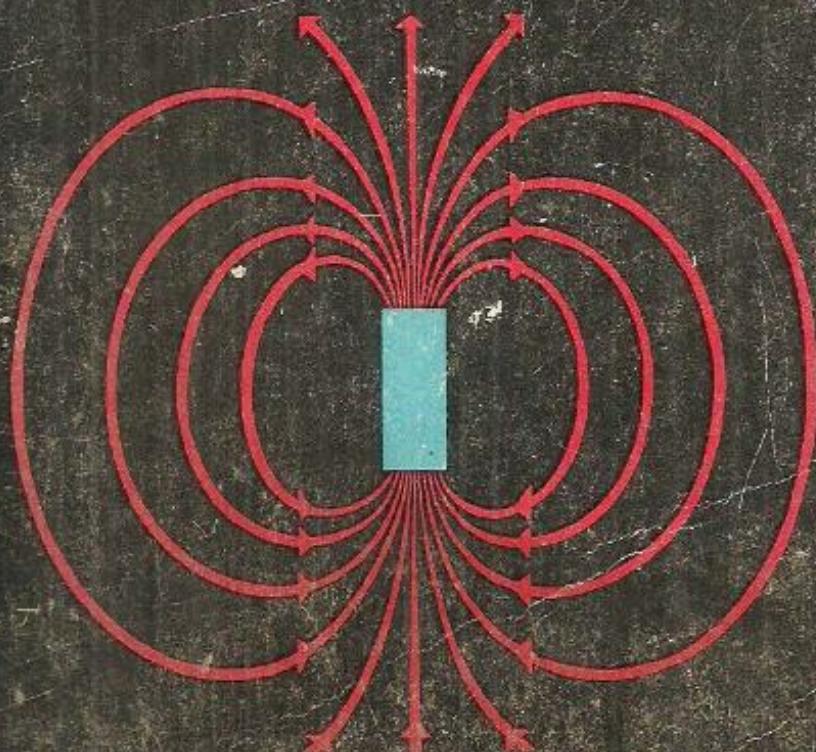


Gh. Cosma
L. Rădulescu

O. Florescu
M. Petrescu-Prahova

Fizica

Manual pentru anul III liceu
Secția umanistă



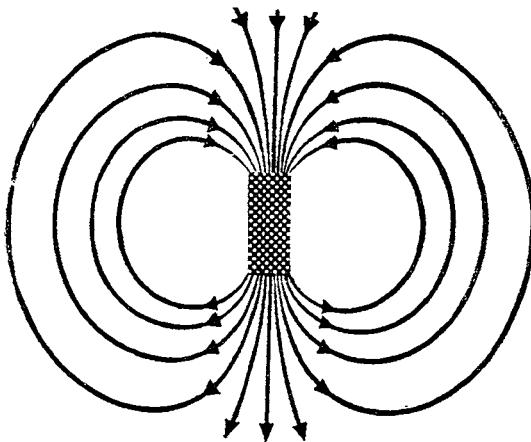
Gh. Cosma
L. Rădulescu

O. Floreşcu
M. Petrescu-Prahova

Fizica

Manual pentru anul III liceu

Sectia umanista



Editura didactică și pedagogică – București

**Manualul a fost elaborat
în anul 1967. A fost revizuit în 1969
Aprobat de Ministerul Educației și Învățământului,
cu nr. 40442/1967**

R e f e r e n t i :

**Pentru pag.: 1–161 și lucrările de laborator I–XIV
conf. univ.: C. Ruscior
șef de lucrări: A. Baltac
cercetător științific I.F.A.: M. Oncescu
prof. emerită: Aurelia Nicolau**

**Pentru pag.: 162–197 și lucrările de laborator XV–XVII
Prof univ. dr. docent: Margareta Giurgea
Dr. N. Martalogu**

**Redactor: prof. Gh. Enescu
Tehnoredactor: L. Antoniu**

E l e c t r o c i n e t i c a

I. Legile curentului electric continuu

A. Curentul electric

1. Noțiuni generale

Curentul electric privit în modul cel mai general apare ca un fenomen de deplasarea dirijată a unor particule cu sarcină electrică. Aceste particule încărcate pot fi: *electronii*, în metale, semiconductoare, gaze și în vid; *ionii*, în electrolitii, gaze sau vid.

Mișcarea dirijată a particulelor încărcate în interiorul corpurilor este posibilă datorită proprietății acestora de a permite deplasarea particulelor ca urmare a aplicării unui cimp electric.

Din acest punct de vedere, substanțele se clasifică în 3 categorii: *conductoare*, *semiconductoare*, *izolatoare*.

a. **Conductoarele** sunt acele substanțe prin care mișcarea dirijată a particulelor încărcate se poate face ușor. Ele sunt de două feluri:

— *metalele* (numite și *conductoare de clasa I*), care nu suferă nici o schimbare în natura lor chimică la trecerea curentului electric.

— *electrolitii*, în care se produc procese chimice în timpul trecerii curentului electric prin ei, cum sunt: sărurile, acizii, bazele și unii oxizi metalici în stare topită sau în stare de soluție.

b. **Izolanții** sunt substanțe care în general nu conduc curențul electric. Astfel sunt: aerul, porțelanul, marmura etc.

c. **Semiconductoarele** sunt substanțe solide cristalizate la care purtătorii de sarcină capabili de mișcare dirijată sunt în număr redus și care ocupă un loc intermediar între metale și izolanți.

Numeroase substanțe sunt semiconductoare, de exemplu seleniul (Se), germaniul (Ge), siliciul (Si), sulfura de plumb (PbS), oxidul de fier (Fe_2O_3), oxidul de cupru (CuO) etc.

Această clasificare se înțelege mult mai bine dacă ne referim la o mărime ce caracterizează substanțele din punct de vedere electric — *conductibilitatea electrică* — și care se va defini mai târziu.

Până atunci putem spune că: conductoarele au conductibilitate electrică foarte mare, la semiconductoare conductibilitatea electrică este mică, iar izolanții prezintă o conductibilitate electrică extrem de mică.

Conductibilitatea electrică mare a conductoarelor metalice se datorează structurii particulare a metalelor.

Un metal se prezintă ca o rețea cristalină formată din ioni pozitivi, în jurul căror se mișcă electronii de valență. O astfel de rețea spre deosebire de alte rețele cristaline se numește rețea metalică (fig. 1).

Deoarece distanța dintre doi ioni pozitivi este mai mică decât diametrul orbitei electronului de valență, orbitele electronilor periferici (de valență) se intersectează (fig. 2), slăbind astfel legătura dintre acești electroni și nucleul lor, ceea ce determină o trecere a acestor electroni din sferă de atracție a unor ioni în sferă altora deplasându-se astfel printre nodurile rețelei cristaline.

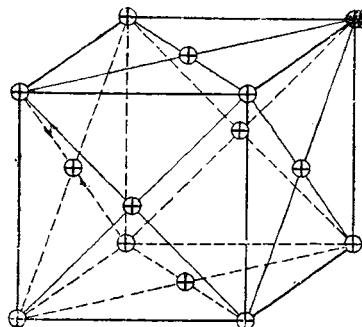


Fig. 1

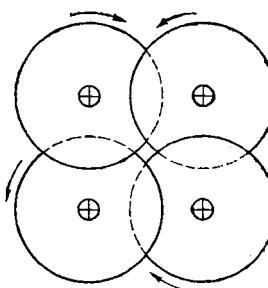


Fig. 2

S-a dat acestor electroni foarte slab legați de nucleul atomic numele de *electroni liberi*.

Mișcarea electronilor liberi din interiorul unui fir metalic nu constituie însă un curent electric.

Pentru a determina apariția unui curent electric prin firul metalic, este necesar să i se aplique o tensiune electrică.

Aceasta va suprapune peste mișcarea dezordonată o mișcare ordonată a electronilor liberi și astfel printr-o mișcare dirijată va apărea un curent electric.

Cimpul electric necesar se obține cu o tensiune electrică aplicată între extremitățile firului.

2. Generatorul electric

Să considerăm doi conductori izolați și electrizați, unul pozitiv *A* și celălalt negativ *B*, puși la oarecare distanță unul de altul. După cum se știe din electrostatică, fiecare conductor are un potențial electric conductorul *A* cu potențialul V_A , conductorul *B* cu potențialul V_B (fig. 3).

Între acești conductori există o diferență de potențial electric $V_A - V_B$ și deci un cimp electric.

Dacă se întinde între *A* și *B* un fir metalic *C* electronii din *B*, sub acțiunea forțelor cimpului electric, se mișcă prin firul conductor *C* și ajung pe conductorul *A*. Din această cauză potențialul conductorului *A* scade, iar al conductorului *B* crește și deci tensiunea (diferența de potențial) dintre *A* și *B* se micșorează pînă devine zero. Această deplasare a electronilor din *B* spre *A* prin conductorul *C* constituie un *curent electric* prin conductorul metalic.

Deoarece curentul electric printr-un metal constă dintr-o deplasare de electroni, se spune că metalele prezintă o *conductibilitate electronică*.

O dată cu dispariția tensiunii electrice dispără cimpul electric și deci și curentul electric. În

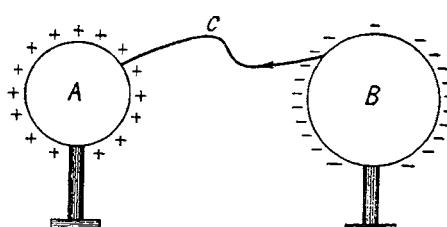


Fig. 3

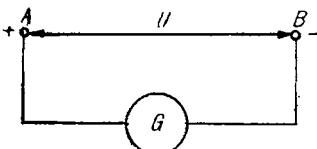


Fig. 4

Nu trebuie să se înțeleagă prin aceasta că noțiunea de generator este legată de durata curentului. În general orice dispozitiv care poate produce curent electric — indiferent de durata lui — este un generator electric. El asigură un regim staționar al curentului într-un conductor, adică menține mărimile caracteristice curentului la aceleași valori, dacă nu intervin alți factori care să le modifice.

Fiindcă tensiunea electrică condiționează producerea curentului electric, *generatorul electric sau sursa de curent* este acel dispozitiv electric care poate produce și întreține o tensiune electrică.

Tensiunea electrică se obține între două puncte ale generatorului, numite borne *A*, *B* (fig. 4).

Pentru producerea tensiunii electrice între *A* și *B* trebuie să se consume energie. Generatorul electric va trebui deci să furnizeze această energie.

După felul energiei care se transformă generatoarele electrice sunt de mai multe feluri:

1. Generatoare chimice de curent — elemente galvanice și acumulatori.
2. Termoelementele în care se transformă energia termică în energie electrică.
3. Fotoelementele în care se transformă energia luminoasă în energie electrică.
4. Dinamul și alternatorul în care se transformă energia mecanică în energie electrică.

3. Circuitul electric

Curentul electric se produce dacă între bornele generatorului se leagă unu sau mai mulți conductori într-un lanț continuu.

Totalitatea conductorilor prin care trece un curent electric constituie *circuitul electric*.

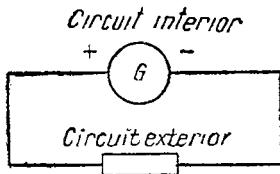


Fig. 5

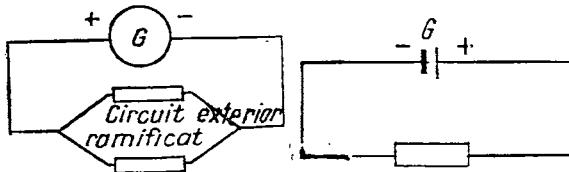


Fig. 6

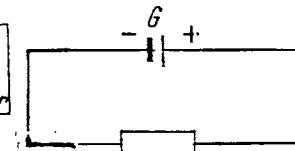


Fig. 7

Un circuit neîntrerupt este un *circuit închis*. Partea din circuit care se află în interiorul generatorului se numește *circuit interior*, iar partea din circuit de la o bornă a generatorului în afară prin consumator la cealaltă bornă a generatorului este *circuitul exterior* (fig. 5). Circuitul interior împreună cu circuitul exterior formează circuitul întreg sau total. Când există o întrerupere a circuitului, circuitul este *deschis*. Curentul electric nu poate exista decât dacă există un generator, iar circuitul este închis.

Circuitul electric poate fi: simplu (fig. 5) și ramificat (fig. 6).

În circuitul electric, electronii liberi se pot mișca fie mereu în același sens, fie schimbându-și periodic sensul; deci putem clasifica generatoarele de curent în: generatoare de curent continuu și în generatoare de curent alternativ.

Un circuit electric de curent continuu se reprezintă schematic ca în figura 7, în care G este generatorul electric. Borna negativă este reprezentată printr-o linie scurtă și groasă, iar cea pozitivă printr-o linie mai lungă și subțire.

4. Efectele curentului electric

Cu energia furnizată de generator, curentul electric produce numeroase efecte. Principalele efecte sunt:

a) *Efectul termic*, care constă în încălzirea conductorului parcurs de curent. Aplicații ale acestui efect întâlnim la reșou, ciocanul electric de lipit, becul electric etc.

b) *Efectul chimic*, numit și *electroliză*, care constă în dirijarea ionilor din electrolit prin trecerea curentului electric.

c) *Efectul magnetic* constă în producerea unui cîmp magnetic în jurul curentului (fig. 8). Acest efect însoțește întotdeauna curentul electric.

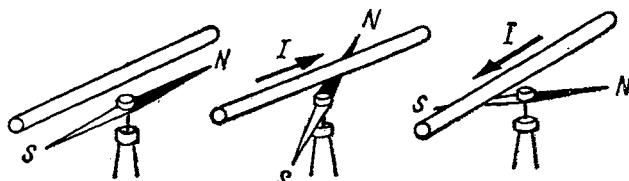


Fig. 8

Un dispozitiv electric în care se folosește curentul electric în scopul obținerii unuia sau mai multor efecte simultan se numește *consumator de curent sau receptor*.

Experimental se constată că efectul chimic și efectul magnetic depind de sensul curentului. S-a stabilit în mod convențional ca sens al curentului sensul în care se mișcă sarcinile pozitive, sens admis în electrotehnică. Acest sens este în exteriorul generatorului de la polul pozitiv la polul negativ.

Deși ulterior s-a stabilit că există cazuri în care curentul este o deplasare numai de electroni, totuși a rămas definitiv în știință și tehnica ca singur sens valabil al curentului sensul în care s-ar mișca sarcinile pozitive, dacă ar fi libere.

B. Intensitatea curentului electric

5. Definirea intensității curentului și unitatea de măsură

Un curent electric continuu se caracterizează prin două elemente: sensul și intensitatea.

Dacă se consideră un circuit electric și o secțiune transversală a lui, prin această secțiune trece în timp de o secundă un număr de electroni n , fiecare purtând aceeași sarcină electrică e .

Deci prin secțiunea transversală a circuitului parcurs de curent trece într-o secundă o cantitate de electricitate:

$$Q = n \cdot e.$$

Prin definiție se numește *intensitatea curentului electric* măriția fizică numeric egală cu cantitatea de electricitate care trece într-o secundă printr-o secțiune transversală a circuitului.

Intensitatea curentului se notează cu I . Dacă intensitatea curentului este constantă, atunci cantitatea de electricitate transportată de curent în timpul t va fi:

$$Q = I \cdot t, \text{ deci } I = \frac{Q}{t}. \quad (1)$$

Unitatea de intensitate a curentului în SI este *amperul* (simbol A). Definiția lui va fi dată în capitolul „Electromagnetism“.

Pentru măsurarea intensității curentului electric se folosesc galvanometrele și ampermetrele. Ele se construiesc pe baza unuia din efectele curentului electric și se montează în serie în circuit.

Unitatea de sarcină electrică în Sistemul Internațional se numește *coulomb* (simbol C). El se poate defini în funcție de amper conform relației (1):

Coulombul este cantitatea de sarcină electrică transportată în timp de o secundă de un curent continuu și constant cu intensitatea de 1 A.

$$1C = 1A \cdot 1s.$$

6. Intensitatea curentului electric într-un circuit

Fie un circuit electric simplu cu o sursă de curent continuu; se poate arăta experimental că oriunde, pe circuit, s-ar măsura intensitatea curentului electric, ea are aceeași valoare la un moment dat.

Pentru aceasta se pot monta 2—3 galvanometre pe circuit, în diferite locuri (fig. 9). Se constată că toate galvanometrele indică

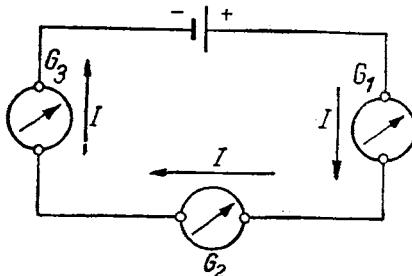


Fig. 9

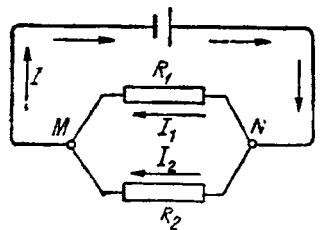


Fig. 10

aceeași intensitate. Acest lucru e ușor de înțeles dacă se ține seamă de faptul că un curent electric este o mișcare dirijată de purtători de sarcină. Electronii pornind de la borna negativă a generatorului trec prin receptoare și ajung la borna pozitivă a generatorului fără să se acumuleze în vreun punct al circuitului. Deci prin fiecare secțiune a circuitului trec în fiecare secundă același număr de electroni; ca urmare intensitatea curentului va fi aceeași.

La circuitul ramificat curentul are o intensitate în general diferită de la o ramură la alta (fig. 10).

C. Tensiunea și rezistența electrică. Legea lui Ohm

7. Tensiunea electrică pe circuit

Am arătat mai înainte că generatorul electric creează și întreține între două borne ale lui o tensiune electrică, care determină deplasarea purtătorilor de sarcină (electroni și ioni) printr-un receptor legat la cele două borne, constituind astfel curentul electric.

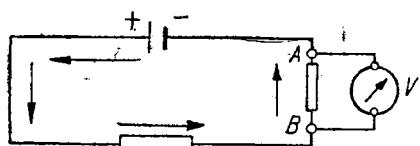
Această tensiune electrică determină un cîmp electric ale cărui forțe produc mișcarea electronilor (sau ionilor) prin circuit.

Între două puncte *A* și *B* luate în lungul unui circuit electric există de asemenea, o tensiune electrică *V* (fig. 11).

Deplasarea sarcinilor în cîmpul electric se face sub acțiunea forțelor electrice care efectuează un lucru dat de formula

$$L = Q \cdot U,$$

unde *Q* este sarcina electrică care străbate porțiunea de circuit, iar *U* tensiunea dintre *A* și *B*. Această relație o folosim pentru definirea tensiunii electrice între două puncte ale unui circuit electric.



Tensiunea electrică dintre două puncte ale unui circuit electric este o mărime electrică scalară numeric egală cu lucrul efectuat de

cîmpul electric pentru deplasarea unității pozitive de sarcină între cele două puncte:

$$U = \frac{L}{Q},$$

Relația mai poate fi scrisă și astfel:

$$U = \frac{\frac{L}{t}}{\frac{Q}{t}},$$

Dar $\frac{L}{t} = P$ (puterea electrică) și $\frac{Q}{t} = I$ (intensitatea curentului).

Astfel că $U = \frac{P}{I}$. Folosim această relație pentru definirea unității de tensiune.

Unitatea de tensiune electrică în SI este *voltul*.

Voltul este tensiunea electrică dintre extremitățile unei porțiuni de circuit în care un curent cu intensitate de 1 A dezvoltă o putere de 1 W.

Măsurarea tensiunii electrice se face cu voltmetrul.

Pentru măsurarea unei tensiuni electrice între două puncte ale unui circuit se leagă cele două borne ale voltmetrului cu cele două puncte, fără a întrerupe legătura dintre *A* și *B*, ca în figura 11. Spunem că voltmetrul este legat în paralel sau în derivăție cu porțiunea de circuit la bornele căreia există tensiunea ce trebuie măsurată.

Dacă punctele *A* și *B* între care se măsoară tensiunea sunt bornele unui generator, atunci tensiunea dintre ele se numește tensiune la borne și se notează cu U_0 .

Cu voltmetrul putem ușor verifica că orice porțiune de circuit parcurs de curent se află sub o tensiune electrică. Si deoarece există o porțiune de circuit și în interiorul generatorului, urmează că și acesteia îi corespunde o tensiune, pe care o notăm cu u . Ea se numește cădere de tensiune în generator.

Suma dintre tensiunea la borne și căderea de tensiune din interiorul generatorului formează tensiunea electromotoare.

Tensiunea electromotoare se notează cu litera *E*.

Deci

$$E = U_0 + u$$

Definiția tensiunii electromotoare reiese din definiția generală a unei tensiuni electrice.

Tensiunea electromotoare este o mărime electrică numeric egală cu lucrul produs pentru deplasarea unității de sarcină în întregul circuit.

Tensiunea electromotoare este o mărime caracteristică pentru orice generator de curent. Astfel elementul Léclanché are o tensiune electromotoare de 1,5 V.

8. Rezistența electrică

Experiențele sistematice au arătat că:

1) dacă se variază tensiunea electrică dintre extremitățile acelui și conductor, intensitatea curentului ce îl străbate variază proporțional cu tensiunea. Ea nu se schimbă dacă tensiunea rămîne constantă;

2) dacă se aplică tensiuni electrice egale la doi conductori diferiți, curenții electrici ce îi parcurg au intensități diferite.

Din aceste experiențe se deduce în mod logic că intensitatea curentului electric într-un conductor depinde și de natura conductorului.

Deoarece electronii, în mișcarea lor, se deplasează printre ionii rețelei metalice, trebuie să admitem că ei se mișcă mai ușor printr-un conductor decât printr-altul din cauza deosebirilor de structură a rețelei metalice.

Ciocnirile electronilor cu ionii rețelei metalice împiedică mai mult sau mai puțin mișcarea lor prin conductor.

Această explicație ne conduce la ideea de rezistență electrică, rezistență pe care o opune conductorul, mișcării electronilor liberi ai curentului.

Orice conductor metalic prezintă o rezistență electrică și în general orice corp care permite trecerea curentului prin el are o rezistență electrică.

Dacă intensitatea curentului care străbate un conductor este de n ori mai mică decât intensitatea curentului care străbate un alt conductor, cind i se aplică aceeași tensiune electrică, putem spune că rezistența electrică a primului conductor este de n ori mai mare ca a celui de-al doilea.

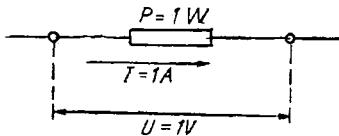


Fig. 12

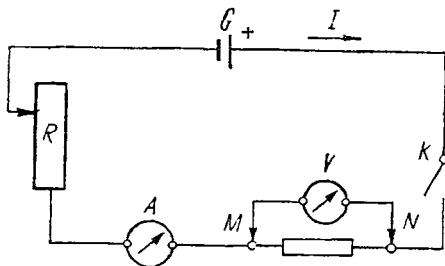


Fig. 13

De aici reiese că rezistență electrică este o mărime fizică caracteristică conductorului. Ea se notează cu r sau R și convențional se reprezintă ca în figura 12.

Conductorul care se utilizează — în diferite aplicații — pentru rezistență lui, se numește **rezistor**.

Unitatea pentru măsurarea rezistenței electrice în SI este **ohm-ul**.

Ohm-ul este rezistență electrică a unui conductor prin care trece un curent cu intensitatea de 1 A cind între capetele lui există o tensiune electrică de 1 V. Simbolul este Ω .

9. Legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit

Am văzut mai înainte că intensitatea curentului electric depinde de tensiunea electrică și de rezistența electrică a conductorului.

Relația de dependență între intensitatea curentului I , tensiunea electrică U și rezistența electrică R a fost stabilită experimental de către fizicianul german Georg Simon Ohm (1787—1854) și constituie legea lui Ohm:

$$I = \frac{U}{R},$$

adică:

Intensitatea curentului electric care străbate un conductor de rezistență R este proporțională cu tensiunea de la capetele conductorului U și invers proporțională cu rezistența R .

Legea a fost demonstrată mai tîrziu și teoretic.

Verificarea legii lui Ohm. Experiență. Se constituie un circuit electric dintr-un generator G , un reostat R (dispozitiv care permite

variația intensității curentului), un ampermetru A , așa cum se vede în figura 13.

În verificarea legii trebuie să arătăm experimental că raportul $\frac{U}{I}$ rămâne constant pentru un conductor dat, cind variază tensiunea.

În acest scop punem în porțiunea MN a circuitului, un conductor; apoi cu ajutorul reostatului, variem tensiunea electrică între M și N . Această tensiune este măsurată de un voltmetru pus în derivație pe conductor.

Cu ampermetrul A se măsoară de fiecare dată și intensitatea curentului.

Se obțin astfel mai multe perechi de valori:

$$U_1, I_1 \quad U_1 = 6 \text{ V} \quad I_1 = 3 \text{ A}$$

$$U_2, I_2 \text{ de ex: } U_2 = 10 \text{ V} \quad I_2 = 5 \text{ A}$$

$$U_3, I_3 \quad U_3 = 20 \text{ V} \quad I_3 = 10 \text{ A}$$

Se constată că într-adevăr oricare ar fi numărul de determinări:

$$\frac{U}{I} = \text{constant.}$$

Relația este valabilă pentru orice conductor metalic.
Ea nu se aplică semiconducțorilor.

10. Formula rezistenței electrice a unui conductor omogen de secțiune uniformă

Cu ajutorul legii lui Ohm se poate verifica că: *rezistența electrică a unui conductor metalic omogen cu secțiunea uniformă este proporțională cu lungimea conductorului, invers proporțională cu secțiunea lui transversală, depinde de natura substanței din care este făcut și de temperatură.*

Folosim același circuit ca în figura 13.

Cu reostatul R se menține tensiunea constantă între M și N , și se măsoară cu voltmetrul V .

Se experimentează cu conductori de lungimi diferite, de secțiuni diferite, de naturi diferite.

Experiențele decurg astfel:

a) Se pun în mod succesiv între M și N doi conductori de aceeași natură, de aceeași secțiune, dar de lungimi diferite, l_1 și l_2 .

La aceeași tensiune U , curenții sunt diferiți I_1 și I_2 , astfel că $\frac{I_1}{I_2} = \frac{l_2}{l_1}$, dar $I_1 = \frac{U}{R_1}$ și $I_2 = \frac{U}{R_2}$ după legea lui Ohm. Înlocuind valorile lui I_1 și I_2 în relația precedentă, se obține: $\frac{R_2}{R_1} = \frac{l_2}{l_1}$, adică rezistența electrică este proporțională cu lungimea conductorului: $R \sim l$.

b) Punând succesiv între M și N doi conductori de aceeași natură, de aceeași lungime, dar de secțiuni diferite S' , S'' pentru aceeași tensiune U , curenții sunt I' și I'' , astfel că $\frac{I'}{I''} = \frac{S'}{S''}$ cum $I' = \frac{U}{R'}$ și $I'' = \frac{U}{R''}$ prin înlocuire se obține $\frac{R''}{R'} = \frac{S'}{S''}$ și deci rezistența este invers proporțională cu secțiunea: $R \sim \frac{1}{S}$:

În concluzie se ajunge la stabilirea formulei

$$R = K \frac{l}{S} \quad (2)$$

c) Pentru a dovedi dependența rezistenței electrice a unui rezistor de *natura substanței*, se consideră două sîrme: una de fier și alta de cupru de aceeași lungime și aceeași secțiune care se introduc succesiv între M și N .

Menținând aceeași tensiune U la extremitățile lor, constatăm intensități diferite de curent I_1 și I_2 . După legea lui Ohm rezultă că și rezistențele electrice ale celor doi rezistori sunt diferite:

$$U = I_1 R_1 = I_2 R_2; I_1 \neq I_2, \text{ deci } R_1 \neq R_2.$$

d) Pentru a arăta cum variază rezistența unui conductor cu *temperatura*, se procedează astfel:

Se folosește drept conductor un fir de sîrmă din fier cu diametrul de 0,2 mm și lungimea de circa 5—10 m. Sîrma se înfășoară pe un cadru de lemn, spiră lîngă spiră.

Acest cadru cu sîrma de fier se introduce într-un vas cu petrol (lichid izolant), iar vasul se pune într-un alt vas cu apă.

Pentru a-i da temperatura 0°C , se pune vasul cu petrol în gheăță, care se topește.

Se măsoară rezistența electrică a sîrmei de fier la temperatura de 0°C și apoi rezistența ei la diferite temperaturi t_1 , t_2 , t_3 etc.

În acest scop folosim un voltmetru

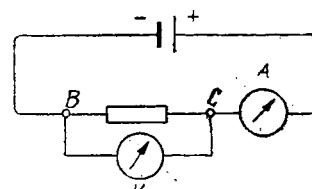


Fig. 14

pentru măsurarea tensiunii electrice de la extremitățile sîrmelui de fier și un ampermetru pus în serie cu ea pentru măsurarea intensității curentului (fig. 14).

Prin aplicarea legii lui Ohm se determină rezistențele sîrmelui de fier $R_1, R_2 \dots$ etc., corespunzătoare temperaturilor $t_1, t_2 \dots$ etc.

Se calculează apoi valorile rapoartelor $\frac{R_1 - R_0}{R_0 t_1}, \frac{R_2 - R_0}{R_0 t_2}$ etc., care reprezintă variația unității de rezistență produsă de o variație de temperatură de 1°C .

Cind măsurările sunt făcute cu precizie, se constată că aceste rapoarte au aceeași valoare.

Fie α valoarea lor comună. Atunci se poate scrie:

$$\frac{R_1 - R_0}{R_0 t_1} = \alpha; \quad \frac{R_2 - R_0}{R_0 t_2} = \alpha,$$

de unde:

$$R_1 = R_0 + \alpha R_0 t_1 \text{ și } R_2 = R_0 + \alpha R_0 t_2,$$

decic

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1); \quad R_2 = R_0(1 + \alpha t_2),$$

ceea ce ne permite să generalizăm:

$$R = R_0(1 + \alpha t).$$

α este coeficientul de variație al rezistenței electrice cu temperatura.

Acest coeficient este pozitiv și are aproximativ valoarea 0,004 pentru metalele pure. La cărbune α este negativ cu valoarea — 0,0003. La aliaje este mult mai mic. Astfel constantanul (un aliaj ce conține 54% Cu, 45% Ni și 1% Mn) are $\alpha = 0,00003$, iar manganimul (un aliaj cu următoarea compozitie: 86% Cu, 2% Ni, 12% Mn), $\alpha = 0,00001$.

11. Rezistivitatea

Experiența a arătat că rezistențele electrice a doi conductori, din substanțe diferite, dar de aceeași lungime, aceeași secțiune și aceeași temperatură sunt diferite.

Observind formula (2), înțelegem că coeficientul de proporționalitate K determină dependența rezistenței electrice de natura substanței.

S-a convenit ca acest coeficient să fie notat cu litera ρ și a fost numit *rezistivitatea* substanței.

De aceea formula rezistenței electrice a unui conductor va fi scrisă sub forma:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3)$$

pentru o temperatură dată și

$$R = \rho_0 \frac{l}{S} (1 + \alpha t) \quad (4)$$

pentru diferite temperaturi.

ρ_0 este rezistivitatea substanței la 0°C.

În Sistemul Internațional, *rezistivitatea unei substanțe este rezistența electrică a unui conductor confectionat din această substanță cu lungimea de 1 m și secțiunea de 1 m²*.

Scoatem valoarea lui ρ din formula (3): $\rho = R \frac{S}{l}$. Trecind la unități vom avea:

$$\langle \rho \rangle_{SI} = \langle R \rangle \frac{\langle S \rangle}{\langle l \rangle} \text{ sau } \langle \rho \rangle_{SI} = \Omega \cdot m.$$

Deci unitatea de rezistivitate în SI este $\Omega \cdot m$ (ohmmetru). Deoarece unitatea internațională este foarte mare, numărul care exprimă valoarea rezistivității este foarte mic, de exemplu la Cu, $\rho = 0,00000017 \Omega \cdot m = 17 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$.

Cum aceste numere sunt foarte incomode de utilizat în calculele curente, în locul rezistivității din SI se preferă o unitate de rezistivitate folosită în tehnică, care este rezistența electrică a unui conductor cu lungimea de 1 m și secțiunea de 1 mm²:

$$\langle \rho \rangle_{tehn} = \Omega \frac{mm^2}{m}.$$

Raportul celor două unități este:

$$\frac{\langle \rho \rangle_{SI}}{\langle \rho \rangle_{tehn}} = \frac{\Omega m}{\Omega mm^2} = \frac{m^2}{mm^2} = \frac{m^2}{(10^{-3}m)^2} = 10^6,$$

ceea ce ne arată că unitatea tehnică de rezistivitate este de 1 milion de ori mai mică ca cea din SI.

În cazul cuprului, rezistivitatea tehnică va fi:

$$\rho_{tehn} = 0,00000017 \times 10^6 = 0,017 \frac{\Omega mm^2}{m},$$

Dăm mai jos un tabel de rezistivități al substanțelor mai des întâlnite în practică:

Substanță	Rezistivitatea în SI $\Omega \cdot m$	Rezistivitatea în $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
Aluminiu	$2,8 \cdot 10^{-8}$	0,028
Argintul	$1,6 \cdot 10^{-8}$	0,016
Cuprul	$1,75 \cdot 10^{-8}$	0,0175
Fierul	$9,8 \cdot 10^{-8}$	0,098
Nichelul	$1,5 \cdot 10^{-7}$	0,15
Constantan	5 $\cdot 10^{-7}$	0,5
Manganin	$4,3 \cdot 10^{-7}$	0,43
Nichelin	$4,2 \cdot 10^{-7}$	0,42

Mărimea $\frac{1}{\rho} = \gamma$ se numește *conductivitate* sau *conductibilitate electrică* a substanței.

Unitatea de conductibilitate electrică în SI este $\Omega^{-1}m^{-1}$.

Mărimea electrică exprimată prin inversul rezistenței electrice $\left(\frac{1}{R}\right)$ se numește *conductanță*.

Revenind asupra conductibilității electrice a substanțelor, precizăm că:

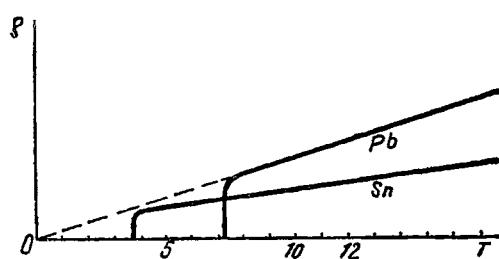
metalele au $\gamma = 10^7 - 10^6 \Omega^{-1}m^{-1}$;

semiconductorii — $\gamma = 10^2 - 10^{-8} \Omega^{-1}m^{-1}$;

izolații — $\gamma = 10^{-12} - 10^{-16} \Omega^{-1}m^{-1}$.

12. Supraconductibilitatea

Am stabilit formula $R = R_0(1 + \alpha t)$. La unele metale $\alpha > 0$, deci cind temperatura crește, rezistența electrică a metalelor crește și ea; cind scade temperatura, rezistența electrică descrește.



Acest lucru a și fost observat de Kammerling Onnes, care a arătat că la unele metale, ca plumbul (Pb), staniul (Sn) rezistența electrică scade brusc pînă la zero în apropiere de 0 K (fig. 15).

Prin dispariția rezistenței electrice, metalul devine un supraconductor, iar fenomenul e cunoscut sub denumirea de supraconductibilitate.

Intrebări recapitulative

1. Ce este curentul electric printr-un conductor?
2. Ce este circuitul electric și de cite feluri este?
3. Ce se numește intensitate a curentului?
4. Cum este intensitatea curentului în lungul unui circuit simplu?
5. Cum se explică rezistența electrică a unui conductor metalic?
6. Cum se definește rezistivitatea?
7. Care este definiția ohm-ului?

Exerciții

1. Printr-un conductor metalic a trecut în timp de 2 h un curent continuu și constant de 5 A. Care este cantitatea de electricitate transportată în acest timp de curent?
R: 36 000 C.
2. Tensiunea electrică aplicată unui reșou este de 220 V. Ce rezistență electrică are reșoul dacă intensitatea curentului este de 5 A?
R: 44Ω
3. Ce rezistență electrică are un aparat electric de încălzit dacă este făcut din nichelină cu diametrul de 0,4 mm și lungimea de 5 m?
R: $16,7 \Omega$
4. Care este lungimea unui rezistor confectionat din manganin cu diametrul de 0,5 mm, dacă curentul electric ce trece prin el trebuie să aibă intensitatea de 2 A sub o tensiune de 20V?
R: 4,56 m.

13. Reostate

Reostatele sunt dispozitive electrice confecționate din mai mulți rezistori etalonati sau neetalonati și care permit — cind sunt introdusi într-un circuit electric — să se varieze intensitatea curentului sau tensiunea într-o porțiune de circuit, variind rezistența electrică introdusă.

Rezistorii care alcătuiesc reostatele sint legați de obicei în serie. După modul cum se obține variația rezistenței introduse în circuit, reostatele sint:

- cu cursor,
- cu manetă,
- cu fișă.

a. **Reostatul cu cursor.** Este alcătuit dintr-un singur rezistor de nichelină sau cromnickel, infășurat pe un cilindru de portelan sau alt izolator.

Paralel cu cilindrul este întinsă o bară de-a lungul căreia alunecă un cursor. Schema unui astfel de reostat este reprezentată în figura 16.

Reostatul cu cursor se introduce în circuit în modul reprezentat în figura 17.

Rezistența totală a reostatului este aceea a rezistorului ac. Porțiunea din rezistor pe care reostatul o introduce în circuit este numai ad. Această porțiune este variabilă cînd cursorul se mișcă. În acest caz, intensitatea curentului variază, ceea ce face ca și tensiunea dintre M și N să varieze.

b. **Reostatul cu manetă.** La acest reostat sint legați în serie mai mulți rezistori etalonati, de rezistență $R_1, R_2, R_3 \dots$. Ei sint dispuși în diferite moduri, pe un suport izolator (fig. 18).

Contactul dintre doi rezistori este pus în legătură cu un plot (cui). Ploturile sint dispuse pe un arc de cerc în centrul căruia este axa unei manete.

Această manetă poate face contact cu ploturile, introducînd astfel în circuit unul sau mai mulți rezistori.

c. **Reostatul cu fișă.** Pentru diverse măsurători precise se utilizează reostatul cu fișă sau cutia cu rezistori.

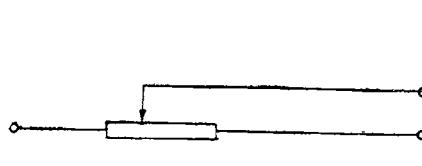


Fig. 16

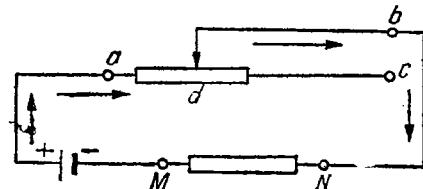


Fig. 17

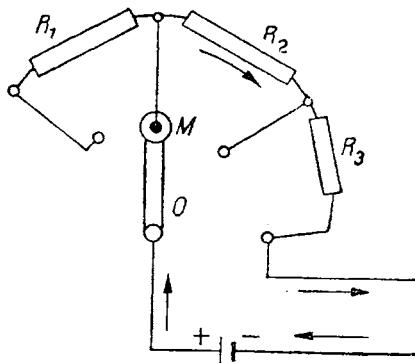


Fig. 18

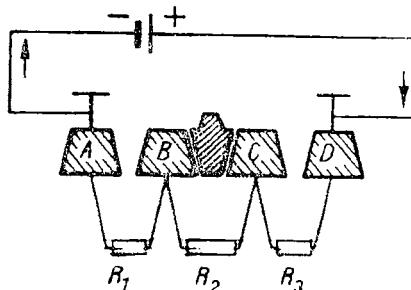


Fig. 19

Acesta este alcătuit din rezistori etalonați de 1Ω , 2Ω , 2Ω , 5Ω , 10Ω , 20Ω , 50Ω , 100Ω , 200Ω legați în serie.

Fiecare rezistor are capetele legate la două blocuri vecine și massive de alamă (fig. 19).

Dacă în orificiul dintre două blocuri vecine se introduce o fișă metalică, atunci rezistorul și rezistența lui sunt practic scoși din circuit.

Astfel fișa introdusă între blocurile B și C scoate din circuit rezistorul de rezistență R_2 .

Reostatele au aplicații numeroase în tehnică și în laboratoarele de electrotehnică. Electromotoarele sunt prevăzute cu reostate de pornire, în laboratoarele de cercetări sunt folosite în diverse măsurători de tensiune, rezistențe etc.

14. Legea lui Ohm pentru circuitul întreg

Vom considera un circuit închis, având generatorul G a cărui tensiune la borne este U_0 . În conformitate cu legea lui Ohm pentru o porțiune de circuit, în circuitul interior al generatorului se produce o cădere de tensiune $u = I \cdot r$, unde r este rezistența electrică a circuitului interior.

Dar aşa cum s-a mai arătat $U_0 + u = E$ reprezintă tensiunea electromotoare a generatorului.

Intrucit $U_0 = I \cdot R$ și $u = I \cdot r$, legea lui Ohm se mai poate exprima și prin relația:

$$IR + Ir = E \text{ sau } I = \frac{E}{R+r}. \quad (5)$$

Ultima formulă ne permite să enunțăm legea lui Ohm pentru întregul circuit astfel:

Intensitatea curentului electric care străbate un circuit este direct proporțională cu tensiunea electromotoare și invers proporțională cu rezistența totală a circuitului.

15. Măsurarea tensiunii electromotoare cu voltmetrul

O valoare a tensiunii electromotoare a unui generator foarte apropiată de valoarea reală se obține dacă măsurăm tensiunea la bornele generatorului în circuit deschis cu un voltmetru a cărui rezistență electrică R este mult mai mare decât rezistența interioară a generatorului. Putem scrie următoarele relații:

$$I = \frac{E}{R+r} \text{ și } \frac{U_0}{R} = I, \text{ de unde } \frac{U_0}{R} = \frac{E}{R+r}$$

și

$$E = U_0 \frac{R+r}{R} \text{ sau } E = U_0 \left(1 + \frac{r}{R}\right).$$

Rezistența interioară a generatorului fiind foarte mică față de rezistență R a voltmetrului, termenul din paranteză $\frac{r}{R}$ este neglijabil și deci putem scrie:

$$E \approx U_0.$$

Tensiunea electromotoare a unui generator de curent este determinată de particularitățile fenomenului ce se petrece în el și este o mărime caracteristică a lui.

Astfel, la unele generatoare, ca dinamul și alternatorul, tensiunea electromotoare apare ca un efect al fenomenului de inducție electromagnetică; la generatoarele chimice, cum sunt elementele galvanice tensiunea electromotoare este determinată de diferența de potențial de contact dintre conductořii de cl. I și cei de cl. a II-a, iar la fotoelemente de efectul fotoelectric în stratul de baraj etc.

Rezistența interioară este o altă mărime caracteristică a generatorului. Rezistența interioară a unui generator este determinată și de structura internă a generatorului, de felul conductorilor componente (metale, soluții). La unele generatoare, rezistența interioară se schimbă ca urmare a modificărilor chimice ce se petrec în generator în timpul funcționării.

Astfel la elementele galvanice această rezistență crește cu timpul. Mult mai stabilă este această rezistență interioară la dinamuri și alternatoare.

D. Legile lui Kirchhoff și aplicațiile lor

16. Legarea rezistorilor în serie și paralel. Legea I a lui Kirchhoff

În general, orice circuit electric este alcătuit din mai mulți rezistori, care pot fi diferenți prin substanța din care sunt confectionați sau prin dimensiunile lor. Fiecare conductor are o rezistență electrică.

Pe lângă diferențele introduse de particularitățile fiecărui rezistor, circuitele electrice se mai pot deosebi între ele și prin modul în care se leagă rezistorii între ei.

Rezistori conectați în serie. Rezistorii unui circuit pot fi legați unul în continuarea celuilalt. Aceasta este gruparea în serie (figura 20).

În general rezistența electrică a unui ansamblu de rezistori se numește rezistență echivalentă. O notăm cu R .

Dacă plasăm ansamblul acesta de conductori în circuitul unui generator de curent, prin toți conductorii va circula curent, cu aceeași intensitate I (fig. 21).

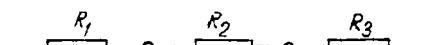


Fig. 20

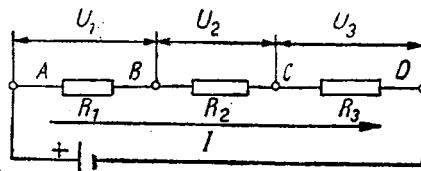


Fig. 21

18. Căderea de tensiune în lungul unui circuit

Se știe din lecțiile precedente că prezența unui curent electric într-un circuit este condiționată de existența unei tensiuni electrice între două puncte oarecare luate de-a lungul circuitului.

Să considerăm bornele *A* și *B* ale unui generator electric (fig. 24) și pe circuitul exterior un consumator de rezistență *R* care consumă, în mod normal, o putere *P* cind este legat de bornele generatorului prin firele de legătură *AC* și *BD*.

Prin consumator și prin firele de legătură circulă un curent de intensitate *I*.

După legea lui Ohm, tensiunea electrică U_0 între *A* și *B* este dată de relația:

$$U_0 = R_0 \cdot I \quad (9)$$

unde R_0 reprezintă rezistența electrică a circuitului exterior.

Este evident că $R_0 = R_1 + R$, unde R_1 este rezistența electrică a firelor de legătură.

Înlocuind în (9) pe R_0 cu expresia

$$R_1 + R,$$

obținem:

$$U_0 = IR_1 + IR.$$

IR este tensiunea luată de consumator, iar IR_1 este căderea de tensiune produsă de rezistența electrică a firelor *AC* și *BD*.

Se vede că pentru un consumator dat, această cădere de tensiune este proporțională cu rezistența firelor de legătură.

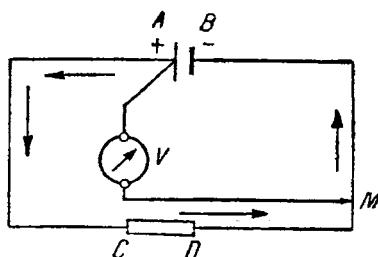


Fig. 24

În diferite aplicații ale curentului apar totdeauna pierderi de tensiune. Una din pierderile de tensiune inherentă producării curentului electric este căderea de tensiune din interiorul unui generator, element galvanic, dinam etc.

Căderi importante de tensiune apar în transportul energiei electrice la distanță.

unor fenomene se produc modificări în distribuția lor.

Întrucât la nodurile N_1 și N_2 nu se constată îngămădiri de sarcini, pe baza legii conservării sarcinilor în circuit se poate scrie $I = I_1 + I_2 + I_3$, relație care exprimă legea I a lui Kirchhoff a curenților derivați și care se enunță astfel:

Intensitatea curentului principal I este egală cu suma intensităților curenților derivați $I_1, I_2 \dots I_n$.

Generalizând pentru n rezistori:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i. \quad (7)$$

17. Calculul rezistenței echivalente unei grupări de rezistori legați în derivație

Pornim de la legea I a lui Kirchhoff:

$I = I_1 + I_2 + I_3$ și exprimăm fiecare intensitate prin legea lui Ohm:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3},$$

împărțim cu U și obținem

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Generalizând pentru n rezistori legați în paralel, putem scrie

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

sau

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}, \quad (8)$$

adică inversul rezistenței echivalente este egal cu suma inverselor rezistențelor derivațiilor.

Deoarece $\frac{1}{R}$ este conductanță, adevărul de mai sus se poate exprima astfel:

Conductanța unei grupări de rezistori legați în derivație este egală cu suma conductanțelor derivațiilor.

Aplicînd legea lui Ohm pentru fiecare rezistor R_1 , R_2 , R_3 , precum și pentru ansamblul lor de rezistență R , vom obține:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= V_A - V_B = IR_1 \\ U_2 &= V_B - V_C = IR_2 \\ U_3 &= V_C - V_D = IR_3 \\ U &= V_A - V_D = IR \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Adunînd relațiile (6), se obține:

$$U_1 + U_2 + U_3 = U = IR$$

sau înlocuind:

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = IR$$

sau

$$R_1 + R_2 + R_3 = R.$$

Deci rezistența echivalentă a unui sistem de rezistori legați în serie este egală cu suma rezistențelor rezistorilor.

Rezistori legați în paralel. Fie trei rezistori AB , CD , EF cu rezistențele R_1 , R_2 , R_3 (fig. 22, a). Legăm capetele A , C și E împreună

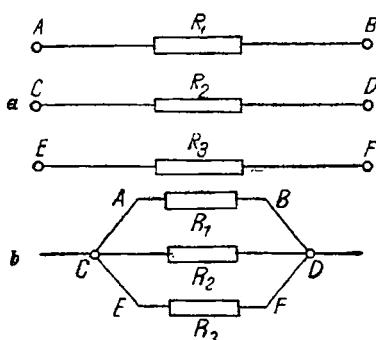


Fig. 22

într-un nod și capetele B , D , F împreună într-un alt nod. Se obține o legătură în paralel (sau în derivăție) a rezistorilor (fig. 22, b). Fiecare ramură a acestei grupări constituie o derivăție.

Introducem gruparea în circuitul unui generator electric (fig. 23). Fie N_1 și N_2 nodurile de legătură ale grupării.

Curentul de intensitate I ajungînd la nodul N_1 , se ramifică în curentii derivați de intensități I_1 , I_2 , I_3 .

Potrivit legii conservării sarcinilor electrice, într-un conductor izolat sau într-un circuit electric închis suma sarcinilor electrice pozitive și a celor negative rămîne constantă și atunci cînd din cauza

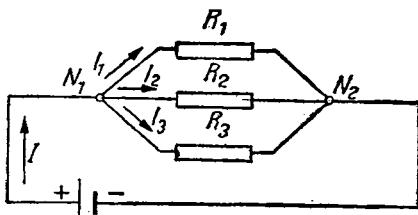


Fig. 23

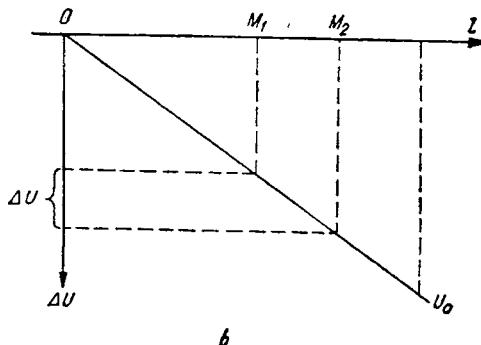
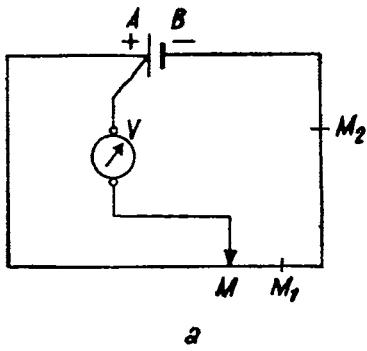


Fig. 25

Concluziile la care am ajuns ne permit să calculăm ce tensiune trebuie să furnizeze o rețea electrică pentru a se obține o anumită tensiune (dorită) la bornele receptorului.

De exemplu să facem acest calcul pentru o sobă electrică de putere $P=500$ W și $R=20 \Omega$. Prin calcul se găsește $I=5$ A.

Să presupunem că rezistența firelor de legătură este $R_l=1 \Omega$.

Pe baza legii lui Ohm se calculează tensiunea la bornele consumatorului (sobei electrice):

$$U=20 \Omega \cdot 5 \text{ A}=100 \text{ V}.$$

Atunci tensiunea la rețea U_0 trebuie să fie:

$$U_0=U_1+U \text{ și } U_0=5 \text{ V}+100 \text{ V}=105 \text{ V}$$

unde $U_1=5$ V reprezintă cădere de tensiune în firele de legătură.

O cădere de potențial are loc în mod continuu de la polul pozitiv al generatorului, la polul negativ.

Diferența de potențial dintre polul pozitiv al generatorului și un punct oarecare M luat în lungul circuitului exterior (fig. 25, a) variază liniar cu lungimea circuitului exterior omogen și de secțiune uniformă (fig. 25, b):

$$V_A-V_M=K \cdot l,$$

unde V_A-V_M este tensiunea dintre polul pozitiv al generatorului și punctul considerat.

19. Rezistența voltmetrului

Orice voltmetru prezintă o rezistență electrică. Când se măsoară o tensiune electrică, prin aparat trece un curent electric de intensitate I .

Întrucât un voltmetru nu poate suporta un curent mai intens decât o valoare limită I_0 , înseamnă că un voltmetru dat nu poate măsura o tensiune mai mare ca $U_0 = I_0 R_v$, unde R_v este rezistența proprie a voltmetrului.

Această valoare maximă ce se poate măsura U_0 se numește *limită de măsurare*.

Există voltmetre cu care se pot măsura tensiuni cuprinse între 0 și 6 V, 0 și 12 V, 0 și 15 V, 0 și 250 V etc.

Totuși cu un voltmetru dat, având o limită de măsurare proprie U_0 , se pot măsura și tensiuni mai mari, dacă se pune în serie cu aparatul de măsură un rezistor având o anumită rezistență.

Să luăm un exemplu: un circuit parcurs de un curent cu intensitatea I prezintă între punctele M și N (fig. 26) o tensiune U mai mare ca limita de măsurare U_0 .

Pentru măsurarea tensiunii se leagă o bornă a voltmetrului direct la punctul M , iar cealaltă prin intermediul unui rezistor de rezistență R_1 la punctul N .

Ne propunem să determinăm această rezistență R_1 considerind că tensiunea maximă pe care trebuie să-o măsoare voltmetrul este U .

Aplicând legea lui Ohm, putem scrie:

$$I = \frac{U_0}{R_v} = \frac{U}{R_v + R_1} = \frac{U - U_0}{R_1},$$

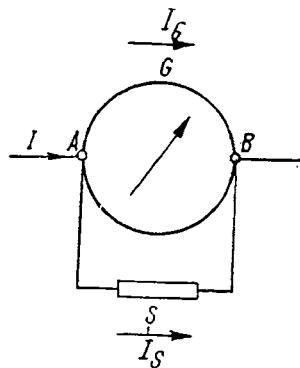
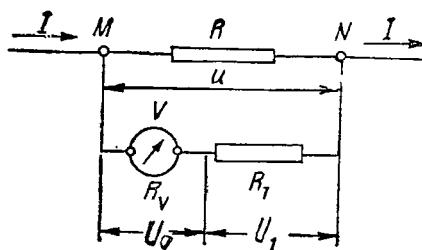


Fig. 26

Fig. 27

de unde:

$$R_1 = R_v \frac{U - U_0}{U_0},$$

Dacă $U - U_0 = nU_0$, se obține formula simplă

$$R_1 = nR_v \text{ unde } n = \frac{U}{U_0} - 1.$$

Şuntul. Galvanometrele și ampermetrele prezintă și ele o limită de măsurare a intensității curentilor.

Această limită de măsurare poate fi extinsă la curenti mai intenși dacă se folosește șuntul. Aceasta este un rezistor conectat în paralel cu galvanometrul (fig. 27).

Curentul principal I se ramifică în nodul A astfel încât o parte trece prin galvanometrul I_G , iar restul prin șunt, I_S .

După legea I a lui Kirchhoff pentru curentii derivați

$$I = I_G + I_S.$$

Dacă R_G este rezistența galvanometrului și R_S rezistența șuntului, atunci se poate scrie:

$$I_S R_S = I_G R_G$$

(legea lui Ohm).

Din această relație se obține rezistența șuntului:

$$R_S = R_G \frac{I_G}{I_S},$$

Se pot construi șunturi pentru diferite intensități de curent. Pe fiecare șunt este scrisă limita de măsurare pentru care este construit. Astfel sunt șunturi pentru 100 mA, 0,5 A, 1 A, 2 A etc.

Șunturile sunt anexe ale unui ampermetru dat. În utilizarea șuntului întreaga scală a galvanometrului valorează cît arată șuntul. Astfel dacă scara ampermetrului are 10 diviziuni și se folosește cu un șunt de 100 mA, valoarea unei diviziuni este de 10 mA.

E. Energia și puterea curentului electric

20. Unități de măsură

Energia furnizată de generator este transportată de curentul electric în toate părțile circuitului închis.

Valoarea acestei energii poate fi calculată pentru o porțiune de circuit între extremitățile căreia este stabilită o tensiune electrică U .

$$W=Q \cdot U; Q=It \text{ și deci } W=UIT, \quad (10)$$

iar puterea electrică dezvoltată în aceeași porțiune de circuit este

$$P=\frac{W}{t} \text{ sau } P=UI.$$

Considerind legea lui Ohm, pot fi obținute și alte formule echivalente pentru putere:

$$P=RI^2 \text{ sau } P=\frac{U^2}{R}.$$

Unitatea de putere în SI este wattul, simbol W:

$$1 \text{ W}=1 \Omega \cdot 1 \text{ A}^2.$$

Se utilizează și submultiplii (mW și μ W) sau multiplii (kW și MW) wattului

$$1 \text{ mW}=10^{-3} \text{ W}; 1 \mu\text{W}=10^{-6} \text{ W}, \text{ utilizate mai ales în radiotehnică.}$$

$$1 \text{ kW}=1000 \text{ W} \text{ (pentru măsurarea puterii electromotoarelor);}$$

$$1 \text{ MW}=10^6 \text{ W} \text{ (pentru măsurarea puterii electrice a centralelor electrice).}$$

Puterea electrică consumată într-un receptor se măsoară cu wattmetrul. Energia electrică consumată de un receptor se măsoară cu contorul.

21. Transformarea energiei electrice în cantitate de căldură. Legea lui Joule

Experiența arată că un curent electric încălzește conductorul prin care trece.

Această încălzire demonstrează transformarea energiei electrice în cantitate de căldură. Procesul acesta are loc conform legii transformării și conservării energiei.

Deci, dacă notăm cu Q cantitatea de căldură rezultată și cu W energia electrică transformată, relația de transformare va fi $Q=W$, deci:

$$Q=W=RI^2t. \quad (11)$$

Adică: cantitatea de căldură dezvoltată într-un conductor de un curent electric este proporțională cu rezistența conductorului, cu patratul intensității curentului și cu timpul (legea lui Joule).

În Sistemul Internațional Q e dat în jouli, dacă R e exprimat în ohmi, I în amperi și t în secunde.

Legea poate fi verificată experimental prin montajul din figura 28. Același curent I trece prin doi rezistori R_1 și R_2 introdusi în calorimetrele C_1 și C_2 în care se găsesc cantități egale din aceleași lichide (apă sau petrol).

Termometrele T_1 și T_2 arată după un timp θ creșterile de temperatură $\Delta_1 T$ și $\Delta_2 T$.

Se dezvoltă cantitățile de căldură:

$$Q_1 = mc \Delta_1 T;$$

$$Q_2 = mc \Delta_2 T; \text{ raportul lor este } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\Delta_1 T}{\Delta_2 T},$$

$$\text{Se constată că } \frac{\Delta_1 T}{\Delta_2 T} = \frac{R_1}{R_2} \text{ și deci } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (12)$$

Pe de altă parte, dacă aplicăm legea lui Joule, obținem:

$$Q_1 = R_1 I^2 t;$$

$$Q_2 = R_2 I^2 t; \text{ raportul lor dă } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2},$$

deci relația (12) verifică legea lui Joule.

Într-o altă serie de experiențe se variază timpul. În acest caz e suficient un singur calorimetru; al doilea calorimetru se scoate din circuit.

$$\text{Se obține: } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\Delta_1 t}{\Delta_2 t} = \frac{\theta_1}{\theta_2},$$

unde θ_1 și θ_2 sunt duratele trecerii curentului prin calorimetru.

Variind intensitatea curentului, găsim:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\Delta_1 T}{\Delta_2 T} = \frac{I_1^2}{I_2^2},$$

F. Aplicațiile efectului termic al curentului electric

a. **Cuptoarele electrice.** Sunt utilizate în industria metalurgică la topirea metalelor și călirea oțelurilor. În cuptoarele cu rezistență căldura se dezvoltă în rezistori de forme speciale spirale sau bare.

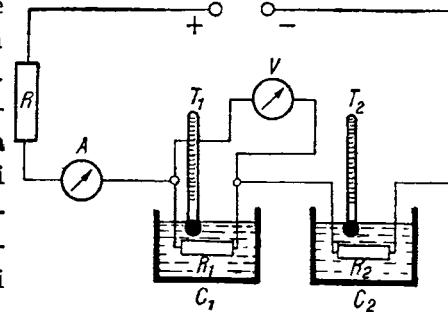


Fig. 28

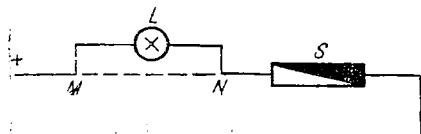


Fig. 29.

În țara noastră se folosesc cuptoare electrice la Reșița, Hunedoara, la Fabrica de țevi Roman, la Uzinele de tractoare din Brașov etc.

b. Siguranța fuzibilă. Este un fir subțire de sîrmă, cu lungime și secțiune determinată, care se pune în serie în circuitul electric spre a proteja instalația electrică împotriva curentilor intenși.

Cu *siguranța fuzibilă* se evită stricăciunile produse de un *scurtcircuit*. Dacă între M și N (fig. 29) se stabilește o legătură în paralel printr-un fir metalic de rezistență neglijabilă față de rezistență becului L , se produce un scurtcircuit.

În momentul producerii scurtcircuitului firul metalic care constituie siguranță S se topesc prin efect termic și întrerupe circuitul, protejînd astfel instalația electrică.

Siguranțele se construiesc pentru diferite intensități de curent.

c. Ampermetrele și voltmetrele termice sunt și ele bazate pe efectul termic al curentului electric.

Aceste aparate sunt însă în general puțin precise și de aceea sunt mai rar utilizate.

Întrebări recapitulative

1. Ce este tensiunea electromotoare?
2. Care este enunțul legii lui Ohm pentru o porțiune de circuit și pentru întregul circuit?
3. Ce este un reostat? Ce fel de reostate cunoașteți?
4. În câte moduri distințe se pot lega între ei conductorii?
5. Ce este cădereea de tensiune și cum variază ea în lungul unui circuit?
6. Ce condiție trebuie să îndeplinească un voltmetru pentru a nu se face erori prea mari în utilizarea lui? Dar un ampermetru?
7. Ce unități de măsură cunoașteți pentru puterea și energia curentului electric și cum se definesc?

Cuptoarele electrice au numeroase avantaje față de alte tipuri de cuptoare, între altele ele pot fi automatizate.

În țara noastră se folosesc cuptoare electrice la Reșița, Hunedoara, la Fabrica de țevi Roman, la Uzinele de tractoare din Brașov etc.

b. Siguranța fuzibilă. Este un fir subțire de sîrmă, cu lungime și secțiune determinată, care se pune în serie în circuitul electric spre a proteja instalația electrică împotriva curentilor intenși.

Cu *siguranța fuzibilă* se evită stricăciunile produse de un *scurtcircuit*. Dacă între M și N (fig. 29) se stabilește o legătură în paralel printr-un fir metalic de rezistență neglijabilă față de rezistență becului L , se produce un scurtcircuit.

În momentul producerii scurtcircuitului firul metalic care constituie siguranță S se topesc prin efect termic și întrerupe circuitul, protejînd astfel instalația electrică.

Siguranțele se construiesc pentru diferite intensități de curent.

c. Ampermetrele și voltmetrele termice sunt și ele bazate pe efectul termic al curentului electric.

Aceste aparate sunt însă în general puțin precise și de aceea sunt mai rar utilizate.

Exerciții

1. Doi rezistori se leagă în serie și au o rezistență echivalentă de 10Ω . Aceiași rezistori legați în paralel prezintă o rezistență echivalentă de $2,4\Omega$. Ce valoare are rezistența fiecărui rezistor?

R: $R_1=4\Omega$; $R_2=6\Omega$.

2. Ce rezistență trebuie să aibă un rezistor legat în serie cu un voltmetru a cărui limită de măsurare este de 12 V pentru a putea măsura cu el o tensiune de 120 V ? Rezistența voltmetrului este $R_v=150\Omega$.

R: $R = 1350\Omega$.

3. Un galvanometru cu limită de măsurare 10 mA și $R_g=50\Omega$ urmează a fi utilizat la măsurarea unui curent a cărui valoare maximă este de 100 mA . Să se calculeze rezistența shuntului ce trebuie adăugat galvanometrului. Ce putere (exprimată în mW) absorbe galvanometrul cind este shuntat dacă întreaga sa scală are 100 diviziuni, iar acul deviază pînă la dreptul diviziunii 30?

R: $5,5\Omega$; $4,45\text{ mW}$.

4. Ce curent trebuie să circule și care va trebui să fie tensiunea la care să fie alimentat un fierbător electric pentru a produce în 10 min . fierberea unui litru de apă? Rezistența fierbătorului este de 30Ω , randamentul 75% , iar temperatura inițială a apei este 20°C .

R: $\approx 5\text{ A}$; $\approx 150\text{ V}$.

Curentul electric prin electroliți

A. Electroliza și legile ei

22. Electroliți. Ioni. Conductibilitate ionică

Am văzut în lecțiile precedente că metalele prezintă o conductibilitate electrică ce se realizează prin electroni liberi.

Există însă și alte substanțe care sunt conductoare, dar la care conductibilitatea electrică se datorează altor particule — ionii.

În aceasă categorie de substanțe intră acizii, bazele, sărurile și unii oxizi metalici în stare topită sau în soluție în anumiți dizolvanți.

Experiență: Într-un cristalizator se introduc apă distilată și două sîrme de platină, care se pun în legătură cu o sursă de curent continuu (o baterie electrică).

Cu un galvanometru pus în circuit se constată lipsa curentului electric, ceea ce dovedește că apa distilată nu conduce curentul electric (fig. 30).

Dacă punem însă cîteva picături de acid sulfuric în apa din cristalizator, galvanometrul indică trecerea curentului electric prin soluție (fig. 31).

Se poate face experiență și cu o bază sau o sare. Cele două sîrme de platină se numesc electrozi.

Electrodul legat la polul pozitiv al sursei de curent se numește *anod* (*A*), iar cel legat la polul negativ *catod* (*K*).

Electrozii fiind legați la polii sursei de curent prezintă între ei o tensiune electrică *U*.

După cum se știe din chimie, soluțiile acizilor, bazelor, sărurilor în stare topită sau în soluție, conțin ioni liberi — particule de substanță electrizate pozitiv sau negativ.

Substanțele cu legături ionice se numesc electrolitii.

Experiența arată că electrolitii care reprezintă o două clasă de conductoare se descompun o dată cu trecerea curentului electric.

Deoarece trecerea curentului prin electrolitii se produce prin mișcarea dirijată a ionilor pozitivi și negativi la electrozi, conductibilitatea electrică a electrolitilor a fost numită *conductibilitate ionică*.

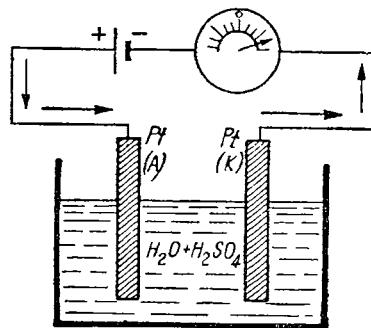
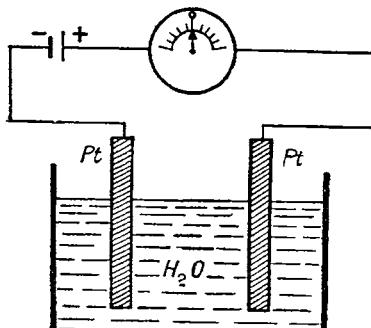


Fig. 30

Fig. 31

23. Electroliza

Fenomenul complex care constă în dirijarea prin cîmp electric a ionilor unui electrolit spre electrozi și neutralizarea lor la electrozi cu formare de noi substanțe se numește *electroliză*.

În timpul electrolizei, energia electrică a curentului se transformă parțial în energie chimică.

Procesul electrolizei a fost studiat și lămurit de fizicianul englez Michael Faraday.

În laborator producerea electrolizei are loc într-un aparat special numit *voltametru*.

Aparatele industriale se numesc *cuve electrolitice* (vezi figura de la pag. 41).

Forma și construcția voltametrului depind de destinația ce i se dă. El poate fi un simplu vas de sticlă în care se introduce lichidul de electroliză și doi electrozi. Electrozii pot fi din cărbune de retortă sau metalici (Cu, Fe, Ni, Pt).

Desfășurarea procesului electrolizei se poate arăta cu un voltametru de sticlă constituit dintr-un tub în formă de *U* cu doi electrozi de cărbune (fig. 32). În el se introduce clorură de plumb în stare topită: $PbCl_2$. Cu o baterie electrică *E* aplicăm voltametrului o tensiune *U*. Constatăm că după cîțva timp (1–2 min), catodul *K* se acoperă cu plumb, iar la anod se dezvoltă clor, care se recunoaște după miros. În acest caz are loc o descompunere a clorurii de plumb ($PbCl_2$) în elementele ei componente: Pb și Cl. Galvanometrul *G* indică trecerea unui curent electric *I*.

Explicația este următoarea: în clorura de plumb topită se găsesc ioni liberi de plumb și de clor. Aflîndu-se în cîmpul electric creat de

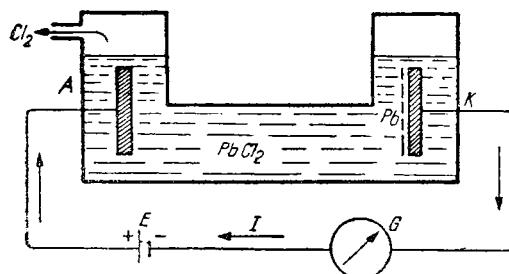


Fig. 32

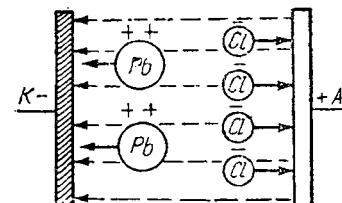
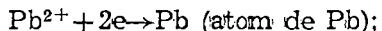


Fig. 33

tensiunea dintre electrozi, acești ioni încep să se miște dirijat spre electrozi, sub acțiunea forțelor electrice (fig. 33).

Ionii de plumb Pb^{2+} (cationi) se mișcă în sensul liniilor de forță ale cîmpului electric, adică spre catod, iar ionii de Cl^- în sens contrar, adică spre anod (anionii). Mișcarea ionilor este uniformă.

La contactul cu electrozii, ionii se neutralizează, primind sau cedînd sarcini electrice și se transformă în substanțe neutre:



Cei doi curenti de ioni produc o trecere de electroni de la catod la anod și astfel curentul electric prin electrolit apare ca un curent de transport prin intermediul ionilor.

Se observă următoarea regulă în electroliză: metalele și hidrogenul (fiindcă dau ioni pozitivi) se separă la catod, radicalii acizi și oxidrilul (fiindcă dau ioni negativi) se separă la anod.

Cele dintâi produse ce apar în electroliză la electrozi, ca urmare a neutralizării ionilor, se numesc *produse primare*.

În majoritatea proceselor de electroliză produsele primare dau naștere, prin reacții chimice, unor produse secundare (vedeți și manualul de chimie an. I liceu).

24. Legile electrolizei

Electroliza urmează două legi descoperite de Faraday.

Legea I. Cantitatea de substanță m separată prin electroliză la un electrod este proporțională cu intensitatea curentului și cu timpul cât a trecut acesta.

$$m = K \cdot I \cdot t, \quad (13)$$

unde K este un coeficient de proporționalitate, numit *echivalent electrochimic* al substanței depuse.

Fiindcă $I \cdot t = Q$, formula care exprimă legea I se mai poate scrie și astfel: $m = K \cdot Q$.

Din această formulă se obține:

$$K = \frac{m}{Q}, \quad (14)$$

**Tabel cu echivalenții electrochimici
pentru cîteva substanțe**

Substanță	K, în mg/C
Hidrogen	0,0104
Argint	1,118
Oxigen	0,0829
Cupru	0,329
SO_4	0,498

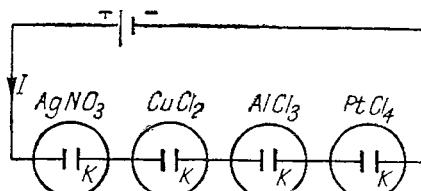


Fig. 34

adică

echivalentul electrochimic este cantitatea de substanță separată la un electrod de o cantitate de electricitate egală cu un coulomb.

Coefficientul K este foarte mic. El se poate măsura în g/C sau mg/C.

Legea a II-a stabilește dependența echivalentului electrochimic de natura substanței.

Experiență: Se pun în serie mai multe voltametre cu elektroliți diferenți: $AgNO_3$, $CuCl_2$, $AlCl_3$, $PtCl_4$ în soluție și se introduc într-un circuit cu o sursă de curent continuu, conform schemei din figura 34.

După trecerea unui timp determinat se separă la catozii voltametrelor m_1 grame argint, m_2 grame cupru, m_3 grame aluminiu, m_4 grame platin.

Voltametrele fiind în serie, aceeași cantitate de electricitate a produs electroliza în fiecare voltametru.

Orice metal se caracterizează prin mărimea chimică numită *echivalent chimic*. Notăm echivalentul chimic cu litera M . Prin definiție $M = \frac{A}{n}$, unde A reprezintă masa atomică și n valența metalului.

Fie M_1 , M_2 , M_3 , M_4 echivalenții chimici ai metalelor considerate, Ag , Cu , Al și Pt .

Prin numeroase experiențe efectuate cu un montaj ca cel din figura 34 se constată că:

$$\frac{m_1}{M_1} = \frac{m_2}{M_2} = \frac{m_3}{M_3} = \frac{m_4}{M_4} = \text{constant},$$

rezultat care exprimă:

Cantitățile de substanțe separate la catod de aceeași sarcină electrică, din electroliți diferenți, sunt proporționale cu echivalenții chimici ai acestor substanțe.

Considerind și legea I, relația de mai sus duce la o altă relație:

$$m_1 = K_1 \cdot Q \quad \frac{K_1 Q}{M_1} = \frac{K_2 Q}{M_2} = \frac{K_3 Q}{M_3} = \frac{K_4 Q}{M_4} = \text{constant sau}$$

$$m_2 = K_2 \cdot Q$$

$$m_3 = K_3 \cdot Q$$

$$m_4 = K_4 \cdot Q$$

$$\frac{K_1}{M_1} = \frac{K_2}{M_2} = \frac{K_3}{M_3} = \frac{K_4}{M_4} = \text{constant sau}$$

$$\frac{K_1}{M_1} = \frac{K_2}{M_2} = \frac{K_3}{M_3} = \frac{K_4}{M_4} = \text{constant.}$$

Pe baza ultimei relații putem enunța astfel *legea a II-a a electrolizei*:

Echivalenții electrochimici ai substanțelor separate prin electroliză sunt proporționali cu echivalenții lor chimici.

Valoarea raportului constant dintre echivalentul electrochimic și echivalentul chimic este 0,00001036 cind K se măsoară în g/C.

Urmează deci că putem scrie în general:

$\frac{K}{M} = 0,00001036$ g/C pentru orice substanță ce se separă la un electrod prin electroliză.

Cele două legi pot fi întrunite și exprimate printr-o singură formulă:

$$m = 0,00001036 \cdot M \cdot I \cdot t \text{ sau}$$

$$m = 0,00001036 \cdot M \cdot Q.$$

Ultima formulă ne conduce la un rezultat foarte important.

Să presupunem că efectuăm electroliza pînă ce se separă la un electrod o cantitate de substanță $m_0 = M$ grame, adică egală cu un echivalent gram. În acest caz putem scrie că:

$$M = 0,00001036 \cdot M \cdot Q_0.$$

Simplificind, se obține

$$1 \text{ C} = 0,00001036 \text{ } Q_0$$

și

$$Q_0 = \frac{1 \text{ C}}{0,00001036} \approx 96\ 500 \text{ C.}$$

Acest rezultat se interprează astfel:

Pentru separarea unui echivalent gram de substanță la un electrod este necesară aceeași cantitate de electricitate, indiferent care

ar fi substanță ce se separă. Această cantitate de electricitate este deci o constantă = 96 500 C și a fost numită numărul lui Faraday. Pentru acest număr se folosește simbolul F .

În funcție de acest număr, legile I și II ale electrolizei se pot exprima prin relația:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot Q \text{ sau } m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} \cdot I \cdot t. \quad (15)$$

25. Importanța teoretică a legilor electrolizei

Într-o conferință pe care a ținut-o la Londra în 1881 Helmholtz, apreciind importanța legii a II-a a lui Faraday, a arătat că cea mai bună explicație a legilor electrolizei se poate da dacă se admite existența unei sarcini elementare pe care o poartă ionul monovalent.

Sarcina aceasta purtată de ionul monovalent ar fi un fel de atom de electricitate reprezentând cea mai mică cantitate de electricitate.

Cercetări numeroase au confirmat acest punct de vedere, astfel că astăzi considerăm că orice sarcină electrică este un număr întreg de sarcini elementare, ceea ce înseamnă că *sarcinile electrice au o structură discontinuă*.

O demonstrație simplă ne conduce la acest rezultat.

Să considerăm că în electroliza unei substanțe cationul are masa atomică A și valența n . El poartă o sarcină q .

$N = 6,023 \cdot 10^{23}$ fiind numărul lui Avogadro, într-un echivalent gram de substanță sănt $\frac{N}{n}$ atomi. Acești atomi au rezultat prin neutralizarea unui număr egal de ioni.

Sarcina electrică transportată a fost:

$$Q_0 = \frac{N}{n} \cdot q = 96\,500 \text{ C.}$$

Se obține $q = \frac{96\,500 \text{ C}}{N} \cdot n$.

Întrucât n nu poate fi decât un număr întreg din sirul 1, 2, 3 etc., urmează că ionul monovalent poartă sarcina.

$$q_1 = \frac{96\,500 \text{ C}}{N}.$$

Ionul bivalent, sarcina $q_2 = \frac{96\ 500\ C}{N} \cdot 2$

Ionul trivalent, sarcina $q_3 = \frac{96\ 500\ C}{N} \cdot 3$

și în general $q_n = n \frac{F}{N}$ pentru un ion cu o valență n .

Cea mai mică sarcină electrică este deci $q_1 = \frac{96\ 500}{N}\ C$.

Particula elementară care poartă această sarcină a fost numită în 1891 electron.

Sarcina electronului este deci $q_1 = e = \frac{F}{N} = 1,6 \cdot 10^{-19}\ C$.

B. Aplicațiile electrolizei în tehnică

Numeroasele aplicații ale electrolizei au dus la constituirea unei ramuri importante a chimiei — *electrochimia*.

În cadrul electrochimiei intră:

- a. electrometalurgia;
- b. galvanotehnica;
- c. obținerea de diverse substanțe pe cale electrolitică.

a. **Electrometalurgia** este obținerea unui metal pe cale electrolitică, din combinațiile lui naturale.

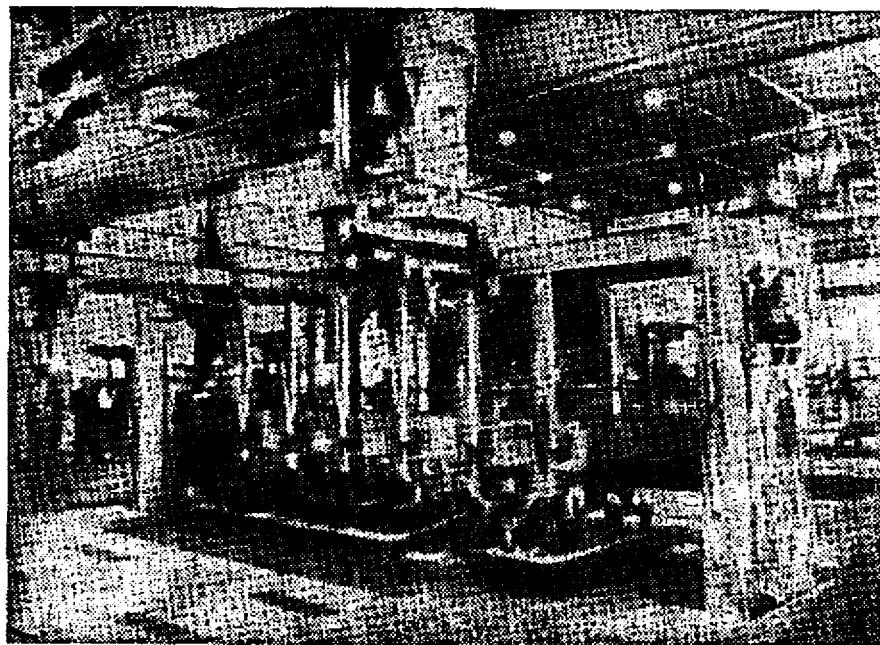
Prin metoda electrolitică se obțin metalele alcpine, unele metale alcalino-pământoase, aluminiul etc. sau se rafinează unele metale fabricate prin metode chimice, cum este cazul cuprului.

Cea mai importantă realizare în electrometalurgie rămîne însă *fabricarea aluminiului*.

În principiu, aluminiul se obține prin electroliza oxidului de aluminiu, dizolvat în criolit topit. Oxidul de aluminiu Al_2O_3 cît mai curat posibil este pregătit prin supunerea minereului de aluminiu la un tratament chimic.

Vasul electrolitic este căptușit cu praf de cărbune presat, care constituie catodul.

Se folosesc mai mulți anazi din cărbune de retortă care sunt introdusi în soluția de oxid de aluminiu și criolit topit.



Cuve de electroliză la Combinatul de aluminiu Slatina

Curenții utilizați sint de mare intensitate și căldura dezvoltată întreține aluminiul în stare topită.

b. **Galvanotehnica** prezintă două ramuri:

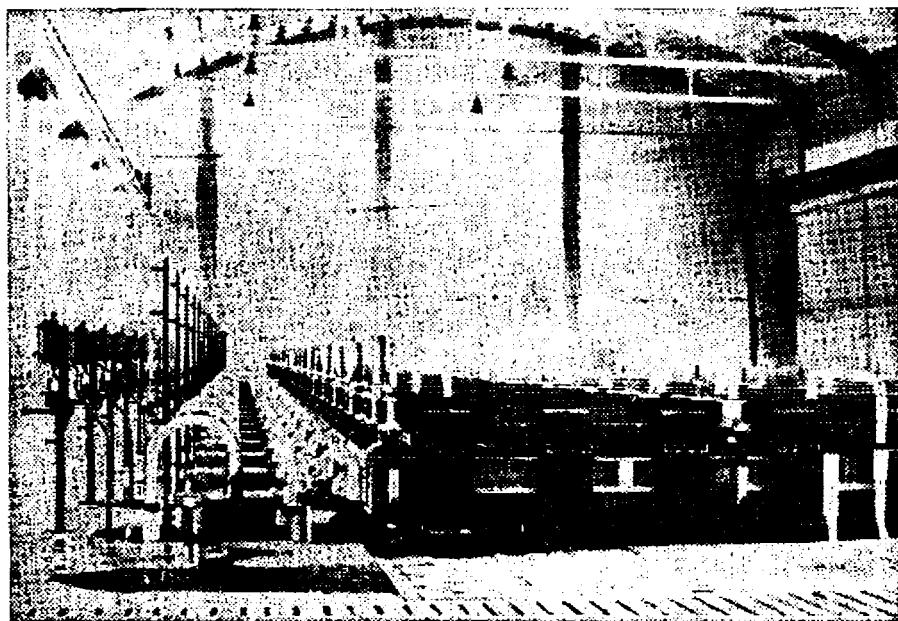
- galvanostegia;
- galvanoplastia.

Galvanostegia este tehnica depunerilor metalice aderente pe suprafața unor corpuri.

După felul metalului care se depune, operația aceasta se numește argintare, aurire, nichelare, cromare etc.

În toate cazurile, obiectul ce urmează a fi acoperit cu metal constituie catodul. Anodul este din metalul ce se depune, iar electrolițul este o sare a metalului.

Pentru ca depunerea să fie cît mai durabilă și mai frumoasă, se folosesc diferite rețete.



Celulele de electroliză a sării de bucătărie la Combinatul chimic Borzești

Astfel, argintarea se face cu o soluție de cianură dublă de argint și potasiu, aurirea cu clorură de aur și cianură de potasiu, nichelarea cu sulfat dublu de nichel și amoniu etc.

Prin *galvanoplastie* se înțelege arta de a modela metalele, de a reproduce, după un tipar, prin electroliză, un obiect dat.

Tiparul se poate face din ceară, gutapercă etc. Suprafața tiparului se acoperă cu praf de grafit, spre a-l face bun conductor. Ca anod se folosește metalul din care se face reproducerea, iar electrolitul este o sare a aceluiși metal în soluție. Cind depunerea a atins o grosime convenabilă se desprinde de tipar.

Galvanoplastia este utilizată în tipografie, la confectionarea tiparului pentru fabricarea discurilor de patefon etc.

c. **Obținerea de diverse substanțe.** Electroliza este una din metodele importante de fabricare a unor substanțe chimice de mare valoare industrială, ca soda caustică, soda, potasa caustică, hipocloriti, clorul, hidrogenul etc.

C. Polarizarea electrolizilor unui voltametru. Acumulatorii

Produsele primare ale electrolizei intră de cele mai multe ori în reacție cu electrozii sau cel puțin se depun pe electrozi, modificând fizic sau chimic suprafața lor.

Să considerăm un voltametru cu electrozi de Pt și având ca electrolit o soluție de acid sulfuric.

Punind voltametrul într-un circuit ca cel din figura 35 și închizând circuitul prin întreupătorul K_1 în timp ce întreupătorul K_2 este deschis, se produce electroliza în voltametru.

La anodul A se degajă oxigen, iar la catodul K, hidrogen. O parte din gaze se dezvoltă în părțile superioare ale tuburilor de culegere, iar altă parte rămîne aderentă la electrozi, producînd o modificare fizică a suprafeței lor.

Observăm sensul deviației acului indicator al galvanometrului, care indică sensul curentului de electroliză I_e .

După circa 2 min se deschide întreupătorul K_1 și astfel se elimină sursa de curent U din circuitul voltametrului.

Se închide apoi întreupătorul K_2 și astfel rămîn în circuit închis voltametrul și galvanometrul. Galvanometrul indică de data aceasta un alt curent I_p , al cărui sens este contrar curentului de electroliză I_e . Acest curent se datoră fenomenului de polarizare a electrozilor și se numește *curent de polarizare*.

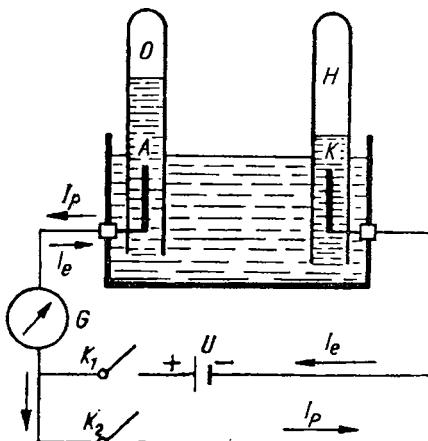


Fig. 35

Acestui curent de polarizare îi corespunde o tensiune electromotoare cu sediul în voltametru, numită tensiune *contraelectromotoare*.

Tensiunea contraelectromotoare este permanentă în timpul electrolizei și este totdeauna mai mică decit tensiunea de electroliză U .

Notind cu E tensiunea contraelectromotoare, cu U tensiunea de electroliză, cu R rezistența electrică a voltametrului, intensitatea curentului prin voltametru este dată de relația:

$$I = \frac{U - E}{R}.$$

Alteori polarizarea se datorează reacțiilor chimice secundare dintre produsele primare ale electrolizei și substanța electrozilor.

Astfel se petrece cazul cu un voltametru cu plăci de Pb și soluție de acid sulfuric.

Sunt însă și voltametre la care electrozii sunt făcuți din metalul sării care constituie electrolitul. Astfel este cazul unui voltametru cu plăci de Cu în soluție de CuSO_4 . Deși apar și aici produse primare care se depun pe electrozi, totuși deoarece nu apare nici o asimetrie a electrozilor, fenomenul de polarizare nu se produce.

Fenomenul de polarizare se produce și la elementele galvaneice și este datorit depunerii hidrogenului pe electrod. Efectul lui este scădereea intensității curentului. Eliminarea acestui hidrogen cu substanță oxidantă se numește *depolarizare*.

De exemplu elementul Leclanché are ca depolarizant MnO_2 .

26. Acumulatorul electric

Fenomenul de polarizare prezintă însă și un aspect pozitiv. El stă la baza funcționării acumulatorului electric.

Un acumulator electric este de fapt un voltametru polarizat. El acumulează energia electrică sub forma de energie chimică prin reacțiile secundare care determină polarizarea.

Studiindu-se diferite feluri de voltametre, s-a stabilit că numai două dintre ele prezintă un randament bun și conservă în condiții superioare energia electrică.

Acești acumulatori electrici sunt: acumulatorul cu plăci de Pb sau acumulatorul acid și acumulatorul feronichel sau acumulatorul alcalin.

Cel mai răspândit tip de acumulator este cel cu plăci de Pb, care s-a impus prin numeroase calități.

Lăsând deoparte întreaga istorie a dezvoltării tehnicii acestui acumulator, trebuie să reținem că astăzi un element de acumulator este confectionat dintr-un vas de sticlă sau ebonit, în care sunt două tipuri de plăci fabricate cu oxizi de Pb după anumite rețete.

Una din plăci este placa pozitivă de culoare brun-roșcată și care conține PbO_3 ca substanță activă și cealaltă este placa negativă de culoare gri-cenușie acoperită cu un strat de Pb spongios.

Pentru a încărca acumulatorul, se introduce în el o soluție 20% H_2SO_4 și apoi se pune la instalația de încărcat în curent continuu borna + la polul pozitiv, cealaltă la polul negativ al instalației.

Încărcarea durează circa 10 h, după care tensiunea electromotoră atinge pentru un element valoarea de 2,6 V, care rămîne puțin timp și apoi scade pînă la 2,1 V.

Mai multe elemente de acumulator legate între ele în paralel sau în serie formează o baterie.

Un acumulator se caracterizează prin:

a) *Capacitate*, care înseamnă cantitatea de electricitate pe care poate da acumulatorul prin descărcare pînă la limita inferioară care pentru un singur element este de 1,85 V.

Capacitatea acumulatorului se măsoară în amperi-oră

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C.}$$

Există acumulatori (baterii) cu capacitate de 50 Ah, 100 Ah, 200 Ah etc.

Notind cu N_1 și N_2 numărul de amperi-ore la descărcare, respectiv încărcare și cu W_1 , W_2 energia eliberată, respectiv absorbită de acumulator, definim:

b) *Randamentul de sarcină*:

$$\eta_s = \frac{N_1}{N_2} :$$

c) *Randamentul energetic*:

$$\eta_e = \frac{W_1}{W_2} :$$

Acesta din urmă ajunge pînă la 80%.

Acumulatorii au variate întrebunțări în tehnică.

Se pot folosi în instalațiile de lumină sau de forță, pot alimenta instalații de radio, instalații galvanotehnice etc.

Se întrebunțează și pentru alimentarea instalației electrice a motorului de automobil.

Intrebări recapitulative

1. Cum se explică trecerea curentului electric printr-un electrolit?
2. Cum se poate defini electroliza?
3. Ce dovedesc legile electrolizei?
4. De ce electroliza cu electrozi polarizabili nu poate fi făcută cu orice tensiune?
5. Cum se încarcă un acumulator?
6. Ce efect poate avea polarizarea electrozilor?
7. Cum s-ar putea măsura sarcina unui electron folosind electrozila?

Exerciții

1. Făcîndu-se electroliza unei soluții de acid sulfuric în apă, într-un voltametru cu electrozi de Pt se constată că după 1 h masa soluției scade cu 2 g. Să se calculeze intensitatea curentului.

R: aprox. 6 A.

2. Ce cantitate de argint s-a depus la catod dintr-o soluție de AgNO_3 , dacă sarcina electrică care a străbătut electrolitul a fost de 100 000 C?

R: 111,8 g.

3. Cît Cu dintr-o soluție de CuSO_4 depune într-o jumătate de oră un curent cu intensitatea de 5 A?

R: 2,961 g.

Electromagnetismul

I. Fenomene electromagnetice

A. Acțiuni electromagnetice

27. Magneți permanenți și proprietățile lor

Se întâlnesc în natură minereuri de fier, oxizi sau sulfuri, ca de exemplu, magnetitul (oxid feroferic Fe_3O_4), care au proprietatea de a atrage pilitura sau mici obiecte de fier, nichel, cobalt. Acestea constituie *magneți naturali*.

Transmiterea magnetismului de la magneți naturali unor bare de oțel călit a dus la confecționarea magnețiilor artificiali. Magnetizarea se realizează prin contact direct sau prin influență.

S-au făcut magneți artificiali în formă de bară, potcoavă sau ace magnetice, care păstrează magnetizarea un timp foarte îndelungat și se numesc *magneți permanenți*. Ei sunt folosiți pentru producerea unui cîmp magnetic între polii lor sau în spațiul înconjurător și se fac din oțel călit sau aliaje de fier, cu Ni, Al sau Co. Se cunosc și materiale ca cele din oțel moale, care se magnetizează foarte ușor, cînd sunt introduse într-o bobină parcursă de curent, dar care își pierd magnetizarea imediat ce începează acțiunea de magnetizare. Aceste materiale se folosesc la construcția mașinilor și aparatelor electrice.

Pus în pilitură de fier, magnetul atrage pilitura mai mult la extremitățile lui, numite *poli magnetici*, și mai puțin sau chiar deloc într-o zonă situată între acești poli numită *zonă neutră*.

Dacă suspendăm un ac magnetic în centrul lui de greutate, astfel încît să se poată rota în planul orizontal, el se orientează pe-o direcție fixă care este aproximativ direcția nord-sud geografică. Polul

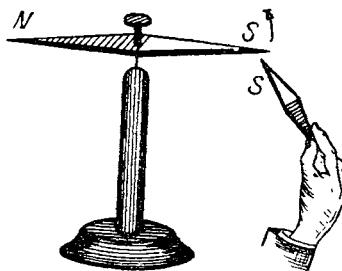


Fig. 36

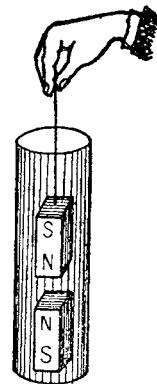


Fig. 37

îndreptat spre nord e numit *polul nord*, celălalt îndreptat către sud este *polul sud*. Orientarea acului se datorează magnetismului pământesc.

Polii de același nume se resping, cei de nume diferite se atrag (fig. 36). Doi magneti puși față în față se atrag sau se resping, după felul polilor apropiati.

O bucată de oțel adusă în vecinătatea unui magnet este atrasă de acesta. Se spune că magnetul creează într-o regiune din jurul său un cîmp magnetic. Ne putem convinge de existența cîmpului magnetic dacă într-un tub de sticlă aşezăm doi magneti, ca în figura 37.

Magnetul de jos va respinge pe cel de deasupra, care va pluti la o distanță oarecare de magnetul de jos, în cazul cînd polii apropiati sunt de același semn și dacă magnetizarea este destul de puternică. Deci între cei doi magneti există un cîmp magnetic, iar spațiul din jurul și dintre cei doi magneti capătă însușiri speciale.

O altă experiență constă în aşezarea unui carton, pe care s-a presărat pilitură de fier, pe o bară magnetică. Pilitura de fier se orientează după liniile de forță ale cîmpului magnetic și dă *spectrul magnetic* (fig. 38). Liniile sunt închise și ca sens, în exterior, ele ies din polul nord și intră în polul sud. După cum cîmpul magnetic este mai intens sau mai slab, liniile sunt mai dese sau mai rare.

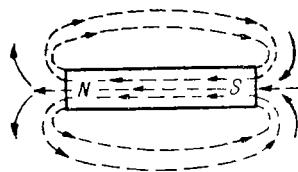
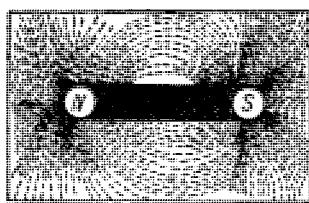


Fig. 38

Tangenta în fiecare punct la liniile de cîmp magnetic dă direcția cîmpului magnetic în acel punct.

Mărimea, direcția și sensul cîmpului magnetic sunt precizate prin mărimea, direcția și sensul forțelor exercitate asupra diferitelor corpuși plasate în el.

28. Forță electromagnetică: mărimea, direcția și sensul ei

Un curent electric creează în jurul său un cîmp magnetic. Un magnet mobil plasat în acest cîmp este supus unei forțe care-l poate devia. Conform principiului acțiunii și reacțiunii, un conductor parcurs de curent va fi supus unor forțe, din partea cîmpului creat de un magnet. Experiențele de mai jos dovedesc aceasta.

O experiență simplă (fig. 39) arată că un fir parcurs de curent este atras sau respins de cîmpul magnetic al magnetului. Attracția sau respingerea depinde de sensul cîmpului creat de magnet și de sensul și direcția curentului. În această interacțiune dintre cîmpul magnetic creat de curent și cîmpul magnetului trebuie avut în vedere că forțele

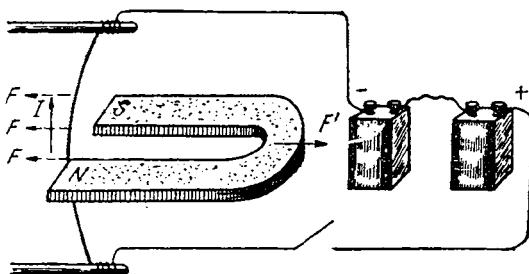


Fig. 39

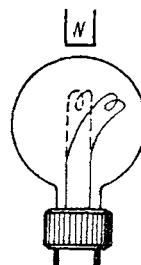


Fig. 40

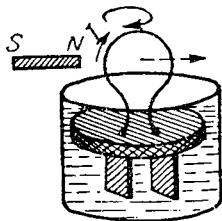


Fig. 41

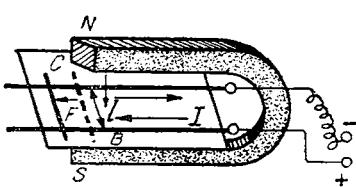


Fig. 42

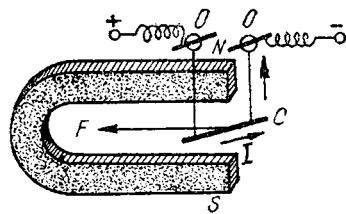


Fig. 43

de atracție și de respingere acționează atât asupra conductorului (F) cât și asupra magnetului (F').

Filamentul de wolfram al unei lămpi cu incandescență este deviat din poziția sa normală cînd se apropie un magnet de balonul de stică al lămpii, așa cum se arată în figura 40.

O pilă mobilă se poate realiza din două lame, una de zinc și alta de cupru reunite printr-o spiră de cupru care traversează un dop de plută. Lamele sunt puse într-o soluție de acid sulfuric. Se formează un element galvanic care dă un curent electric în spira de cupru ce are o rezistență electrică foarte mică. La apropierea unui magnet SN de spiră, aceasta este deplasată și rotită, adică este supusă și unei forțe ce-i dă o mișcare de translatăie dar și unui cuplu (fig. 41).

Portiunea mobilă C , dintr-un circuit electric închis, se mișcă între polii magnetului, fără să întrerupă circuitul format din două fire groase neizolate plasate pe o planșetă de lemn orizontală și alimentat de la o sursă de curent (fig. 42).

De asemenea, un conductor suspendat, ca în figura 43, între polii unui magnet în formă de potcoavă, este deplasat de o forță normală pe planul curent — cîmp magnetic. Această forță se numește **forță electromagnetică**.

Se constată experimental că intensitatea forței F depinde de lungimea conductorului l și intensitatea curentului electric I ce străbate conductorul. Pentru aceleași valori ale lungimii și curentului, forță electromagnetică variază atât pentru diferite valori ale cîmpului magnetic cât și pentru diferite poziții ale conductorului față de direcția liniilor de cîmp în același cîmp magnetic.

Sensul forței electromagnetice depinde de sensul curentului electric și de sensul liniilor de cîmp.

Cîmpul magnetic creat de un curent ce circulă printr-un conductor sau de un magnet este caracterizat de o mărime vectorială, nu-

mită *inducție magnetică* și care se notează cu \vec{B} . Este un vector tangent în fiecare punct la liniile de cîmp magnetic (sau liniile de inducție magnetică).

În cazul cînd direcția vectorului inducției este perpendiculară pe direcția curentului, forța electromagnetică va avea valoarea maximă și va fi egală cu:

$$F = BIl. \quad (16)$$

Această relație exprimă *legea lui Laplace*.

Valoarea lui B găsită din această expresie va fi:

$$B = \frac{F}{Il} \quad (16')$$

$$\langle B \rangle = \frac{\langle F \rangle}{\langle I \rangle \langle l \rangle} = \frac{N}{A \cdot m} = \frac{V \cdot s^*}{m^2},$$

Se observă că dacă $I=1$ și $l=1$, *inducția magnetică* B a unui cîmp magnetic uniform este numeric egală cu forța maximă cu care cîmpul acționează asupra unui conductor de lungime egală cu unitatea și parcurs de un curent de intensitate egală cu unitatea.

Dacă direcția lui B face un unghi α cu direcția lui I

$$F = BIl \sin \alpha \quad (17)$$

Sensul forței electromagneticice se găsește folosind *regula mîinii stîngi* sau *regula lui Fleming*:

așezînd palma stîngă paralel cu conductorul, cu degetele în sensul curentului astfel încît inducția magnetică să intre prin palmă, sensul degetului mare al mîinii arată sensul forței electromagneticice.

Cîmpul de inducție magnetică acționează asupra curentului electric, deci asupra electronilor sau sarcinilor în mișcare. Se poate arăta aceasta dacă apropiem un magnet puternic de un aro electric ce funcționează între doi electrozi de cărbune. Arcul este deviat de cîmp ca și cum ar fi un conductor flexibil parcurs de curent.

$$* \frac{N}{A \cdot m} = \frac{N}{\frac{C}{s} \cdot m} = \frac{N}{\frac{J}{Vs} \cdot m} = \frac{N}{\frac{N \cdot m^2}{Vs}} = \frac{V \cdot s}{m^2},$$

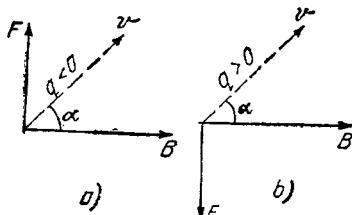


Fig. 44

Sensul în care este deviată sarcina electrică de către forță electromagnetică este dat tot de regula mîinii stîngi. În cazul unei sarcini negative $q < 0$ (electroni sau ioni negativi), care se mișcă cu viteza v în cîmpul de inducție magnetică B (fig. 44, a) mîna stîngă se aşază pe direcția lui v , cu degetele întinse în sensul curentului (deci invers lui v), în așa fel încât B să intre prin palmă și astfel degetul mare indică sensul forței electromagnetice.

Pentru o sarcină pozitivă $q > 0$ (de exemplu pentru ioni pozitivi) mîna stîngă se aşază cu degetele întinse pe direcția și în sensul lui v (deci în sensul curentului), B intră prin palmă și degetul mare indică sensul forței electromagnetice ca în figura 44, b.

Mărimea forței electromagnetice care acționează asupra unei sarcini electrice se poate găsi din legea lui Laplace, ținînd seama că:

$$I = \frac{q}{t};$$

$$F' = B \frac{q}{t} l = Bqv, \quad (18)$$

pentru cazul cînd sarcina se mișcă perpendicular pe direcția lui B și v reprezintă viteza de deplasare a sarcinii pe porțiunea l din conductor în timpul t .

În cazul cel mai general, cînd direcția de mișcare a sarcinii face un unghi α cu direcția lui B : d

$$F' = Bqv \sin \alpha. \quad (18')$$

Această forță se numește *forță Lorentz*.

29. Fluxul de inducție magnetică

Inducția magnetică o putem defini prin densitatea fluxului de inducție magnetică.

Fluxul magnetic Φ este constituit de totalitatea liniilor de inducție care intersectează o suprafață S .

Cînd liniile de cîmp sînt paralele și normale la S :

$$B = \frac{\Phi}{S} \text{ sau } BS = \Phi \quad (19)$$

Dacă S nu este normală la liniile de cîmp și este așezată în S' , poziție ce o putem determina prin unghiul α dintre normala n' la suprafața și direcția liniilor de cîmp, atunci:

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (19')$$

În cazul cînd S este perpendiculară pe B , n și B sînt pe aceeași direcție, $\alpha=0$, $\cos \alpha=1$ și fluxul are valoarea maximă (fig. 45).

$$\langle \Phi \rangle = \langle B \rangle \langle S \rangle = \frac{V \cdot s}{m^2} \cdot m^2 = V \cdot s = Wb.$$

Deci în Sistemul Internațional fluxul inducției magnetice se măsoară în weberi (Wb), unitate ce va fi definită din fenomenul de inducție electromagnetică (v. § 39).

După cum am văzut, inducția magnetică se măsoară în S.I. în:

$$\frac{V \cdot s}{m^2} = \frac{Wb}{m^2} \text{ sau tesla (T).}$$

Tesla este inducția magnetică ce produce un flux de 1 Wb printr-o suprafață de 1 m² normală la cîmp.

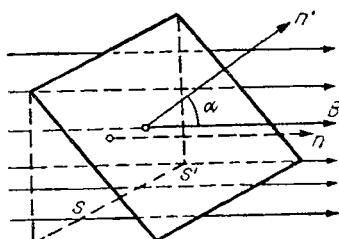


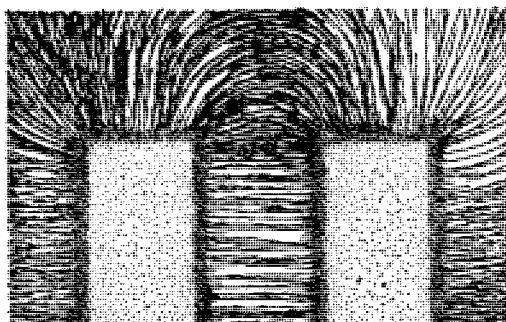
Fig. 45

30. Permeabilitatea

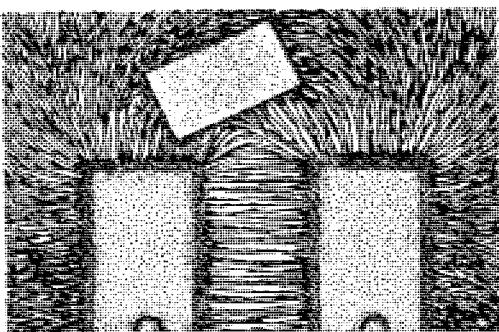
Dacă în calea liniilor de cîmp produse de un magnet (fig. 46, a, b) așezat în aer punem o bucătă de fier, observăm că distribuția liniilor de cîmp se schimbă. Liniile de cîmp magnetic se îndesesc prin bucața de fier.

Printr-o secțiune transversală în bucața de fier va trece un număr mai mare de lini de cîmp decît prin aceeași suprafață în aer.

Raportul dintre numărul liniilor cîmpului magnetic pe unitatea de suprafață în mediul respectiv și numărul liniilor pe unitatea de



a



b

Fig. 46

duse într-un cîmp magnetic produc o modificare apreciabilă a liniilor de cîmp magnetic;

— *Substanțe paramagnetice*, cu $\mu_r > 1$. Aceste substanțe concentrează liniile de cîmp ca și substanțele feromagnetice, dar foarte puțin. În această categorie se încadrează Mn, Al, Cr, Sn, O₂, aerul care are, de exemplu, $\mu_r = 1,0000003$;

— *Substanțe diamagnetice*, cu $\mu_r < 1$. Dintre aceste substanțe fac parte Bi cu $\mu_r = 0,9998$, Ag, sticla, apa. Ele răresc liniile de cîmp ce trec prin ele, le împrăștie.

În calculul cîmpului magnetic produs de diferiți curenți sau magneti se folosește o mărime care este auxiliară, numită *intensitatea cîmpului magnetic* și notată cu \vec{H} .

suprafață în prezența acestuia și cîmp în vid, măsoară influența mediului material asupra cîmpului magnetic. Această mărime se numește *permeabilitate relativă*, μ_r a mediului. După valoarea lui μ_r substanțele pot fi clasificate în:

— *Substanțe feromagnetice* cu $\mu_r \gg 1$, cum sunt fierul, nichelul, cobaltul sau aliaje cu Fe, Ni, Co, Mn. Permeabilitatea lor relativă este de ordinul sutelelor, miilor sau zecilor de mii. De exemplu s-au realizat aliaje ca: *permalloy* (78,5% Ni + 21,5% Fe), care are $\mu_r = 80\,000 - 100\,000$; *permendur*, care conține fier Armco (adică fier cu 0,05 impurități) + 50% Co + 1,8% vanadiu.

— *Substanțe intro-*

duce într-un cîmp magnetic produc o modificare apreciabilă a liniilor de cîmp magnetic;

— *Substanțe paramagnetice*, cu $\mu_r > 1$. Aceste substanțe concentrează liniile de cîmp ca și substanțele feromagnetice, dar foarte puțin. În această categorie se încadrează Mn, Al, Cr, Sn, O₂, aerul care are, de exemplu, $\mu_r = 1,0000003$;

— *Substanțe diamagnetice*, cu $\mu_r < 1$. Dintre aceste substanțe fac parte Bi cu $\mu_r = 0,9998$, Ag, sticla, apa. Ele răresc liniile de cîmp ce trec prin ele, le împrăștie.

În calculul cîmpului magnetic produs de diferiți curenți sau magneti se folosește o mărime care este auxiliară, numită *intensitatea cîmpului magnetic* și notată cu \vec{H} .

Această mărime nu depinde de însușirile mediului, dar exprimă influența intensității curentului și formei conductorilor parcursi de curent asupra cîmpului magnetic în punctul dat.

Inductia magnetică \vec{B} se exprimă în funcție de intensitatea cîmpului magnetic \vec{H} prin relația:

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \quad (20)$$

unde μ este *permeabilitatea absolută a mediului*. Ea se exprimă în funcție de permeabilitatea relativă prin:

$$\mu = \mu_r \mu_0,$$

μ_0 fiind *permeabilitatea vidului* și are valoarea, rezultată din experiențe:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m.}$$

H/m (henry pe metru) este unitatea în SI pentru permeabilitate și va fi definită mai tîrziu.

B. Cîmpul magnetic al curentului electric.

Legea lui Biot și Savart

În anul 1820 Ørsted, fizician danez, arată că trecerea curentului printr-un conductor dă naștere în jurul conductorului unui cîmp magnetic care acționează asupra unui ac magnetic la fel ca și cîmpul unui magnet. Într-adevăr dacă un fir vertical foarte lung străbătut de curent traversează un carton așezat orizontal pe care e presărată pilitură fină de fier, în planul cartonului apar *linii inchise* de cîmp magnetic ce au în vecinătatea firului forma unor circumferințe concentrice la fir. Liniile de cîmp sunt așezate în planul perpendicular pe curent (conductor) și au sensul dat de *regula burghiului sau regula lui Maxwell*. Această regulă spune că: *dacă rotim burghiul astfel încît el să înainteze în sensul curentului, sensul de rotire este sensul liniilor de cîmp* (fig. 47).

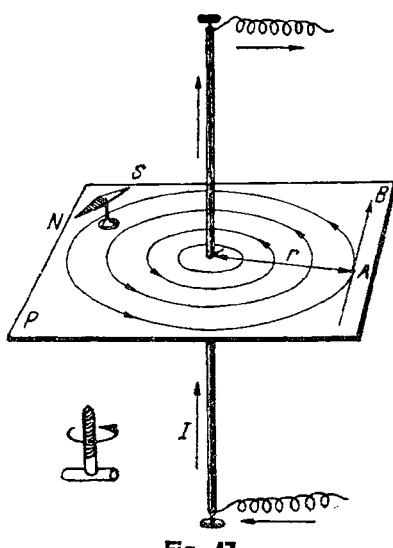


Fig. 47

31. Cimpul magnetic creat de un curent rectiliniu

Valoarea inducției cîmpului magnetic B o putem determina măsurînd interacțiunea dintre cîmpul curentului cu curenții ce trec prin alți conductori. Biot și Savart, servindu-se de elementele din experiențele făcute de Örsted, au studiat într-o primă serie de experiențe cîmpul magnetic produs de un curent ce trece printr-un fir rectiliniu foarte lung. Firul trebuie luat foarte lung, pentru ca porțiunile de la capetele conductorului să nu influențeze valoarea cîmpului.

În punctul în care se fac determinările, așezat într-o regiune învecinată cu mijlocul firului.

Măsurătorile au arătat că inducția cîmpului magnetic (B) este proporțională cu intensitatea curentului (I).

Această proprietate servește astăzi la măsurarea intensității curentului cu ajutorul galvanometrelor, ampermetrelor etc. Factorul de proporționalitate depinde de forma circuitului traversat de curent. În cazul firului rectiliniu considerat infinit de lung s-a găsit că intensitatea cîmpului magnetic într-un punct situat la distanța r de fir, distanță măsurată pe perpendiculara dusă din punct la fir, este invers proporțională cu distanța r , deci:

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi r} \text{ și } H = \frac{I}{2\pi r}, \quad (21)$$

H este exprimată în amperi pe metru (A/m), dacă I se măsoară în amperi și r în metri.

32. Cimpul unei spire circulare

Pentru o spiră circulară de rază r parcursă de curent valoarea inducției cîmpului magnetic în centrul spirei se găsește

$$B = \frac{\mu I}{2r} \text{ și } H = \frac{I}{2r}, \quad (22)$$

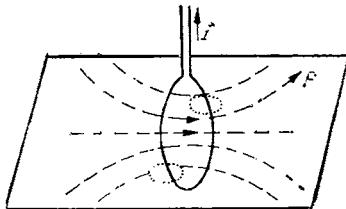


Fig. 48

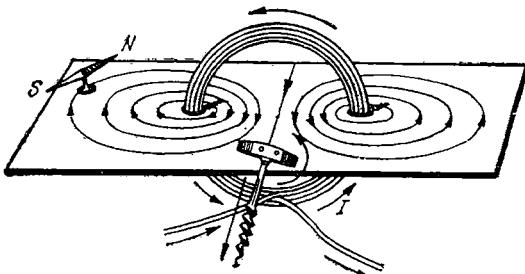


Fig. 49

dacă se calculează cîmpul produs de fiecare element de conductor al spirei parcurs de curentul I în centrul spirei și apoi se face suma lor, ținînd seama de mărime, direcție și sens, așa cum se află rezultanta forțelor. În cazul cînd sunt N spire ce alcătuiesc o bobină plată circulară, B devine:

$$B = \frac{\mu NI}{2r} \text{ și } H = \frac{NI}{2r}, \quad (22')$$

produsul NI arată numărul de amperi-spire. Intensitatea cîmpului magnetic H se măsoară în amperi pe metru (A/m). Figura 48 arată spectrul magnetic al unei spire circulare parcuse de curentul I . Determinarea sensului cîmpului se face aplicînd regula burghiuilui: rotind burghiuul așezat perpendicular pe planul spirei în sensul curentului, înaintarea lui se face în sensul cîmpului B . O spiră circulară poate fi astimilată cu un magnet plat, numit *foiță magnetică*, avînd o față prin care ies liniile de cîmp magnetic și care este fața nord, și alta prin care intră liniile — fața sud.

Deoarece acțiunea magnetică în cazul unui cadru cu mai multe spire se multiplică cu numărul spirelor, acesta se numește *multiplicator* (fig. 49).

33. Cîmpul magnetic al solenoidului

Un fir conductor înfășurat elicoidal pe o carcăsă cilindrică, avînd sau nu în interiorul ei un miez de material magnetic sau o toală de transformator, constituie o bobină sau un *solenoid*. Teoretic, dacă fiile solenoidului sunt așezate aproape unele de altele, ele constituie un sistem de curenti circulari avînd același ax și aceeași rază. Spectrul magnetic al unui solenoid arată ca în figura 50, a sau 50, b.

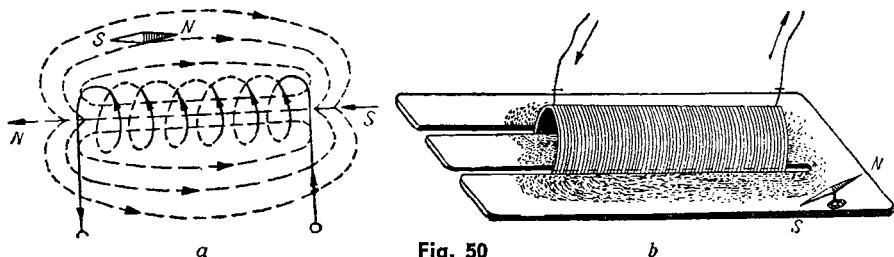


Fig. 50

Acest spectru al liniilor de cîmp este asemănător cu cel al unei bare magnetice. Liniile cîmpului magnetic din interiorul solenoidului sunt paralele și echidistante, deci cîmpul magnetic din interiorul solenoidului este uniform. În afară, la capetele solenoidului, liniile cîmpului magnetic se împrăștie. Sensul liniilor de cîmp este dat de regula burghiului, ca și în cazul spirei circulare, sau dacă se aşază degetele mîinii drepte pe spire în sensul curentului, degetul mare desfăcăt indică polul nord al solenoidului. Liniile de cîmp ies prin polul nord și intră prin polul sud, ca și la o bară magnetizată. Deci în exterior ele merg de la polul nord la sud, iar în interior de la polul sud la nord.

Solenoidul se comportă ca o bară magnetizată.

Experimental și prin calcul se găsește că pe ax în centrul unui solenoid foarte lung inducția cîmpului magnetic B este dată de relația:

$$B = \frac{\mu NI}{l} \text{ și } H = \frac{NI}{l} \quad (23)$$

unde N este numărul total de spire, I este intensitatea curentului ce trece prin solenoid, iar l este lungimea solenoidului. Expresia lui B se poate pune și în funcție de $\frac{N}{l}$, adică numărul de spire pe unitatea de lungime, care se notează cu n , deci:

$$B = \mu nI. \quad (24)$$

Pornind de la oricare din relațiile care dau pe H (pentru conductor liniar foarte lung, spiră, solenoid), putem defini unitatea de cîmp magnetic (A/m). În cazul cînd conductorul este o spiră, **unitatea de intensitate de cîmp (A/m) se definește ca fiind intensitatea în centrul unei spire cu diametrul un metru cînd este parcursă de un curent de 1 A.**

34. Fluxul unui solenoid

Ca un exemplu de calcul al fluxului putem lua cazul solenoidului.

Fluxul magnetic ce trece printr-o spiră a solenoidului este $\Phi_s = B \cdot S$, unde S este suprafața unei spire. Pentru toate cele N spire fluxul Φ în solenoid este

$$\Phi = N\Phi_s = N B \cdot S.$$

Inducția în centrul solenoidului de lungime l este dată de relația:

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

deci

$$\Phi = \mu \frac{N^2}{l} I \cdot S = \mu n N \cdot I \cdot S.$$

Mărurile ce rămân constante pentru un anumit solenoid pot fi exprimate printr-un coeficient, care se numește *inductanță* solenoidului și se notează cu L . Atunci:

$$\Phi = LI \text{ sau } L = \frac{\Phi}{I},$$

adică inductanța este un flux raportat la intensitatea de curent sau este numeric egală cu fluxul solenoidului cînd el este parcurs de un amper.

Inductanța $L = \frac{\Phi}{I}$ se măsoară în weberi pe amper (Wb/A). Această unitate poartă numele de *henry* (H).

Un henry este inductanța unei spire circulare în care ia naștere un flux magnetic de un weber cînd spira este străbătută de un curent de un amper.

C. Acțiunea reciprocă a curenților electrici. Forța electrodinamică

Între doi conductori parcurși de curent ce se găsesc în vecinătate se exercită forțe de atracție sau de respingere, numite *forțe electro-dinamice*.

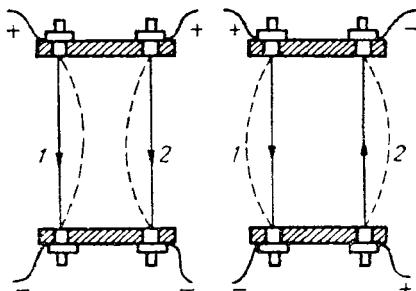


Fig. 51

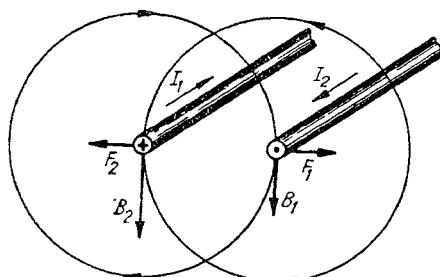
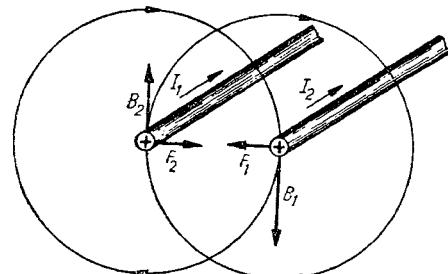


Fig. 52

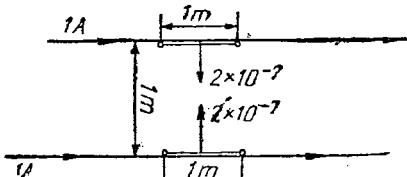


Fig. 53

Prin două plăci izolante (ca să nu se scurtcircuiteze) sînt întinse două fire flexibile paralele, străbătute de doi curenti, cînd în același sens cînd în sens invers (fig. 51).

Fiecare curent ce trece prin fire dă naștere unui cîmp magnetic de mărime, sens și direcție aşa cum s-a arătat pentru un fir rectiliniu. Se poate considera deci curentul din firul 2, de exemplu, ca fiind plasat în cîmpul magnetic creat de curentul 1 și atunci conductorul 2 va fi supus unei forțe electromagnetice:

$$F_1 = B_1 I_2 l,$$

unde B_1 este inducția creată de curentul I_1 , I_2 este curentul ce circulă prin conductorul 2, iar l lungimea conductorului 2 plasat în cîmpul de inducție B_1 . Dar:

$$B_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi d},$$

unde d este distanța dintre conductori. Deci forța ce se exercită între conductori este:

$$F_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi d} I_2 l.$$

Aceasta este forța electrodinamică ce acționează asupra conductorului 2 de lungime l . Asupra conductorului 1 de aceeași

lungime va acționa o forță asemănătoare:

$$F_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d} I_1 l.$$

ACESTE FORȚE SÎNT PROPORTIONALE CU INTENSITĂȚILE CURENȚILOR I_1 și I_2 , CU LUNGIMEA CONDUCTORILOR ȘI INVERS PROPORTIONALE CU DISTANȚA DINTRU CONDUCTORI. DIRECȚIA FORȚELOR ELECTRODINAMICE ESTE PERPENDICULARĂ PE INDUCȚIE ȘI CURENT, IAR SENSLU DAT DE REGULĂ MÂINII STINGI. ÎNTR-ADEVĂR, LUÎND DOI CONDUCTORI PARALELI, CA ÎN FIGURA 52, DEPĂRTAȚI LA DISTANȚA d , PRIN CARE TREC CURENȚII I_1 ȘI I_2 ȘI AVÎND LUNGIMEA l , PUTEM AFLA DIRECȚIA ȘI SENSLU FORȚELOR CE SE EXERCITĂ PE CONDUCTORI APPLICÂND REGULĂ FOLOSITĂ PENTRU FORȚELE ELECTROMAGNETICE, REGULĂ MÂINII STINGI.

SE VEDE CĂ DOI CONDUCTORI STRĂBĂTUȚI DE CURENȚI DE ACELAȘI SENS SE ATRAG IAR CEI STRĂBĂTUȚI DE CURENȚI DE SENS CONTRAR SE RESPING, AȘA CUM CONFIRMĂ ȘI EXPERIENȚA INDICATĂ ÎN FIGURA 51.

PENTRU CALCULE PRACTICE ESTE MAI UȘOR SĂ SE DETERMINE FORȚA CE ACȚIONEAZĂ PE UNITATE DE LUNGIME A CONDUCTORULUI:

$$F_0 = \frac{F_1}{l} = \mu \frac{I_1 I_2}{2\pi d}.$$

PUNÎND ÎN ACEASTĂ RELAȚIE VALOAREA PERMEABILITĂȚII MAGNETICE ÎN VID (AER) DACĂ CONDUCTORII SÎNT AȘEZAȚI ÎN AER ȘI DACĂ $I_1 = I_2$, ATUNCI:

$$F_0 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{I^2}{d} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I^2}{d},$$

F_0 ESTE EXPRIMAT ÎN NEWTONI DACĂ μ_0 ESTE EXPRIMAT ÎN H/M, I ÎN AMPERI ȘI d ÎN METRI. DIN RELAȚIA DE MAI SUS AVEM:

$$I^2 = \frac{F_0 2\pi d}{\mu_0}.$$

ACEASTĂ EXPRESIE ESTE FOLOSITĂ PENTRU A DEFINI ÎN S.I. UNITATEA DE INTENSITATE DE CURENT.

AMPERUL ESTE INTENSITATEA CURENTULUI ELECTRIC CONSTANT, CARE PARCURGÂND DOI CONDUCTORI RECTILINIÎI PARALELI FOARTE LUNGI ȘI DE SECȚIUNE NEGLIGABILĂ, AȘEZAȚI ÎN VID LA DISTANȚA DE 1 M UNUL DE ALTUL, PRODUCE ÎNTRU ACEȘTI CONDUCTORI O FORȚĂ DE $2 \cdot 10^{-7}$ NEWTONI PE METRU LINIAR (FIG. 53).

D. Aplicații ale fenomenelor electromagnetice

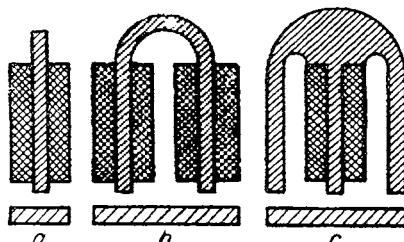
35. Electromagneții. Aplicațiile electromagneților

Se numesc electromagneți magneții puternici și temporari formați dintr-o bară de fier moale sau aliaje asemănătoare, așezată în interiorul unui solenoid. Bara de fier moale se magnetizează cînd înfășurarea solenoidului este parcursă de curent. La întreruperea curentului bara se demagnetizează aproape complet. Pe baza faptului că electromagneții au proprietăți magnetice numai în timpul trecerii curentului, ei au numeroase utilizări practice.

Electromagneții se fac în formă de bară (fig. 54, a), potcoavă (fig. 54, b), clopot (fig. 54, c). Forma lor este astfel aleasă încît liniile cîmpului magnetic date de înfășurarea electromagnetului să treacă mai mult prin fier și foarte puțin prin aer, care are permeabilitate mică.

La un electromagnet deosebim: *miezul*, care poartă înfășurarea și *armătura* (adică bara de fier ce se aplică pe ambii poli ai electromagnetului și care închide circuitul magnetic).

În figura 55, a se reprezintă un electromagnet obișnuit cu: 1 miezul de fier moale; 2 bobinele cu înfășurările prin care trece curentul; 3 armătura electromagnetului. Figura 55, b arată care este sensul curentului prin înfășurări pentru ca polii electromagnetului să fie cei indicați.



62

Fig. 54

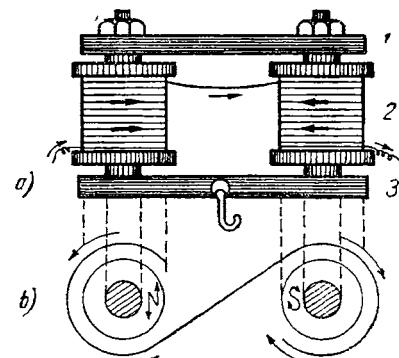


Fig. 55

Electromagnetii sunt folosiți pentru deplasarea greutăților, pentru producerea de cîmpuri magnetice intense, în automată, telemecanică, semnalizare etc. Cînd sunt folosiți pentru a transporta materiale magnetice, ca în cazul macaralelor electromagnetice, un element ce trebuie cunoscut la electromagnet este *forța portantă*, adică forța cu care miezul atrage armătura sau greutatea pe care o poate ține atrasă un electromagnet. Această forță portantă este proporțională cu valoarea inducției ridicată la patrat. Electromagnetii pentru macarale se fac sub formă de clopot.

La electromagnetii destinați a da cîmpuri puternice piesele polare se fac tronconice, pentru a obține cîmpuri uniforme (fig. 56). Cîmpul maxim în O se obține pentru un semiunghi plan în vîrful conului de circa 57° . Savantul sovietic Kapitza a reușit să producă într-o bobină fără miez de fier de 1 cm diametru interior o inducție de 30 Wb/m^2 pe timp de 0,01 s. În acest timp, puterea atingea 160 milioane de kilowați, iar curentul 72 000 amperi.

Electromagnetii de diferite tipuri ce dă inducții foarte intense se utilizează curent pentru cercetări științifice, pentru acceleratori de particule etc.

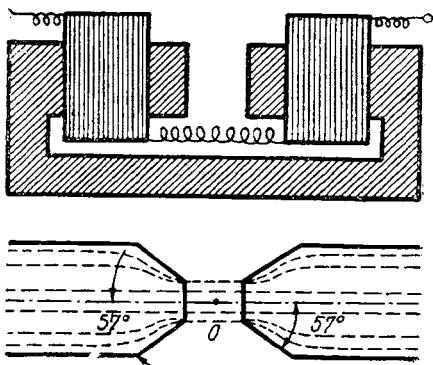


Fig. 56

36. Aplicații ale electromagnetilor la relee, siguranțe automate

Prin electromagneti putem comanda pornirea unui motor, acționarea unui dispozitiv de la distanță dacă folosim un *releu electromagnetic*. Electromagnetul releului închide un circuit, ce poate fi traversat de un curent puternic de la o sursă locală, folosind un curent foarte slab care vine pe o linie electrică de la distanță.

Figura 57 arată schema unui releu electromagnetic ce închide un circuit *B* de acționare a unei instalații oarecare *D* ce folosește un cu-

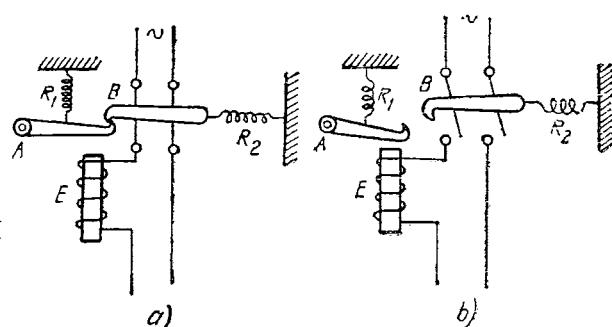
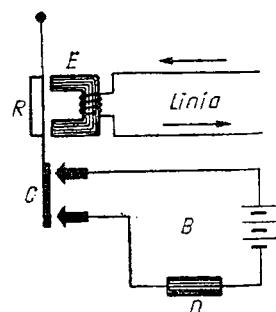
rent intens. Curentul slab de pe linie face ca electromagnetul E să atragă armătura R prevăzută cu un contact C și astfel să închidă circuitul B de acționare alimentat de la o sursă locală S .

În felul acesta s-a realizat închiderea circuitului, prin care circula un curenț intens, cu un contact acționat de un curenț slab; evitându-se pierderile mari de energie electrică din conductorii de legătură, dacă pe toată distanța ar fi circulat un curenț intens.

Asemenea relee servesc la pornirea mașinilor de la distanță în automatizare, în telefonie.

În loc de siguranțe fuzibile, puse ca să protejeze instalațiile electrice, — siguranțe care lucrau pe baza topirii unui fir cînd intensitatea curențului devinea prea mare, întrerupînd astfel circuitul, — se folosesc astăzi din ce în ce mai mult *siguranțele automate*, întrerupătoare sau disjunctoare automate. Aceste siguranțe automate sunt prevăzute cu un electromagnet care atrage o armătură numai cînd curențul a atins o intensitate mai mare decît o anumită valoare, întrerupînd astfel circuitul traversat de curenț.

Schema unei siguranțe automate este dată în figura 58. În figura 58, a circuitul este închis și curențul normal de lucru trece prin înșăurarea electromagnetului E . Dacă curențul întrece valoarea normală, atunci electromagnetul capătă o astfel de magnetizare fincît poate atrage armătura A ținută în contact cu B de resortul R_1 , bara B eliberată este atrasă de resortul R_2 și circuitul se întrerupe, așa cum se vede în figura 58, b. Firele ce vin de la rețea ca să alimenteze circuitul trec prin orificiile din placă metalică B , fiind izolate de aceasta.



Receptorul telefonic, difuzorul electromagnetic etc. folosite în telefonie și radiocomunicații se servesc de electromagneti.

Receptorul telefonic ca și difuzorul electromagnetic sunt apărate care transformă curentul electric variabil de frecvență joasă în oscilații sonore.

Pentru buna funcționare a receptorului telefonic se folosește un electromagnet polarizat, adică un electromagnet care are miezul făcut dintr-un magnet permanent sau în contact cu un magnet permanent.

Receptorul telefonic este alcătuit dintr-un electromagnet cu cele două bobine așezate pe un miez de material magnetic. Dar acest miez este la rîndul său așezat pe un magnet permanent. Deci miezul electromagnetului este tot timpul magnetizat. În fața polilor electromagnetului se așază o membrană circulară metalică, elastică, încastrată pe marginea carcasei receptorului, așa cum se arată în figura 59.

Curentul variabil de joasă frecvență (telefonic) trece prin bobinele electromagnetului și face ca armătura, care era atrasă de miezul electromagnetului chiar cînd nu trecea nici un curent prin bobinele lui (căci miezul este magnetizat permanent), să fie atrasă mai mult sau mai puțin după valoarea curentului din bobine, respectiv după valoarea variației cîmpului de inducție magnetică, care este proporțională cu curentul din bobine. Din această cauză membrana execută o serie de vibrații de aceeași frecvență cu a curentului ce traversează bobinele electromagnetilor.

Membrana reproduce astfel variațiile curentului microfonic care au rezultat din variațiile date de sunetele ce au fost produse în fața microfonului.

37. Aplicațiile tehnice ale forței electromagnetice. Aparate electrice de măsurat

a) Galvanometrele sunt instrumente care servesc la măsurarea curentilor mici și foarte mici (10^{-6} — 10^{-12} dintr-un amper) sau a tensiunilor date de curenții măsuраți. Cantități mici de electricitate ce

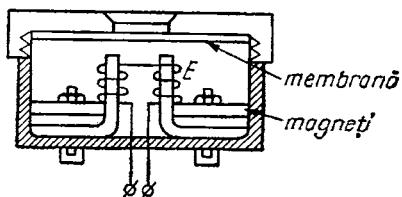
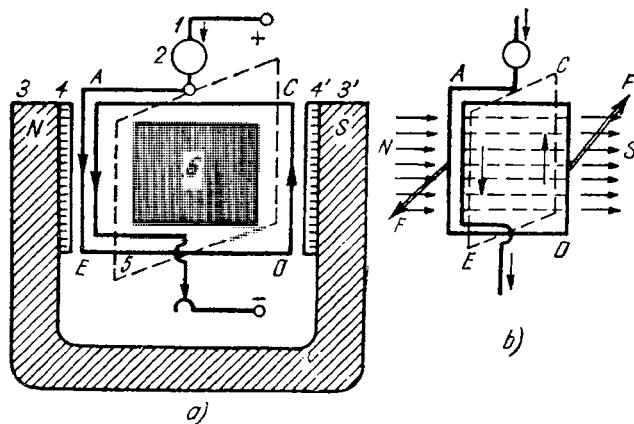


Fig. 59

traversează circuitele pentru un timp scurt se măsoară cu galvanometrele balistice. Galvanometrele folosesc proprietatea circuitelor străbătute de un curent de a fi deviate cînd sunt puse în cîmp magnetic. Ele sunt de două feluri: cu magnet mobil și cu cadru mobil. Cînd curentul trece printr-un multiplicator ca cel din figura 49 prevăzut în centrul lui cu un ac magnetic ce se poate mișca într-un plan orizontal, acul deviază, indicînd prezența curentului. Un asemenea instrument a constituit primul galvanometru cu magnet mobil. Galvanometrele cu magnet mobil se utilizează foarte rar. O utilizare mai largă o au galvanometrele cu cadru mobil (fig. 60). Ele sunt formate dintr-un magnet în formă de potcoavă 3—3', prevăzut cu două piese polare 4—4' și cu un cilindru de fier moale 6, care concentrează liniile de cîmp magnetic. Un cadru mobil cu foarte multe spire din fir foarte subțire 5 este suspendat de un fir fără torsiune 1, prin care trece curentul și care este prevăzut cu o oglinjoară 2. Cînd cadrul ce se găsește în cîmpul de inducție B este parcurs de curent, asupra celor două laturi ale cadrului AE și CD , de lungime l , acționează forțe electromagnetice egale și de sens contrar, de mărime $F = BIl$. Aceste forțe dă un cuplu care rotește cadrul, căutînd să aducă planul cadrului perpendicular pe B . Cadrul se oprește cînd cuplul său de rotație este echilibrat de cuplul invers de torsiune al firului de suspensie. Curentul ce trece prin galvanometru, dacă deviațiile cadrului sunt mici, este proporțional cu unghiul de rotire α .



Galvanometrul cu cadru mobil măsoară numai curent continuu sau redresat (ondulat), nu măsoară curenți alternativi deoarece sistemul mobil nu poate urmări variațiile curentului din cauza inertiei.

Cunoscând legile curenților, galvanometrele se pot transforma în ampermetre dacă le punem un șunt, adică legăm în paralel o rezistență de valoare mult mai mică decât rezistența internă a galvanometrului, sau în voltmetre, dacă le punem în serie o rezistență adițională.

Se pot măsura curenți intensi și tensiuni mari cu galvanometre transformate fără a deteriora aparatelor. Ampermetrele și voltmetrele cu cadru mobil se numesc *instrumente magnetoelectrice* și nu măsoară decât curenți și tensiune continuă.

In figura 61 este arătată schema unui ampermetru sau voltmetru cu cadru mobil. Un cadru mobil C în care este introdus un cilindru de fier F este plasat între polii magnetului permanent M. Când curentul trece prin spirele cadrului, acesta se rotește în jurul axului O perpendicular pe planul figurii. El se oprește când cuplul electromagnetic ce îl acționează este echilibrat de cuplul antagonist a două resorturi spirale B, montate la extremitățile cadrului. Un ac A prins de cadrul mobil servește ca indicator în fața unui cadrans gradat în amperi sau volți. Unghiul de rotație al cadrului este proporțional cu intensitatea curentului.

Aparatele cu echipajul mobil din fier moale se numesc *electromagnetice*.

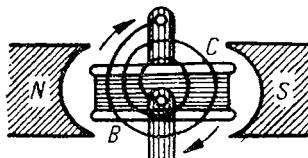
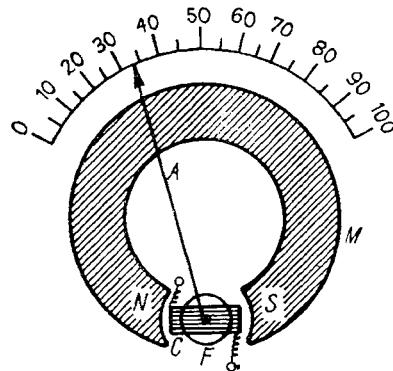


Fig. 61

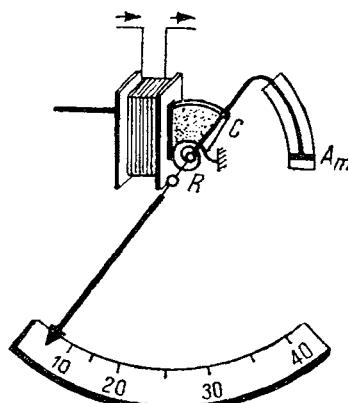


Fig. 62

La ampermetrele și voltmetrele cu fier moale un sector circular mobil de fier moale C este atras de către o bobină prin care trece curentul de măsurat (fig. 62). Un resort R de care este suspendat sectorul mobil egalează forța de atracție a bobinei. Piesa de fier are și un indicator ce se mișcă în fața unui cadrans gradat. Pentru ca acul să nu oscileze periodic se folosește un amortizor cu aer A_m .

ACESTE INSTRUMENTE POT MĂSURA ATIT CURENT CONTINUU CIT SI ALTERNATIV, PENTRU CA FORȚA ELECTROMAGNETICĂ DE ATRACȚIE A SECTORULUI CIRCULAR ESTE PROPORȚIONALĂ CU PĂTRATUL INTENSITĂȚII CURENTULUI, DECI ESTE INDIFERENT DACĂ PRIN BOBINA INSTRUMENTULUI TRECE ALTERNANȚA POZITIVĂ SAU NEGATIVĂ A CURENTULUI ALTERNATIV.

Instrumentele electromagnetice sunt simplu de construit, au cost scăzut, se pot face pentru curenți mari, sunt rezistente la scurtcircuit. Dezavantajul este că au scala neuniformă, precizie scăzută, indicațiile sunt influențate de cîmpurile magnetice exterioare.

Instrumentele magnetoelectricice sunt instrumente de precizie, sensibilitate mare, scală uniformă (gradația proporțională pe toată întinderea scalei). Ele însă se folosesc numai pentru curent continuu și curent alternativ redresat. Costul lor este ridicat. Ele sunt aparate de laborator și de control.

Pe cadransul instrumentelor se indică simbolul și clasa aparatului.

Instrumentele magnetoelectricice au simbolul:  1,5 cifra 1,5

arată clasa de precizie.

Instrumentele electromagnetice au simbolul:  2, cifra indică clasa de precizie.

Pe lîngă instrumentele magnetoelectricice, electromagnetice se construiesc și instrumentele electrodinamice, termice, cu inducție, cu vibrație etc. De asemenea, se folosesc din ce în ce mai multe aparate electronice, electrostatice etc.

Indiferent de construcția lor, ampermetrele au rezistență internă mică și se montează în serie în circuit. Voltmetrele au rezistență mare și se montează în paralel.

b) **Motorul electric de curent continuu și principiul lui de funcționare.** Motoarele electrice se bazează pe interacțiunea dintre un

conductor parcurs de curent electric și un cîmp de inducție magnetică. În ele se nasc forțe electromagnetice ce pot roti o piesă de fier pe care s-au dispus într-un anumit fel un număr mare de conductori parcursi de curent.

Electromotorul va trebui să aibă deci următoarele părți componente: un *rotor* din tole de fier cu siliciu pe care se aşază conductorii sub formă de spire sau bobine; unul sau mai mulți electromagnete care să creeze inducție magnetică și sistemul de alimentare de la rețeaua de curent electric, adică borne, periuțe așezate pentru motoarele de curent continuu, pe niște lamele de cupru izolate între ele, legate cîte una la fiecare din capetele spirelor (bobinelor). Ansamblul lamelelor de cupru alcătuiește *colectorul* electromotorului. Spirele sunt așezate pe rotor în niște crestături. Ele sunt legate electric în serie, formînd ceea ce se numește înfășurarea rotorului (fig. 63, a).

Curentul adus prin periuțele de pe colector trece prin spirele rotorului așezat între polii electromagnetilor motorului montați fix pe carcasa mașinii. Forțele electromagnetice egale și de sens contrar acționează pe laturile spirelor și dau naștere unui cuplu de rotere care mișcă rotorul. Această mișcare se utilizează la acționarea mașinilor-unei etc.

În figura 63, b se arată o spiră prinsă cu capetele ei la două lamele de colector și alimentată de la sursa de curent continuu.

Spira fiind în cîmpul de inducție *B* al electromagnetelor, se va rota datorită forțelor *F* și va rota și rotorul căreia poate antrena o curea, ca în figură. Sensul de rotație este determinat de sensul curentului *I* și al inducției *B*. Puterea dezvoltată este funcție de curen-

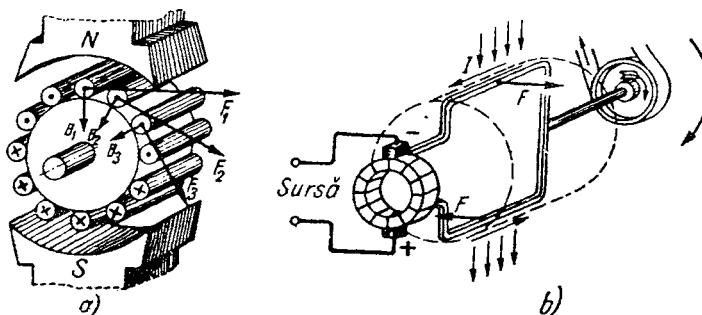


Fig. 63

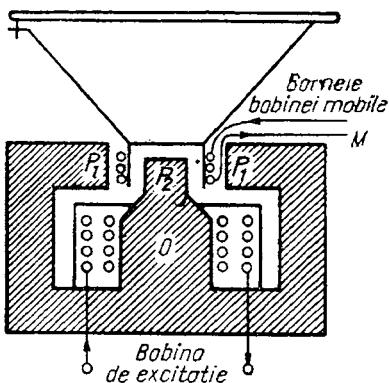


Fig. 64

chidere circulară prin care intră capătul miezului solenoidului de diametru mai mic decât restul corpului. Pe acest capăt al miezului solenoidului se centreză o bobină mică mobilă M , legată mecanic de membrana difuzorului. Dacă prin solenoid trece un curent, de excitare sau de magnetizare, se obține un cîmp magnetic intens, avînd polaritatea ce o dă sensul curentului. Bobina M este străbătută de curentul de frecvență sonoră de la receptor. Curentul din bobină interacționează cu cîmpul solenoidului din spațiul dintre miez și deschiderea circulară a jugului, numit întrefer. Forțele electromagnetice de atracție sau respingere ce se nasc mișcă bobina mobilă într-un sens sau altul, după cum variază curentul de frecvență sonoră, făcînd-o să execute vibrații pe care le transmite membranei difuzorului. Difuzorul redă astfel sunetele din fața microfonului, sunete trimise în bobina mobilă sub formă de curenți. Succesele obținute în fabricarea magnetilor permanenți din aliaje speciale a făcut posibilă înlocuirea în difuzeoarele dinamice a electromagnetelor voluminoși prin magneți permanenti, care asigură în întrefer o inducție de 0,8—1 Wb/m² (tesla).

tul pe care motorul îl absoarbe de la rețea. Acest curent este cu atît mai mare cu cît motorul întâmpină din partea mașinii-unei un cuplu rezistent mai mare. Rolul colectorului în motorul și generatorul de curent continuu se va arăta la capitolul *Mașini electrice*.

c) **Difuzorul electrodynamic** folosește pentru crearea inducției magnetice un solenoid avînd un miez de fier moale masiv O fixat în jugul J făcut tot din fier moale (fig. 64). Jugul are pe capac o des-

d) *Instrumente electrodynamicice de măsurat.* Wattmetrul este instrumentul ce măsoară puterea absorbită de un circuit oarecare. El este un instrument electrodynamic, deoarece funcționează pe baza interacționării dintre doi curenți ce străbat două bobine: una fixă și alta mobilă (fig. 65). Bobina fixă se monteză în serie în circuit și se numește bobina de curent $1-1'$. Bobina mobilă este conectată în paralel și se numește bobină de tensiune 2. Bobina

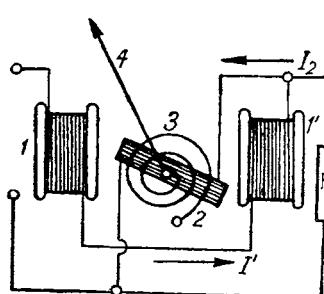


Fig. 65

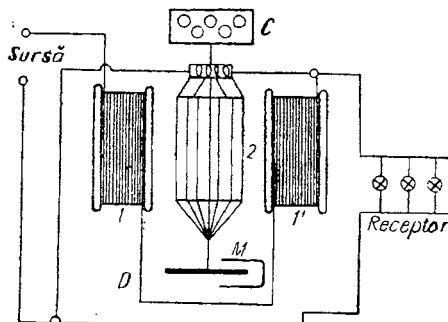


Fig. 66

de curent este făcută cu un număr mic de spire, din sîrmă groasă, cea de tensiune cu spire multe din sîrmă subțire. Bobina de tensiune este mobilă și are legată uneori în serie o rezistență care micșorează consumul de putere în circuit.

Dacă prin bobina serie se trece curentul receptorului R sau al circuitului ce absoarbe energie, iar prin bobina de tensiune un curent care este proporțional cu tensiunea de la bornele lui R , atunci unghiul de deviere a acului indicator al instrumentului este proporțional cu puterea consumată de circuitul receptor ($\alpha = K \cdot U \cdot I = K \cdot P$, K fiind o constantă ce depinde de construcția aparatului). Instrumentele electrodinamice pot fi folosite atât în curent continuu cât și în curent alternativ.

Contorul electric este și el tot un instrument electrodinamic care măsoară energia electrică în circuitul electric. El înregistrează puterea consumată în timp, măsoară deci energia electrică $W = UI \cdot t$ de obicei în kWh (kilowattore). Contorul electric pentru măsurarea energiei curentului continuu (fig. 66) este format dintr-o bobină mobilă 2, plasată ca un rotor de motor electric în cîmpul de inducție, dat de bobina fixă (de curent), legată în serie cu receptorul R și alcătuită din două părți 1–1'. Bobinele serie dau un cîmp magnetic proporțional cu I , iar bobina paralel (rotorul) un cîmp proporțional cu U . Bobina-rotor este supusă la un cuplu de rotație proporțional cu UI . Cu ajutorul unui disc metalic D , fixat pe axul bobinei-rotor, ce se rotește între polii unui magnet permanent M și în care se dezvoltă un cuplu rezistent, bobina-rotor va avea o viteză de rotație constantă.

În acest caz numărul de rotații N ale bobinei-rotor într-un anumit interval de timp este proporțional cu energia consumată: $N = kW = kUi t$.

Contoarele au un dispozitiv de înregistrare cu roți dințate C antrenat de rotor, care numără rotațiile făcute de bobina-rotor într-un interval de timp. Pe cadrul contorului se indică constanta k a aparatului, care arată numărul de rotații ale rotorului pentru unitatea de energie, de exemplu, 1 kWh.

În figura 67 este arătat exteriorul unui contor și schema legăturilor.

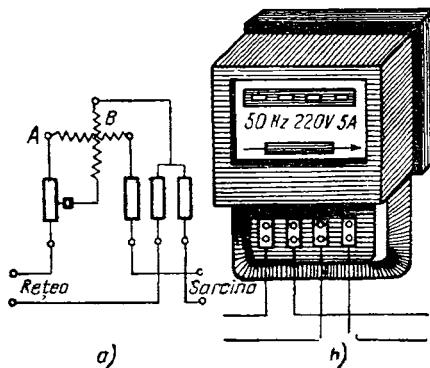


Fig. 67

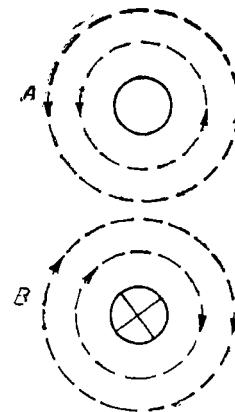


Fig. 68

Probleme rezolvate

1. Dacă într-un cîmp de inducție $B=1 \text{ Wb/m}^2$ un electron de sarcină $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ se mișcă cu o viteză $v=250\,000 \text{ km/s}$ perpendicular pe direcția inducției, să se afle forța ce acționează asupra lui.

Răspuns:

$$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2,5 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4 \cdot 10^{-11} \text{ N.}$$

$$F'=Bev=1 \text{ Wb/m}^2.$$

Forța este foarte mică, dar deviația este mare, pentru că masa electronului este foarte mică.

2. Să se afle forța electromagnetică ce acționează asupra curentului ce trece printr-un element de circuit electric de lungime l , așezat normal la un cîmp de inducție B , dacă prin secțiunea transversală a conductorului din care face parte elementul l trec pe secundă n particule încărcate cu sarcina q și cu viteză v .

Răspuns: $F'=\frac{nl}{v} q \cdot v \cdot B$, căci $I=nq$ și elementul l de conductor conține $\frac{nl}{v}$ particule sau $F=BI \cdot l$.

3. Ce valoare au intensitățile curenților ce străbat doi conductori paraleli, așezăți la 20 cm distanță dacă asupra fiecărui metru de conductor acționează o forță de 100 N. Prin cei doi conductori trec curenți cu intensități egale.

Răspuns: $I_1=I_2=I$ deci $F_0=2 \cdot 10^{-7} \frac{I^2}{d}$

$$I=\sqrt{\frac{F_0 d}{2 \cdot 10^{-7}}} = \sqrt{\frac{100 \text{ N} \cdot 0,2 \text{ m}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}}} = 10\,000 \text{ A.}$$

4. Pe un contor este indicată constanta k a contorului. $1 \text{ kWh} = 2\,000 \text{ rotații}$.

Să se determine puterea consumată de la rețea de becurile din încăperile unei locuințe dacă discul contorului a făcut 10 rotații în 30 s.

Răspuns:

$$\text{Energia înregistrată } W_e = \frac{1}{2000} \cdot 10 = 0,005 \text{ kWh adică } 0,005 \times 1\,000 \times 3\,600 = \\ = 18\,000 \text{ Ws.}$$

$$\text{Puterea consumată } P = \frac{W_e}{t} = \frac{18\,000 \text{ Ws}}{30} = 600 \text{ wați.}$$

5. Să se indice sensul curentului în conductorul rectiliniu A și în conductorul B și valoarea lui dacă liniile de cîmp magnetic create de curent au sensul indicat în figura 68, iar valoarea intensității cîmpului la distanță de 10 cm de A este 80 A/m iar la 20 cm de B este de 40 A/m. Conductorii sunt la distanță mare unul față de altul aşa ca să putem considera cîmpurile lor izolate unul față de altul.

Răspuns: Se dă sensul liniilor de cîmp și valorile:

$$H_A = 80 \text{ A/m și } r_A = 10 \text{ cm}$$

$$H_B = 40 \text{ A/m și } r_B = 20 \text{ cm}$$

Se cere: valoarea și sensul lui I .

Pentru aflarea sensului curentului aplicăm regula burghiului. Rotind burghiu în sensul liniilor de cîmp, sensul lui de înaintare ne arată sensul curentului. Deci în A curentul vine spre noi, în B intră în planul foii.

Pentru aflarea valorii lui I , folosim relația

$$H = \frac{I}{2\pi r} \text{ unde } H_A = 80 \frac{\text{A}}{\text{m}} ; r_A = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$H_B = 40 \frac{\text{A}}{\text{m}} ; r_B = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$I_A = H_A 2\pi r_A = 80 \times 2 \times 3,14 \times 0,1 = 50,24 \text{ A}$$

$$I_B = H_B 2\pi r_B = 40 \times 2 \times 3,14 \times 0,2 = 50,24 \text{ A}$$

Se poate observa fără a face calculele că intensitățile celor doi curenți sunt egale întrucât H este invers proporțional cu distanța r . Ori, în primul caz H este de două ori mai mare decât în al doilea caz; în schimb distanța este de două ori mai mică.

Întrebări recapitulative

- Cum putem privi forța electromagnetică dacă ținem seama de faptul că un curent electric dă naștere la un cîmp magnetic? De asemenea, cum se interprează acțiunea dintre doi curenți pe baza cîmpurilor create de curenți?

2. Ce legătură se poate stabili între curentul ce trece printr-un plan, inducția magnetică care acționează asupra cadrului paralel cu planul lui, secțiunea cadrului și cuplul ce se exercită asupra lui?
3. Este vreo deosebire între acțiunile electromagnetice și electrodinamice?
4. Din legile cunoscute în electromagnetism, cum putem ajunge la o metodă pentru a măsura pe μ_0 ?
5. Asupra unui conductor încărcat cu sarcini electrice statice acționează forță electromagnetică? Dar asupra sarcinilor în mișcare?
6. Să se arate cum s-a ajuns la electromagneți foarte puternici?
7. Care este deosebirea dintre instrumentele de măsură electromagnetice și magnetoelectrice?
8. Explicați funcționarea electromotorului.
9. De ce și polul nord și cel sud al unei bare magnetizate atrag pilitura sau mici obiecte de fier, iar, suspendată în centrul său de greutate printr-un fir fără torsiu, se rotește?
10. Cum se recunoaște care din două bare identice de otel, una magnetizată și alta nemagnetizată, este cea magnetizată dacă nu avem la dispoziție nici un alt obiect?
11. Care sunt fenomenele pe care le studiază magnetismul?
12. Ce sunt liniile de cîmp magnetic? Cum se alege sensul lor? Ce deosebire este între liniile de cîmp electric și magnetic?
13. Arătați că un cadru cu mai multe spire multiplică acțiunea magnetică a unei spire.
14. Ce legătură este între flux, inducție și permeabilitate magnetică?
15. Cum puteți construi un aparat de măsură a curentului folosind un magnet mobil?

E x e r c i ᄃ i i

1. Care este forța electromagnetică care se exercită asupra unui conductor așezat perpendicular pe un cîmp magnetic uniform de inducție $B=0,5$ tesla, dacă lungimea conductorului este 30 cm, iar curentul în conductor este de 100 A.

$$\mathbf{R=15 \text{ N.}}$$

2. Să se determine polaritatea magnetelor (în ambele cazuri) dacă conductorii se deplasează sub acțiunea cîmpului magnetic în sensurile indicate în figura 69.
3. Un cadru de formă pătratică are latura 20 cm și este parcurs de 0,8 amperi. Planul său este vertical și paralel cu cîmpul terestru, care este orizontal și are valoare $0,2 \cdot 10^{-4}$ tesla. Să se calculeze: 1) forța electromagnetică care se exercită pe fiecare latură; 2) cuplul care rotește cadrul.

$$\mathbf{R: 1) Pe laturile verticale F=3,2 \cdot 10^{-6} \text{ N; 2) } 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ Nm.}}$$

4. Doi conductori de cupru lungi de 2 m și așeași la 8 cm unul de altul alimentează o instalație electrică. Printr-un accident conductorii sănt scurt-

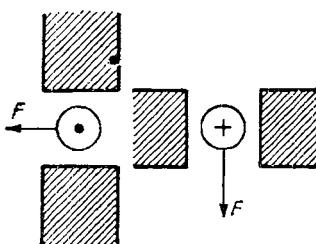


Fig. 69

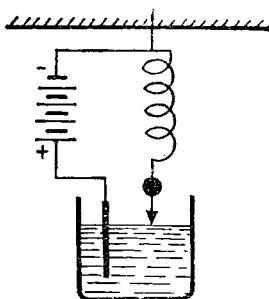


Fig. 70

circuitează și curentul ce își străbate devine 8 000 amperi. Să se calculeze forța electromagnetică care curbează conductorii.

$$R=320 \text{ N.}$$

5. Un arc elicoidal (fig. 70) din material bun conducător suspendat vertical atinge cu capătul de jos, unde are o mică greutate și un vîrf, mercurul din pahar. În mercur se pune polul pozitiv al unei baterii de acumulatori. Celălalt pol este legat cu arcul la capătul de sus. Arcul execută o serie de oscilații verticale cînd este străbatut de curentul bateriei. Să se arate din ce cauză.
 6. O spiră circulară are raza 8 cm și este parcursă de un curent ce are intensitatea 1,6 A. Care este intensitatea cîmpului magnetic produs de curent în centrul spirei? Ce se întîmplă cu intensitatea cîmpului magnetic produs în centrul cadrului, dacă mai bobinăm nouă spire identice una lîngă alta, formînd astfel un cadru plat cu 10 spire, dacă spirele sînt parcuse tot de 1,6 A?
- R: 10 A/m; 100 A/m.
7. O bobină are lungimea mult mai mare decît diametrul. Ea este făcută din mai multe straturi de fire astfel bobinate, încît pe centimetru se găsesc 20 de spire. Care este intensitatea cîmpului pe ax în mijlocul acestei bobine dacă spirele sînt parcuse de un curent de 10 A?
- R: 20 000 A/m.
8. Doi conductori paraleli așezați la 10 cm unul de altul sînt străbatuți de curenti de același sens, unul de 100 A, iar altul de 25 A. Care este intensitatea cîmpului magnetic dat de acești curenti la jumătatea distanței dintre ei? Dar la 5 cm de conductorul parcurs de 100 A? În ce punct se anulează intensitatea cîmpului?
- R: 240 A/m; 345 A/m; 8 cm de I_1 .
9. Înfăsurările celor doi electromagneți indicați pe figură trebuie legate în serie și conectate apoi la o sursă de curent, dar în aşa fel, încît polaritatea lor să fie aceea indicată pe figura 71.
 10. Un solenoid are 100 spire bobinate pe o carcăsă cilindrică de carton avînd lungimea $l=20$ cm și diametrul $D=5$ cm. Să se afle valoarea intensității

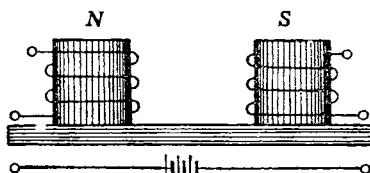


Fig. 71

11. Un solenoid are 240 spire înfășurate pe o carcasă de 36 cm lungime. Prin solenoid trece un curent de 15 A. Care este valoarea fluxului ce străbate un cerc cu suprafață de 4 cm^2 pus în interiorul solenoidului, perpendicular pe liniile de cimp. Cimpul în interiorul solenoidului se presupune uniform.

$$R: \Phi = 500 \cdot 10^{-8} \text{ Wb}$$

12. Un magnet în formă de inel este prevăzut cu o tăietură transversală îngustă (intrefier). Valoarea inducției magnetice în tăietură este $B_0 = 0,04 \text{ T}$. Să se găsească intensitatea cimpului magnetic H în metalul magnetului dacă permeabilitatea relativă a materialului din care este făcut magnetul este $\mu_r = 500$.

$$R: 64 \text{ A/m.}$$

II. Inducția electromagnetică

A. Fenomenele de inducție electromagnetică. Tensiuni electromotoare induse

În electromagnetism s-a văzut că un curent electric ce trece printr-un conductor dă naștere în jurul conductorului unui cimp magnetic.

Acest cimp magnetic acționează asupra unui ac magnetic sau asupra altui conductor parcurs și el de un curent electric. Ce se întimplă însă dacă facem operația inversă, adică mișcăm un conductor electric prin care nu trece curentul, în cimpul magnetic dat de

cimpului pe ax în centrul solenoidului cind spirele sunt parcuse de un curent cu intensitatea $I = 2 \text{ A}$. Ce valoare va avea intensitatea cimpului în cazul cind cu aceeași fir bobinăm solenoidul spiră lingă spiră pe o carcasă cu diametrul de 2,5 cm.

un magnet sau de un alt conductor străbătut de curent? Răspunsul l-a dat Faraday.

Transformarea unui lucru mecanic, cheltuit prin deplasarea într-un anumit fel a unui conductor liniar, a unei spire sau bobine într-un cimp magnetic, în energie electrică, stă la baza fenomenului de *inducție electromagnetică*, descoperit de Faraday în 1831 și demonstrat prin experiențele sale.

Faraday și cercetătorii contemporani lui au muncit 10 ani pentru a descoperi inducția electromagnetică, după ce Oersted arătase acțiunea magnetică a curentului electric, cu toate că erau convinși de reciprocitatea dintre fenomenele electromagnetice și cele de inducție. Înțîrzierea se explică prin faptul că ei plecau însă de la ideea că simpla aşezare a unui circuit într-un cimp magnetic este suficientă pentru a da naștere la curent și nu au aplicat principiul conservării energiei, care nu fusese încă descoperit. Cimpul magnetic dat de un curent continuu ce traversa permanent conductorul putea exista în jurul conductorului fără ca el să dea naștere într-un circuit vecin unei tensiuni electromotoare (curent) induse.

Cum se va vedea din experiențele de mai jos, trebuie să se producă o variație a fluxului magnetic care traversează un circuit sau ca un conductor să „taie“ fluxul magnetic ca să se producă o tensiune electromotoare de inducție în circuit sau conductor.

38. Modul și condițiile necesare pentru a produce tensiuni electromotoare induse

Experiențele lui Faraday. Prin apropierea sau depărtarea unei bobine din fir conductor, parcursă de un curent electric luat de la un acumulator, de o bobină asemănătoare sau cu mai multe spire decât prima și legată la un galvanometru s-a obținut în această bobină un curent. Acel galvanometrul devia numai pe timpul deplasării bobinei într-un sens la apropiere și în sens invers la depărtare (fig. 72). Bobina alimentată de la sursa de curent se numește *bobină primară sau inductoare*. Bobina în care a luat naștere curentul indus se numește *secundară sau inducție*.

Când s-a repetat experiența cu un magnet în loc de bobină primară (fig. 73), fenomenul s-a reprodus, și anume la apropierea mag-

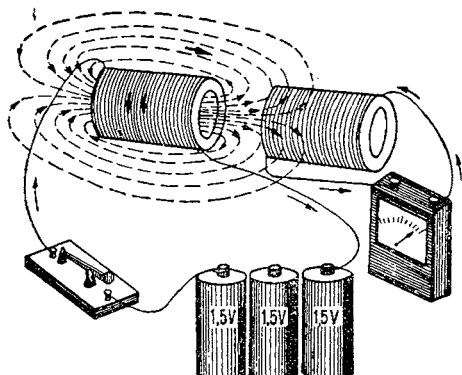


Fig. 72

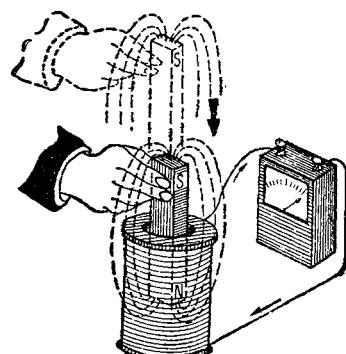


Fig. 73

netului galvanometrul devia într-un sens, iar la depărtare în sens invers. Cind magnetul nu se mișcă, acul galvanometrului rămîne la zero.

Dacă mișările bobinei primare sau ale magnetului sînt mai rapide, deviațiile acului galvanometrului sînt mai mari.

Dacă bobina primară sau magnetul rămîn fixe și se apropie sau se depărtează bobina secundară, apar curenți induși în aceasta. Rezultă de aici că este indiferent cum realizăm mișcarea celor două elemente. Este necesar însă să avem o deplasare relativă între ele (bobina primară față de cea secundară sau invers).

În cazul cind cele două elemente primar și secundar se mișcă cu aceeași viteză și în același sens, se constată că nu se produc curenți induși.

Faraday a obținut curenți induși și rotind o bobină (înfășurare) cu multe spire așezate pe un cadru circular în cîmpul magnetic pămîntesc (fig. 74). Bobina se rotea în jurul unui ax vertical sau orizontal. Rotirea unei bobine sau a uneia sau mai multe înfășurări într-un cîmp magnetic puternic dat de electromagneți stă la baza construcției mașinilor electrice.

Faraday experimentează cu două bobine așezate fix una lîngă alta pe un cilindru de lemn. Prima bobină cu fir de circa 60 m lungime era alimentată de la o baterie de circa 100 elemente cu un curent intens. A doua bobină cu fire mai multe era legată la un galvanometru. Circuitul primei bobine fiind închis și deci bobina

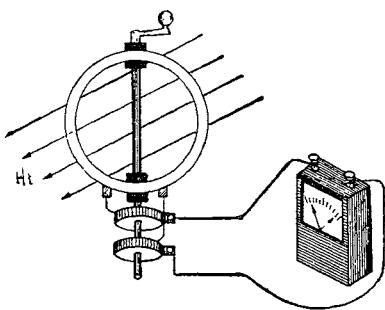


Fig. 74

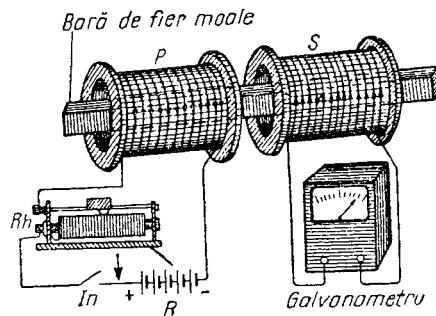


Fig. 75

parcursă de un curent continuu de la baterie, în bobina a două nu ia naștere nici un curent. Acul galvanometrului rămîne la zero.

Faraday a observat că la închiderea circuitului primar sau la deschiderea lui, galvanometrul arăta trecerea unui curent în bobină secundară. Acest curent era destul de slab și avea, la închiderea circuitului un sens, iar la deschidere sens invers.

După ce a perfecționat experiența, punind bobinele pe un inel de fier cu diametrul de 20 cm, a obținut curenți mult mai intensi la închiderea și deschiderea circuitului primar și numai pe acest timp. După stabilirea curentului în circuitul primar acul galvanometrului revine la zero.

Din experiență făcută rezultă că pe timpul închiderii sau deschiderii circuitului bobinei primare, ceea ce este tot una cu apariția sau disparația cimpului magnetic al bobinei, în bobină secundară apar impulsuri de tensiune electromotoare (curent) indușă.

În figura 75 se arată experiența lui Faraday, dar inelul de fier este înlocuit cu o bară de fier moale. Așa cum se vede în figură, cu reostatul R_h se poate varia curentul din bobină primară. Se obțin la închidere și deschidere curenți induși mai intensi dacă curentul prin bobină primară este mai mare. Bobinele din figura 75 sunt făcute prima cu fir mai gros (diametrul firului 1 mm) ca să poată suporta un curent de 4—5 A și are 50—60 spire, iar a doua cu 100—120 spire din fir subțire și se leagă la un galvanometru sau miliampermetru sensibil.

Grupul de experiențe de mai sus arată că s-au putut produce t.e.m. induse prin variația fluxului magnetic care traversează aria

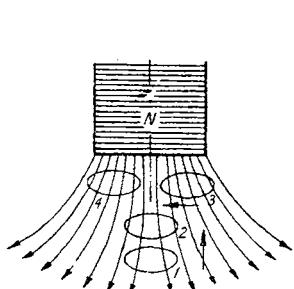


Fig. 76

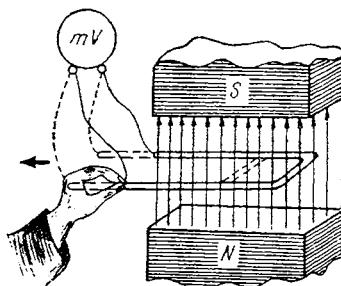


Fig. 77

limitată de circuitul induș. În unele experiențe variația fluxului a provenit din deplasarea relativă a circuitului primar și secundar. Aceste deplasări nu ar fi produs totuși t.e.m. dacă cîmpul magnetic al bobinei primare sau al magnetului ar fi fost uniform. În figura 76 se arată liniile de cîmp magnetic ale unui magnet (tot așa de uniform este cîmpul și în cazul unui solenoid) ce traversează o spiră în mișcarea ei din poziția 1 în 2 sau din 3 în 4. Fluxul ce trece prin spiră a variat deoarece cîmpul fiind neuniform, numărul liniilor de cîmp ce trec prin spiră în cele două poziții este diferit. În cazul unui cîmp uniform, deși am fi mișcat spira la fel ca mai sus, nu ar fi apărut t.e.m.

Modurile de producere a t.e.m. induse sunt foarte diferite, toate sunt bazate însă pe variația fluxului inducției magnetice ce traversează aria limitată de o spiră sau de mai multe (în cazul bobinei). Așa, de exemplu, se pot obține tensiuni electromotoare prin variația suprafeței circuitului induș așezat într-un cîmp uniform sau deplas-

sind o spiră în cîmpul magnetic dat de un magnet, ca în figura 77, sau dacă tăiem liniile cîmpului magnetic printr-un conductor, ca în figura 78. Variația fluxului în cazul figurilor 77 și 78 s-a obținut variind secțiunea circuitului format din fire și galvanometru, secțiune traversată de liniile de cîmp magnetic.

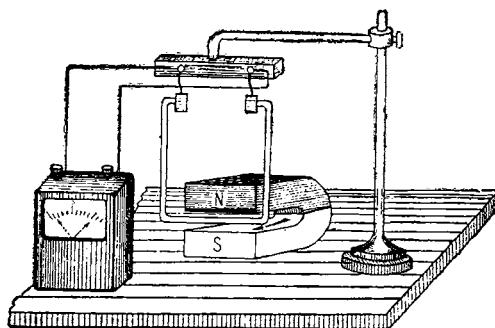


Fig. 78

39. Legile inducției electromagnetice. Legea lui Faraday. Regula lui Lenz

Experiențele descrise au arătat modul și condițiile necesare producerii de t.e.m. induse. Orice variație a fluxului magnetic care traversează un circuit dă naștere în circuit la o t.e.m. de inducție. Se numește inducție electromagnetică fenomenul prin care se produce o t.e.m. într-un circuit electric care se deplasează într-un cîmp de inducție magnetică sau care este menținut într-un cîmp de inducție magnetică variabilă în timp.

Din aceleași experiențe putem trage însă unele concluzii privind mărimea t.e.m. produse. De exemplu cînd în experiență arătată în figura 75 am mărit curentul din bobina primară, cu ajutorul reostatului, s-a văzut că la închiderea și deschiderea intrerupătorului t.e.m. indusă, respectiv curentul induș pe care această t.e.m. îl produce în bobina secundară, era mai mare. Această mărime este cauzată de mărirea fluxului inductor și deci și a fluxului ce traversează bobina secundară.

Rezultă că t.e.m. indusă este proporțională cu variația fluxului $\Delta\Phi$:

$$e \sim \Delta\Phi.$$

Din relația ce dă valoarea lui Φ printr-o bobină știm că cu cât numărul de spire este mai mare, fluxul este mai mare pentru același cîmp ce traversează bobina. Putem deci spune că variația fluxului ce traversează bobina secundară este cu atît mai mare cu cât numărul ei de spire este mai mare, adică:

$$e \sim N$$

Dacă se mărește valoarea curentului ce alimentează bobina primară cu ajutorul cursorului reostatului (fig. 75), de la o valoare I_1 la I_2 fluxul prin bobina S variază în timp și el de la valoarea Φ_1 la Φ_2 , adică cu $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$. Variația curentului în timpul $\Delta t = t_2 - t_1$ dă naștere la o t.e.m. indușă.

Făcînd această variație a curentului între cele două valori I_1 și I_2 mai repede, t.e.m. indușă în S este mai mare și cu atît mai mare cu cât $\Delta t = t_2 - t_1$ este mai mic.

Rezultă din această experiență că tensiunea electromotoare este

invers proporțională cu intervalul de timp în care se produce variația intensității.

$$e \sim \frac{1}{\Delta t};$$

Rezultatul observațiilor de mai sus se poate strînge într-o singură relație:

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (25)$$

unde $\Delta\Phi$ reprezintă variația totală a fluxului produsă prin numărul N de spire al bobinei S .

Relația (25) reprezintă *legea lui Faraday* și dă valoarea instantanea a t.e.m. induse. Pentru a reprezenta exact fenomenul inducției electromagnetice, cum se va vedea mai jos, relația ce dă pe e are în față semnul minus. Ea se poate scrie în cazul variației uniforme $e = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1}$. În cazul unei variații finite oarecare se aplică relația (25).

Raportul $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ reprezintă variația fluxului în unitatea de timp, aşa încit putem spune că t.e.m. indușă este proporțională cu viteza de variație în timp a fluxului magnetic.

Exprimând variația fluxului în weberi (Wb) și variația timpului în secunde, t.e.m. se exprimă în volți (V), deci:

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ se măsoară în } \frac{\text{Wb}}{\text{s}},$$

deci $\text{Wb} = \text{V} \cdot \text{s}$. *Weberul este fluxul magnetic care străbatează aria închisă de o spiră care produce în ea o t.e.m. de 1 volt cind descrește uniform la zero într-o secundă*. În electromagnetism se arată că fluxul inducției magnetice printr-o suprafață este dat de relația:

$$\Phi = B \cdot S \cos \alpha = \mu H S \cos \alpha,$$

unde α este unghiul dintre normala la suprafață închisă de circuit și direcția liniilor de forță magnetice.

Relația (25) în cazul unei bobine cu N spire se scrie:

$$e = -\frac{\Delta(N\Phi)}{\Delta t} = -\frac{\Delta(BNS \cos \alpha)}{\Delta t} \quad (26)$$

Această relație arată că t.e.m. induse se pot obține variind în timp fluxul prin schimbarea permeabilității circuitului, variația lui B (variația lui I), variația secțiunii spirei sau a orientării ei față de liniile de forță ale cimpului (variația lui α). În relația (26) sunt cuprinse deci toate modurile de generare a t.e.m. induse, aşa cum s-a văzut din experiențele descrise sau care se pot imagina ținând seama de variația elementelor ce intră în relație.

Legea lui Faraday arată mărimea t.e.m. sau a curentului induc căruia îi dă naștere în circuitul închis această tensiune. Curentul induc trebuie precizat însă și ca sens. Profesorul E. H. Lenz de la Universitatea din Petersburg (1834), după ce a generalizat rezultatul experiențelor privind inducția electromagnetică, a dat regula de determinare a sensului curentului induc. Astăzi se poate recunoaște ușor că această regulă este bazată pe legea conservării energiei.

Regula poartă numele de *regula lui Lenz* și se exprimă astfel:

sensul curentului induc ce traversează un circuit închis este astfel încit fluxul său propriu tinde să compenseze variația fluxului ce i-a dat naștere.

Fie o bobină A făcută din mai multe spire. Dacă apropiem de ea sudul unui magnet M (fig. 79, a) sau al unui solenoid, curentul induc în bobina A privită din direcția liniilor de forță are sensul mișcării acelor de ceasornic. Acest curent conform regulii stabilite în electromagnetism face ca la capătul bobinei A apropiat de magnet să apară polul sud. Bobina respinge astfel magnetul sau solenoidul care se apropie. În cazul apropierea polului nord, curentul induc are sens schimbat. El creează un pol nord în fața nordului magnetului și cauță să-l respingă.

Restabilirea unui curent în bobina primară este totușa cu apropierea (mărirea fluxului) magnetului. Întreruperea curentului este echivalentă cu depărtarea inducătorului.

Dacă se ține seama de polaritatea solenoidului primar cînd este

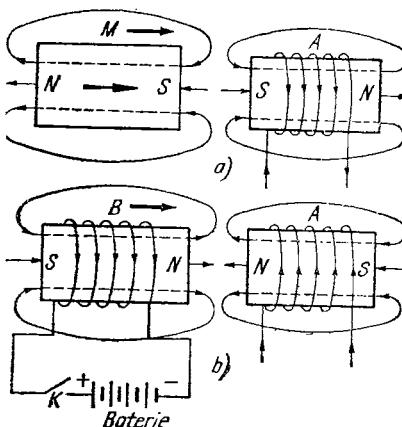


Fig. 79

traversat de un curent continuu permanent, putem stabili sensul curentului indus în A la închiderea și deschiderea curentului din solenoïdul B (fig. 79, b).

Din cele arătate rezultă că acțiunea curentului indus se opune cauzei ce l-a produs. Semnul minus din legea lui Faraday precizează tocmai această acțiune contrară față de variația fluxului inductor.

Demonstrarea regulii lui Lenz se poate face prin diferite experiențe. Una din cele mai simple este aceea în care o bobină infășurată pe un miez de fier are, la capătul miezului suspendat, un inel de aluminiu ce se poate mișca în lungul axei miezului. Cind se stabilește curentul prin bobină, inelul este respins. La intreruperea curentului, inelul este atras. Este dovada că în inel t.e.m. indușă a creat un curent induș care are sensul dat de regula lui Lenz.

Problema rezolvată

Printr-o bobină A cu rezistență $R_A=0,9 \Omega$ fluxul total variază de la $\Phi_1=3$ Wb la $\Phi_2=0,6$ Wb în 0,1 secunde.

Să se calculeze valoarea medie a curentului și cantitatea de electricitate q ce traversează bobina, dacă ea este legată la un miliampermetru cu rezistență proprie $R_G=0,3 \Omega$.

$$e_{med} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{3-0,6}{0,1} = \frac{2,4}{0,1} = 24 \text{ V.}$$

Dacă $R=R_A+R_G$

$$i_{med} = \frac{e}{R_A+R_G} = \frac{24}{1,2} = 20 \text{ și } q=i\Delta t = 20 \cdot 0,1 = 2 \text{ C,}$$

sau altfel: $q=i\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R}$ deci $q = \frac{\Phi_1-\Phi_2}{R} = \frac{2,4}{1,2} = 2 \text{ C.}$

Întrebări recapitulative

1. Ce legătură există între electromagnetism și inducția electromagnetică?
2. De ce este necesară o variație de flux pentru a se produce fenomenul de inducție electromagnetică?
3. Care este relația dintre tensiunea electromotoare indușă și curentul induș?
4. De ce este necesar ca în legea lui Faraday să apară semnul minus și care este semnificația fizică a lui?

Exerciții

1. Să se determine sensul curentului induș în bobina A din figura 79, b cînd se închide și cînd se deschide intrerupătorul K . Înfășurarea bobinei fiind aceea arătată pe figură se inversează polaritatea bateriei. Să se arate și în acest caz sensul curentului induș.
2. O bobină cu secțiunea de 10 cm^2 avînd 100 spire se aşază normal pe un cîmp de inducție de 1 Wb/m^2 (1 tesla). Care este timpul în care trebuie să anulăm cîmpul ce traversează bobina dacă vrem să obținem în ea o t.e.m. indușă de 1 volt.

R: 0,1 s.

40. Tensiunea electromotoare într-un conductor liniar

Să luăm un circuit format din două fire neizolate paralele F și F' orizontale și la distanța l unul față de altul, legate în serie cu un galvanometru (fig. 80). Pe fire lunecă un element de conductor MM' perpendicular pe ele. Firele și conductorul sunt plasate într-o regiune unde există un cîmp de inducție uniform B , vertical produs de un magnet sau electromagnet.

Experiența se aranjează ca în figura 42 pentru verificarea legii lui Laplace, dar aici firele nu sunt alimentate de la sursă. Ele sunt închise pe un galvanometru. Galvanometrul va fi parcurs de un curent atunci cînd mișcăm cu o viteză v conductorul MM' pe firele F și F' care rămîn fixe.

Pentru aflarea sensului t.e.m. de inducție electromagnetică în circuitul liniar se folosește regula mîinii drepte:

dacă se ține mîna dreaptă în aşa fel încît liniile de inducție să treacă prin palmă, iar degetul mare arată sensul mișcării conductorului (v), degetele întinse arată sensul t.e.m. indușă în conductor (fig. 81).

Mărimea t.e.m. se găsește experimental și prin calcul că are valoarea:

$$e = -Blv.$$

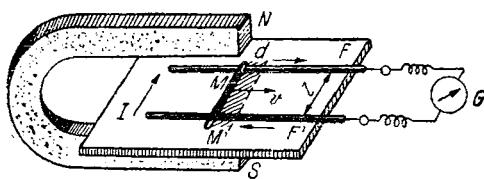


Fig. 80

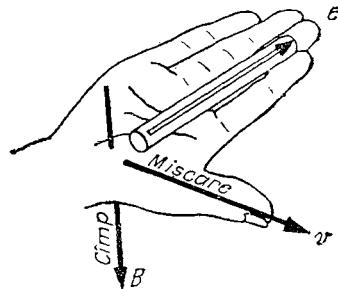


Fig. 81

Presupunem că t.e.m. a luat naștere ca urmare a variației fluxului lui B prin suprafața pe care a descris-o conductorul în timpul t cind s-a deplasat pe conductorii FF' , cu distanța d . Deoarece conductorii F, F' sunt așezați la distanța l , atunci suprafața descrisă este $S = l \times d$ (suprafață hașurată pe figură). Fluxul inducției B prin această suprafață este $\Phi = B \cdot S$, căci B este perpendicular pe S .

T.e.m. după legea lui Faraday este $e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ sau în cazul variației uniforme a fluxului $\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1}$ unde $t_2 - t_1 = t$.

După timpul t fluxul a variat cu:

$$\Phi_2 - \Phi_1 = B \cdot S. \text{ Deci } e = -\frac{B \cdot S}{t} = -\frac{B \cdot l}{t} d = -B \cdot lv \text{ căci } \frac{d}{t} = v,$$

viteza cu care mișcăm pe MM' . Dacă conductorul se mișcă paralel cu liniile cîmpului de inducție magnetică, t.e.m. este nulă căci fluxul este nul.

41. Explicarea electronică a inducției electromagnetice

Experiența și raționamentul făcut au arătat că în elementul de conductor mobil MM' apare o t.e.m. cind el este mișcat într-un cîmp B . Apariția acestei t.e.m. induse, deci a fenomenului de inducție electromagnetică, se poate explica tinând seama de mișcarea electronilor în conductorul ce se deplasează în cîmpul de inducție magnetică.

În cîmpul de inducție B electronii liberi din conductorul metalic în agitația lor termică se mișcă dezordonat, așa încît forța Lorentz (v. § 28) ce lucrează asupra lor are o rezultantă nulă și deci nu are un efect de orientare asupra electronilor.

Dacă conductorul se mișcă cu o viteză v într-o anumită direcție, atunci electronii liberi din metal capătă toți o componentă suplimentară a vitezei lor egală cu v și îndreptată în direcția acestei viteze. Forța lorentziană produce atunci o deplasare a electronilor în direcția ei și în sensul dat de regula mîinii stîngi pentru electroni. La un capăt al conductorului se vor aduna electroni mai mulți și acest capăt se va încărca negativ, capătul celălalt va avea lipsă de electroni și va fi încărcat pozitiv. Între cele două capete apare o t.e.m. La deplasarea conductorului în sens invers și în același cîmp B , forța lorentziană se inversează și deci și t.e.m.

În momentul încetării mișcării, t.e.m. încetează, forțele Lorentz fiind exercitate asupra fiecărui electron avînd o rezultantă nulă.

În figura 82 se arată sensul forței Lorentz care acționează electronii conductorului ce se deplasează cu viteza v perpendicular pe B și sensul currentului dat de t.e.m. indusă.

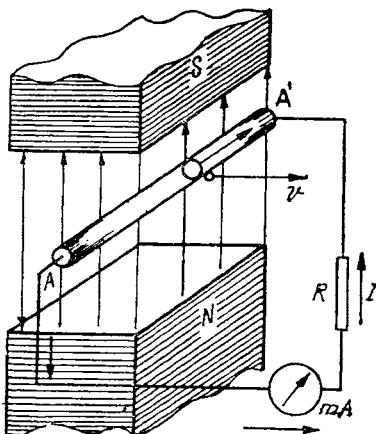


Fig. 82

B. Autoinducția

42. Inductanță, unitatea de inductanță

Ori de câte ori producem o variație a fluxului de inducție prin suprafața limitată de conductor se observă fenomenul de inducție electromagnetică indiferent de modul cum am produs variația de flux.

Dacă trecem un curent printr-un circuit care limitează o suprafață oarecare, un flux magnetic proporțional cu intensitatea curentului va

trece prin acea suprafață. Fluxul, aşa cum s-a arătat în cazul unei spire sau al unui solenoid cu un număr N de spire, este $\Phi = L \cdot I$. Mărimea L este o caracteristică a circuitului și se numește inductanță circuitului. În cazul cînd curentul este variabil în timp fluxul va fi și el variabil. Variația fluxului produsă de însuși curentul circuitului va face să apară o t.e.m. indușă, numită tensiune *autoindusă*. Fenomenul de inducție electromagnetică ce apare într-un circuit ca urmare a variației curentului ce străbate circuitul poartă numele de *fenomen de autoinducție*. T.e.m. autoindusă produce un curent în circuit, care se suprapune pe cel care i-a dat naștere. După regula lui Lentz dacă t.e.m. autoindusă a luat naștere prin creșterea fluxului inductor curentul produs de această tensiune autoindusă are sensul în așa fel încît se opune creșterii fluxului. Dacă de exemplu creșterea fluxului inductor al unei bobine s-a făcut prin creșterea curentului bobinei, atunci curentul autoindus va căuta să scadă curentul din circuit, adică va avea sens opus. Tensiunea electromotoare autoindusă ca mărime este dată de legea lui Faraday:

$$e_a = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{L\Delta I}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Experiența de mai jos verifică cele spuse. Se pun în paralel în circuitul unui acumulator două becuri identice ce funcționează la tensiune mică, unul A în serie cu o bobină cu miez de fier, celălalt B în serie cu un reostat cu cursor R (fig. 83). Închizînd circuitul acumulatorului, reglăm cu reostatul curentul ca cele două becuri să lumineze la fel în funcționare continuă. Deschidem apoi circuitul și după un timp îl închidem: se observă că becul A se aprinde ceva mai tîrziu. Curentul în bobina L atinge valoarea maximă mai tîrziu decît cel din ramura cu reostat. Repetăm experiența, dar numai cu cele două becuri scurtcircuitând prin K_2 bobina cu miez de fier. Cele două becuri reglate se aprind la restabilirea curentului în același timp. Deoarece autoinducția nu mai apare ca în cazul bobinei cu miez de

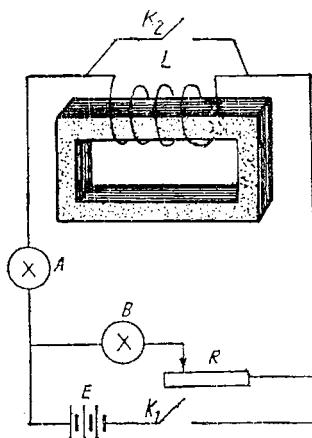


Fig. 83

fier, nu mai apare nici înțărzierea în aprinderea becului. În cazul primei experiențe, cînd închidem circuitul, curentul crește prin bobină de la zero la valoarea sa maximă într-un timp scurt; fluxul bobinei crește și el de la zero la valoarea maximă a sa, care este $\Phi = LI$. În timpul variației fluxului ia naștere în bobină o t.e.m. autoindusă, care dă un curent inducță ce se suprapune peste curentul dat de pilele din circuit. Acest curent dat de o creștere a fluxului se opune cauzei ce l-a produs, este deci de sens contrar curentului principal. Becul în serie cu bobina se aprinde mai tîrziu, fiind parcurs de diferența dintre curentul sursei și cel de autoinducție. Sensul t.e.m. de autoinducție la închiderea și la întreruperea curentului ce traversează o bobină cu miez de fier e arătat în figura 84.

Autoinducția este un fenomen general în cazul curentului variabil, ca, de exemplu curentul alternativ. Ea devine importantă cînd circuitul are inductanță mare.

Deoarece cum rezultă din experiența dată, autoinducția se opune oricărei variații a intensității curentului electric ea se manifestă ca o inertie electromagnetică.

43. Aplicații ale autoinducției

S-a arătat mai sus că fenomenul de autoinducție nu este totdeauna de dorit, ca, de exemplu, în cazurile cînd poate produce supratensiuni periculoase. Tehnica a găsit mijloace care să înlăture efectele dăunătoare ale inductanțelor. Așa, de exemplu, întreruperea circuitelor parcuse de intensități mari și care au inductanțe mari se face prin întrerupătoare speciale, disjunctoare cu ulei sau cu aer comprimat. Pentru micșorarea inductanței unei bobine se pot face bobine cu înfășurare cu dublu fir, ca în fig. 85. Firele bobinei sunt parcuse de curenți de sens invers ce fac să se anuleze reciproc cimpurile magnetice.

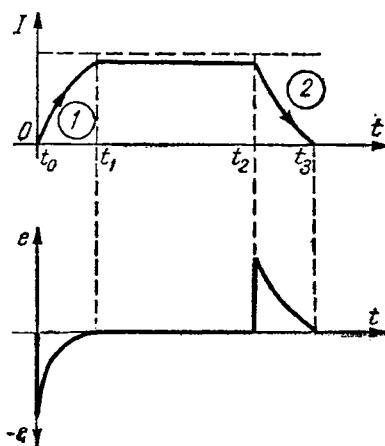


Fig. 84

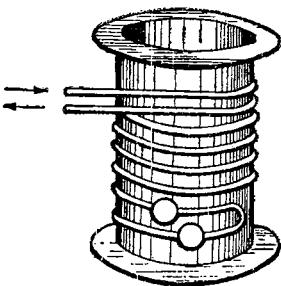


Fig. 85

Autoinductiile si inductantele (bobine de inducție) sunt însă elemente ce își găsesc utilizare în tehnica. Așa, de exemplu, în aplicațiile curentilor alternativi industriali sau în tehnica curentilor telefonici sau de înaltă frecvență, inductantele împreună cu condensatorii constituie circuite oscilante, care sunt elemente fundamentale pentru telefonie și radioelectricitate. În cercetarea științifică inductantele și supratensiunile produse prin autoinducție și-au găsit, de asemenea, utilizări ca în cazul stabilirii existenței fenomenului de supraconductibilitate.

Întrebări recapitulative

- Să se explice inducția electromagnetică plecând de la principiul conservării energiei.
- Cum se definește autoinducția în cazul circuitelor parcuse de curent continuu sau în cazul curentilor variabili. Care sunt efectele autoinducției?
- De ce între două înfășurări, una exterioară și alta interioară primei, dacă în bobina interioară se închide și se deschide curentul în bobina exterioară apar t.e.m.?
- Rotind un cadru cu mai multe spire cu viteză unghiulară constantă într-un cimp de inducție B , ce fel de t.e.m. se obține în spirele cadrului?

Exerciții

- Un conductor de lungime $l=30$ cm se află în întregime între polii unui electromagnet unde există o inducție magnetică $B=0,4$ tesla. Dacă conductorul se mișcă perpendicular pe liniile de inducție cu $v=20$ m/s, să se găsească t.e.m. indușă în conductor. R: 2,4 V.
- Care este inductanța unei bobine de lungime $l=40$ cm care are diametrul mediu de 2 cm și un număr de 2 745 spire? R: $L=0,00745$ H.
- O bobină are $l=50$ cm și diametrul $D=10$ cm. Cite spire trebuie să aibă pentru ca inductanța să fie 1 H? R: 7 110 spire.
- Într-o bobină cu miez de fier se induce o t.e.m. de autoinducție de 60 V, la o variație a curentului de la 30 A la zero, în timp de 0,2 s. Ce inductanță are bobina? R: 0,4 H.

G e n e r a t o a r e , m o t o a r e , t r a n s f o r m a t o a r e

I. C u r e n t u l a l t e r n a t i v

44. Tensiunea electromotoare indușă într-o spiră plană care se rotește într-un cîmp de inducție magnetică

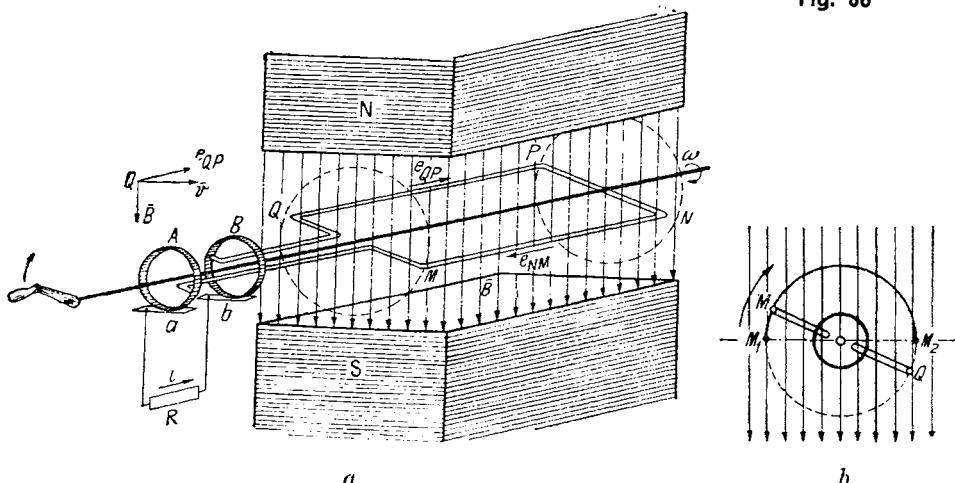
Una dintre cele mai importante aplicații ale fenomenului de inducție electromagnetică o constituie producerea curentului electric de către generatoarele de curent alternativ și generatoarele de curent continuu.

S-ar părea că este simplu de realizat un generator de curent continuu, întrucât pentru aceasta ar trebui doar ca să se deplaseze cu viteză constantă un conductor rectilinu, într-un plan perpendicular pe liniile unui cîmp de inducție magnetică \vec{B} , uniform. În acest caz s-ar obține în conductor o t.e.m. constantă $e = Blv$, deoarece fiecare dintre cele trei mărimi care o determină sunt și ele constante. Practic însă acest dispozitiv este aproape imposibil de realizat din cauză că este foarte greu să se creeze un cîmp magnetic uniform într-o regiune foarte întinsă.

Este mult mai ușor de obținut o t.e.m. de inducție corespunzătoare scopurilor practice, rotind o spiră într-un cîmp \vec{B} uniform care ocupă *un spațiu restrins*. Dar, aşa cum se va arăta mai jos, un astfel de dispozitiv nu permite obținerea unei t.e.m. constante, ci a unei t.e.m. variabilă în timp, și anume alternativă.

Pentru aceasta (fig. 86, a) se folosește un conductor îndoit în forma unei spire dreptunghiulare MNPQ, al cărei început este legat

Fig. 86



la un inel metalic A , iar sfîrșitul la un alt inel metalic B . Pe aceste inele apasă două perii a, b metalice (sau din cărbune). Spira se rotește cu o viteză constantă în cîmpul uniform B creat, de exemplu de un magnet permanent. În timpul primei jumătăți de rotație a spirei, cînd M ajunge din M_1 în M_2 (fig. 86, b), în conductorul MN ia naștere o t.e.m. $e_{MN}=Blv$, unde v este acea componentă a vitezei periferice v' care produce t.e.m., adică componenta perpendiculară pe direcția lui \vec{B}^* . Aplicînd regula mîinii drepte (fig. 86, a) se observă că această t.e.m. este îndreptată dinspre M spre N . Totodată se vede că în conductorul PQ ia naștere o altă t.e.m. e_{PQ} egală cu e_{MN} și cu un astfel de sens încît se însumează cu aceasta. Sensul opus al lui e_{PQ} se explică prin sensul opus al vitezei conductorului PQ față de viteza conductorului MN . Deși se rotesc, în conductoarele NP și MQ nu iau naștere t.e.m. de inducție, pentru că ele nu taie liniile cîmpului B , ci se deplasează paralel cu ele.

Așadar în spiră ia naștere o t.e.m. totală $e_1=2Blv$; cum $v=v' \sin \alpha$ (fig. 87) rezultă că $e_1=2Blv' \sin \alpha$ (27). S-a notat cu α unghiul format de v' (perpendiculară pe planul spirei) cu direcția liniilor lui \vec{B} . Conectînd un rezistor R între periile a și b , prin spiră,

* Ceaalaltă componentă a vitezei v'' , nu taie liniile lui B , fiind paralelă cu ele și deci nu produce t.e.m. (fig. 87).

inele, perii și rezistor va circula un curent electric îndreptat (prin R) de la b spre a .

Din fig. 88, a se observă că în timpul celei de-a doua jumătăți de rotație (când M trece din M_2 în M_1 fig. 88, b) t.e.m. totală din spiră este de asemenea, e_1 , dar ea este orientată în sens *contrar* și face deci să treacă prin R un curent de sens *contrar* celui din cazul precedent. Așadar, t.e.m. variază în timp, schimbându-și periodic valorile (sinusoidal, v. relația 27) și sensul; de aceea ea este denumită *t.e.m. alternativă sinusoidală*. Cind $\alpha=90^\circ$, adică planul spirei este paralel cu liniile lui B , $\sin 90^\circ=1$ (relația 27) și e_1 are cea mai mare valoare: $E_{m1}=2 Blv'$ (28). De aceea, t.e.m. indușă în spiră la un moment oarecare t este: $e_1=E_{m1} \sin \alpha$.

Dacă în scopul obținerii unei t.e.m. mai mari se folosește un cadru care conține n spire, atunci se obține o t.e.m.: $e=n e_1 = n E_{m1} \sin \alpha = E_m \sin \alpha$ (29).

Cind se leagă la perii un rezistor cu o rezistență R mult mai mare decât rezistența spirei, atunci prin el va circula un curent $i = \frac{e}{R} = \frac{E_m}{R} \cdot \sin \alpha = I_m \sin \alpha$ (30), care își schimbă și el periodic valorile și sensul, adică este un *curent alternativ sinusoidal*.

Variatarea t.e.m. $e=E_m \sin \alpha$ pentru diferite poziții ale spirei (cadrului) se poate urmări în figura 89 (curba trasată plin). Tot aici se poate aprecia și care este fluxul magnetic Φ îmbrățișat de spiră (cadru) în diferite poziții (regiunea umbrită) și deci felul în care variază Φ (curba trasată întrerupt). Din această figură se observă că în cursul primei jumătăți de rotație (0° — 180°), curentul i străbate

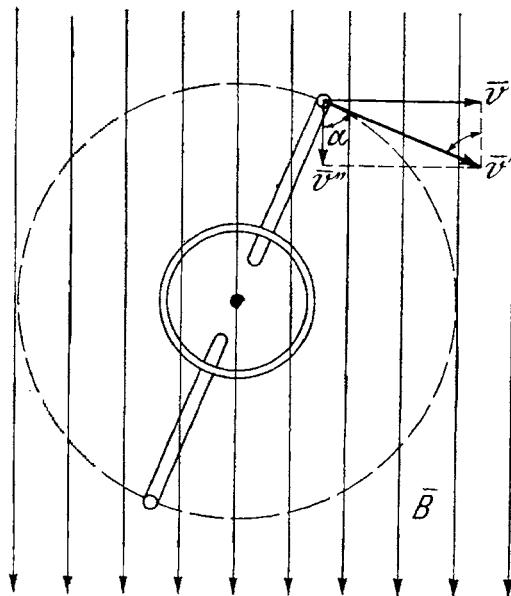
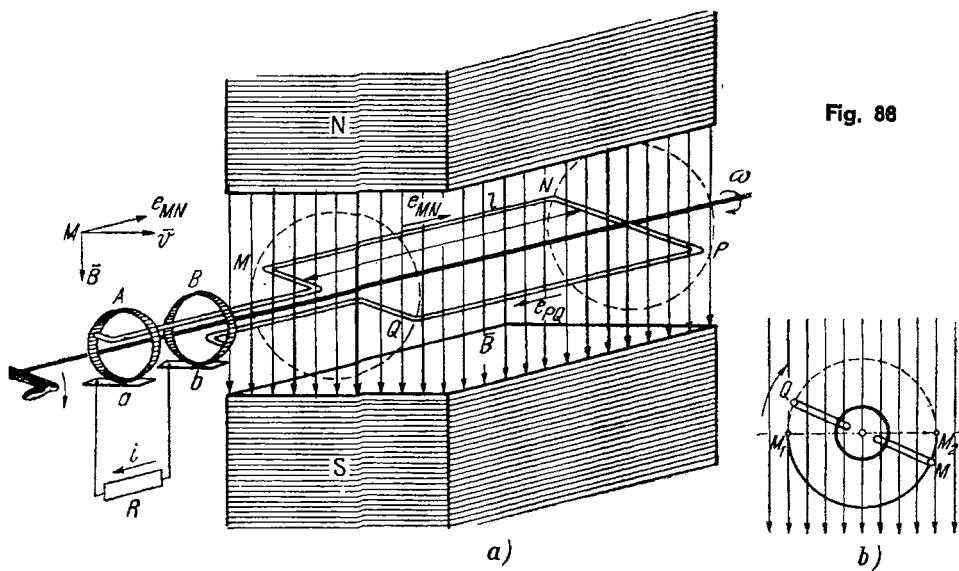


Fig. 87

Fig. 88



rezistorul într-un sens care este determinat de sensul pe care îl are t.e.m. e ; în acest interval, e are valori pozitive (alese convențional). În ceea de-a doua jumătate de rotație (180° — 360°), sensul t.e.m. și al curentului se inversează, iar pe grafic aceasta corespunde valorilor negative ale t.e.m. e . Trebuie reținut că în cazul arătat, cînd între perilele a și b se află un rezistor, graficul reprezintă în același timp variația t.e.m. cît și variația curentului, întrucît ele sunt determinate prin expresii de același fel (v. relațiile 29 și 30). Din grafic se mai observă că t.e.m. este maximă atunci cînd conductoarele MN și PQ intersectează cu viteza maximă liniile cîmpului \vec{B} , adică atunci cînd fluxul care străbate aria imbrățișată de spiră trece prin zero.

Acest rezultat, precum și felul în care variază în timp t.e.m. poate fi regăsit raționind în felul următor. Se consideră de exemplu, patru poziții succesive ale cadrului, care fac între ele unghiuri egale, deci care se succed la intervale de timp Δt egale (fig. 90). La rotirea din poziția 1 în poziția 2 are loc cea mai mare variație de flux $\Delta\Phi_{1,2}$, adică cea mai mare variație a numărului de linii ale lui \vec{B} ce trec prin aria imbrățișată de cadru. La trecerea din poziția 2 în poziția 3 se obține o variație de flux $\Delta\Phi_{2,3}$ mai mică decît variația precedentă și în sfîrșit cea mai mică variație de flux are loc la tre-

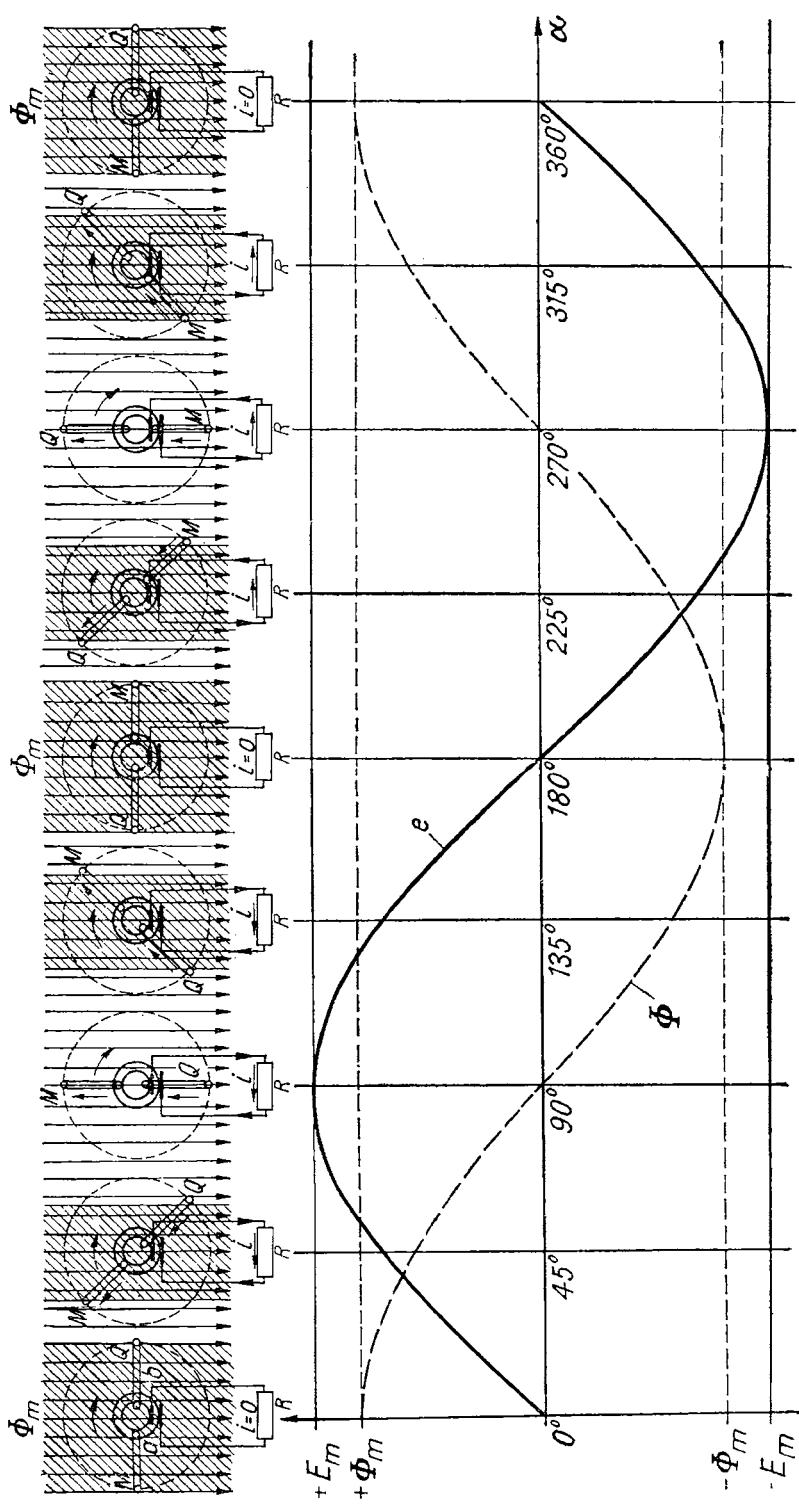


Fig. 69

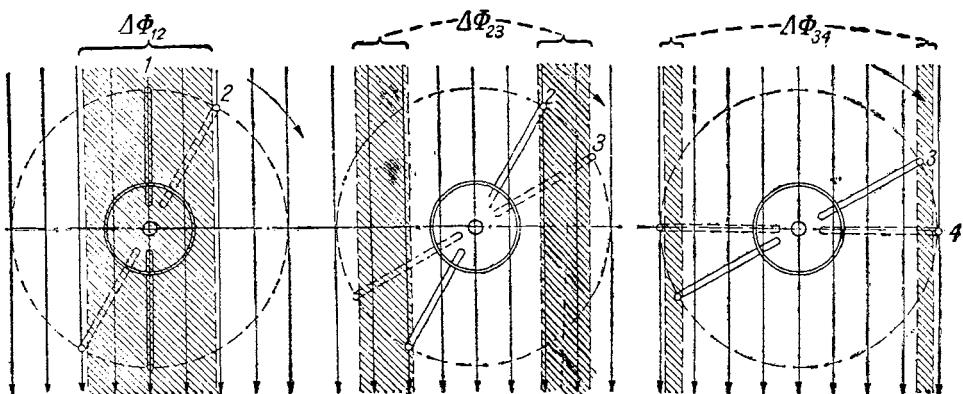


Fig. 90

cerea cadrului din poziția 3 în poziția 4($\Delta\Phi_{4,3}$). T.e.m. induse fiind date de viteza de variație a fluxului $e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ și Δt răminind același, reiese că, așa cum arată și graficul din figura 89, e este maximă pentru poziția 1 ($\alpha=90^\circ$) și este nulă pentru poziția 4 ($\alpha=180^\circ$).

Întrucit mișcarea de rotație este uniformă $\alpha=\omega t$, așa încât t.e.m. alternativ și curentul alternativ date de ecuațiile (29) și (30) se exprimă prin formulele: $e=E_m \sin \omega t$ (31) și $i=I_m \sin \omega t$ (32) care sunt folosite adesea. De aici rezultă că, în graficul din figura 89 se poate considera că pe abscisă s-a reprezentat nu unghiul α , ci timpul t cu care acesta este proporțional. Bineînțeles că în acest caz în loc de 90° se va considera pe abscisă $\frac{T}{4}$, în loc de 180° , $\frac{T}{2}$, etc. Astfel graficul din figura 89 arată variația t.e.m. cu timpul conform ecuației (31).

Experiență. Se poate dovedi faptul că t.e.m. și deci și curentul alternativ circulă cînd într-un sens cînd în altul, conectînd un galvanometru suficient de sensibil la bornele unei spire sau mai bine ale unei bobine cu miez de fier, pusă în mișcare de rotație uniformă și aflată într-un cîmp magnetic produs de un electromagnet alimentat cu curent continuu (experiență se poate face cu dispozitivul realizat de către I.M.D., figura 91). În acest caz se va observa

că la fiecare jumătate de rotație a cadrului, sensul în care deviază acul galvanometrului se schimbă. Rotind cadrul uniform și destul de lent, se va putea urmări și modul în care variază curentul produs, și anume acesta are intensitatea maximă (acul galvanometrului deviază cel mai mult) cînd trece prin poziția în care planul său este paralel cu liniile lui \vec{B} . Dimpotrivă cînd planul cadrului este perpendicular pe \vec{B} , atunci acul galvanometrului trece prin poziția de zero.

Curba care arată cum variază în timp curentul alternativ (curba din figura 89) se poate obține folosind fie un *oscilograf cu buclă* și o oglindă rotitoare, fie un *oscilograf catodic*.

Dispozitivul descris pînă aici constituie cel mai simplu generator de curent alternativ care utilizează mișcarea de rotație. Funcționarea sa este ușor de înțeles. În practică însă, acest dispozitiv nu poate produce t.e.m. cu valori suficient de mari, pentru că nici fluxul maxim Φ_m nu poate avea valori ridicate.

Aceasta se datorează faptului că aerul are o permeabilitate magnetică foarte mică. În scopul măririi lui Φ , cadrul se aşază pe un cilindru din fier moale, a cărui permeabilitate magnetică este cu mult mai mare, de exemplu de ordinul sutelor de ori mai mare; de tot atîtea ori mai mare va fi și B , deci și fluxul: $\Phi = BS$ (S =aria cadrului).

Fenomenele descrise în acest paragraf sunt deosebit de importante, intrucât pe baza lor are loc funcționarea atîț a generatoarelor de curent alternativ cît și a celor de curent continuu.

45. Perioada și frecvența curentului alternativ. Generalități asupra curentului alternativ

Dacă după terminarea unei rotații cadrul continuă să se rotească uniform, atunci în intervalele de timp egale în care are loc fiecare dintre rotațiile următoare, t.e.m. și curentul alternativ recapătă ace-

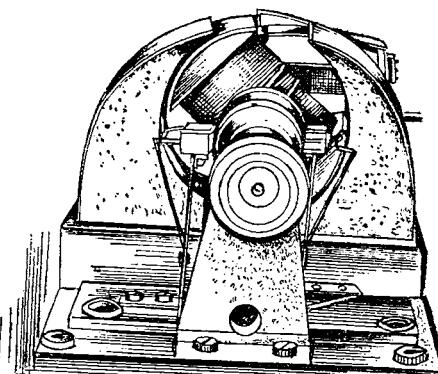


Fig. 91

leași valori și sensuri ca în cursul primei rotații (fig. 89). Curentul alternativ fiind un fenomen periodic, este caracterizat prin mărimile: *perioadă, frecvență, amplitudine, valoare instantanee*.

Intervalul de timp după trecerea căruia t.e.m. sau curentul alternativ trec succesiv prin aceleasi valori și au același sens se numește *perioadă* a t.e.m. sau a curentului alternativ. Perioada se notează cu T și se măsoară în secunde: $\langle T \rangle = s$.

Frecvența t.e.m. sau a curentului alternativ arată de câte ori se produce acest fenomen periodic în unitatea de timp (secunda). Valoarea frecvenței este dată de numărul de perioade dintr-o unitate de timp. Între frecvență și perioadă există relația:

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (33)$$

Prin urmare, frecvența se măsoară în $1/s$: $\langle \nu \rangle = s^{-1}$. Unitatea de măsură a frecvenței este *hertzul** (Hz) care reprezintă frecvența unui fenomen periodic cu perioada de o secundă. Multiplii ai hertzului utilizati adesea sunt: kilohertzul ($1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$) și megahertzul ($1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$).

Mărimea $\omega = 2\pi\nu$ se numește pulsația curentului alternativ. Ea este numeric egală cu viteza unghiulară cu care se rotește cadrul unui generator care are o singură pereche de poli și produce curent alternativ cu frecvență ν .

După valoarea frecvenței și după utilizările pe care le au, *curenții alternativi se pot clasifica în trei categorii principale*:

— *Curenți de joasă frecvență* (denumiți adesea *curenți industriali*) cu frecvență de ordinul zecilor de Hz. Din această categorie face parte curentul alternativ cu frecvența de 50 Hz, care este folosit cel mai des în rețelele de curent alternativ din Europa. Curenții alternativi cu frecvențele de 16 și 25 Hz sunt folosiți în tracțiunea electrică.

— *Curenții cu frecvență intermediară*, având frecvențele cuprinse între 100 Hz și 20 000 Hz. Aici se încadrează: *curenții telefonici* (folosiți în transmisiile telefonice pe fir $\nu = 300 - 3000 \text{ Hz}$) și *curenții*

* Denumirea unității de măsură a frecvenței a fost dată după numele marelui fizician Heinrich Hertz (1857–1894) renumit pentru lucrările sale asupra undelor electromagnetice a căror existență a dovedit-o.

de audiofrecvență din diferite dispozitive și instalații electroacustice (deci curenți din circuitele amplificatoarelor de audiofrecvență din aparatelor de radio și televiziune, magnetofoane, pickupuri, microfoane, rețele de radioficare $v=100-15\,000$ Hz). Curenți cu frecvențe de același ordin de mărime, dar cu intensități mult mai mari sunt folosiți la unele tipuri de cuptoare electrice.

— *Curenți de înaltă frecvență*, cu frecvențe care depășesc 100 kHz. Din această categorie fac parte curenți folosiți în tehnica transmisiorilor de radio, televiziune, radiolocație (frecvențe între 100 kHz și 10 000 MHz), pentru călire prin curenți de înaltă frecvență, pentru topirea și purificarea semiconducțorilor (Ge, Si), pentru sudarea maselor plastice etc.

În multe din cazurile arătate sunt necesari *curenți alternativi sinusoidali*. *Curenți nesinusoidali* prezintă și ei importanță în diferite ramuri ale tehnicii, de exemplu în radiotehnică.

Curentul alternativ produce toate cele *trei tipuri de efecte* cunoscute de la curentul continuu, dar acestea sunt modificate de faptul că intensitatea și sensul curentului alternativ variază în timp.

Astfel, *efectul chimic* nu poate fi folosit deoarece curentul alternativ circulă succesiv în ambele sensuri, fiecare electrod al băii de electroliză devine de v ori pe secundă anod și de tot atâtea ori catod, iar produsele electrolizei nu se pot separa.

Efectul magnetic se produce însă, de exemplu, la trecerea unui curent alternativ printr-un electromagnet armătura acestuia vibrează, întrucât intensitatea curentului nu este constantă și prin urmare nu rămîne constantă nici forța cu care ea este atrasă.

Producerea *efectului termic* diferă față de cazul când se folosesc curent continuu, prin faptul că are loc o degajare de căldură care variază în timp o dată cu schimbarea intensității curentului alternativ.

46. Valorile instantanee, maxime, efective ale curentului și tensiunii alternative

Valoarea pe care o are la un moment oarecare o tensiune sau un curent alternativ se numește *valoare instantanee* a acelei mărimi alternative și se notează cu litere mici: e (sau u), i . În mod asemănător se poate defini și valoarea *puterii instantanee*, notată cu p și dată de relația $p=ui$ (34).

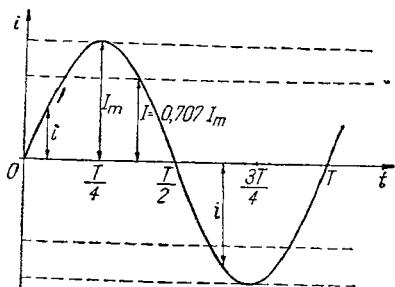


Fig. 92

rioadă. Amplitudinile tensiunii și curentului se notează: U_m , I_m .

La trecerea unui curent alternativ printr-un rezistor se degajă o cantitate de căldură care depinde de amplitudinea curentului. Dar și un curent continuu care străbate același rezistor poate degaja aceeași cantitate de căldură, dacă are o anumită intensitate. Se pune problema, ce legătură există între valorile celor doi curenți dacă ei străbat rezistori de rezistențe egale R și produc aceeași cantitate de căldură, în același interval de timp (de exemplu, o perioadă T). Curentul continuu, trecind prin rezistorul de rezistență R dezvoltă o energie $W_{c.c} = RI^2T$. Curentul alternativ a cărui intensitate se știe că nu este constantă, trece prin rezistor de rezistență R egală cu a primului și dezvoltă într-un timp foarte scurt Δt o energie foarte mică

$$\Delta W = R i^2 \Delta t = R I_m^2 \sin^2 \omega t \cdot \Delta t, \text{ sau* } \Delta W = RI_m^2 \Delta t \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \\ = \frac{RI_m^2}{2} \Delta t - \frac{RI_m^2}{2} \Delta t \cdot \cos 2\omega t.$$

În timp de o perioadă, suma tuturor acestor cantități de energie foarte mici va fi $W_{c.a} = \frac{RI_m^2}{2}T$, deoarece termenul al doilea din sumă este nul (în timp de o perioadă funcția cosinus ia tot atâtea — și aceleși — valori pozitive, cîte negative).

Deoarece s-a presupus de la început că $W_{c.c} = W_{c.a}$, urmează că

$$RI^2T = \frac{RI_m^2}{2}T, \text{ adică } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \quad (35).$$

Se numește *valoare efectivă* a unui curent alternativ sinusoidal valoarea pe care trebuie să o ai că un curent continuu pentru ca străbătind un rezistor cu o rezistență egală cu a rezistorului prin

* S-a aplicat relația: $\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$.

care trece curentul alternativ să dezvolte, într-un același timp aceeași energie, respectiv aceeași cantitate de căldură.

De exemplu, un curent continuu cu intensitatea de 2 A trece printr-un rezistor având rezistență $R=5 \Omega$ timp de 1 min și dezvoltă o cantitate de căldură $Q=RI^2t=5 \cdot 2^2 \cdot 60 = 1\,200$ jouli. Curentul alternativ care trece printr-un rezistor având rezistență $R=5 \Omega$ timp de 1 minut va dezvolta tot 1 200 jouli, cu condiția ca amplitudinea să fie $I_m = \sqrt{2} \cdot I = \sqrt{2} \cdot 2 = 1,41 \cdot 2 = 2,82$ A. Cu alte cuvinte, pentru ca un curent alternativ să producă în același timp același efect termic ca un curent continuu de intensitate I , trebuie să aibă amplitudinea de $\sqrt{2}=1,41$ ori mai mare decât intensitatea acelui curent continuu. Un curent continuu are același efect termic ca un curent alternativ dacă are o intensitate de 70,7% din amplitudinea I_m a aceluui curent alternativ (fig. 92).

Tensiunea efectivă se notează cu U și este dată de o relație asemănătoare:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m \quad (36)$$

Măsurarea tensiunii și curentului alternativ se face cu ajutorul *voltmetrelor* și *ampermetrelor de curent alternativ*, care în foarte multe cazuri sunt gradate în aşa fel încit cu ele se măsoară *valorile efective* ale tensiunii și curentului alternativ *sinusoidal*. De aceea, cînd se citește, de exemplu, la un ampermetru de curent alternativ intensitatea de 1 A, de fapt acel curent alternativ are amplitudinea de 1,41 A.

47. Tensiunea, curentul, puterea și defazajul, în circuitele de curent alternativ

a) **Circuit de curent alternativ cu rezistor.** Dacă la bornele unui rezistor cu rezistență R (de exemplu un bec electric, un reșou electric, un fier electric de călcat) se aplică o tensiune alternativă U , atunci prin acesta va trece un curent alternativ cu intensitatea $I = \frac{U}{R}$ (37). Așa cum s-a mai arătat, în acest caz curentul și tensiunea alternative sinusoidale trec prin valorile lor maxime în același moment; ele trec, de asemenea, simultan prin valoarea zero (fig. 93). Se spune că tensiunea și curentul alternativ sint în fază sau că între ele nu există nici un *defazaj*.

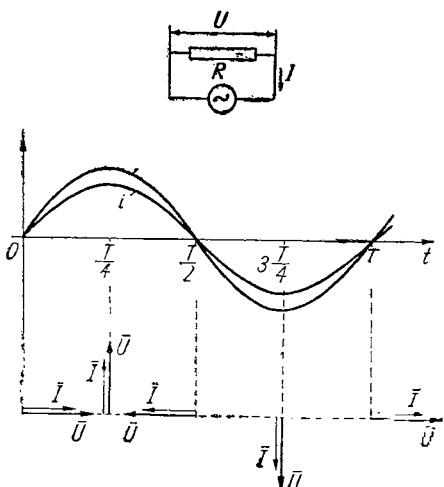


Fig. 93

Reprezentarea grafică a tensiunii și curentului din figura 93 poate fi înlocuită printr-o reprezentare mult mai simplă folosind doi vectori \vec{U} și \vec{I} care se rotesc în sensul acelor de ceasornic cu o frecvență egală cu frecvența curentului alternativ. Deoarece tensiunea și curentul sunt în fază, unghiul dintre U și I este zero. Proiecțiile acestor vectori pe axa ordonatelor dau valorile instantanee ale tensiunii și curentului. Aceasta se vede comparând diferențele valori pe care le iau tensiunea și curentul în diferite momente (din grafic), cu mărimele proiecțiilor vectorilor rotitori \vec{U} și \vec{I} pe verticală (fig. 93). Pentru simplificare, în cele ce urmează se dă diagramele cu pozițiile vectorilor tensiune și curent *numai pentru momentul* $t=0$.

La trecerea curentului prin rezistor, energia provenită de la sursa de curent alternativ provoacă încălzirea rezistorului.

b) Circuit de curent alternativ cu inductanță. Dacă se leagă la bornele unei surse de curent alternativ care dă o tensiune U o bobină cu inductanță L mare și rezistență R mică (o bobină cu miez de fier realizată cu un conductor de grosime suficient de mare), atunci se constată că prin ea trece un curent cu mult mai slab decât dacă aceleași bobine i s-ar aplica o tensiune egală cu U , dar nu alternativă, ci continuă. Explicația acestui fapt se dă ținând seama că bobina este străbătută de curent alternativ a cărui intensitate este variabilă în timp și că deci în ea apare un cîmp magnetic variabil, adică un flux magnetic variabil care produce o t.e.m. de autoinducție. După cum se știe, regula lui Lenz arată că această t.e.m. e_L se opune în permanență variațiilor curentului. Pentru ca prin bobină să poată trece curent alternativ trebuie ca sursa să aplique bobinei o tensiune alternativă u_L egală și direct opusă:

Datorită întârzierii produse de fenomenul de autoinducție, curentul alternativ ia valoarea maximă mai tîrziu cu $\frac{T}{4}$ decît tensiunea u_L ; se spune că pentru o astfel de bobină tensiunea u_L este decalată (defazată) cu 90° înaintea curentului i (fig. 94). Așadar, unghiul de defazaj dintre u_L și i este $\varphi = 90^\circ$.

În acest caz, tensiunea U_L se reprezintă prin vectorul \vec{U}_L decalat cu 90° înaintea curentului, vectorul \vec{I} (fig. 94).

O astfel de bobină opune curentului alternativ o rezistență de un tip special, denumită *reactanță inductivă*, care se notează cu X_L . Este dată de relația $X_L = \omega L = 2\pi\nu L$ (38) și se măsoară în unități de rezistență, adică în Ω .

Într-un circuit cu o astfel de bobină intensitatea curentului este egală cu raportul dintre tensiunea U_L de la bornele bobinei și reactanță sa inductivă: $I = \frac{U_L}{X_L}$ (39).

Între sursa de curent alternativ și bobină are loc un schimb periodic de energie, în așa fel încît în timp de un sfert de perioadă bobina primește energie în cîmpul său magnetic, iar în următorul sfert de perioadă bobina cedează această energie sursei. Prin urmare, în total, o astfel de bobină nu absoarbe energie de la sursa de curent alternativ, ceea ce o face să se deosebească net de un rezistor, care absoarbe energie.

O comportare întrucîntă apropiată de cea a unei bobine ideale (cu $R \approx 0$) au bobinele cu spire multe și din sîrmă groasă care nu au miez de fier, bobinele cu miez de fier și spire mai puține, transformatoarele (cînd lucrează „în gol”, v. cap. *Transformator*) și unele motoare electrice cînd funcționează fără a antrena vreun dispozitiv (mers în gol).

c) **Circuit de curent alternativ cu capacitate.** Un condensator reprezintă o întrerupere pentru un circuit de curent continuu pentru că izolatorul dintre plăcile sale nu permite trecerea sarcinilor electrice. Dacă se aplică unui condensator o tensiune alternativă, atunci acesta se încarcă pînă cînd tensiunea u_C de la bornele sale devine egală cu amplitudinea tensiunii alterna-

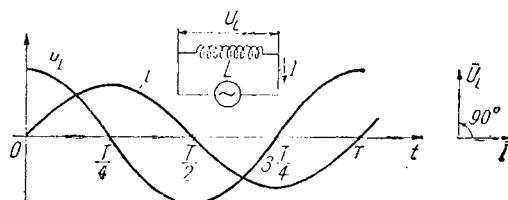


Fig. 94

tive U_m dată de sursă; după aceea, condensatorul se descarcă și deci în circuit apare un curent de sens contrar, iar ulterior condensatorul se refărcă, însă invers decit în primul caz (plăcile care prima dată se încărcaseră cu sarcini pozitive, se încarcă acum cu sarcini negative). Deoarece condensatorul nu se mai încarcă în momentul cînd u_C ajunge maximă (adică egală cu U_m), în acel moment curentul din circuit este nul. Dimpotrivă, după un sfert de perioadă $u_C=0$, iar condensatorul începînd să se încarce, prin circuit trece în acel moment un curent cu valoarea maximă. Astfel tensiunea u_C de la bornele unui condensator este decalată cu 90° în urma curentului alternativ i din circuit (fig. 95). Unghiul de defazaj dintre u_C și i este $\varphi=-90^\circ$.

În acest caz, vectorul \vec{U}_C este decalat cu 90° în urma curentului \vec{I} (fig. 95).

Prin încărcările și descărcările succesive, condensatorul permite o mișcare de pendulare a electronilor din circuitul de curent alternativ. De aceea, în mod obișnuit, se spune că, spre deosebire de comportarea sa față de curentul continuu, un condensator permite trecerea curentului alternativ; prin aceasta nu trebuie însă să se înțeleagă că prin izolatorul dintre plăcile condensatorului ar trece sarcini electrice.

Prin comportarea descrisă mai sus, un condensator aflat într-un circuit de curent alternativ joacă rolul unei rezistențe de tip special, denumită *reactanță capacativă*, care se notează X_C , este dată relația $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi v C}$ (40) și se măsoară în Ω . Intensitatea curentului dintr-un circuit de curent alternativ ce conține un condensator este dată de raportul dintre tensiunea de la bornele condensatorului și reactanța sa capacativă:

$$I = \frac{U_C}{X_C}. \quad (41)$$

În timpul încărcării (care durează un sfert de perioadă), condensatorul primește, de la sursa de curent alternativ, energie care se înmagazinează în cîmpul electric al condensatorului. În următorul sfert de perioadă condensatorul se descarcă și restituie această energie sursei. Așadar *condensatorul nu absoarbe energie de la sursa de curent alternativ*; prin aceasta el se asemăna cu modul în care se comportă o bobină într-un circuit de curent alternativ, dar se deosebește net de un rezistor.

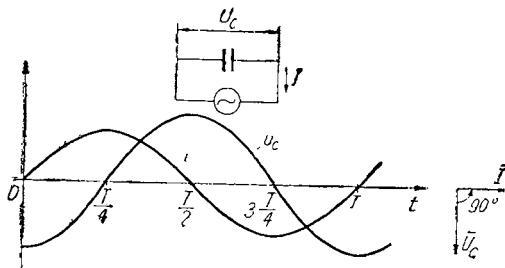


Fig. 95

d) **Circuit de curent alternativ cu rezistor, inductanță și capacitate legate în serie.** Un circuit care conține un rezistor cu rezistență R , o bobină cu inductanță L și un condensator de capacitate C opune curentului alternativ o rezistență totală de un tip special, diferită de rezistență din curent continuu, denumită *impedanță*,

notată Z . Impedanța nu se poate calcula adunând algebric rezistența R și reactanțele X_L și X_C întrucât acestor mărimi le corespund tensiunile U_R , U_L , U_C , care, așa cum am văzut, nu sunt toate în fază cu curentul I .

Deoarece în acest caz, tensiunea U a sursei de curent alternativ trebuie să acopere toate celelalte tensiuni: U_R (care este în fază cu I), U_L (care e defazată cu 90° înaintea lui I) și U_C (care e defazată cu 90° în urma lui I), diagrama vectorială va reprezenta însumarea $\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$ (în care se ține seama de orientarea fiecărui vector, fig. 96).

Mărimea impedanței unui astfel de circuit este funcție atât de valorile R , L și C cât și de pulsăția ω a curentului alternativ. Impedanța este dată de expresia:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (42)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (42')$$

care rezultă din figura 96.

Între intensitatea I a curentului care trece prin acest circuit și tensiunea alternativă U dată de sursă există o relație foarte simplă care reprezintă *legea lui Ohm pentru o porțiune din circuitul de curent alternativ*:

$$I = \frac{U}{Z}. \quad (43)$$

Într-un astfel de circuit, decalajul φ dintre tensiune și curent este totdeauna mai mic decât 90° , tensiunea putind fi decalată fie înaintea curentului, fie în urma lui, după cum reactanța inductivă este mai mare sau mai mică decât reactanța capacativă. Decalajul se poate calcula cu ajutorul relației $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$ (42'') (v. fig. 96).

Puterea activă P dintr-un circuit de curent alternativ reprezintă raportul dintre energia absorbită de circuit de la sursa de curent alternativ în timp de o perioadă și durata perioadei. Așadar, aceasta este o *putere medie*; ea

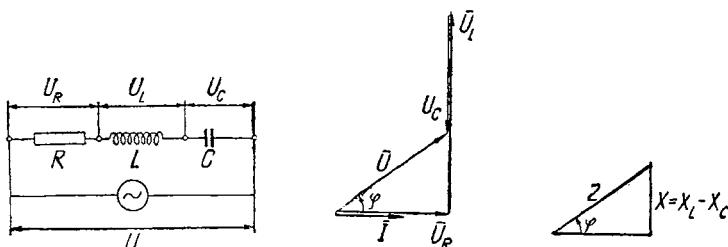


Fig. 96

are ca efect încălzirea rezistoarelor din circuitul de curent alternativ. P nu depinde numai de valorile tensiunii alternative U și curentului alternativ I , ci și de decalajul dintre intensitate și tensiune, conform relației: $P=UI \cos \varphi$ (44), unde $\cos \varphi$ se numește *factor de putere*. Folosind această relație, se pot regăsi rezultatele din cazurile particolare cînd în circuite se află numai inducțanță sau numai capacitate; atunci $\varphi=\pm 90^\circ$, $\cos \varphi=0$ și $P=0$ (bobina și condensatorul nu absorb energie de la sursa de curent alternativ). Nu trebuie să se confundă valoarea instantaneă p a puterii dintr-un circuit de curent alternativ, dată de relația (34), cu puterea activă P dată de relația (44).

În cazul în care reactanța inductivă a unui circuit ajunge egală cu reactanța sa capacativă, adică $X_L=X_C$, impedanța circuitului scade, rămînînd egală doar cu rezistența acestuia, conform relației (42): $Z_0=R$; prin urmare curentul din circuit are valoarea maximă $I_0=\frac{U}{R}$. Se spune că circuitul se află la *rezonanță*. În acest caz, cele două defazări produse de inducțanță și capacitate, ca și tensiunile U_L și U_C , sunt egale și opuse, aşa încît drept rezultat defazajul dintre tensiunea U a sursei și curentul alternativ din circuit la rezonanță I_0 se anulează $\varphi=0$. De aceea, puterea din circuit este maximă: $\cos \varphi=1$ și $P=UI$ (conform relației 44).

Rezonanța are loc la o anumită frecvență v_0 la care $X_L=X_C$, adică folosind relațiile (38) și (40), $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$, de unde $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ sau $v_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (45). Această ultimă relație se numește *formula lui Thomson*.

Întrebări recapitulative

- De cîte ori își schimbă sensul t.e.m. și curentul din spira aflată în cîmp magnetic, în timpul efectuării unei rotații complete? Susțineți valabilitatea răspunsului prin raționament și comparați cu expresiile matematice și reprezentarea grafică.
- În ce momente ale rotirii spirei t.e.m. este maximă?
- Ce reprezintă intensitatea efectivă a curentului alternativ?
- În ce caz consumă o putere mai mare un reșou: cînd este conectat la o rețea de curent continuu sau la o rețea de curent alternativ dacă tensiunile rețelelor au aceeași valoare? (se neglijă variația rezistenței cu temperatura).
- Prin ce se caracterizează comportarea unei bobine într-un circuit de curent alternativ? Dar a unui condensator?
- Cum și cu cît (între ce limite) va fi decalată față de curent tensiunea de la bornele unei bobine a cărei rezistență nu poate fi neglijată?
- Ce este factorul de putere? De ce se numește astfel?
- Explicați folosind expresia puterii active dacă un condensator căruia i se aplică o tensiune alternativă absoarbe sau nu energie de la sursa de curent alternativ.

Exercițiu

O bobină conectată la bornele unui acumulator cu tensiunea de 4 V este străbătută de un curent cu intensitatea de $4/3$ A. Aceeași bobină conectată la o sursă de curent alternativ cu frecvență de 50 Hz și cu tensiunea efectivă de 4 V lasă să treacă prin ea un curent cu intensitatea de 0,8 A. Ce rezistență și ce coeficient de autoinducție are bobina?

$$R=3 \Omega; L=0,01273 \text{ H.}$$

II. Mașini electrice

In principiu, sub denumirea de *mașini electrice* se înțeleg mașinile care permit fie transformarea energiei mecanice în energie electrică (*generatoare*), fie transformarea inversă, a energiei electrice în energie mecanică (*motoare electrice*), ori fac posibile modificări ale unor mărimi care determină energia electrică fără însă a o transforma pe aceasta în altă formă de energie (de exemplu, modificarea tensiunii sau a curentului alternativ în *transformatoare* etc.).

Totuși *în mod obișnuit* și în cele ce urmează se folosește denumirea de *mașini electrice numai* pentru *mașinile care au părți ce se pot pune în mișcare*.

La baza funcționării oricăreia dintre *mașinile electrice* stau două fenomene: *fenomenul de inducție electromagnetică* și *acțiunea mecanică reciprocă* dintre *curenți* (respectiv dintre curenți și cimpuri magnetice).

Astfel transformarea energiei mecanice în energie electrică petrecută într-un *generator* necesită existența unor *înfășurări* sau *bobinage conductoare* care trebuie deplasate într-un *cîmp magnetic* pentru ca în ele să ia naștere o t.e.m. de inducție, respectiv un curent electric.

Transformarea inversă care are loc în *motoarele electrice* cere ca prin aceste *înfășurări* să se trimită curenți electrici pentru ca între *înfășurări* și *cîmpul magnetic* să poată lua naștere o *forță* care să pună în mișcare una dintre *părțile mașinii electrice* (rotorul).

Din *punct de vedere constructiv, mecanic*, mașinile electrice au două părți principale: una fixă, numită *stator* și alta mobilă (care se poate pune în mișcare de rotație), denumită *rotor*.

Din punctul de vedere al *elementelor electromagnetice*, mașinile electrice posedă, de asemenea, două părți: *circuite electrice* (înfășurările, făcute din cupru) și *circuite magnetice* (miezul din oțel masiv sau din tole de oțel). Înfășurările se aşază pe miezul de oțel pentru a mări cîmpul de inducție magnetică B , o dată cu aceasta fluxul și deci t.e.m. indusă $e = Blv$ (la *generatoare*), respectiv *forța de interacțiune* $F = BlI$ (la *motoare*).

Față de alte tipuri de mașini de forță, mașinile electrice au numeroase *avantaje*: lucrează cu randamente mari, funcționează sigur și au o inerție redusă la comenzi (pornire, variația vitezei, oprire), ocupă un spațiu restrîns pentru o putere dată, și se pot construi într-o mare gamă de puteri (de la fracțiuni de watt, la sute de MW).

A. Mașini electrice de curent alternativ

48. Generatoare sincrone

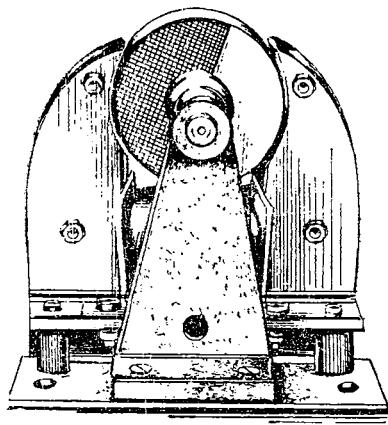
Generatoarele sincrone (alternatoarele) sunt generatoare dintre cele mai larg folosite, în special în centralele electrice.

S-a arătat că se poate produce curent alternativ prin rotirea unei spire în cîmp magnetic fix. Se poate produce curent alternativ și menținînd fix conductorul într-un cîmp magnetic care se rotește. Acesta poate fi dat fie de un magnet permanent, fie de un electro-magnet alimentat cu curent continuu.

Experiență. Un generator de curent alternativ este unul dintre modelele construite de I.M.D. (fig. 97, a). El se compune dintr-un magnet disc (cu polii vopsiți cel nord în albastru, iar cel sud în roșu), care se poate roti între piesele polare P_1 și P_2 din oțel ale statorului. Pe miezul de oțel al acestuia se află înfășurarea B în care se induce curentul alternativ (fig. 97, b).

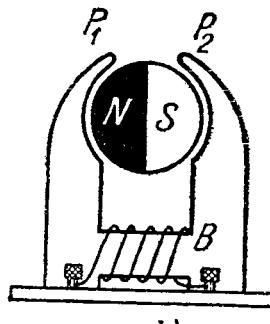
Făcînd legătura între cele două borne ale generatorului și un galvanometru cu zero la mijloc și învîrtind foarte lent și uniform rotorul-magnet *în același sens*, se pot urmări deviațiile acului, care au loc *cînd într-un sens cînd în altul*.

Cînd polul N se apropie de piesa polară P_2 a statorului, crește fluxul magnetic care o străbate pe aceasta; prin inducție electromagnetică în înfășurarea statorului ia naștere un curent cu un astfel de sens (fig. 98, a) încît P_2 să devină un pol N . Totodată polul S se



a)

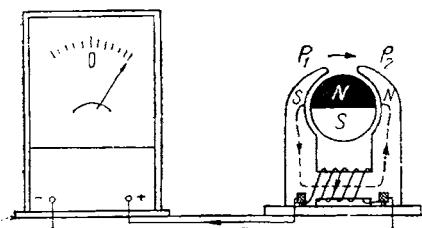
Fig. 97



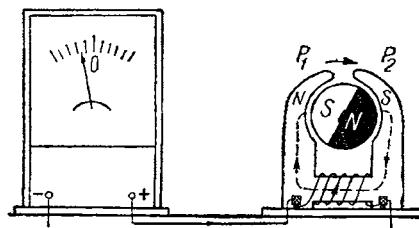
b)

apropie de piesa polară P_1 și aceasta devine un pol S. Urmărind sensul curentului produs se observă că acesta intră în galvanometru prin borna + și de aceea acul deviază spre dreapta. Pentru că, aşa cum s-a arătat mai înainte la spira rotitoare, la trecerea prin această poziție fluxul care străbate piesele polare este minim, t.e.m. indușă și deci și curentul sănătate maximă, iar acul deviază mult.

Dimpotrivă, cînd după ce se descrie ceva mai mult decît un sfert de rotație polul N se depărtează de P_2 , iar polul S se apropie de P_1 atunci P_2 devine pol S, iar P_1 devine pol N (fig. 98, b). Curentul circulă prin înfășurare în sens contrar cazului precedent. Fluxul care străbate piesele polare trecînd prin valoarea maximă, variația sa este minimă, iar intensitatea curentului are o valoare mai mică decît înainte.



a)



b)

Fig. 98

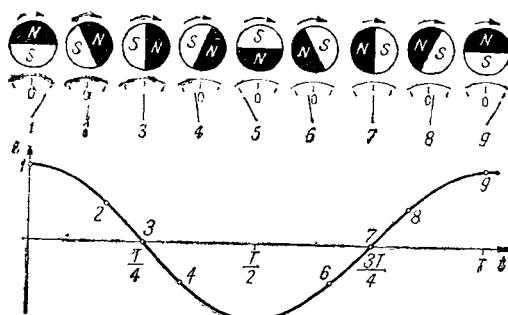
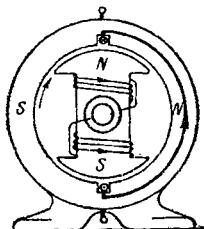


Fig. 99

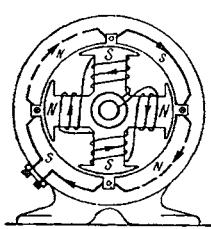
ale magnetului disc și ale acului galvanometrului conectat la înfășurare.

Experiența dă aceleași rezultate dacă în locul magnetului se folosește un rotor de oțel pe care se află o înfășurare străbătută de curent continuu de la un acumulator sau redresor. Generatoarele de curent alternativ folosite în practică au tocmai această structură: *rotorul este inductor* (el produce cimpul magnetic), iar *statorul este inducție* (în înfășurările sale se induce t.e.m.). Nu se folosește înfășurarea rotorului cu rol de *indus* pentru că ea ar fi greu de izolat în cazul producerii tensiunilor înalte, iar inelele colectoare și periile ar trebui să fie foarte mari pentru a culege curenti cu intensități mari și ele s-ar uza repede.

Rotorul are un număr pereche de *poli* pe care se află *bobinele* legate în serie și înfășurate în așa fel încât cînd sunt străbătute de curentul continuu numele polilor succesivi să alterneze (fig. 100, b).



a



b

Fig. 100

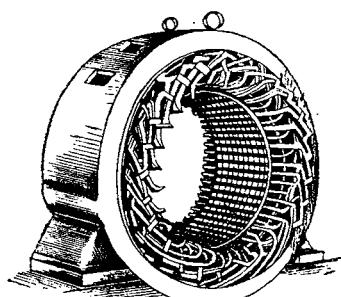


Fig. 101, a

Rotind în continuare magnetul-disc, se ajunge la o poziție în care polul N se află jos, iar polul S sus (invers decît în cazul figurii 98, a). Acum intensitatea curentului este mare și acul deviază în sens contrar celui din figura 98, a, ș.a.m.d. În figura 99 s-au arătat în mod simplificat cîteva poziții

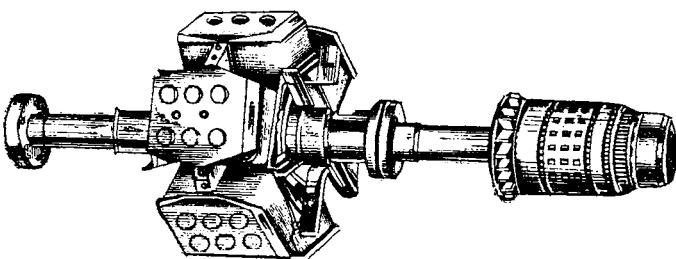


Fig. 101, b

Capetele înfăşurărilor sunt legate la două inele aflate pe ax, dar izolate de acesta și între ele.

Înfăşurările statorului sunt făcute în același mod, dar sunt situate în niște crestături aflate pe periferia interioară a miezului cilindric de oțel (fig. 101, a). În figura 100 s-au indicat acești conductori prin cerculete în care punctul și semnul x indică sensul curentului; liniile punctate arată conductorii din partea posteroară, iar cele pline conductorii din partea anterioară. Curentul indus străbate întreaga înfăşurare a statorului și poate fi cules la *două borne* situate pe *placa* sau în *cutia de borne* a generatorului. Un astfel de generator sincron care are pe stator *un singur grup de înfăşurări* (o singură fază) terminate cu două borne se numește *generator sincron monofazat*. Având însă aceeași construcție ca și *generatorul trifazat* (care va fi tratat în paragraful următor), descrierea care urmează rămîne valabilă pentru ambele tipuri de generatoare sincrone.

Pentru că înfăşurările *rotorului* sunt străbătute de curent continuu, acesta se construiește din oțel masiv. Statorul însă, prin ale cărui înfăşurări trece curent alternativ, are miezul din tole de oțel cu siliciu, izolate cu lac pentru a evita pierderile prin curenți turi-bionari și prin histerezis.

Rotoarele generatoarelor din figura 100 și 101, b numite rotoare cu *poli aparenti* lucrează doar la viteze de rotație relativ mici (sub 1 000—1 500 rot/min). Alte tipuri de rotoare denumite cu *poli înecatați* au înfăşurările în niște crestături axiale ca la stator și lucrează la viteze mari (3 000 rot/min), pericolul datorit efectului forțelor centrifuge ca și pierderile prin frecări fiind mai reduse. Curentul care străbate înfăşurările rotorului este dat de un mic generator de curent continuu, numit *excitatoare*, care este fixată chiar pe axul

alternatorului și a cărei putere nu depășește 1% din puterea acestuia (fig. 101, b dreapta).

În ultimul timp se tinde să se obțină acest curent continuu prin redresarea (transformarea în curent continuu) a unei mici părți a curentului alternativ produs de alternator; în acest fel, funcționarea sa este mai sigură, iar greutatea și costul generatorului scad.

S-a văzut că dacă generatorul are o singură pereche de poli ($p=1$), ca în cazul dispozitivului arătat în figura 100 a, atunci rotorul descrie o *rotație* în timp de o *perioadă* a curentului alternativ; cu alte cuvinte la viteza de o rotație/s, curentul alternativ produs, are o frecvență de 1 Hz. Așadar frecvența ν a curentului alternativ (exprimată în Hz) este egală cu frecvența de rotație: $\nu = \frac{n}{60}$, unde n =turația rotorului în rot/min.

Dacă generatorul are două perechi de poli, atunci este suficient ca rotorul să efectueze o jumătate de rotație pentru ca curentul alternativ să descrie un ciclu întreg. Dacă rotorul are aceeași turație ca înainte, atunci se constată că frecvența curentului s-a dublat.

Un generator cu p perechi de poli va produce așadar un curent alternativ cu o frecvență de p ori mai mare decât cea dată de generatorul cu o singură pereche de poli. De aceea se poate scrie că frecvența ν (exprimată în Hz) a curentului alternativ produs de un *generator sincron* care are p perechi de poli este dată de relația generală $\nu = \frac{pn}{60}$

Din aceasta rezultă o concluzie importantă, folosită în practică: un alternator poate da un curent cu o frecvență ridicată fiind acționat de un motor primar care are o viteză de rotație mică, dacă generatorul are un număr de poli destul de mare.

Generatoarele descrise aici se numesc *sincrone* pentru că în timpul funcționării lor în infășurările statorului se induc curenți al căror cîmp magnetic se învîrtește cu aceeași viteză ca și rotorul. Întrucît cîmpul magnetic al rotorului se învîrtește odată cu acesta, rezultă că vitezele cîmpurilor magnetice învîrtitoare ale statorului și rotorului sunt egale, adică se află la *sincronism*.

Frecvența curentului alternativ dat de mașinile sincrone a fost stabilită la 50 Hz în Europa și 60 Hz în America; ea este menținută constantă, folosind dispozitive de reglaj automat ale vitezei motoarelor care acționează generatoarele sincrone.

Tinând seama de *tipul motorului* care antrenează *generatoarele*

— *turbogeneratoare* care sănt actionate de turbine termice (cu abur sau gaz), lucrează cu viteze mari și se realizează deci cu poli înecați; au axul orizontal;

— *generatoare ale grupurilor Diesel-electrice* actionate de motoare Diesel; au viteze mijlocii și mici, se construiesc cu poli aparenti și au axul orizontal;

— *hidrogeneratoare* actionate cu turbine hidraulice. Au viteze reduse, poli aparenti și axul vertical; se construiesc și pentru puteri foarte mari (sute de mii de kW).

Atât timp cît un generator *nu produce curent* în rețea, el absorbe de la motorul primar o putere redusă care acoperă pierderile mecanice (frecări), pierderile în fier și cele corespunzătoare pentru învîrtirea excitatoarei de pe axul său.

Cînd *generatorul produce curent*, datorită interacțiunii dintre cîmpul statorului și curentul din infășurarea rotorului acesta este frînat. *Cuplul de frînare* crește cînd curentul dat de generator se mărește. În acest caz apar și pierderi în cupru (în infășurări) care se încălzește. Pentru a îmbunătăți condițiile de funcționare, pentru a micșora pierderile, deci pentru a mări randamentul generatoarelor sincrone, se iau măsuri speciale, printre care răcirea cu aer sau uneori cu hidrogen (așa cum se face de exemplu la unele generatoare de mare putere de la Combinatul siderurgic „Gheorghe Gheorghiu-Dej“ din Galați).

49. Generatoare sincrone trifazate

În practică sănt folosite pe larg generatoarele sincrone care au *trei grupuri de infășurări (faze)* pe stator, decalate cu 120° între ele (fig. 102, a). Ele se numesc *generatoare sincrone trifazate* și produc *curent trifazat*.

Fiecare din cele trei bobine de pe statorul generatorului din figura 102, a se numește *bobină de fază* sau *fază* a generatorului. Începuturile bobinelor se notează cu literele A, B, C, iar sfîrșiturile lor cu literele X, Y, Z. Cînd rotorul a cărui infășurare este străbătută de curent continuu se învîrtește în sensul arătat în figură, polul S se apropie de bobina 1 (A—X), și de aceea polul ei devine tot un pol S. Tot poli S vor deveni și polii bobinelor 2(B—Y) și 3(C—Z),

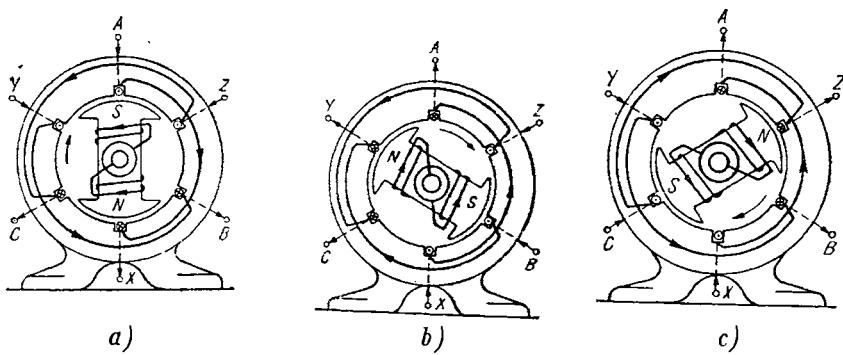


Fig. 102

însă după $1/3$ respectiv $2/3$ de rotație, cind polul S al rotorului se va apropia de ele (fig. 102, b și 102, c). De aici se deduc sensurile curentilor în fiecare din bobine; de exemplu, în primul caz (fig. 102, a) borna A a bobinei 1 este negativă, iar borna X este pozitivă (currentul trece de la A spre X prin infășurare). În același caz se observă că polul N al rotorului se apropie de centrul bobinei 2, deci aici ia naștere un pol N , adică sensul curentului va fi de la Y spre B . Polul S al rotorului se depărtează de bobina 3 și de aceea aici se formează un pol N , iar currentul are sensul de la Z la C .

Deoarece în cazul din fig. 102, a, fluxul magnetic care străbate bobina 1 este minim (axa polilor rotorului este perpendiculară pe axa bobinei 1), t.e.m. e_A indusă în această bobină este maximă (v. punctul a_1 în fig. 103). În schimb t.e.m. e_B și e_C din celelalte două bobine vor avea valori mai mici decât e_A pentru că bobinele 2 și 3 sunt străbătute de un flux mai mare decât bobina 1 (e_A și e_B sunt egale, v. punctul $a_{2,3}$ în fig. 103 a). Cind după o treime de perioadă (o rotație cu 120°) rotorul ajunge în poziția din figura 102, b, t.e.m. e_B este maximă (punctul b_2 în fig. 103), iar e_A și e_C sunt mai mici (și egale, punctul $b_{1,3}$). Maximul t.e.m. e_B (punctul c_3 în fig. 103) are loc după trecerea a încă $T/3$ (fig. 102, c). Prin învărtirea rotorului, în continuare, cu viteza constantă, în fiecare din cele trei bobine iau naștere t.e.m. alternative sinusoidale, dar decalate între ele, în timp, cu $T/3$ (fig. 103, a).

Experiență. Se poate arăta modul în care variază cele trei t.e.m. (și curentii produși de acestea) în cazul unui generator trifazat folosind modelul de generator I.M.D. (fig. 104, a) și trei galvano-

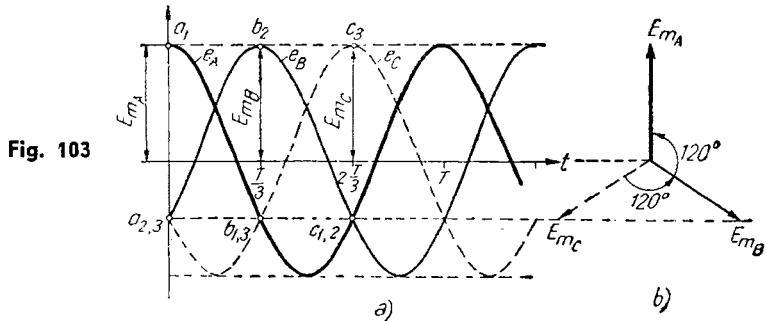
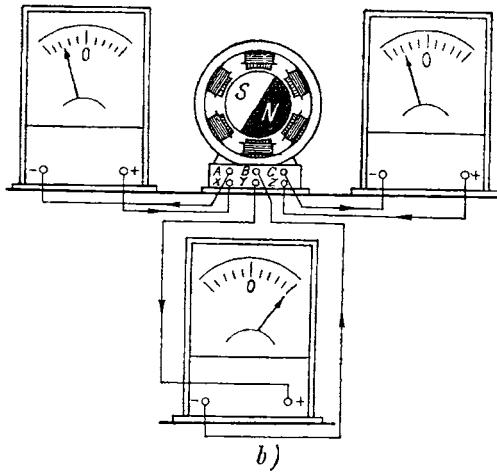
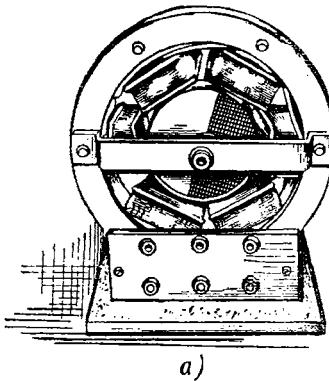


Fig. 103

metre cu zero la mijloc, conectate fiecare la cîte o fază (fig. 104, b). Modelul se deosebește de generatoarele trifazate din practică numai prin rotor, care este un magnet-disc și nu un electromagnet.

Se rotește lent și uniform rotorul-magnet și se urmăresc indicațiile celor trei galvanometre, verificîndu-se astfel că variațiile celor trei tensiuni au loc după cum se arată în figura 103, a. Astfel în figura 104, b, s-a arătat cazul corespunzător momentului $t = \frac{T}{3}$. Cele trei t.e.m. au aceeași frecvență și valori maxime (amplitudini) egale: $E_{m_A} = E_{m_B} = E_{m_C} = E_m$. Ele formează împreună un *sistem trifazat simetric*. Celor trei t.e.m. decalați cu $T/3$ a căror variație în timp este reprezentată în figura 103, a le corespund trei vectori de mărimi egale $\vec{E}_{m_A}, \vec{E}_{m_B}, \vec{E}_{m_C}$ decalați între ei cu cîte 120° (fig. 103, b). Diagrama vectorială permite să se obțină valorile instantanee ale

Fig. 104



tensiunilor la momentul $t=0$. În acest moment, valoarea instantaneă a t.e.m. din bobina 1 este \vec{E}_{mA} , iar t.e.m. din bobinele 2 și 3 se obțin luând proiecțiile vectorilor \vec{E}_{mB} și \vec{E}_{mC} pe verticală; se găsesc valorile $\frac{E_{mB}}{2} = \frac{E_{mC}}{2}$. Toate valorile găsite astfel din diagrama vectorială se verifică pe graficul din figura 103, a.

Din figura 104, b reiese că pe placa de borne a generatorului trifazat se vor găsi *sase borne* la care sunt legate capetele A—X, B—Y și C—Z ale celor trei bobine.

Dacă rotorul va avea două perechi de poli (așa cum avea generatorul monofazat din figura 100, b), atunci și pe stator numărul de bobine va fi dublu, dar ele vor fi legate în serie cîte două pe fiecare fază, așa încît generatorul trifazat va avea tot *sase borne*. Îndiferent de numărul de perechi de poli pe care îi are, *generatorul sincron trifazat* posedă totdeauna *sase borne*.

Generatoarele sincrone trifazate nu diferă de *generatoarele sincrone monofazate* descrise anterior decît prin faptul că statorul lor are *trei faze* în loc de *una*.

50. Motoare asincrone

Motorul asincron este un motor de curent alternativ a cărui funcționare se bazează pe existența forței de interacțiune dintre *cîmpul magnetic invărtitor* produs de înfășurarea (fixă) a statorului și *curenții induși* de acest câmp în conductoarele rotorului (mobil).

Acțiunea pe care o are un câmp magnetic care se învîrtește asupra unui conductor se poate urmări într-o experiență foarte simplă. De un stativ se atîrnă printr-un fir de ață rezistent, dublu, un magnet în formă de U (fig. 105). Firul de ață se trece printr-un mic orificiu făcut într-o placă de lemn fixată și ea pe stativ, pentru a împiedica pendularea sistemului. Sub magnet se aşază un mic suport neferomagnetic s, prevăzut cu un ac pe care se sprijină într-o mică adâncitură d, un tub de aluminiu T. Capacul inferior t al tubului este străpuns de ac încît tubul se poate rota liber și bine centrat în jurul acului vertical. Pentru a evita antrenarea tubului de către curenții de aer, între magnet și tub se aşază un carton subțire ori

o foaie de celuloid. Se răsușește în prealabil într-un sens oarecare de un mare număr de ori magnetul și o dată cu el firul, apoi se lasă să se rotească liber în sens contrar firul și magnetul, având grija ca nici tubul, nici magnetul să nu lovească foaia de celuloid sau cartonul. Se observă că tubul conductor începe să se rotească și el în același sens cu magnetul, dar cu o viteză mai mică decât acesta.

Prin rotirea magnetului, liniile cîmpului său magnetic intersectează conductorul tubular și induc o t.e.m. Conductorul fiind închis, în el apar curenți de inducție. Forțele electromagnetice dintre acești curenți și cîmpul magnetic învîrtitor rotesc conductorul tubular în același sens cu cîmpul. Totuși, rotorul nu poate atinge viteza de rotație a cîmpului magnetic, pentru că atunci nu se mai induce în conductor nici o t.e.m. și forța de antrenare se anulează. Viteza rotorului scade și astfel el rămîne în urma cîmpului magnetic învîrtitor. Se spune că există o alunecare între cîmp și rotor.

În practică nu se produce pe această cale cîmpul magnetic învîrtitor, ci trecind curent alternativ trifazat prin trei infășurări care fac între ele unghiuri de cîte 120° și sunt fixate pe statorul motorului asincron. Aceste infășurări sunt deci realizate la fel ca infășurările din statorul generatorului sincron trifazat (fig. 101, a și 102). În figura 106 se arată graficul variației în timp a intensităților curenților i_A , i_B , i_C , a cîmpurilor magnetice b_A , b_B , b_C produse de ei și a cîmpului rezultant \vec{b} .

Din grafic rezultă că la momentul $t=T/12$, $i_A=-i_C$ iar $i_B=0$. Ținind seama de sensurile și mărimele curenților i_A și i_C prin bobinele A și C și aplicînd regula burghiului drept, se reprezintă vectorii \vec{b}_A și \vec{b}_C ai cîmpurilor corespunzătoare (în partea de jos a figurii 106). Cîmpul rezultant, aflat cu ajutorul regulii paralelogramului, este \vec{b} .

Din grafic se observă că la momentul $t=5 T/12$ (adică după $T/3$), curentul (și deci și cîmpul) prin bobina C este nul. Totodată, se

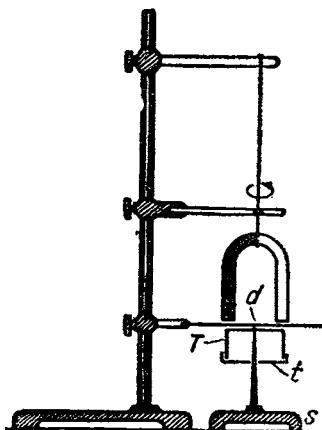


Fig. 105

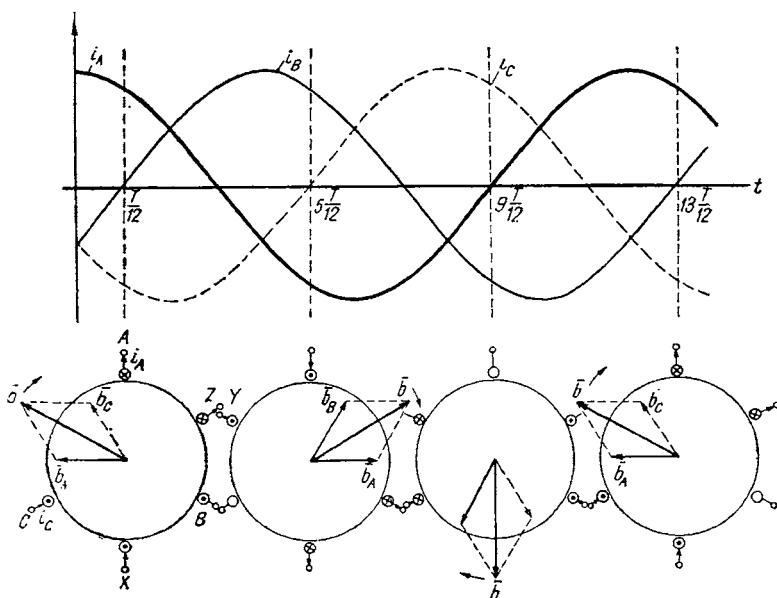


Fig. 106

vede că $i_B = -i_A$. Pentru că sensul lui i_A este opus celui anterior, de aceea și b_A are sens opus. Cimpul rezultant \vec{b} are aceeași mărime ca înainte, pentru că și mărimele componentelor au rămas aceleași; el s-a rotit însă în sensul acelor de ceasornic cu 120° .

În mod asemănător se poate explica și rotirea cu încă 120° a cimpului \vec{b} și păstrarea mărimi sale la momentul $9 T/12$, apoi cu încă 120° la $13 T/12$ etc. Cimpul magnetic rezultant \vec{b} efectuează o rotație în timpul unei perioade a curentului alternativ (de la $T/12$ la $13 T/12$); așadar, frecvența cu care se rotește cimpul magnetic este egală cu frecvența curentului alternativ care l-a produs.

Motoarele asincrone pot fi de două tipuri: *motoare cu rotorul bobinat* și *motoare cu rotorul în scurtcircuit* (nebobinate). O largă folosire au motoarele de primul tip.

Statorul tuturor motoarelor asincrone trifazate este identic cu cel al generatoarelor sincrone trifazate.

Motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit au rotorul (fig. 118 107, a) format tot dintr-un cilindru de tole, însă străbătut de canale

prin care trec bare de cupru sau aluminiu scurtcircuitate la extremități cu cîte un inel metalic (fig. 107, b). Aspectul unui astfel de rotor face să fie denumit și rotor în colivie.

Motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit sint motoare cu o largă utilizare în aproape toate ramurile industriei. La pornire, rotorul se află în repaus (n_2 =turația rotorului=0), viteza de rotație a cîmpului magnetic față de rotor are cea mai mare valoare ($n_1/60 = v$ =frecvența curentului alternativ) și deci t.e.m., ca și curenții induși, sint mari, ceea ce atrage după sine o creștere a puterii absorbite, provenită din stator și aceasta, la rîndul ei, din rețeaua de alimentare. De aceea în momentul pornirii, motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit absorb un curent mare de la rețea (de trei pînă la șapte ori curentul la funcționare normală).

În timpul funcționării, rotorul are o turație n_2 (rot/min) mai mică decît a cîmpului magnetic n_1 (rot/min). Așadar, rotorul nu se rotește sincron cu cîmpul magnetic; de aici și denumirea de *motor asincron*.

Pe măsură ce crește sarcina pe care trebuie să o învingă motorul, n_2 scade; o dată cu aceasta crește însă viteza relativă a cîmpului magnetic față de rotor și de aceea crește și curentul induș în rotor. Se mărește forța electromagnetică dintre cîmpul magnetic și curentul rotorului și deci cuplul pe care îl dezvoltă, iar motorul poate învinge sarcina care î se aplică; astfel viteza rotorului crește ajungînd aproape de viteza pe care o avusese mai înainte. Așa se explică pentru ce *motorul asincron își păstrează aproape neschimbată viteza, deși sarcina variază în limite destul de largi* (scăderea vitezei rămîne sub 5% din viteza normală). Pe lîngă aceasta, motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit au avantajul unei construcții simple, fără contacte alunecătoare. Totuși ele au dezavantajele de a absorbi

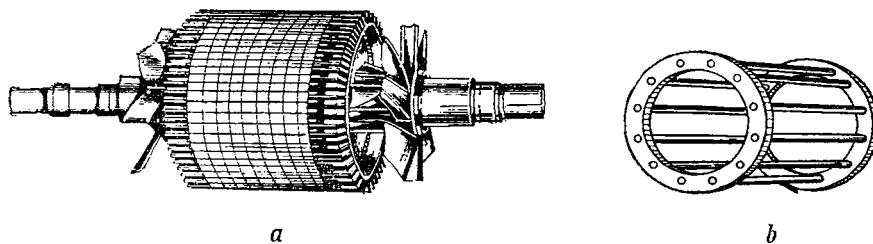


Fig. 107

un curent mare la pornire și de a nu li se putea varia viteza decât în trepte folosind dispozitive și scheme speciale.

Intrebări recapitulative

1. Care sunt fenomenele care stau la baza funcționării mașinilor electrice?
2. Pentru ce la toate mașinile electrice statorul și rotorul au miez de oțel?
3. Cum se justifică denumirea de mașină sincronă (generator sau motor)?
4. Care este utilizarea cea mai largă dată mașinii sincrone: generator sau motor?
5. Dar utilizarea dată mașinii asincrone?
6. De ce generatoarele sincrone au inductorul rotor și indusus stator?
7. De ce rotoarele generatoarelor sincrone nu sunt făcute din magneti permanenți? Nu ar fi mai simplu?
8. De ce rotorul generatorului sincron este făcut din oțel masiv, în timp ce statorul este alcătuit din tole (table) subțiri de oțel izolate între ele?
9. De ce se preferă să se construiască generatoare sincrone cu mai mult de o singură perche de poli?
10. Explicați în ce fel se produce cîmpul magnetic învîrtitor compunind cîmpurile celor trei bobine și pentru alte momente decât cele descrise în manual (de exemplu, la momentele $t=T/6, T/3, T/2$ etc.).
11. De ce rotorul motorului asincron nu poate atinge singur viteza de sincronism?
12. Pentru ce este atât de larg utilizat motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit?

Exerciții

1. Cite rotații pe secundă trebuie să facă motorul primar care antrenează un generator cu 6 perechi de poli pentru ca frecvența curentului alternativ produs să fie de 50 Hz?
R: 8,33 rot/s.
2. Un motor sincron este alimentat cu curent alternativ produs de un generator care are 8 perechi de poli și o turație de 375 rot/min. Cite perechi de poli are rotorul motorului dacă turația sa este de 250 rot/min?
R: $p=12$.
3. Cu ce turație s-ar rota un ac magnetic dacă ar fi așezat pe un vîrf ascuțit vertical în locul rotorului unui motor alimentat cu curent alternativ având $v=50$ Hz, dacă i s-ar da, pentru început, o mișcare de rotație suficient de rapidă?
R: $n=3\ 000$ rot/min.

B. Mașini de curent continuu

51. Principiul de funcționare a generatorului de curent continuu

Cel mai simplu generator de curent continuu se obține folosind o spiră care se rotește într-un cîmp \vec{B} (v. fig. 86) dar avînd în locul celor două inele un sistem de două plăci metalice C și D (semicilindri) izolate între ele și de ax, legate cu capetele spirei (fig. 108). Lamele C și D alcătuiesc un colector; pe ele apasă două perii s și t , care se conectează la rezistorul exterior R .

Curentul circulă în spiră într-un sens într-o jumătate de rotație și în sens contrar în a doua jumătate. Schimbarea sensului de rotație are loc, aşa cum se știe, cînd spira trece prin pozițiile în care este străbătută de fluxul magnetic maxim (v. fig. 109 pozițiile 1, 5, 9 etc.). Cînd are loc trecerea prin aceste poziții se schimbă nu numai sensul curentului în spiră, ci și lamele colectorului în raport cu periile.

Dacă în cursul primei jumătăți de rotație lama C a primit curent prin peria s , iar lama D a trimis curent prin peria t , în a doua jumătate de rotație, lama C vine în contact cu peria t prin care trimite curent, iar lama D vine în contact cu peria s și primește curent

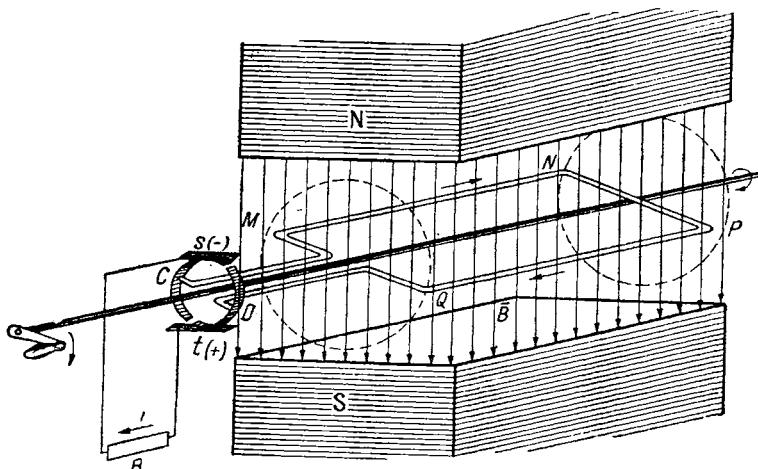


Fig. 108

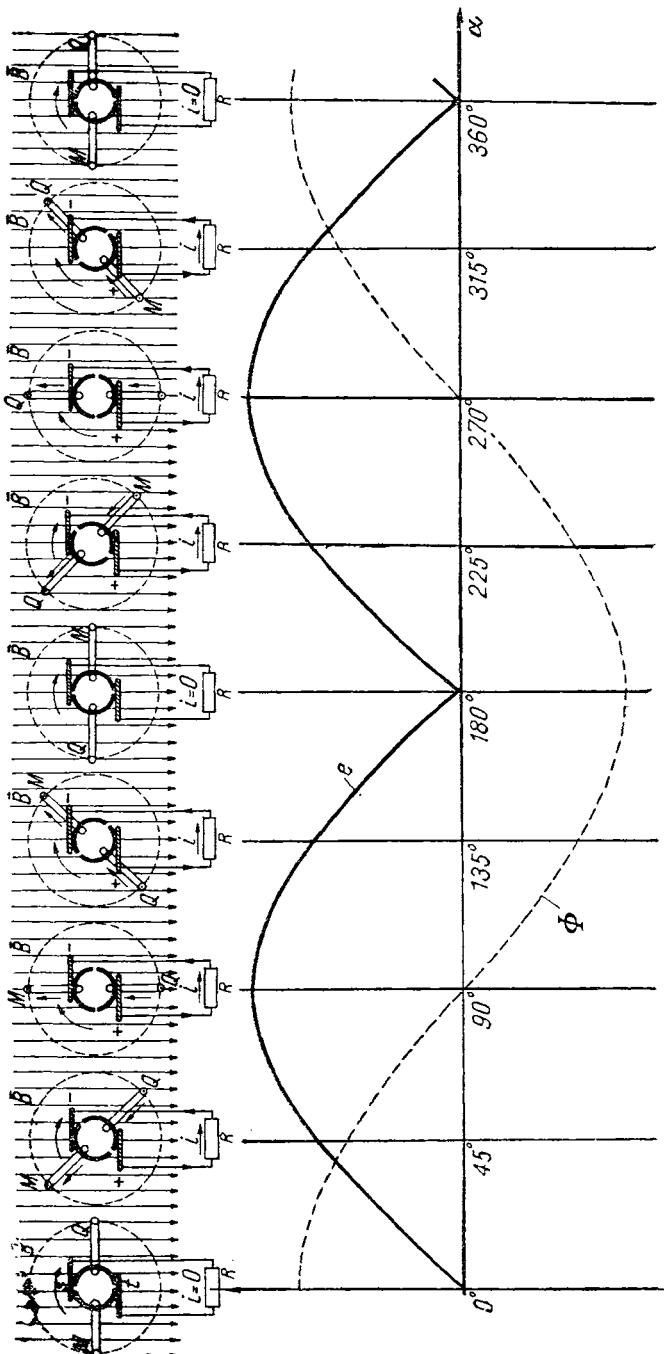


Fig. 109

prin aceasta. De aceea, tot timpul peria t constituie borna + a generatorului, în timp ce s este borna negativă; cind spira se rotește, t.e.m. e de la bornele generatorului și curentul i din rezistență exterioară nu-și schimbă sensul (fig. 109). Totuși, valoarea t.e.m. și a curentului continuu produs nu este constantă, ci variază foarte mult (*curent pulsatoriu*). Pentru a se obține un curent continuu cu variații mai reduse, în locul unei singure spire se pot folosi două spire plane separate, care fac între ele unghiuri de 90° , la colector punindu-se patru lame metalice (fig. 110, a). Fiecare dintre t.e.m. induse în cele două spire vor varia în timp, în modul descris în figura 109; t.e.m. indușă în spira 2 va trece prin aceleași valori ca t.e.m. indușă în spira 1, numai după ce va executa încă $1/4$ de rotație față de prima. De aceea, cele două t.e.m. vor fi decalate între ele cu 90° sau, în timp, cu $T/4$ (fig. 110, b). Din aceeași figură se observă că t.e.m. rezultantă e (obținută prin însumarea făcută pentru fiecare moment a ordonatelor t.e.m. e_1 și e_2) variază mai puțin decât fiecare dintre componente.

Experiență. Se poate arăta modul în care variază în timp t.e.m. și curentul produs de un generator electric de curent continuu, simplu, prevăzut cu o bobină aşezată pe un miez de fier în formă de dublu T , conectând un galvanometru la bornele unui model de generator I.M.D. (fie modelul mic cu stator din ferită, fie modelul mare cu stator din oțel, fig. 111, a) pus în mișcare de rotație uniformă, lentă. Acul galvanometrului indică o variație a curentului deplasându-se numai într-un sens și atingând de două ori în cursul unei rotații valoarea maximă sau zero (fig. 109).

Cind se înlocuiește acest rotor care are o bobină, cu rotorul cu două bobine perpendiculare între ele (fig. 111, b), t.e.m. și curentul

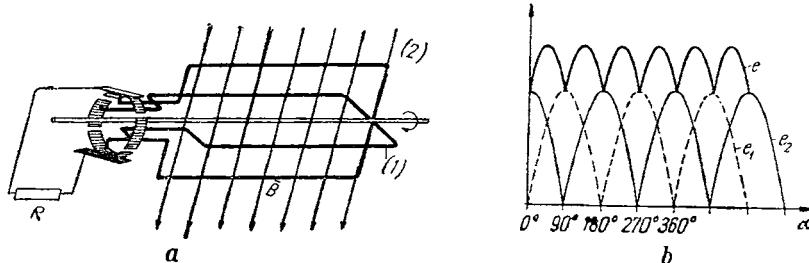


Fig. 110

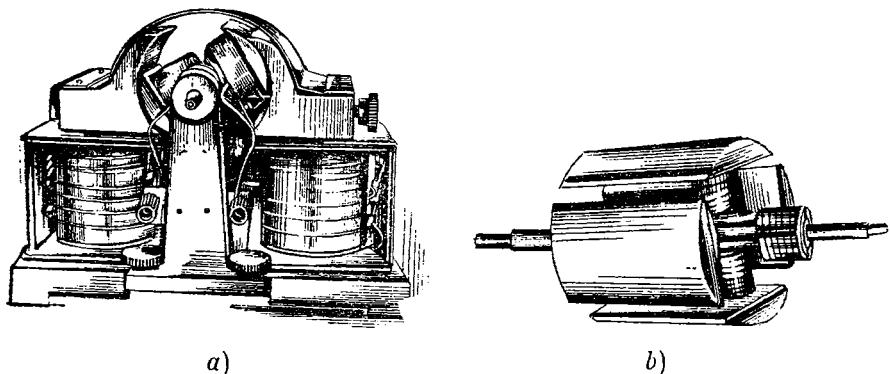


Fig. 111

dat de generator ating de patru ori valoarea maximă în cursul unei rotații; acum valoarea minimă nu mai este zero și de aceea variațiile curentului sunt mai reduse (fig. 110, b curba e).

Pentru a da t.e.m. mai mari și cu variații cît mai reduse, generațoarele de curent continuu folosite în practică au, în locul a două spire decalate cu 90° , mai multe bobine făcând între ele unghiuri egale și un colector cu un număr de lame corespunzător. Astfel, folosind 16 bobine, variațiile tensiunii scad sub 1%, iar cu 30 de bobine, sub 0,1%, adică practic se obțin o tensiune și un curent continuu constant.

Dacă amplitudinea t.e.m. E_m dată de un cadru cu n spire este $E_m = nBlv'$ (rel. 28 și 29), atunci ținând seamă de relațiile $v' = \omega r = 2\pi r$ și $\Phi_m = BS = Bl2r$ se poate scrie că E_m este proporțională cu numărul de spire al cadrului, fluxul magnetic maxim Φ_m și frecvența v de rotație: $E_m \sim n\Phi_m v$. Si în cazul producerii t.e.m. continue E de către un generator cu mai multe bobine pe rotor și mai multe perechi de poli pe stator este valabilă o relație asemănătoare, $E \sim n\Phi_m v$.

52. Construcția mașinilor de curent continuu

Spre deosebire de mașinile de curent alternativ, la mașinile de curent continuu *rotorul* este *indus*, iar *statorul* este *inductor* (fig. 112). La generatoare acesta se explică prin faptul că pentru obținerea curentului continuu (în circuitul exterior) din curentul alternativ care străbate înfășurarea rotorului, este necesar ca înfășu-

rarea indusului să aibă capetele în permanență legate la lamele *colectorului*, care își îndeplinește rolul rotindu-se în raport cu periile.

În practică, fluxul magnetic inductor nu este dat de un magnet permanent ci statorul posedă unul sau mai mulți electromagneti (poli) ale căror infășurări se numesc *înfășurări de excitație*. Polii sunt făcuți din oțel masiv sau din tole de oțel și se fixează pe suprafața interioară a carcasei mașinii, cu buloane. Partea principală a carcasei 2, *jugul*, este un cilindru din oțel turnat sau fontă, care are nu numai rolul de a susține polii dar și de a conduce fluxul magnetic dat de poli. De o parte și de alta a carcasei se află fixate *scuturile* 1 și 3 (capacele), având în centru *lagărele*. De lagăre ori de carcasă sunt fixate *portperiile* 5 așezate pe o piesă de susținere comună. Portperiile susțin și apasă *periile* (făcute de obicei din cărbune) pe colector.

Miezul rotorului 4 are formă cilindrică (indus în formă de tobă) și se face din tole de oțel (discuri cu crestături radiale izolate cu lac sau foită). Astfel, pachetul cilindric de tole prezintă crestături longitudinale în care se așază înfășurările făcute din sîrmă sau bare de cupru izolate.

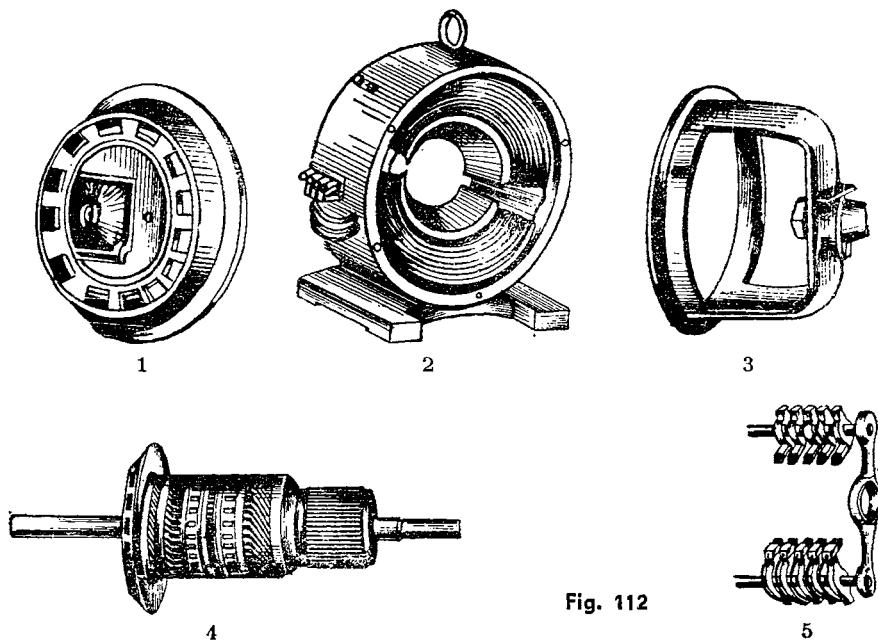


Fig. 112

5

125

Pe axul rotorului mai sunt fixate *colectorul*, cu formă cilindrică (alcătuit din lamele de cupru izolate cu mică între ele și de ax) și *ventilatorul*.

53. Clasificarea mașinilor de curent continuu

Mașinile de curent continuu pot fi *mașini cu excitație independentă*, la care înfășurările de excitație sunt alimentate cu curent continuu de la o sursă din exterior (de exemplu acumulatori), și *mașini cu autoexcitație* la care curentul de excitație provine chiar din rotor.

După felul în care sunt grupate *înfășurarea de excitație (inductorul)* și *înfășurarea rotorului (indusul)* se deosebesc următoarele tipuri de *mașini cu autoexcitație*:

— *mașini cu autoexcitație-serie*, la care înfășurarea de excitație având un număr redus de spire din sîrmă groasă este străbătută de tot curentul produs în indus;

— *mașini cu excitație-derivată (sunt)*, la care înfășurarea de excitație are un număr mare de spire din sîrmă subțire și este străbătută de o mică parte din curentul produs în rotor;

— *mașini cu excitație mixtă (compound)*, având ambele tipuri de înfășurări de excitație arătate.

54. Generatoare de curent continuu (dinamuri)

Aceste generatoare sunt acționate de *motoare primare*: motoare termice sau chiar motoare electrice (în care caz grupul format este numit *convertizor motor-generator*).

Atât timp cât *generatorul nu produce curent* (la *funcționarea în gol*) motorul primar rotește foarte ușor rotorul generatorului trebuind să acopere doar pierderile datorate în special frecările.

Dacă însă *generatorul produce curent* (la *funcționarea în sarcină*) între curenți și cîmpul \vec{B} apar *forțe electromagnetice* \vec{F} , care creează un *cuplu de frânare* (aplicați regula miinii stîngi în fig. 113). Pentru a învinge acest cuplu de frânare și frecările, deci pentru a putea

antrena rotorul generatorului, motorul primar trebuie să dea o putere mecanică P_1 egală cu suma dintre puterea electromagnetică $P = EI_a$ și puterea corespunzătoare frecărilor. Dar în generator, pe de o parte, are loc o cădere de tensiune și de aceea tensiunea U la bornele sale este mai mică decât t.e.m. E , iar pe de altă parte, curentul dat rețelei este $I < I_a$ (curentul prin rotor), o parte (după tipul generatorului) fiind necesar înfășurării de excitație. Din această cauză, puterea utilă $P_2 = UI$ cedată rețelei este mai mică decât puterea electromagnetică P (diferența se pierde prin încălzirea înfășurărilor de excitație și a rotorului).

Astfel, generatorul lucrează cu un *randament industrial* definit prin raportul dintre puterea utilă P_2 (dată rețelei) și puterea mecanică P_1 dată generatorului de motorul primar: $\eta = \frac{P_2}{P_1}$.

Randamentul electric al generatorului este dat de raportul dintre puterea utilă P_2 și puterea electromagnetică P ; $\eta' = \frac{P_2}{P} = \frac{UI}{EI_a}$. La dinamul serie $I = I_a$ și $\eta' = \frac{U}{E}$. Deoarece $P < P_1$, randamentul electric este mai mare decât randamentul industrial.

Funcționarea generatoarelor cu autoexcitație se bazează pe existența *magnetismului remanent* al oțelului din care este făcut inductorul lor. La pornire, fluxul magnetic inductor se dătorescă numai magnetismului remanent și este slab, de aceea și curentul induș este slab. Dar fluxul magnetic crește îndată după pornire, întrucât fie tot curentul induș, fie doar o parte a sa (după tipul generatorului), străbate înfășurarea de excitație și produce un cimp magnetic care, dacă are același sens cu cîmpul datorit magnetismului remanent, va da un cimp rezultant mărit. În acest caz t.e.m. a generatorului crește și ea și de aceea are posibilitatea să crească și curentul de excitație, deci totodată și fluxul magnetic s.a.m.d. Se ajunge astfel ca în scurt timp generatorul să funcționeze în *condiții normale* (nominale), dind *tensiunea și curentul nominal*.

Generatorul cu excitație-derivație (fig. 114) dă o tensiune la borne egală cu diferența dintre t.e.m. E din induș și căderea de tensiune

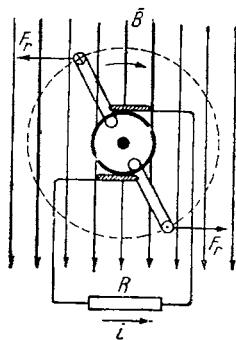


Fig. 113

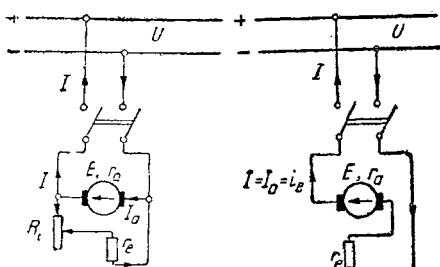


Fig. 114

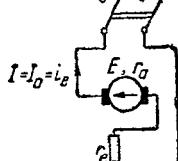


Fig. 115

Tensiunea U se poate păstra constantă dacă se variază rezistența reostatului R_e în mod convenabil.

Generatorul cu excitare-serie (fig. 115) produce un curent cu o intensitate egală cu a curentului prin inducție și prin excitare $I = I_a = i_e$. Aici tensiunea la borne este mai mică decât t.e.m. E dată de inducție, cu suma căderilor de tensiune pe înfășurările indușului și cea de excitare: $U = E - I_a(r_a + r_e)$. De aceea, cind I cerut de la generator crește, tensiunea U scade în mare măsură, ceea ce constituie un dezavantaj.

• *Generatoarele de curent continuu* se folosesc în *instalațiile de electroliză*, ca *excitatoare* ale generatoarelor de curent alternativ, pentru obținerea curentului necesar sudurii prin arc, la *autovehicule* etc.

55. Reversibilitatea mașinilor de curent continuu

Un generator de curent continuu alimentat de la o rețea de curent continuu se rotește, absorbe energie electrică și produce lucru mecanic, devenind astfel *motor de curent continuu*. Se spune că *mașina de curent continuu este reversibilă*.

Dacă generatorul de curent continuu din fig. 116, a care este pus să funcționeze ca motor, este alimentat în aşa fel încât prin borna sa pozitivă să intre curent de la rețeaua de curent continuu, atunci motorul se învîrtește în același sens ca atunci cind funcționa ca generator (aplicații regula măinii stinge în fig. 116, b).

Reversibilitatea mașinii de curent continuu se demonstrează experimental, făcind să funcționeze ca motor modelul de generator

$r_a I_a$ din această: $U = E - r_a I_a$. Aici însă curentul I_a prin inducție se împarte în două: o parte o constituie curentul I prin sarcina exterioară pe care o alimentează, iar altă parte este curentul prin înfășurarea de excitare i_e ; astăzi $I_a = I + i_e$ (aplicația legea I a lui Kirchhoff la oricare din periile generatorului).

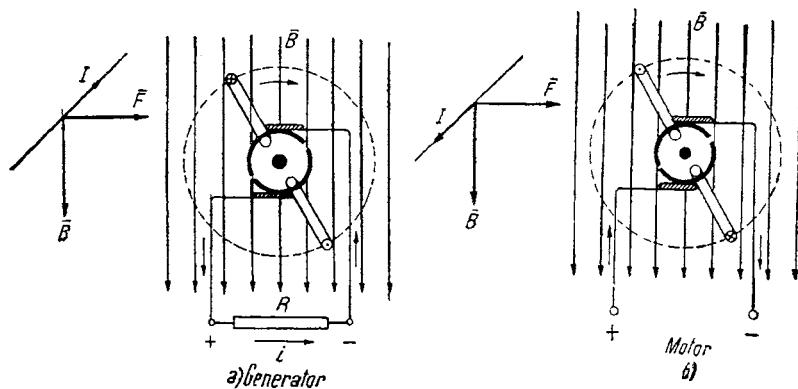


Fig. 116

I.M.D. folosit pentru prezentarea variației curentului pulsatoriu; se folosește autoexcitația-serie, alimentând mașina cu o tensiune de circa 20 V.

56. Motoare de curent continuu

Motoarele de curent continuu se alimentează fie cu curent continuu obținut prin redresarea curentului alternativ al rețelei, fie de la acumulatori.

Cind se pune în funcțiune motorul, în spirele rotorului se induce o tensiune *contraelectromotoare* (t.c.e.m.), E , denumită astfel pentru că are sens contrar tensiunii U de alimentare (aplicați regula mîinii drepte în fig. 116, b). Dacă deocamdată se face abstracție de infășurarea de excitație, atunci se poate spune că tensiunea U echilibrează t.c.e.m. E și acoperă căderea de tensiune pe rezistența infășurării induse: $U = E + r_a I_a$. Așa cum se știe, această t.c.e.m. este proporțională cu fluxul magnetic și cu frecvența de rotație a indusului: $E \sim \Phi_m v$. De aceea, cind motorul *funcționează în gol* (nu antrenează nici o mașină, dispozitiv etc.) și indusul are o viteza de rotație sporită E este mare și, conform relației arătate, motorul absorbe de la rețea un curent redus $I = \frac{U - E}{r_a}$.

Dimpotrivă, cind motorul *funcționează în sarcină*, indusul are o viteza mai mică, iar curentul de alimentare crește.

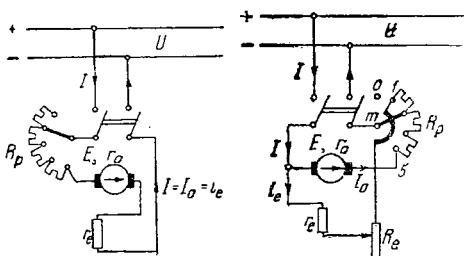


Fig. 117

Fig. 118

La pornirea motorului, rotorul afîndu-se în repaus, $E=0$, iar motorul absoarbe un curent foarte mare (r_a are o valoare deosebit de mică, zecimi sau sute de ohm). Pentru a înlătura acest inconvenient pornirea motorului se face cu ajutorul unui *reostat* special, care ulterior se scoate din circuit.

Cind funcționează în sarcină, motorul absoarbe o putere $P_1=UI$, care servește la producerea puterii electromagnetice $P=EI_a$ și la acoperirea pierderilor din infășurarea indușului și din infășurarea de excitație. O mică parte din puterea P acoperă pierderile mecanice (prin frecări) și în fier, în timp ce majoritatea constituie *puterea mecanică utilă* P_2 disponibilă la arborele motorului.

Randamentul industrial al motorului este dat de raportul dintre puterea utilă (mecanică) P_2 și puterea absorbită (electrică) P_1 de la rețea: $\eta = \frac{P_2}{P_1}$.

Randamentul electric al motorului reprezintă raportul dintre puterea electromagnetică P și puterea absorbită P_1 : $\eta' = \frac{P}{P_1} = \frac{EI_a}{UI}$.

Dacă $I_m = I$ (la motorul serie), atunci $\eta' = \frac{E}{U}$. Deoarece $P > P_2$, *randamentul electric* este mai mare decât *randamentul industrial*. Deoarece puterea electromagnetică P este dată de produsul dintre cuplul M și viteza unghiulară ω a rotorului, se poate scrie că $P=EI_a=M\omega$. Cum $E \sim n\Phi_m v$ rezultă că cuplul $M = \frac{EI_a}{\omega}$ sau $M \sim \frac{n\Phi_m v}{2\pi v} I_a$, adică $M \sim \Phi_m I_a$.

De aceea motorul dezvoltă un cuplu mare cind infășurarea rotorului este străbătută de un curent intens și cind fluxul magnetic al inductorului este mare.

Motorul cu excitație-serie (fig. 117). În acest caz, curentul I_a din induș este egal cu curentul I absorbit de la rețea. Tensiunea de alimentare U echilibrează t.c.e.m. E și acoperă atât căderea de tensiune pe induș $r_a I_a$, cît și cea de pe infășurarea de excitație $r_E I_a$: $U=E+(r_a+r_E)I$ (nu s-a ținut seama de rezistența reostatului de pornire R_p). La pornire, curentul este mare și străbătind infășurarea de excitație produce un flux intens ($\Phi_m \sim I_a^2$). De aceea cuplul motor crește foarte mult cu curentul: $M \sim \Phi_m I_a$, adică $M \sim I_a^2$. Așa se explică de ce motoarele cu excitație-serie sunt preferate pentru *tracțiune*.

unde trebuie să dezvolte un cuplu de pornire foarte mare pentru a putea pune în mișcare vehiculul cu masă mare. Motorul-serie nu trebuie lăsat niciodată să lucreze fără sarcină (în gol), întrucât atunci viteza sa de rotație crește nepermis de mult (motorul se ambalează) și forțele centrifuge pot smulge îmfășurarea de pe rotor.

Viteza de rotație se poate regla prin modificarea tensiunii de alimentare, conectând rezistențe în serie cu motorul sau conectând două motoare în serie (revine fiecărui o tensiune $U/2$), ori în paralel (revine fiecărui toată tensiunea U a rețelei). În acest din urmă fel se procedează la locomotivele și tramvaiele electrice.

Motorul cu excitație-derivație (fig. 118). Curentul de alimentare I se împarte în curentul I_a prin inducție și curentul i_e prin îmfășurarea de excitație: $I = I_a + i_e$.

Pentru a micșora curentul de pornire se folosește un *reostat de pornire* R_p , special, alcătuit din mai multe rezistențe fixate de ploturile (contactele) 1–5, maneta m și bara metalică semicirculară legată la plotul 1. Pornirea se face cu reostatul așezat în poziția de rezistență maximă (poziția 1), așa încât intensitatea $I = \frac{U - E}{r_a + R_p}$ este mică.

Motoarele-derivație prezintă avantajul de a-și păstra viteza aproape constantă cind variază sarcina, dacă sunt alimentate cu tensiune constantă.

Motoarele electrice de curent continuu au utilizări dintre cele mai variate.

Astfel, *motoarele cu excitație-derivație* sunt folosite pentru punerea în mișcare a mașinilor care trebuie să funcționeze cu viteză constantă (mașini-unelte, pompe, laminoare etc.).

Motoarele cu excitație-serie sunt utilizate acolo unde este necesar un cuplu de pornire mare, de exemplu pentru *tracțiunea electrică* (tramvaie, troleibuze, locomotive electrice și Diesel-electrice) sau pentru *macarale*. *Locomotivele Diesel-electrice* sunt locomotive puse în mișcare de motoare electrice alimentate de un generator de curent continuu acționat de un motor Diesel. Ele lucrează cu randament mare, se conduc ușor, sunt suple și sigure în funcționare. În țara noastră uzinele „Electroputere“ Craiova construiesc locomotive Diesel-electrice de 2 100 kW și locomotive electrice cu o putere de 6 950 kW.

Pentru pornirea motoarelor cu combustie internă ale autovehiculelor se folosesc de obicei motoare-serie denumite *demaroare* (a demara=a porni), care se alimentează din acumulatori.

Inversarea sensului de rotație al oricărui tip de motor de curent continuu cu autoexcitație se face fie schimbând sensul curentului

din rotor, fie pe cel al curentului din stator. Dacă se inversează sensul curentului din ambele înfășurări, atunci motorul nu își schimbă sensul de rotație (aplicați regula măinii stângi).

Un motor de curenț continuu funcționează și dacă este alimentat cu curenț alternativ pentru că el își păstrează sensul de rotație în decursul oricărereia dintre alternațe. Totuși nu este avantajos și nu se utilizează astfel de motoare cu colector alimentate în curenț alternativ decât pentru puteri mici (la mașini de găurit manuale, aspiratoare de praf, mici ventilatoare etc.).

Intrebări recapitulative

1. Care sunt tipurile de mașini de curenț continuu?
2. Explicați rolul pe care îl are colectorul unui generator de curenț continuu.
3. Pentru ce miezul rotorului unui generator de curenț continuu se face din tole și nu din fier masiv?
4. Se exercită vreo forță din partea cîmpului de inducție magnetică al statorului unui generator de curenț continuu asupra înfășurării rotorului său dacă la bornele generatorului nu este conectat nici un consumator? Dar dacă se conectează?
5. Pe ce se bazează posibilitatea funcționării unui generator cu autoexcitație? Explicați în ce fel începe să funcționeze generatorul.
6. De ce nu produce curenț (sau produce un curenț foarte slab) un dinam cu autoexcitație cind este rotit în sens contrar sensului în care el funcționează de obicei?
7. De ce înfășurarea de excitație-serie a unui generator sau motor de curenț continuu se face cu spire puține din conductor cu diametru mare?
8. Pentru ce înfășurarea de excitație în derivăție a generatoarelor sau motoarelor de curenț continuu conține un număr mare de spire din conductori cu diametru mic?
9. Se inversează sensul de rotație al unui motor de curenț continuu cu inductorul alcătuit dintr-un magnet permanent dacă se schimbă între ele firele de legătură față de bornele mașinii? Dar dacă motorul este cu autoexcitație?
10. Cum se poate inversa sensul de rotație al unui motor de curenț continuu cu excitație în serie? Desenați schema.
11. Răspundeți la aceeași intrebare pentru motorul cu excitație în derivăție.
12. De ce este necesar să se folosească un reostat de pornire la motoarele de curenț continuu?
13. Dați exemple de utilizări largi ale unui tip de generator de curenț continuu și ale unui tip de motor de curenț continuu.

Exerciții

1. Un generator de curent continuu cu excitație serie dă consumatorilor un curent cu intensitatea de 20 A sub o tensiune de 200 V. Ce fracțiune din puterea utilizată în exterior reprezintă puterea pierdută în înfășurarea de excitație? Ce t.e.m. dă generatorul? Rezistența înfășurării indusului este de $1,5\Omega$, iar cea a inductorului de $0,5\Omega$.

R: $P_e=0,05 P_2$; $E=240$ V.

2. Un generator cu excitație în derivație alimentează 70 de becuri de cîte 500 W sub o tensiune de 200 V. Ce tensiune electromotoare și ce intensitate are curentul dat de generator dacă rezistența înfășurării sale de excitație este de 40Ω , iar a rotorului de $0,2\Omega$?

R: $E=236$ V; $I_a=180$ A.

3. Un motor cu excitație serie alimentat sub o tensiune de 120 V, absoarbe la pornire un curent de 12 A; el are în circuit un reostat de pornire de 8Ω . După ce ajunge la viteza normală, intensitatea curentului prin indus scade la 2 A (cu reostatul adus la zero). Ce rezistență totală au înfășurările indusului și inductorului? Care este valoarea t.e.m. a motorului la funcționare normală?

R: $r_a+r_e=2\Omega$; $E=116$ V.

4. Care este intensitatea curentului care străbate inductorul unui motor cu excitație-derivație avînd o putere utilă de 12 kW, dacă el funcționează sub o tensiune de 120 V cu un randament industrial de 80%, iar rezistența înfășurării de excitație este de 40Ω ? Care este intensitatea curentului primit de motor de la rețea? Care este valoarea tuturor pierderilor de putere din motor?

R: $i_e=3$ A; $I=125$ A; $p_t=3$ kW.

III. Transportul energiei electrice la distanță

O problemă fundamentală a energeticii, și anume *producerea* energiei într-un loc (unde există resurse primare de energie: combustibili, căderi de apă etc.) și *consumarea* ei în altă parte, își găsește o rezolvare rațională folosind *energia electrică*, care poate fi transportată relativ ușor și cu pierderi reduse. Pierderile au loc pen-

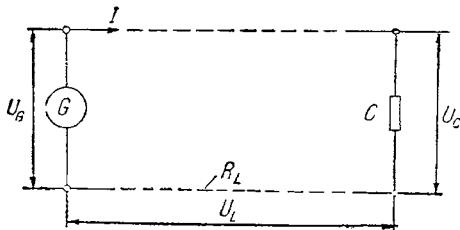


Fig. 119

puterea pierdută pe linie P_L să fie cît mai mică ($P_G = P_C + P_L$). Însă $P_L = R_L I^2 = U_L I$.

Dacă puterea necesară este transmisă sub o *tensiune mică*, atunci va trebui ca prin conductori să treacă un curent cu o intensitate mare ($P = U \cdot I$) și secțiunea lor trebuie să fie mare pentru ca R_L să aibă o valoare redusă ($R_L = \rho \frac{l}{S}$). Aceasta cere însă să se folosească conductori foarte groși, grei, ceea ce ridică costul liniei de transport.

Dacă însă puterea este transmisă sub o *tensiune mare*, atunci I are o valoare redusă și se pot folosi conductori cu secțiune mică, ceea ce este desigur avantajos. În acest caz, cădereea de tensiune pe linie U_L este mică și de aceea tensiunea de la bornele consumatorului are o valoare apropiată de valoarea tensiunii dată de generator ($U_G = U_C + U_L$ fig. 119). De aceea, transportul energiei electrice la distanțe mari se face în mod economic doar prin *linii la înaltă tensiune*.

Totuși *producerea și consumul* energiei electrice trebuie să se facă sub *tensiuni scăzute* pentru a evita atât dificultățile legate de realizarea unei izolații îndeajuns de sigură, cât și pericolul în minuirea mașinilor și aparatelor consumatoare. Apare deci necesitatea

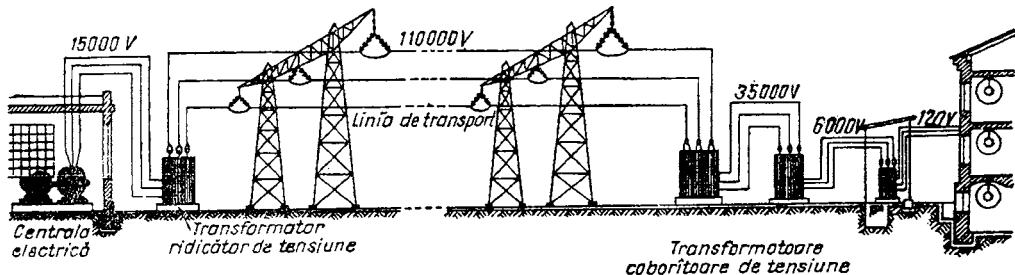


Fig. 120

tru că la trecerea curentului prin conductorii *liniei de transport* a energiei electrice se degaja căldură.

Este rational să se realizeze linia de transport în aşa fel ca o cît mai mare parte din puterea P_C dată de generator să ajungă la consumator (P_C), adică

trecerii de la *tensiuni scăzute* la *tensiuni ridicate* (de la generator la linia de transport) și a trecerii inverse (de la linia de transport la consumator); aceste treceri se fac cu ajutorul *transformatoarelor*. Este justificată astfel complexitatea unei *scheme de transport a energiei electrice* (fig. 120).

Trebuie reținut faptul că, larga folosire a *curentului alternativ* se datorează, printre altele, și faptului că există posibilitatea de a *ridica sau de a cobori tensiunea dată de o sursă de curent alternativ fără a se produce pierderi mari de energie*, lucru greu de realizat în cazul *curentului continuu*.

A. Transformatoare

Transformatorul este un aparat care folosind fenomenul de inducție electromagnetică mijločește, pe cale statică, transformarea energiei date de o sursă de curent alternativ cu o anumită tensiune, în energie de curent alternativ cu aceeași frecvență însă cu altă tensiune.

Cel mai simplu transformator este alcătuit din două *înfășurări* (bobinaje din conductori de cupru) situate una lîngă alta dar izolate între ele; una dintre *înfășurări* se conectează la sursa de curent alternativ și se numește *înfășurare primară*, iar cealaltă la care se leagă consumatorul se numește *înfășurare secundară*. Cele mai cunoscute transformatoare sunt cele care lucrează cu *curent alternativ de joasă frecvență monofazat sau trifazat* (fig. 121). *Înfășurările* sunt așezate pe un miez din oțel special (cu siliciu) pentru micșorarea pierderilor de energie. Miezul este format din foi (table sau tole) subțiri, care se izolează una de alta cu lac, hîrtie subțire sau un strat de oxid. Miezul de oțel se introduce cu scopul de a strînge liniile cîmpului magnetic (fierul are $\mu \gg 1$), de a nu le lăsa să se risipească, astfel încît ambele *înfășurări* să fie străbătute de același flux magnetic.

Înfășurările se aşază de obicei una peste alta și ocupă fie partea centrală a miezului, care în acest fel le „îmbracă“ (*transformator în*

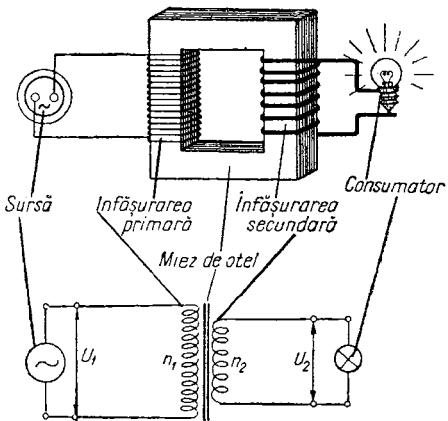


Fig. 121

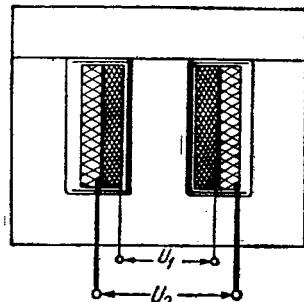


Fig. 122

manta fig. 122), fie stau pe coloanele sale (*transformator cu coloane* fig. 121), care aparțin însă aceluiași miez de oțel. Înfășurarea de lîngă miez este așezată pe o carcăsă din material izolant (carton electric, bachelită etc.). De obicei, această înfășurare este cea de joasă tensiune pentru că ea este mai ușor de izolat. Între înfășurările suprapuse se aşază de asemenea un strat izolant.

Dacă se alimentează înfășurarea primară a transformatorului de la rețeaua de curent alternativ, iar bornele circuitului său secundar nu sunt legate la vreun consumator, se spune că transformatorul lucrează *în gol*. Prin bobinajul primar trece un curent alternativ de mică intensitate, întrucît înfășurarea avînd un mare număr de spire și miez de fier, are o inductanță ridicată. Acest curent alternativ produce un cîmp magnetic alternativ și un flux magnetic alternativ care străbate întreg miezul de oțel. Fluxul variabil în timp este îmbrățișat atât de înfășurarea primară, cât și de cea secundară și, conform legii inducției electromagnetice, el induce tensiuni electromotoare atât în circuitul secundar (E_2), cât și în circuitul primar (E_1). Tensiunile electromotoare vor fi cu atît mai mari, cu cât vor fi mai mari: *viteza de variație în timp a fluxului* (deci frecvență curentului), *numerele de spire* n_1 și n_2 ale fiecărei înfășurări (aceasta pentru că se însumează t.e.m. din toate spirele fiecărui bobinaj, ele fiind legate în serie) și *valoarea maximă* Φ_m a *fluxului magnetic*:

Tensiunea electromotoare E_1 se opune tensiunii U_1 dată de rețea și fiind aproape egală cu ea trebuie să o echilibreze: $U_1 \approx E_1$. Raportul dintre tensiunea U_1 a sursei de curent alternativ și tensiunea electromotoare E_2 (egală la mersul în gol cu tensiunea U_2 de la bornele înfășurării secundare) este:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = n.$$

Raportul dintre numărul de spire al înfășurării primare și numărul de spire al înfășurării secundare se numește *raport de transformare* al transformatorului.

Transformatoarele la care $n > 1$ au mai multe spire în primar decât în secundar și de aceea ele dău în secundar o tensiune mai scăzută, numindu-se *transformatoare coboritoare de tensiune*. Un exemplu îl constituie transformatorul de sonerie.

Dimpotrivă, transformatorele cu $n < 1$ dau în secundar o tensiune mai ridicată decât tensiunea de alimentare și se numesc *transformatoare ridicătoare de tensiune*.

Experiențe. 1. Se alimentează de la rețea de 120 V curent alternativ, primarul de 1200 de spire al unui *transformator coboritor de tensiune* realizat cu ajutorul trusei de bobine I.M.D. pe un miez de fier cu coloane. Bobina secundară se ia de 300 (sau 600) de spire. Se măsoară cu un voltmetru de curent alternativ tensiunile U_1 și $U_2 \approx E_2$ și se observă că raportul lor este egal cu raportul numerelor de spire $\frac{n_1}{n_2} = n$ (fig. 123, a).

2. Se alimentează înfășurarea de 300 (sau 600) de spire a aceluiași transformator (fig. 123, b) de la un alimentator I.M.D. cu o tensiune U_1 de ordinul a 10—15 V. Se măsoară tensiunea $U_2 \approx E_2$ din secundarul de 1200 de spire și se verifică relația $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{n'_1}{n'_2}$. Acum însă, transformatorul a servit la ridicarea tensiunii.

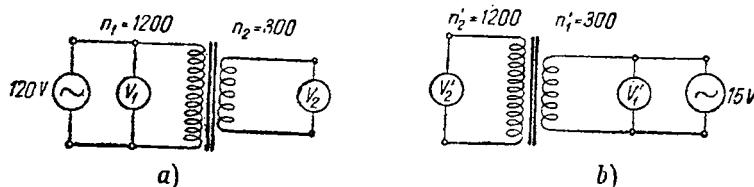


Fig. 123

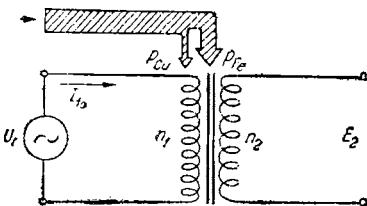


Fig. 124

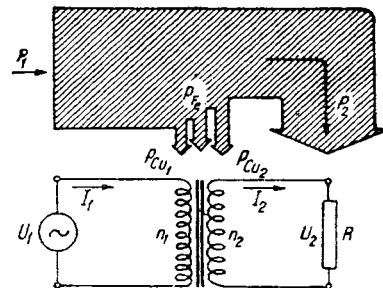


Fig. 125

Cind transformatorul lucrează în gol, curentul din înfășurarea primară este mult defazat față de tensiune, astfel că aparatul absorbe o putere foarte mică (v. relația 44). Această putere acoperă pierderile de energie din miezul de oțel (prin curenți turbionari și histerezis, care produc încălzirea miezului) și pierderile din înfășurarea primară (încălzirea acesteia), figura 124.

Cind transformatorul lucrează în sarcină, de exemplu, la conectarea unui rezistor cu rezistență R (de pildă, un bec electric) în circuitul secundar t.e.m. E_2 provoacă în această infășurare un curent I_2 cu o intensitate cu atât mai mare, cu cât rezistența este mai mică. Acum apar pierderi și prin încălzirea infășurării secundare. Puterea P_2 dezvoltată de curentul I_2 în rezistor provine din puterea P_1 absorbită de transformator de la rețeaua de curent alternativ (fig. 125).

Transformatorul lucrează cu un randament $\eta = \frac{P_2}{P_1}$.

Deoarece transformatoarele nu au piese în mișcare, ele nu au pierderi de energie prin frecări și lucrează cu randamente mai mari decit ale mașinilor electrice rotative, atingind chiar 99% la transformatoarele de puteri foarte mari.

Dacă se face abstracție de pierderile care au loc în transformator, întrucât randamentul este apropiat de 1, se poate scrie că $P_1 = P_2$, deci $U_1 I_1 = U_2 I_2$, adică $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} = n$.

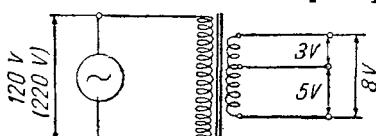


Fig. 126

Așadar, prin coborârea tensiunii de un număr de ori egal cu valoarea raportului de transformare, se obține o creștere de același număr de ori a intensității curentului care

poate fi dat de înfășurarea secundară a transformatorului. Acest fapt a permis să se construiască transformatoare cu ajutorul cărora să se obțină curenți foarte intenși (care pot atinge zeci de mii de amperi): *transformatoare de sudură și transformatoare pentru cup-toare de inducție* (al căror secundar este alcătuit dintr-o singură spiră).

Transformatoarele pot avea mai multe înfășurări primare care se leagă în serie pentru a fi alimentate cu diferite tensiuni (de exemplu transformatorul unui aparat de radio), sau mai multe înfășurări secundare pentru a alimenta în același timp sau succesiv, cu tensiuni diferite, cîte unul sau mai mulți consumatori (de exemplu, un transformator de radio sau un transformator de sonerie, fig. 126).

Transformatoarele de putere mică sînt alimentate fie cu curent alternativ monofazat, fie cu curent trifazat și se răcesc de la sine, cedind căldura aerului înconjurător. *Transformatoarele de putere mare* (folosite în stațiile de transformare, în centralele electrice, în diferite instalații industriale) lucrează cu curent trifazat și sînt răcite cu ulei.

B. Transformatoare speciale

57. Autotransformatorul și alte transformatoare speciale

Autotransformatorul este un transformator special, economic, care are o singură înfășurare făcută din conductori cu diametre diferite, la care se conectează atît sursa de curent alternativ, cît și consumatorul (fig. 127). Auto-

transformatorul se folosește pentru rapoarte de transformare $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$ de valori

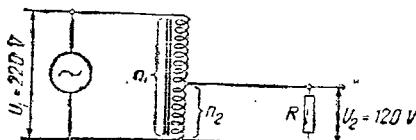


Fig. 127

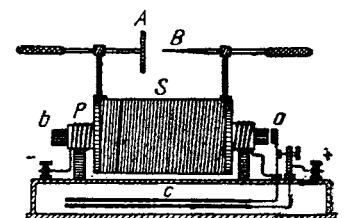


Fig. 128

mici și are avantajul de a necesita sîrmă puțină și mai subțire decît la transformator.

Mai există și alte tipuri de transformatoare speciale, cum ar fi unele transformatoare din aparatura de radio și electronică; unele dintre acestea folosesc curenți alternativi de înaltă frecvență și nu au miez din oțel.

58. Bobina de inducție

Un alt tip de transformator special este *bobina de inducție* sau *bobina Ruhmkorff*.

Bobina de inducție (fig. 128) este alcătuită dintr-o bobină primară P din sîrmă groasă și cu spire puține, peste care este așezată (foarte bine izolată de primar) bobina secundară S . Aceasta este făcută din sîrmă extrem de subțire, cu un foarte mare număr de spire (uneori peste un milion, iar lungimea sîrmei ajunge la zeci de kilometri), foarte bine izolate între ele. Înfășurarea primară este făcută pe un pachet de sîrme de fier moale b , izolate între ele și față de primar. Alimentarea se face de la o sursă de curent continuu (de obicei un acumulator), prin intermediul unui întrerupător vibrant

(ca la soneria electrică), prevăzut cu o lămă elastică pe care se află un contact care atinge un șurub fixat pe suportul izolat pe care stă bobina.

Cind se conectează înfășurarea primară a bobinei de inducție la sursă, lama se reazemă pe șurub și circuitul fiind închis, în acesta apare un curent. Din cauza curentului de autoinducție important care ia naștere pentru că înfășurarea are miez de fier, creșterea curentului i_1 nu se face instantaneu, ci relativ lent, în intervalul de

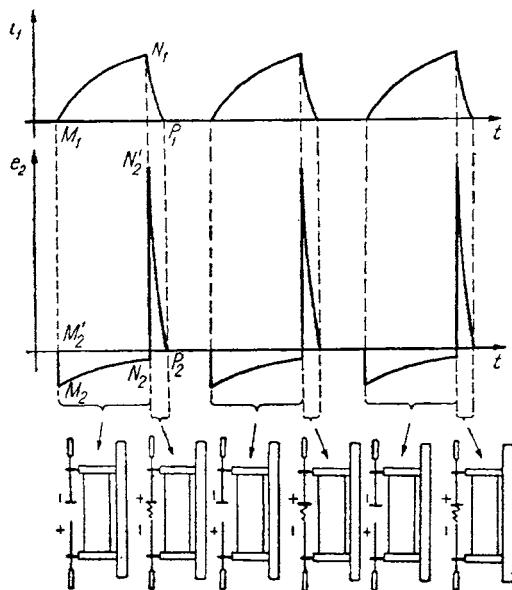


Fig. 129

timp corespunzător punctelor M_1N_1 (fig. 129). În acest timp, în infăşurarea secundară ia naştere o t.e.m. e_2 care variază în timp după curba $M'_2M_2N_2$. Saltul din M'_2M_2 se datorează variației rapide a curentului i_1 la trecerea de la valoarea zero la o valoare diferită de zero. Semnul t.e.m. e_2 este opus lui i_1 pentru că acesta crește. Deoarece aşa cum rezultă din fig. 129 pe porțiunea M_1N_1 curentul i_1 crește la început mai repede, apoi mai încet, t.e.m. e_2 descrește mai întâi repede, apoi lent, pe porțiunea corespunzătoare M_2N_2 (vezi legea inducției electromagnetice).

Cind i_1 devine destul de mare pentru ca prin magnetizare miezul de fier moale să poată atrage armătura a a lamei elastice, aceasta se depărtează de șurub și circuitul primar se întrerupe brusc. În circuit apar curenți de autoinducție care tind să mențină curentul i_1 și de aceea el nu se anulează chiar în momentul întreruperii (N_1), ci mai dăinuie un scurt timp și după aceasta, slăbind în intensitate (curba N_1P_1).

T.e.m. de autoinducție care apare cu acest prilej produce o scînteie la contactul care tocmai se desface. Pentru că variația curentului i_1 are loc mult mai rapid la întreruperea sa decât la stabilire, t.e.m. e_2 care se induce în secundar în acest scurt interval de timp, are o valoare deosebit de mare (punctul N'_2).

Semnul t.e.m. e_2 este acum același cu al curentului i_1 .

Dacă se aşază electrozii A și B la o distanță suficient de mare pentru ca să poată trece o scînteie doar în primele momente ale alternanței a două (începînd cu N'_2), cind t.e.m. are o valoare mult mai mare decât în prima alternanță (în M_2), atunci descărcarea se va putea face numai într-un singur sens.

De aceea bobina de inducție produce un curent continuu (circulă numai într-un singur sens) dar a cărui intensitate variază în timp.

Între lama elastică și șurub se conectează un condensator C (montat în cutia suport a bobinei), care are rolul de a prelua (încarcându-se) energia cîmpului magnetic al infășurării primare, în momentul întreruperii contactului. În acest fel se evită arderea contactelor prin scînteile mari care s-ar produce dacă ar lipsi condensatorul. În momentul în care contactul se restabilește, armăturile fiind puse în legătură, condensatorul se descarcă.

Așadar, bobina de inducție este un transformator special care se alimentează în primar cu curent continuu întrerupt periodic și produce în secundar o tensiune alternativă foarte înaltă, având o formă specială, amplitudinea t.e.m. din cursul unei alternanțe fiind mult mai mare decât în celalătă alternanță; pentru o anumită distanță între electrozi ea poate da un curent continuu întrerupt, însă cu mărime variabilă în timp.

Bobina Ruhmkorff a fost folosită pe larg ca sursă de tensiune continuă înaltă pentru producerea razelor X. Astăzi locul ei a fost luat, în acest domeniu, de către redresoare speciale cu tuburi electronice sau semiconductoare.

Totuși actualmente se folosesc bobine de inducție în alte scopuri: *în laboratoare* pentru studiul descărcărilor în gaze, studiul oscilațiilor electrice etc., *pentru aprinderea amestecului combustibil în motoarele de automobile și avioane* (aici locul întrerupătorului vibrant cu lamă este luat de un dispozitiv rotativ prevăzut cu contacte și acționat de la arborele motorului), iar *tipuri speciale de bobine de inducție* se folosesc *în medicină* (în electroterapeutică).

IV. Alte aplicații ale inducției electromagnetice și curentului alternativ

A. Telefonul

Transmiterea la distanță a sunetelor folosind trecerea curenților electrici variabili prin fire conductoare a fost realizată cu ajutorul telefonului, în 1876 de către Graham Bell, medic și fizician american.

Dispozitivele care permit să se transforme variațiile presiunii sonore (care au loc cind se produc sunetele) în variații corespunzătoare ale curentului electric, se numesc *microfoane*. Cel mai sensibil tip de microfon este *microfonul cu cărbune*.

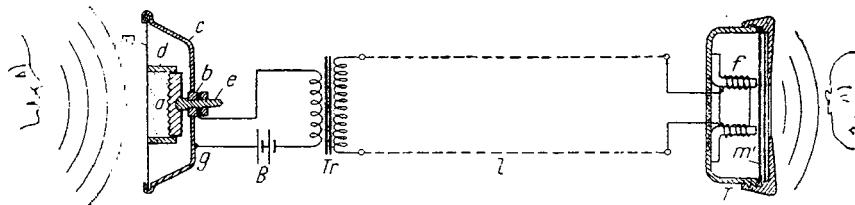


Fig. 130

El constă dintr-o capsulă metalică c (fig. 130) în care se află un mic cilindru din postav d , care cuprinde praf de cărbune ușor presat între o membrană metalică subțire m și o placă de contact a metalică. Din exterior contactul cu această placă se face printr-un șurub e careiese din capsulă printr-un inel izolator b . Legătura electrică cu membrana se face în g , prin intermediul capsulei metalice.

Microfonul cu cărbune se conectează în circuitul primar al unui transformator ridicător de tensiune, în serie cu o baterie B .

Cînd se produc sunete în fața microfonului, membrana acestuia exercită apăsări a căror mărime și frecvență variază în timp corespunzător modulului în care variază intensitatea (tăria) și înălțimea sunetelor (faptul că ele sint mai ascuțite ori mai grave). În momentul în care membrana apasă mai tare micile particule de cărbune, între acestea se stabilesc mai multe puncte de contact, iar contactele existente devin mai bune. Pentru că suprafața totală de contact dintre particule crește, rezistența totală pe care o opune microfonul în circuit scade, iar intensitatea curentului crește.

Dimpotrivă, cînd membrana este slab apăsată (sau de loc), curentul este slab. În circuitul secundar al transformatorului se induce o tensiune variabilă mărită ($n < 1$), care se transmite prin firele conductorice pînă la receptorul telefonic (casca) T . Aici variațiile de curent care iau naștere în bobinele f fac ca membrana m' să suferă o forță de atracție variabilă și, deplasîndu-se, să producă sunete la fel cu cele care au pus în mișcare membrana microfonului. În acest fel, se realizează o comunicație telefonică într-un sens.

Pentru ca să se poată efectua o con vorbire este necesar să existe două sisteme asemănătoare celui descris. Totuși, pentru a nu folosi patru fire de legătură și pentru a beneficia de avantajele unei mici pierderi de tensiune pe linie, pe care le oferă folosirea unor trans-

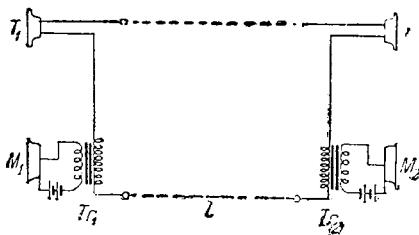


Fig. 131

formatoare ridicătoare de tensiune, este mai indicată schema din figura 131.

În practică se folosesc scheme mult mai complicate, întrucât: se poate stabili nu numai o legătură bilaterală, ci cu un mare număr de abonați se folosește o singură sur să de curent continuu centrală, se

transmit impulsuri de curent de la abonatul care telefonează spre centrală, aici dispozitive automate caută și stabilesc legătura cu celălalt abonat, trimit impulsuri care acționează soneria de apel etc.

Astăzi comunicațiile telefonice s-au dezvoltat și perfecționat într-atât încât putem relativ ușor stabili o legătură telefonică prin fire la distanțe oricăr de mari.

B. Magnetofonul

Magnetofonul este un aparat cu ajutorul căruia se înregistrează și se redau sunetele folosind un purtător magnetic de sunet (bandă de magnetofon).

Se cunosc încercări de înregistrare și redare a sunetelor pe cale magnetică făcute încă în ultimii ani ai secolului trecut. Totuși, abia din 1940, datorită cercetărilor și perfecționărilor aduse, s-a ajuns la forma cunoscută astăzi a magnetofonului.

Inregistrarea magnetică a sunetelor se face prin deplasarea cu viteză constantă a unei benzi magnetice în fața unui electromagnet (*cap de înregistrare*), prin a cărui bobină se trec curenți variabili produși de un microfon. Înregistrarea se bazează pe producerea magnetizării variabile a diferitelor porțiuni ale benzii.

Redarea are loc prin deplasarea benzii (cu aceeași viteză ca la înregistrare), prin fața unui electromagnet (*cap de redare*). Cind porțiunile benzii magnetice trec prin fața acestei bobine, fluxul mag-

netic variază și în bobină se induc curenți care variază în timp, în același fel cu curenții produși la înregistrare.

Acești curenți sunt amplificați și redau sunetele într-un difuzor. Pentru ca banda care conține înregistrări care nu mai interesează să poată fi folosită din nou, ea este supusă unui proces de *stergere* care se poate face fie *magnetizând foarte puternic* banda cu ajutorul curentului continuu, fie *demagnetizând* banda cu ajutorul unui curent alternativ de înaltă frecvență produs de un oscilator.

S-a constatat că înregistrarea sunetelor se face cu deformări (distorsiuni) reduse, dacă în timpul înregistrării se trimită în bobina capului de înregistrare un curent alternativ de înaltă frecvență.

Un magnetofon cuprinde (fig. 132, a):

— o parte mecanică alcătuită dintr-un motor electric ce antrenează cu viteză constantă banda b, care se desfășoară de pe o rolă suport r pe alta;

— o parte electrică alcătuită din cele trei capete (fig. 132, b): de *stergere* (CS), de *înregistrare* (CI) și de *redare* (CR), dintr-un oscilator (generator) de înaltă frecvență și două *amplificatoare*. Oscilatorul și amplificatoarele lucrează cu tuburi electronice sau dispozitive semiconductoare (tranzistoare).

Banda de magnetofon este alcătuită dintr-un suport de masă plastică (acetat de celuloză, policlorură de vinil) cu o grosime foarte

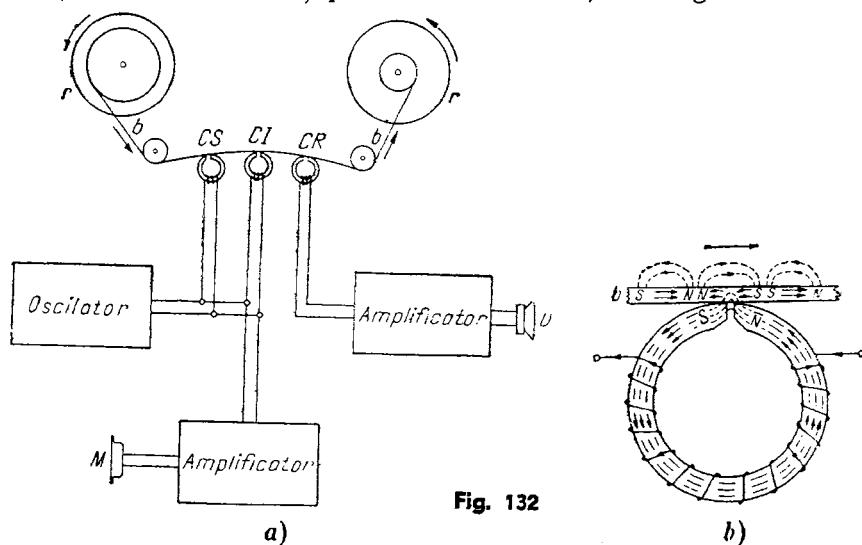


Fig. 132

mică ($20\text{--}50 \mu\text{m}$) peste care s-a depus un strat extrem de fin ($10\mu\text{m}$) de pulbere de oxid de fier ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$).

Din schemă reiese că în timpul înregistrării curenții variabili produsi de microfon sunt întîi amplificați și apoi străbat bobina capului de înregistrare; totodată, în această bobină circulă și un curenț alternativ de înaltă frecvență provenit de la oscilator. După sensul în care se deplasează banda se observă că înainte de înregistrare ea trece prin fața capului de ștergere și este demagnetizată. La redare, curenții induși prin deplasarea benzii în bobina capului de redare intră întîi în amplificator și după aceea străbat bobina mobilă a difuzorului, punând-o în mișcare și producând sunete.

Astăzi, înregistrarea și redarea magnetică a sunetelor cunoaște o largă răspindire datorită *avantajelor deosebite* pe care le prezintă:

- înregistrarea și redarea se fac și se controlează cu ușurință și imediat;
- aparatura necesară pentru aceasta este relativ ieftină și are o greutate redusă (este transportabilă);
- înregistrările au o calitate superioară; se pot reproduce atât sunetele grave, cît și cele foarte ascuțite, producându-se doar deformări extrem de mici; totodată, calitatea înregistrării se păstrează chiar după o utilizare îndelungată;
- purtătorul magnetic al sunetului (banda) poate fi utilizat de mai multe ori (după ștergere) și poate fi tăiat și lipit fără să dăuneze calității reproducerii;
- se pot face înregistrări de lungă durată.

Printre puținele *dezavantaje* se află:

- dificultatea de a multiplica înregistrările făcute pe bandă magnetică, în comparație cu posibilitatea multiplicării discurilor (în număr mare și într-un timp scurt);
- deformarea sunetului datorită modificărilor dimensiunilor benzii sub acțiunea variațiilor de temperatură și umiditate;
- posibilitate de a pierde parțial sau integral înregistrarea, dacă este adusă din greșeală în apropierea unor conductori străbătuți de curenți puternici sau a unor transformatoare, motoare, electromagneți sau magneti permanenti.

Inregistrarea și redarea sunetelor pe bandă magnetică este de *neînlocuit* în multe domenii: în tehnica realizării emisiunilor de radiodifuziune (programele fiind în prealabil înregistrate pe bandă și apoi transmise), la înregistrările pentru cinematografie (care se fac mai întîi pe bandă și apoi pe film), la înregistrările preliminare imprimării discurilor, în comanda automată (cu program) a mașinilor unelte, în studiul pronunțării corecte a limbilor străine, pentru înregistrarea conferințelor, dezbatelor (magnetofoanele destinate acestui scop se numesc *dictafioane*; ele permit ca ulterior să se redea și să se poată scrie comod textul conferințelor), pentru înregistrarea produc-

țiilor folclorice, pentru producerea artificială a diferitelor efecte și montaje sonore etc.

Nu trebuie uitată nici posibilitatea deosebit de interesantă de a înregistra imaginile programelor de televiziune pe bandă magnetică.

Întrebări recapitulative

1. Pentru ce este necesar ca la transportul energiei electrice la distanță printr-o linie, să se ridice în prealabil tensiunea dată de generator? Cum se realizează ridicarea tensiunii?
2. De ce este necesară coborârea tensiunii cînd energia transportată trebuie utilizată la consumator?
3. Ce avantaje prezintă folosirea curentului alternativ față de curentul continuu?
4. Care este fenomenul care stă la baza funcționării unui transformator?
5. Ce rol joacă miezul de oțel în funcționarea unui transformator?
6. Ce este raportul de transformare al unui transformator?
7. De ce infășurarea secundară a unui transformator de sudură are un număr foarte mic de spire?
8. De ce randamentul transformatoarelor este mai mare decît al generatoarelor sau motoarelor electrice?
9. Se încălzește transformatorul de sonerie în timpul cît el nu dă curent în circuitul secundar (nu se sună la sonerie)? De ce?
10. De ce trebuie ca miezul bobinei de inducție să fie făcut din sîrme de fier moale?
11. Explicați ce se întîmplă dacă se alimentează infășurarea primară a unei bobine de inducție cu curent alternativ și se menține închis (apăsat și nemîșcat) întreupătorul sau prevăzut cu lamă elastică. Ce fel de tensiune se obține la bornele infășurării secundare?
12. Cel mai simplu telefon cu care se poate realiza o comunicație bilaterală, pe distanțe mici, fără a avea nevoie de o sursă de alimentare, se realizează legînd prin două fire conductoare două receptoare telefonice (căști) prevăzute cu magneti permanenti pe care sint infășurate bobine. Explătați cum funcționează acest telefon?
13. Ce proprietate stă la baza posibilității înregistrării magnetice a sunetului?
14. În ce fel se poate șterge o înregistrare magnetică?
15. De ce, atât la înregistrare, cît și la redare, banda magnetică trebuie să se deplaseze cu aceeași viteză?

Exerciții

1. Un generator de curent alternativ dă o putere de 10 000 kW sub o tensiune de 5 000 V. Dacă se ridică de 20 de ori această tensiune cu ajutorul unui transformator cu randament aproximativ egal cu unitatea și apoi se

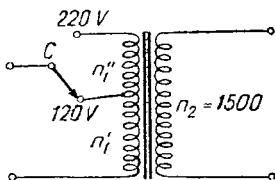


Fig. 133

transportă printr-o linie, consumatorul primește o putere de 9 980 kW. Ce putere se primește dacă se leagă generatorul direct la linie (fără a mai folosi transformatorul)? De câte ori ar trebui mărit diametrul conductorilor liniei pentru a primi totuși putere ca în cazul folosirii transformatorului?

$$R: P_C' = 2\,000 \text{ kW; de 20 de ori.}$$

2. Ce număr de spire are înfășurarea primară a unui transformator dacă la funcționarea în gol, fiind alimentat cu o tensiune de 120 V, dă în secundar (care are 250 de spire) o tensiune de 10 V?

$$R: n_1 = 3\,000 \text{ de spire.}$$

3. Transformatorul de rețea al unui aparat de radio are două înfășurări primare legate în serie una cu alta (fig. 133). Ce numere de spire n_1' și n_1'' trebuie să aibă aceste două înfășurări pentru ca alimentând transformatorul, fie cu o tensiune de 220 V, fie cu o tensiune de 120 V și punând comutatorul C pe poziția corespunzătoare, în secundar să se obțină aceeași tensiune de 250 V?

$$R: n_1' = 720 \text{ de spire; } n_1'' = 600 \text{ de spire.}$$

4. Un transformator care lucrează cu un randament de 90% coboară tensiunea de 220 V la 120 V, alimentează rezistența de încălzire a unui frigider care absoarbe o putere de 20 W. Ce valori au curenții care străbat înfășurile transformatorului? Ce putere se pierde în transformator?

$$R: I_1 \approx 1,01 \text{ A; } I_2 \approx 1,67 \text{ A; } p = 22,2 \text{ W.}$$

E l e c t r i f i c a r e

A. Planurile de electrificare

Energia electromagnetică (căreia i se spune, în mod obișnuit, dar impropriu, *energie electrică*) este caracterizată prin anumite însușiri care o fac să fie larg utilizată în numeroase domenii:

- 1) Ea poate fi obținută relativ ușor, în *cantități reduse sau mari* (după cum este necesar), din alte forme de energie (mecanică, chimică, termică, nucleară etc.).
- 2) *Se poate transporta și distribui cu pierderi reduse pînă la distanțe foarte mari.* Trebuie remarcat faptul că energia electrică este *ușor divizibilă*. Pe de altă parte, transmiterea energiei pe cale mecanică se poate face doar pe distanțe mici (care de obicei nu depășesc ordinul zecilor de metri) și în condiții mai puțin avantajoase decât energia electrică.

- 3) *Energia electrică se poate transforma, la rîndul său, în alte forme de energie.* Aceste transformări au loc cu *randamente ridicate* și permit executarea unor *operații și procese tehnologice* care nu se pot executa pe alte căi sau se pot realiza în condiții insuficient de avantajoase (iluminarea, aplicațiile în electrochimie, punerea în mișcare a mașinilor unelte, troleibuze, tramvaie, topirea, călirea și sudura metalelor, numeroasele aplicații din domeniul radiotehnicii, electronicii, automatizării, medicinei etc.).

Grăție numeroaselor sale avantaje, energia electrică își găsește astăzi numeroase și extrem de importante utilizări în cele mai variate domenii de activitate.

Electrificarea constă în introducerea și extinderea folosirii energiei electrice atât în diferite ramuri ale economiei naționale (in-

dustrie, agricultură, transport etc.), cît și în scopurile satisfacerii consumului casnic sau ale unor necesități ale vieții culturale ale populației (radio, televiziune, cinematograf etc.).

În țara noastră, P.C.R. a pus (încă de la Conferința Națională din 1945) și pune în centrul politiciei sale de construire a socialismului, industrializarea socialistă a țării.

Industrializarea, introducerea pe scară largă a progresului tehnic prin mecanizare și automatizare, cer dezvoltarea producției de energie electrică.

De aceea *electrificarea* reprezintă un factor esențial pentru industrializarea țării, pentru creșterea productivității muncii și ridicarea nivelului de trai al întregului popor.

În anul 1938, în România puterea centralelor electrice era foarte redusă, atingând 500 000 kW; în 1944, puterea de 720 000 kW (din care numai o parte era utilizată) era produsă în 600 de centrale mici.

Resursele hidroenergetice erau slab folosite. Există o singură uzină hidroelectrică de putere mai mare (16 000 kW), la Dobrești. În 1944 există o linie de înaltă tensiune (de 110 kW) pentru transportul energiei electrice având o lungime doar de 127 km. Fiecare locuitor își revenea un consum de energie electrică redus: 72,4 kWh în 1938 și 80 kWh în 1944.

Primul plan de electrificare al țării noastre a fost *planul decenal* adoptat pentru perioada 1951—1960 de către plenara C.C. al P.C.R. din 26 octombrie 1950.

Principalele linii directoare ale acestui plan de electrificare au fost:

- concentrarea producției de energie electrică în centrale de mare putere;
- utilizarea rațională a resurselor electrice prin folosirea combustibililor inferiori și prin amenajări complexe ale resurselor hidroenergetice;
- introducerea *termoficării* (producerea combinată și utilizarea rațională a energiei electrice și termice);
- dezvoltarea rețelelor electrice și interconectarea centralelor electrice pentru a se crea un sistem energetic național unic;
- creșterea producției anuale de energie electrică pînă la 7 miliarde kWh;
- dezvoltarea electrificării rurale.

Planul decenal a fost înfăptuit și depășit în aşa fel, încât în 1960 producția de energie electrică a ajuns la 7,65 miliarde kWh, ceea ce reprezintă o producție de 7 ori mai mare decât producția din 1938.

Au fost construite centrale noi: aşa sunt centralele termoelectrice de la Fântânele, Borzești, Doicești, centralele hidroelectrice de la Moroieni pe Ialomița, Sadu V, centralele sistemului hidroenergetic de pe Bistrița, termocentralele de la Luduș, Paroșeni, Brazi, Craiova, București-Sud.

Congresele IX și X ale P.C.R. au trasat noi sarcini în domeniul electrificării țării noastre. S-a terminat construcția termocentralei Craiova și sunt în construcție alte două termocentrale valorificând cărbunii extrași din această parte a țării.

S-a intensificat acțiunea de valorificare a potențialului hidro-energetic economic amenajabil (cursurile râurilor Argeș, Lotru). Din decembrie 1966 a intrat în funcțiune hidrocentrala „Gh. Gheorghiu-Dej“, pe Argeș.

În 1971 a intrat în folosință cu întreaga capacitate hidrocentrala de la Porțile de Fier (realizată împreună cu R. S. F. Iugoslavia), cu o putere instalată pe partea românească de peste 1 milion kW.

În 1969 puterea instalată în centralele hidroelectrice a atins 850 MW (de 16 ori mai mare ca în 1944), iar în centralele termoelectrice 5582 MW (de 9,5 ori mai mare ca în 1944). Ca urmare a puternicei dezvoltări în electrificarea din țara noastră, producția de energie electrică pe cap de locuitor a crescut de la 94,4 kWh în 1948 la 1574,7 kWh în 1969.

În țara noastră se dezvoltă necontenit *industria electrotehnică*.

B. Bazele fizice ale electrificării. Producerea energiei electrice

La baza producerii *energiei electrice* stau posibilitățile de transformare ale celorlalte tipuri de energie: *solară*, *chimică*, *termică* și *nucleară* în *energie electrică*.

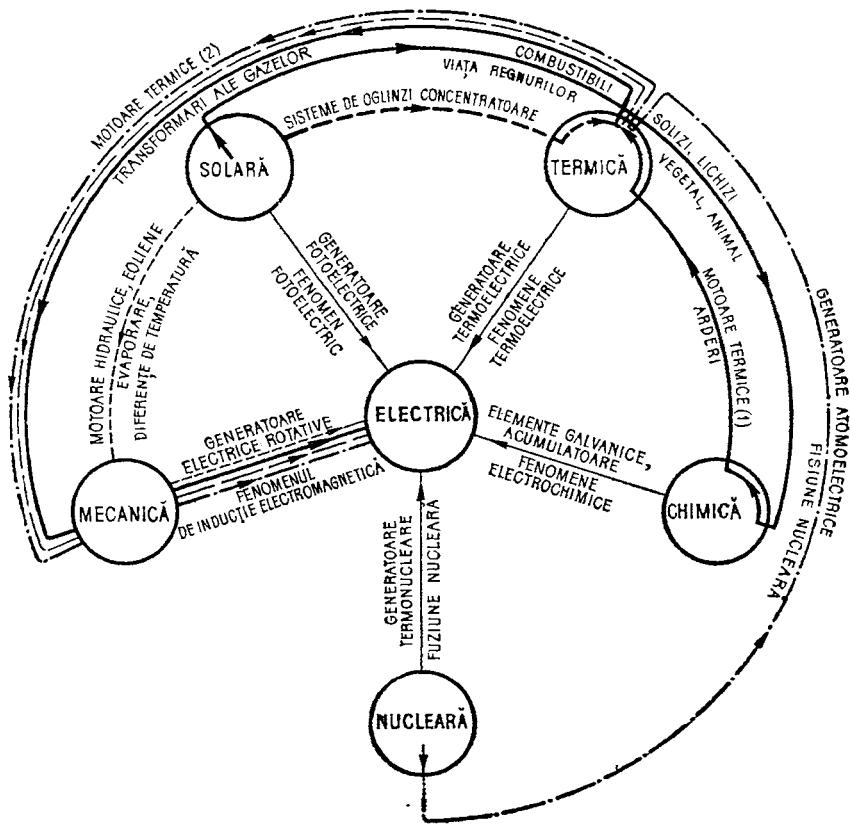


Fig. 134

Din figura 134 reiese că sursele primare de energie sunt cele corespunzătoare energiei solare și energiei nucleare, celelalte tipuri de energie sunt tipuri intermediare, iar diferitele transformări de pe perimetruл schemei reprezintă doar porțiuni ale celor două lanțuri întregi de transformări: *energie solară — energie electrică sau energie nucleară — energie electrică*. Transformarea directă a energiei nucleare în energie electrică prin fuziune nucleară va fi, probabil, realizată în deceniile următoare, prin eforturile depuse în această direcție.

Grăție *energiei solare* se înmagazinează *energie chimică* în combustibili (cărbuni, petrol etc.), ca un rezultat al proceselor petrecute în organismele plantelor și animalelor din care provin combusti-

bili. Tot energiei solare i se datorează atât *energia mecanică* de care dispun *căderile de apă* (energia hidraulică), ca urmare a evaporației — condensării și circulației apei în natură, cît și *energia vîntului* (eoliană), produs din cauza diferenței de presiuni și respectiv de temperaturi ale maselor de aer.

Energia chimică a combustibililor poate trece în *energie termică* prin ardere în focarele sau cilindrii mașinilor termice; în aceste mașini are loc, cum se știe, și obținerea energiei mecanice prin anumite transformări ale gazelor sau vaporilor.

Cu ajutorul generatoarelor electrice rotative (de curent alternativ sau curent continuu) se obține, prin inducție electromagnetică, *energie electrică*. Aceasta este una dintre serile de transformări de energie larg folosită în practică pentru obținerea energiei electrice (cazul *centralelor termoelectrice*).

O cale de asemenea frecvent utilizată în practică este obținerea energiei electrice din *energia mecanică a căderilor de apă* (*centrale hidroelectrice*).

Energia electrică se poate obține și din *energia nucleară* rezultată prin *fisiunea nucleară* (despicarea nucleelor atomice ale elementelor grele ca U, Pu, în nuclee ale elementelor cu masa atomică mai mică). În acest caz se degajă în *reactoare nucleare* o mare cantitate de energie termică. Aceasta urmează apoi transformările cunoscute: energie termică—energie mecanică—energie electrică, care au loc în turbine cu abur și generatoare electrice. Pe această cale se obțin mari cantități de energie în *centralele atomoelectrice*.

Se fac cercetări pentru a se putea folosi în practică enormă cantitate de energie degajată în timpul *fuziunii nucleare* (contopirea nucleelor atomice ale elementelor ușoare, cum ar fi, de exemplu deuteriul și litiul, în nuclee cu masa atomică mai mare). Realizarea controlată a acestei *reacții termonucleare* va însemna nu numai găsirea unui rezervor de energie imens (întrucât combustibilul necesar este hidrogenul greu, adică deuteriul abundant în apa mărilor și oceanelor), dar și posibilitatea obținerii directe a energiei electrice.

Se poate concentra energia radiantă a Soarelui asupra unor caza-ne de abur folosind oglinzi foarte mari susținute de dispozitive speciale care le rotesc automat, urmărind poziția Soarelui.

Aburul produs pune în mișcare turbine, iar acestea generatoarele electrice (*centrale solare sau heliocentrale*). Utilizarea lor însă este restrinsă la regiunile în care există vreme însorită un număr mare de zile pe an.

Se construiesc centrale electrice care folosesc *energia mecanică a mareelor* (*fluxul și refluxul*, adică ridicarea și coborîrea periodică a nivelului apelor oceanelor din cauza forțelor de atracție ale Lunii și Soarelui). Apa pune în mișcare niște turbine, iar acestea mișcă rotoarele unor generatoare electrice. Și în acest caz este vorba de obținerea unor puteri reduse. O astfel de centrală a fost pusă în funcție în 1960, în Franța, și are o putere de circa 350 000 kW.

Există cazuri în care se folosește căldura adusă din interiorul Pământului de către aburii fierbinți. Astfel, în Italia s-au construit *centrale geotermoelectrice* care lucrează cu abur la temperatura de circa 250° și au o putere de 300 000 kW.

Pe de altă parte, există realizări de turbine cu aburi asociate cu generatoare electrice, care sunt acționate datorită *diferenței de temperatură a apei de la suprafață și a celei de la o oarecare adâncime* în apropierea coastei unor mări sau oceane (de exemplu, pe Coasta de Fildes).

Obținerea energiei electrice în *elemente galvanice și acumulatori* din *energie chimică* prezintă o deosebită însemnatate fie pentru funcționarea aparatelor și instalațiilor de mică putere și de obicei *mobile* (lanterne de buzunar, radioreceptoare și radioemisioare portative, autovehicule, electrocare, instalații de iluminat în trenuri etc.), fie pentru înmagazinarea energiei electrice în unele *instalații fixe* care pot avea și puteri mai mari (unele instalații în telefonie, instalații pentru laboratoare, lămpi de semnalizare și control, relee de automatizare în centrale electrice, unele motoare electrice care trebuie să funcționeze în cazul intreruperii curentului de la rețea etc.).

Trebuie subliniat faptul că, deși există unele realizări în privința obținerii energiei electrice *direct* dintr-o altă formă de energie (de exemplu, din *energia termică* folosind cupluri *termoelectrice* sau din *energie luminoasă* de la Soare, folosind *elemente fotoelectrice cu siliciu* și.a.) totuși ele nu permit decât producerea unor cantități relativ mici de energie.

Dintre toate aceste serii de transformări de energie prezintă interes în special cele referitoare la producerea energiei electrice în centrale termoelectrice și hidroelectrice.

C. Centrale electrice

59. Centrale termoelectrice

O centrală electrică este constituită dintr-un ansamblu de clădiri, instalații, mașini și aparate necesare pentru transformarea energiei de un tip către care în energie electrică.

Centralele termoelectrice sunt instalații complexe care consumă combustibil și produc, fie numai *energie electrică*, fie *energie electrică și căldură*.

De aceea după utilizarea *energiei rezultante* prin arderea combustibilului, centralele termoelectrice pot fi împărțite în:

— *centrale termoelectrice de condensație*, la care o parte relativ mică a energiei termice se transformă în energie electrică (utilizată), iar restul energiei termice se pierde în apă de răcire;

— *centrale termoelectrice de termoficare*, care produc nu numai energie electrică, dar de la care se utilizează și *căldura* (prin aburii care au acționat turbinele) în scopuri industriale și pentru încălzirea locuințelor. Folosirea acestui tip de centrale termoelectrice este deci mai avantajoasă decât a celor de condensăție.

Centralele termoelectrice pot funcționa cu *turbine cu aburi*, cu *turbine cu gaz* sau cu *motoare Diesel*. Prima categorie este cea mai răspândită, fiind cea mai economică și realizând puterile cele mai mari.

Centralele termoelectrice cu abur sunt însă complexe, intră în funcțiune relativ greu și lucrează economic doar funcționând neînterupt și cu sarcină constantă. Randamentul lor crește dacă folosesc abur cu temperaturi și presiuni mari.

În figura 135 se arată schema unei centrale termoelectrice cu aburi (fără a da toate detaliile). Se pot urmări două circuite prin-

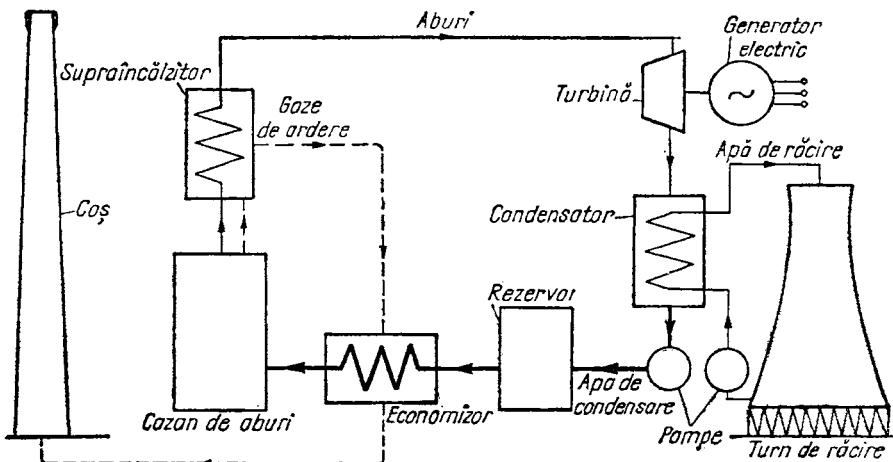


Fig. 135

pale: 1) cel al aburilor și al apei provenită din condensarea lor și 2) cel al gazelor de ardere.

Iată, pe scurt, descrierea proceselor care au loc într-o astfel de centrală și a instalațiilor sale.

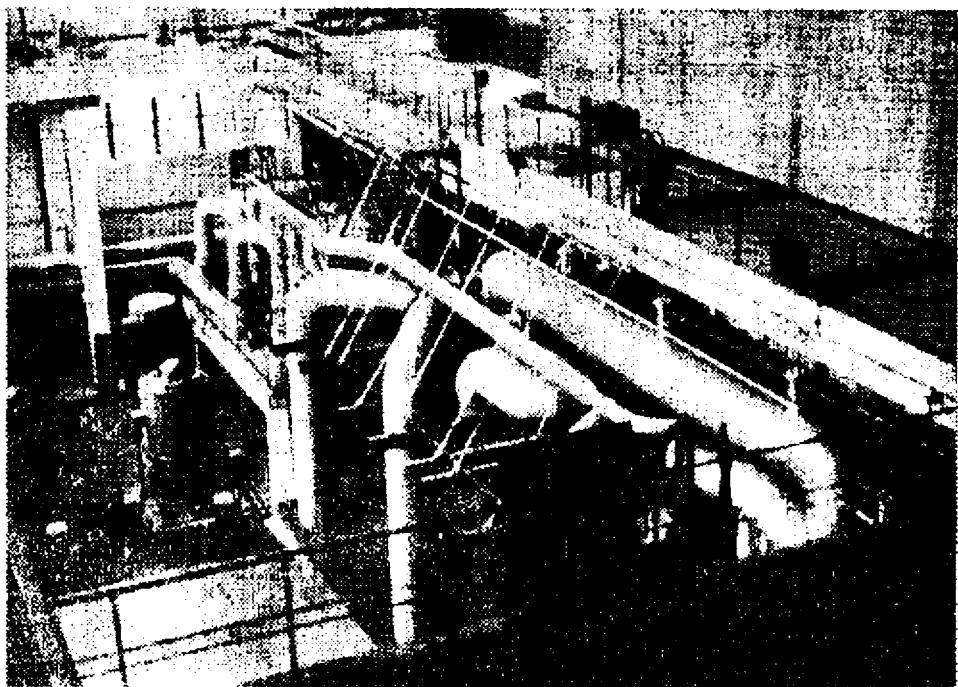
Combustibilul (cărbune) este adus din magazie pe benzi transportoare la un concasor care îl fărmătează, apoi este trecut într-o moară cu bile unde este măcinat fin și totodată este uscat de către gazele fierbinți care vin aici din focar.

Pulberea de cărbune este suflată cu aer fierbinte (adus din vecinătatea cazonului de către un ventilator) în arzătoare. Gazele de ardere încălzesc apă din tuburile cazonului, trec mai departe printr-un supraîncălzitor al vaporilor proveniți din cazon și apoi străbat un economizor unde încălzesc apă care urmează să alimenteze cazonul. După aceasta, gazele (care s-au răcit destul de mult) sunt separate de pulberi în niște dispozitive speciale (cicloane și separatoare electrostatice) și eliminate pe cos.

Aburii din cazon sunt supraîncălziți, apoi intră în turbină, care este cuplată cu generatorul electric. După ce au pus în funcțiune turbină, aburii o părăsesc și, intrând în condensator unde circulă apă de răcire, se condensează. În continuare, apă de condensare este pompată într-un rezervor de unde, după ce trece prin economizorul amintit mai sus, intră în cazon. Apă de răcire care s-a încălzit în condensator, trece în turnul de răcire în interiorul căruia curge sub formă de picături fine și se răcește venind în contact cu aerul înconjurător; apă de răcire este reintrodusă în circuitul său de către o pompă.

O mică parte din energia electrică produsă de generator este folosită chiar pentru funcționarea diferitelor *electromotoare* și *instalații electrice* ale centralei. Cea mai mare parte este trecută prin intermediul unor *transformatoare* ridicătoare de tensiune, *liniei de înaltă tensiune* pe care va fi transportată către consumatori.

O centrală termoelectrică mai cuprinde și alte instalații, cum ar fi: *instalația de epurare și degazare a apei* (în care se elimină prin tratamente chimice sărurile din apă care ar putea forma piatră pe cazan), *instalația de control și comandă* a centralei, având panouri cu schema electrică a centralei și *pupitrul de comandă* (cu aparate de măsură, butoanele releelor de comandă etc.) și *instalații de distribuție a energiei electrice* (*stația de conexiuni* cu ajutorul căreia se realizează legătura dintre generatoare, transformatoarele ridicătoare de tensiune și liniile de transport al energiei electrice, *dispozitivele de întrerupere*, *dispozitivele de protecție* în caz de suprasarcini sau scurtcircuite, *transformatoarele*) și altele.



Sala cazanelor de la termocentrala Luduș

Trebuie subliniat că odată cu dezvoltarea și modernizarea lor, centralele termoelectrice capătă următoarele caracteristici: reprezintă o concentrare a producției de energie electrică în centrale mari (așa este centrala Luduș 800 MW), lucrează cu parametri înalți ai aburului (presiuni mari și temperaturi înalte 570°C), necesită un mic consum specific de combustibil și au instalații automatizate care pot fi conduse de un număr redus de oameni.

60. Centrale hidroelectrice

Centralele hidroelectrice sunt centrale care folosesc energia căderilor de apă. Construirea unei centrale hidroelectrice cere investiții mari, muncă și timp mult, dar o dată realizată, ea produce energia electrică mai ieftin decât o centrală termoelectrică. O centrală hidroelectrică poate funcționa sigur și cu randament ridicat chiar dacă sarcina ei variază în mare măsură și brusc, ori dacă este pornită și oprită de mai multe ori la rînd; acestea constituie avantaje însemnate față de centralele termoelectrice. În plus, o dată cu folosirea energiei hidraulice în centralele hidroelectrice, apar și posibilități de realizare a irigațiilor, de redare a unor terenuri agriculturnii, de îmbunătățire a condițiilor de navigație (prin ridicarea nivelului apelor), de reducere a pericolului inundațiilor, de valorificări piscicole, industriale etc.

Centralele hidroelectrice pot fi *centrale de cădere înaltă* (cu o cădere de peste 50—70 m) și se situează în regiunile muntoase, *centrale de cădere mijlocie* (de ordinul a 10 m) și *centrale de cădere mică*, pe cursuri de apă care au debit mare și regulat (râuri, fluviu).

Centralele hidroelectrice care lucrează cu căderi însemnate sunt *centrale cu derivărie*, iar cele cu căderi mai mici sunt *centrale cu baraj*; de fapt și centralele cu derivărie au un baraj, dar nu pentru a produce cădere de apă, ci pentru a dirija apa în *canalele de derivărie sau aducție*.

Amenajarea unei *centrale hidroelectrice cu derivărie* cuprinde în primul rînd (v. fig. 136) un *lac de acumulare* creat prin oprirea cursului unei ape cu ajutorul unui *baraj*.

Lacul de acumulare este necesar pentru obținerea unui debit de apă constant și deci a unei puteri constante, indiferent de debitul natural variabil al apei curgătoare, adică indiferent de anotimp.

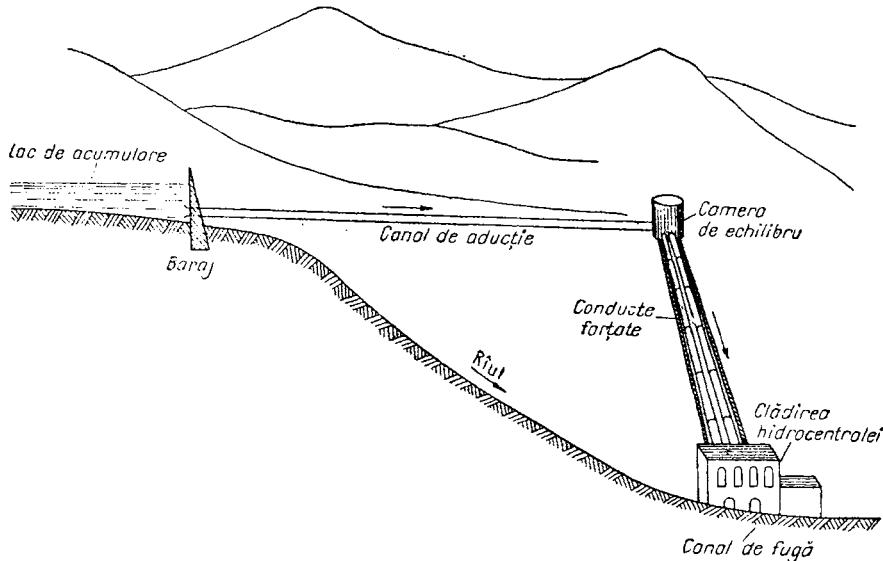


Fig. 136

Din lac, apa trece printr-un *canal de aducție* care are o înclinare mică și poate fi situat fie la suprafață, fie în pămînt (tunel), ajunge într-un *castel de apă* (sau *cameră de echilibru*) și de aici curge prin *conducte forțate* (care au o mare înclinare), intrând în *turbinele hidraulice*. După ce pune în mișcare rotoarele turbinelor și totodată ale *generatoarelor electrice* cu care acestea sunt cuplate, apa părăsește centrala printr-un *canal de fugă* și reintră în albia riu lui.

Rolul *camerei de echilibru* este de a prelua şocul care se produce atunci cînd este necesar să se oprească rapid, cu ajutorul unor *vane*, trecerea apei spre turbine.

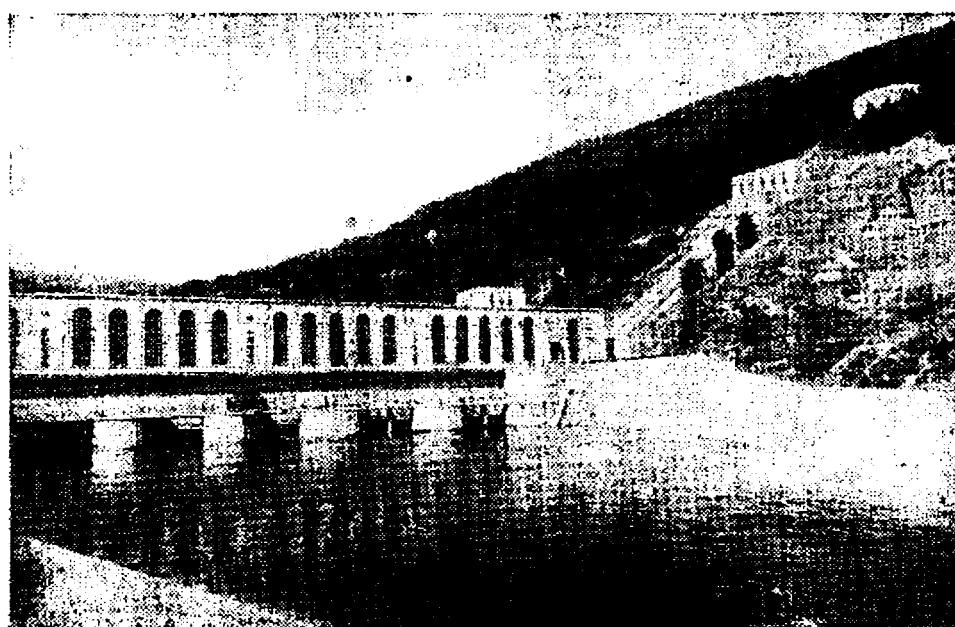
La *centralele hidroelectrice cu baraj* care se construiesc pe ape curgătoare cu debit mare și constant, clădirea centralei se află în apropierea barajului sau chiar pe el. Energia electrică produsă de hidrogeneratoare este trimisă consumatorilor după ce a trecut prin transformatoare ridicătoare de tensiune ale centralei hidroelectrice. Controlul și dirijarea energiei electrice produse se face din *camera de comandă*.

Exemple de centrale hidroelectrice cu derivație sunt centralele „V. I. Lenin“ — Bicaz și „Gh. Gheorghiu-Dej“ — Argeș. Centrală hidroelectrică cu baraj este centrala de la Porțile de Fier etc.

D. Sistemul electroenergetic național

Caracteristic marii producții de energie electrică este faptul că aceasta trebuie consumată imediat, ea neputind fi acumulată. Din această cauză, centrala electrică trebuie să poată satisface imediat cererile existente de energie.

Cum consumul de energie variază în decursul a 24 de ore, fiind de obicei mai ridicat în timpul dimineții și serii și mai scăzut în timpul nopții, surplusul de energie necesar este acoperit temporar de către *centralele de vîrf*.



Hidrocentrala „V. I. Lenin“

Majoritatea cantității de energie electrică este dată în mod continuu de către *centralele de bază*.

Centralele hidroelectrice se pot pune mai ușor și mai repede în funcțiune decât cele termoelectrice; de aceea centralele hidroelectrice sunt adesea centrale de vîrf, iar centralele termoelectrice sunt centrale de bază. Astfel, în țara noastră, centralele hidroelectrice „V. I. Lenin“ — Bicaz și „Gh. Gheorghiu-Dej“ — Argeș sunt centrale de vîrf.

Dacă se conectează între ele centralele electrice, atunci se realizează un sistem *electroenergetic*. Interconectarea prezintă o serie de avantaje, printre care acela că variațiile consumului de energie sunt preluate din rețeaua comună, se repartizează tuturor centralelor și nu numai uneia singure, deci pot fi acoperite (sau suportate) mai ușor de către fiecare.

O dată cu dezvoltarea rețelelor de transport ale energiei electrice, în țara noastră a fost creat și se extinde sistemul *electroenergetic național* prin interconectarea tuturor centralelor electrice mari și a consumatorilor din toate regiunile. În acest mod se pot folosi mai economic, mai rațional resursele energetice, micșorindu-se puterea de rezervă necesară și mărindu-se gradul de siguranță în funcționare.

La sfîrșitul anului 1965, centralele interconectate la sistemul electroenergetic național însumau o putere instalată de 3 300 MW din totalul de 3 500 MW, adică aproximativ 95%. În 1969 puterea instalată a sistemului electroenergetic național unitar a atins 6 615 MW.

Sistemul electroenergetic național este condus de către un *dispecer energetic național*.

Acesta este un serviciu special care supraveghează și dirijează dintr-un punct de comandă, funcționarea tuturor centralelor electrice și a liniilor de transport al energiei electrice, în scopul asigurării unei exploatari cât mai economice, al unei repartizări optime a sarcinii între centrale, al observării și eliminării rapide a avariilor, al menținerii tensiunii și frecvenței curentului electric etc.

Se prevede realizarea, în țara noastră, a unui *nou dispecer național*, modernizat la nivelul tehnic mondial, având instalații de telemăsură, telecomandă și mașini electronice de calcul pentru soluționarea problemelor complexe care se pun în cadrul sistemului electroenergetic.

E. Transportul și distribuția energiei electrice

În marea majoritate a cazurilor, energia electrică este trimisă prin *linii de transport* de la *centralele electrice* în centre de distribuire, folosind curent trifazat. De la aceste centre, energia ajunge la consumator prin *rețelele de distribuție*.

În centrale se produc *tensiuni alternative înalte* de 6—20 kV (fig. 120). De aici, după ridicarea tensiunii cu ajutorul transformatorului, energia electrică se transportă la distanțe mari, cu pierderi reduse, prin linii de transport sub *tensiuni foarte înalte* între 35 kV și 500 kV (valorile intermediare cele mai folosite fiind cele de 110 kV, 220 kV și 400 kV).

În apropierea locului de utilizare a energiei se coboară tensiunea (de exemplu la 35 kV) tot cu ajutorul transformatoarelor în *stația principală de transformare*.

Ulterior se coboară din nou tensiunea *în stații de transformare secundare*, de unde se obțin tensiuni de 3—10 kV și apoi *tensiuni joase* de ordinul sutelor de volți. De aici, folosind de obicei *rețelele de distribuție trifazate cu fir neutru*, energia electrică este dată consumatorilor sub tensiuni cu valori cunoscute ca $U_l/U_f = 380/220$ sau $208/120$ V. Dintre acestea, în *uzine și fabrici* se folosesc tensiunile cu valori mai ridicate, în timp ce pentru *locuințe* se folosesc tensiuni mai coborite.

Liniile de transport se întind pe distanțe mari și de cele mai multe ori sunt *linii aeriene*. În orașe, *rețelele de distribuție* ale energiei electrice sunt *rețele subterane*. Când energia electrică trebuie transportată pe distanțe foarte mari și sub tensiuni foarte ridicate (peste 400 kV), apar pierderi de energie deosebit de mari prin ionizarea aerului și descărcări electrice în spațiul din jurul conductorilor (*efect corona*). În acest caz, se preconizează folosirea currentului continuu; apar însă o serie de probleme dificile, printre care aceea a transformării currentului alternativ (care trebuie transformat) în current continuu, iar după ajungerea la destinație, aceea a transformării inverse.

Curentul electric în gaze

A. Ionizarea gazelor

61. Conductibilitatea gazelor. În condiții normale de presiune și temperatură, gazele, deci și aerul, sunt izolatoare. Un electroscop încărcat și aflat în aer uscat se descarcă după un timp îndelungat, dovedind că aerul uscat este un destul de bun izolant, dar nu perfect. El are rezistivitatea de ordinul a $4 \cdot 10^{13} \Omega \cdot \text{m}$, deci nu conține suficienți purtători de sarcini electrice, pe care să-i poată pune în evidență aparatele electrice obișnuite. Purtaitori de sarcină sunt toate particulele încărcate cu electricitate ca: electroni, ioni, molecule sau particule de dimensiuni mai mari care poartă sarcini electrice. Apropiind o flacără de electroscopul încărcat, acesta se descarcă repede, ceea ce înseamnă că prin ridicarea temperaturii s-a mărit conductibilitatea aerului, deoarece unii atomi neutri au dat naștere la electroni și ioni pozitivi. Flacără a jucat rol de agent ionizant. *Obținerea de ioni pozitivi și de electroni din atomii neutri sub acțiunea agenților ionizańți se numește ionizare.*

Pentru desprinderea unui electron dintr-un atom, adică pentru ionizare, este necesară energie, pe care agentul ionizant o transmite atomului. *Energia minimă necesară ionizării unui atom se numește energie de ionizare.* Ea se măsoară în electronvolți (eV). Un electronvolt este energia pe care o capătă un electron accelerat într-un cimp creat de o diferență de potențial de 1 V; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ joule. Energia de ionizare variază cu specia atomică. Astfel He are energia de ionizare egală cu 24,5 eV, H are 13,6 eV etc.

Sint și alți agenți ionizanți în afara temperaturii. În straturile superioare ale atmosferei, la peste 100 km, se găsesc mulți ioni pozitivi, încit Pământul este înconjurat de un nor de ioni pozitivi numit *ionosferă*. Ionizarea straturilor superioare ale atmosferei este produsă de radiațiile solare.

În condiții naturale, aerul și gazele în general conțin un număr foarte mic de ioni și electroni, produși sub acțiunea radiațiilor cosmice ori a radioactivității scoarței pământului. Această ionizare naturală se numește *ionizare remanentă*.

62. Metode de ionizare a gazelor. Ionizarea gazelor se poate produce pe mai multe căi.

a. *Încălzirea gazelor la temperaturi ridicate.* Odată cu creșterea temperaturii crește și numărul atomilor și moleculelor cu viteze mari, deci cu energii cinetice suficient de mari pentru a ioniza un atom pe care-l ciocnesc. De aceea gradul de ionizare a gazului crește odată cu temperatura. La temperaturi de cîteva zeci de miile de grade practic toți atomii unui gaz sănt ionizați.

b. *Iradierea gazului cu particule încărcate și rapide ca:* electroni accelerati, particule α sau β emise de substanțele radioactive, raze cosmice etc. Asemenea particule posedă energie cinetică suficientă pentru ca, ciocnind un atom din gaz, să-l ionizeze. O particulă încărcată cu sarcina e și având masa m , prin accelerarea produsă de tensiunea U primește energia eU ajungînd la energia cinetică $\frac{mv^2}{2} = eU$. Prin ciocnire transmite atomului neutrul această energie și-l ionizează dacă $eU \geq W_i$, unde W_i este energia de ionizare.

c. *Iluminarea gazului cu radiații ultraviolete, Röntgen sau γ .* Fizica modernă a demonstrat că radiațiile cu energie foarte mare, ca cele ultraviolete, Röntgen sau γ , se comportă uneori ca fiind formate din particule numite *fotoni*. Un foton care ciocnește un atom din gaz îi transmite energie, iar dacă energia lui e mai mare decât energia de ionizare, din atom este expulzat un electron, adică atomul este ionizat.

Dacă fotonul a avut o energie mult mai mare decât energia de ionizare, electronul obținut prin ionizare poate avea și el o energie suficientă pentru a ioniza un alt atom pe care-l ciocnește; se produce astfel o ionizare secundară.

63. Descărcări în gaze. Să considerăm un gaz aflat între doi electrozi A și C (fig. 137), conectați la tensiunea U . Cu ajutorul unui agent ionizant, de exemplu radiației ultraviolete, se produc ionizări continue între electrozi. Electronii vor fi dirijați către anodul A , iar ionii pozitivi către catodul C . Prin circuit va trece curent electric. *Trecerea curentului electric printr-un gaz ionizat se numește descărcare în gaze.* Curentul prin gaz se menține în acest caz datorită faptului că agentul ionizant produce continuu ionizări. Suprimind agentul ionizant, încetează descărcarea. Descărcarea făcută sub acțiunea agentului ionizant se numește *descărcare întreținută*. Dacă tensiunea U dintre electrozi depășește o anumită valoare, numită tensiune de străpungere, curentul de descărcare crește brusc, iar trecerea lui nu mai este condiționată de acțiunea unui agent ionizant. Producearea ionizării, deci descărcarea, este rezultatul unor procese care se petrec în interiorul gazului, determinate de trecerea însuși a curentului. O astfel de descărcare se numește *descărcarea independentă*.

64. Avalanșe electronice. Descărcarea independentă constă dintr-un complex de fenomene, între care cîteva sunt mai importante. Dacă tensiunea aplicată la electrozi depășește valoarea de străpungere, cîmpul electric \vec{E} dintre electrozi este suficient de mare pentru ca electronii din gaz să obțină de-a lungul drumului liber mijlociu $\bar{\Lambda}$ (drumul parcurs între două ciocniri consecutive) suficientă energie cinetică pentru a provoca o ionizare prin ciocnirea cu un atom neutru:

$$W_i = eE\bar{\Lambda}.$$

Electronii noi formați sunt și ei accelerati și produc la rîndul lor noi ionizări etc. Se produce o creștere în avalanșă a numărului de purtători de sarcină. Aceste procese de ionizare prin ciocniri elec-

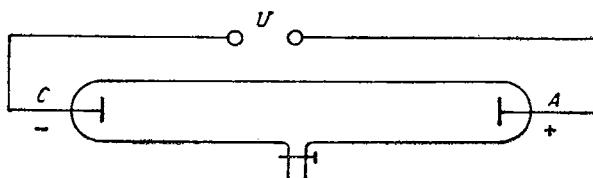


Fig. 137

tronice, în urma cărora apar purtători de sarcină, se numesc procese de *ionizare principală*. Avalanșele electronice s-ar epuiza și desărcarea ar începta dacă s-ar produce numai procesele de ionizare principală: în cele din urmă electronii ar ajunge toți la anod, iar ionii pozitivi la catod. Există însă și procese de ionizare secundară, prin care apar la catod electroni ce inițiază noi avalanșe. Astfel ionii pozitivi ce se îndreaptă către catod, fiind accelerati de cimpul din fața catodului, lovesc catodul cu mare energie, smulgînd din acesta electroni, care inițiază noi avalanșe electronice. Dar electronii care inițiază avalanșe electronice apar și prin alte procese, ca: acțiunea fotoniilor care vin de la lumina descărcării sau prin încălzirea catodului datorită trecerii curentului și altele. Toate aceste fenomene produse la catod se numesc procese de *ionizare secundară*. Așadar, în *descărcarea independentă purtătorii de sarcină electrică apar prin procese de ionizare principală și de ionizare secundară*. Aceste procese nu sunt provocate de agenți ionanți exteriori, ci sunt o consecință a trecerii curentului. Pornirea descărcării independente necesită însă existența inițială a unui număr de electroni, chiar foarte mic, ceea ce se întimplă totdeauna, datorită ionizării remanente. La explicarea acestor procese a contribuit cu lucrări importante și fizicianul român E. Bădărău (n. 1887).

65. Fenomene luminoase care însotesc descărcările în gaze. Pe lîngă formarea avalanșelor electronice, un alt fenomen fundamental în descărcările în gaze este luminescența gazului, adică producerea de lumină. Prin ionizare apar perechi electron-ion pozitiv; se poate produce și procesul invers: recombinarea unei perechi electron-ion pozitiv într-un atom neutru. Procesul de recombinare, invers celui de ionizare, se produce cu *degajare de energie sub formă de radiații luminoase*. În anumite cazuri electronul accelerat nu are suficientă energie să ionizeze atomul neutru, ci doar să-i mărească energia internă. Procesul se numește *excitare*, iar atomul care și-a mărit energia internă se numește *atom excitat*. Prin revenirea la starea sa energetică inițială, prin dezexcitare, atomul cedează surplusul de energie tot sub formă de lumină. Prin urmare *descărcările în gaze sint însotite de fenomene luminoase, datorită fenomenelor de recombinare și dezexcitare*.

B. Descărcarea în gaze la presiune normală

66. Arcul electric. Doi electrozi de cărbune sunt așezați față în față, așa fel ca distanța dintre capetele lor să poată fi variată. Li se aplică o tensiune de 50—100 V. La început se aduc electrozii, pentru scurt timp, în contact. Rezistența electrică la contact fiind mare, capetele electrozilor se încălzesc și devin incandescente. Îndepărțind electrozii cu cîțiva milimetri unul de altul, între capetele lor apare o descărcare în gaz, cu intensitate mare de curent, care se numește *arc electric* (fig. 138).

Intensitatea curentului poate ajunge la cîteva zeci, uneori sute de amperi. Temperatura capetelor electrozilor se ridică la 4 000°C—5 000°C. Din catodul încălzit prin bombardament ionic ieșe un număr foarte mare de electroni, printr-o emisie termoelectronică.

Metalele încălzite emit electroni; fenomenul se numește emisie termoelectronică și a fost descoperit de T. A. Edison (1847—1931) în 1884. În metale se găsesc electroni liberi, care nu-l pot părăsi, deoarece metalul devine pozitiv la ieșirea unui electron și îl atrage în interior. Suprafața metalului se comportă ca o barieră de potențial, care împiedică ieșirea electronilor liberi. Dacă însă electronii liberi primesc energie, cei care ajung la viteză mai mare pot învinge forțele electrice de la suprafața metalului și ies din metal: se produce o emisie electronică. Dacă energia se transmite metalului prin încălzire, emisia se numește termoelectronică.

Anodul are temperatură mai ridicată decît catodul, de aceea se volatilizează treptat.

Prin răcirea catodului, arcul electric dispără, deoarece închetează emisie termoelectronică, cauză a producerii fluxului intens de electroni.

a) Arcul electric cu electrozi de cărbune se folosește ca sursă intensă de lumină la reflectoare și la unele apărate de proiecție.

b) Se folosește și la sudarea metalelor. Metalul care trebuie sudat constituie catodul arcului. Anodul este un electrod mobil care se topeste treptat și realizează sudura.

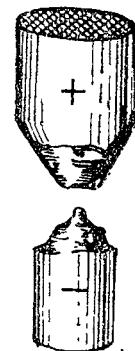


Fig. 138

c) Se folosește de asemenea la topirea metalelor în cuptoarele cu arc electric.

d) Cu ajutorul arcului electric, fizicianul A. Ionescu (1902—1954) a realizat o metodă pentru transformarea metanului în acetilenă.

C. Descărcări în gaze rarefiate

68. Producerea descărcării luminescente. Descărcarea în gaze rarefiate este însotită de fenomene luminoase, al căror aspect variază cu gradul de rarefiere.

Experiență. Se aplică o tensiune continuă la electrozii unui tub de descărcare (fig. 139), prevăzut cu o conductă laterală, care este în legătură printr-un robinet cu o pompă de vid*. La presiunea atmosferică nu trece curent electric prin gaz. Punind pompa în funcțiune, aerul din tub începe să se rarefieze progresiv. La un moment dat, cînd presiunea este între 40—10 torr, în tub apare o panglică luminoasă subțire, șerpuitoare între electrozi (fig. 139, a). Pe măsură ce rarefierea continuă și presiunea coboară către 0,1 torr, aspectul luminos al aerului din tub variază și capătă înfățișarea reprezentată schematic în figura 139, b, cînd presiunea este de cca. 0,2 torr. Catodul este înconjurat de o lumină violacee, numită *lumină catodică* (l. c.) după care urmează un strat întunecat îngust, *spațiul întunecat catodic* (s. c.) urmat de lumina negativă (l. n.), de culoare violacee intensă. După *spațiul întunecat Faraday* (F) începe

coloana pozitivă (c. p.) care se întinde pînă la anod. Culoarea ei depinde de natura gazului din tub: roză în aer, roșu-cărămiziu în neon, albăstrie în vaporii de mercur etc. Menți-

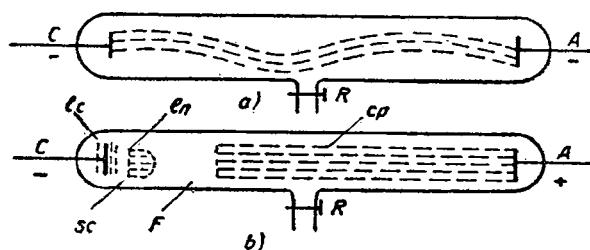


Fig. 139

nind presiunea constantă și deplasind anodul către catod, se scurtează coloana pozitivă, dar nu se modifică părțile catodice ale descărcării. Deci părțile catodice au rolul esențial în descărcarea luminescentă. Electronii se deplasează mult mai repede spre anod decât ionii pozitivi, care se aglomerează la catod, formând în fața lui o sarcină spațială pozitivă. Din această cauză tensiunea nu se mai distribuie liniar, între catod și anod, ci se formează o cădere mare de potențial, căderea catodică, corespunzătoare spațiului întunecat catodic. În spațiul întunecat catodic se produc cele mai multe procese de ionizare în avalanșe. Lumina negativă rezultă din procese de recombinare șidezexcitare, în urma căror electronii își pierd energie. Este nevoie de o distanță mai lungă — spațiul întunecat Faraday — pentru ca electronii să fie accelerati de tensiunea mai slabă de aici, pînă la energia necesară excitării sau chiar ionizării atomilor neutri prin ciocniri. În coloana pozitivă sunt mai numeroase procesele de excitare decât cele de ionizare, deoarece necesitatea energiei mai mici. Lumina rezultă mai ales din procesele de dezexcitare. În coloana pozitivă concentrația de electroni este egală cu concentrația de ioni pozitivi. Coloana pozitivă este un amestec de electroni, ioni pozitivi și molecule neutre și poartă numele de **plasmă**. Astfel se numește astăzi orice gaz puternic ionizat. Plasma se consideră *a patra stare de agregare a materiei*, care cuprinde peste 99% din materia Universului. Are proprietăți deosebite ca: bună conductivitate electrică, interacționează cu undele electromagnetice etc. Fizicianul Th. V. Ionescu (n. 1899) a construit primul oscilator cu plasmă pentru undele ultracute.

69. Aplicații ale descărcărilor luminescente.a) *Lampa cu neon*. Se bazează pe folosirea luminii catodice, în tuburi cu neon și heliu la 10 torr. Electrozi se fac din fier activați cu bariu, ajungîndu-se la lumină intensă și tensiune de aprindere în jurul a 80—100 V. În circuitul ei trebuie pusă o rezistență mare, de protecție. Se folosesc ca indicatoare de tensiune și, datorită inerției lor foarte mici, se folosesc în oscilografie pentru curent alternativ.

b. *Tuburi pentru reclame luminoase*. Folosesc lumina coloanei pozitive din tuburile cu presiune în jurul a 1 torr, numite tuburi Geissler. Această lumină urmărește toate cotiturile tubului, pe distanțe de cîțiva metri. Din tuburile de descărcare se confectionează literele și contururile colorate ale reclamelor luminoase. Culoarea lu-

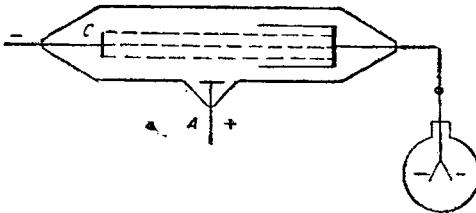


Fig. 140

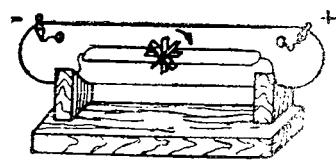


Fig. 141

minii depinde de gazul din tub: neonul dă roșu, heliul și azotul dau galben, CO_2 dă alb, amestecul de Ne, Ar și Hg dă lumina albastră etc.

c. *Lămpi fluorescente*. Acestea transformă energia electrică în energie luminoasă cu un randament de 3—4 ori mai mare decât lămpile cu incandescență și pot da o lumină cu compoziția spectrală apropiată de cea a luminii albe. Sunt tuburi de descărcare luminescentă de construcție specială, care permite utilizarea lor la rețea ușă de 220 V. Pereții interiori ai tubului de sticlă sunt acoperiți cu un strat subțire de substanță fluorescentă. Substanțele fluorescente au proprietatea de a emite radiații sub acțiunea altor radiații cu frecvență mai mare sau sub acțiunea unor particule încărcate și rapide. În interiorul tubului se află un amestec de Ar, Ne, He și vaporii de Hg, în anumite proporții. Coloana pozitivă ocupă aproape toată lungimea tubului și emite radiații ultraviolete. Sub acțiunea acestora, substanța fluorescentă emite lumină vizibilă. Datorită avantajelor pe care le prezintă, iluminatul fluorescent s-a extins pe scară largă.

70. **Radiații catodice**. Am studiat fenomenele de descărcare în gaze rarefiate pînă la presiuni de circa 0,1 torr. Ele se caracterizează prin fenomenele de luminescență care le însoțesc. Sub această presiune, pînă pe la 10^{-3} torr, în tuburi numite Crookes, aspectul descărcării se schimbă. Dispar fenomenele de luminescență a gazului, iar pereții opuși capătă o fluorescență galben-verzuie. Aceasta dovedește că *de la catod pornesc niște radiații numite radiații catodice*. I. Perrin a demonstrat experimental că *radiațiile catodice sunt un fascicul de electroni* (fig. 140). Radiațiile catodice sunt culese de un cilindru în legătură cu un electroscop. Foitele electroscopului diverg și se constată că sunt încărcate cu electricitate negativă. Radiațiile catodice se propagă rectiliniu, perpendicular pe suprafața catodului.

Electronii care constituie radiațiile catodice au viteze mari și de aceea transportă energie cinetică apreciabilă: cind cad pe paletele de mică ale unei moriști foarte ușoare (fig. 141) o pun în rotație.

Energia lor poate încălzi corpurile pe care cad.

Radiațiile catodice impresionează placa fotografică și produc fluorescență unor substanțe. Dacă în calea fasciculului de electroni rapizi care constituie radiațiile catodice se găsește o placă metalică din elemente cu masă atomică mare și greu fuzibile, radiațiile catodice sunt frâinate brusc, iar din placă sunt emise radiații röntgen.

Fiind încărcate cu electricitate negativă, radiațiile catodice sunt deviate de cimpul electric, precum și de cimpul magnetic. Cu ajutorul deviațiilor produse de cimpul electric și de cel magnetic asupra fasciculelor de radiații catodice s-a determinat *sarcina specifică*, adică sarcina unității de masă $\frac{e}{m_0}$ a electronilor care constituie radiațiile catodice. S-a constatat că acest raport are aceeași valoare, ori care ar fi natura catodului sau gazului rarefiat din tub. Acest rezultat dovedește că *electronul intră în alcătuirea oricărui fel de atomi; el este un constituent universal al materiei*. Întrucât sarcina electronului s-a determinat prin alte experiențe și s-a găsit că este $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, din valoarea sarcinii specifice $\frac{e}{m_0}=1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$ s-a dedus că masa m_0 a electronului are valoarea $m_0=9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

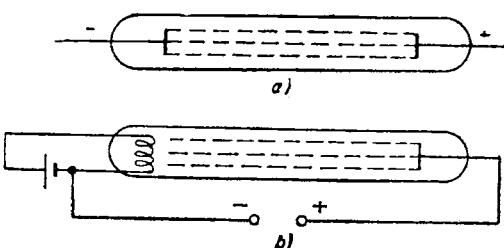


Fig. 142

Intrebări

1. În ce constă procesul fizic de ionizare în fiecare din cele trei moduri de ionizare?
2. Din ce cauză aceeași tensiune electrică imprimă accelerării mai mari electronilor decât ionilor?

3. Din ce cauză o lampă cu neon luminează la tensiuni sub valoarea normală dacă se freacă tubul de sticlă?
4. De ce radiațiile catodice nu sunt deviate prin schimbarea poziției anodului?
5. Să se compare descărcarea luminescentă cu arcul electric.
6. De ce nu e necesară o tensiune înaltă pentru producerea arcului electric?
7. Ce rol joacă rarefierea gazelor în descărcare?
8. Din ce cauză în tubul *a* (fig. 142) descărcarea încetează dacă vidul este înalt, iar în tubul *b*, nu?

Oscilații și unde electromagnetice.

Tuburi electronice

A. Oscilații electromagnetice

71. Descărcarea condensatorului. Descărcarea unui condensator se poate face aperiodic sau periodic. Pentru studiul descărcării unui condensator se realizează montajul din figura 143, a; condensatorul C (de 8—10 μF) poate fi conectat în circuitul de încărcare $UCKU$, cind cumulatorul K este pus în poziția 1—2, sau în circuitul de desărcare, cind comutatorul este pus în poziția 2—3. Alimentarea se face de la o sursă continuă de tensiune (de 200 V). Descărcarea condensatorului se face printr-un rezistor de rezistență R foarte mare (de cca. 500 $\text{k}\Omega$).

Se aduce comutatorul în poziția 1—2: condensatorul se încarcă la tensiunea U . Se aduce apoi comutatorul în poziția 2—3: se închide deci circuitul de desărcare a condensatorului prin rezistorul R . Se observă la miliampermetrul mA (fig. 143, a) apariția unui curent intens, care scade repede la început, apoi foarte lent, pînă la valoarea zero (fig. 143, b). Descărcarea condensatorului s-a făcut *aperiodic*.

Se înlocuiește rezistorul cu o bo-

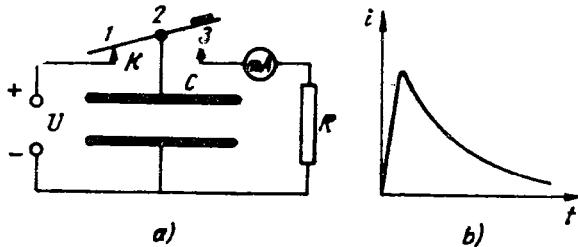


Fig. 143

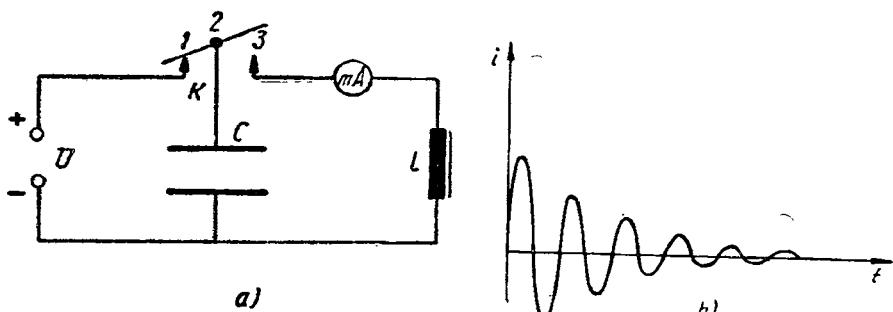


Fig. 144

bină L care are foarte multe spire (circa 12 000) și miez din fier (fig. 144, a); se repetă experiența anterioară. Se aduce mai întii comutatorul în poziția 1—2 pentru a încărca condensatorul; apoi el este adus în poziția 2—3, pentru a se produce descărcarea condensatorului C prin bobina L . Acul miliampermetrului mA deviază mult deoarece la poziție zero, apoi deviază mai puțin în partea opusă, deviază și mai puțin în sensul inițial etc. Cu alte cuvinte curentul de descărcare prin bobină are o variație oscilatorie amortizată (fig. 144, b). Prinț-o bobină, condensatorul se descarcă periodic, oscilatoriu.

Aceste oscilații de curent dovedesc că și tensiunea la bornele condensatorului variază periodic. Cu alte cuvinte descărcarea oscilatorie a condensatorului este un fenomen complex, în care valorile tensiunii și curentului electric variază periodic (oscilatoriu) în timp. Se spune că în circuitul format dintr-un condensator și o bobină se produc oscilații electromagnetice.

Circuitul format dintr-un condensator și o bobină se numește circuit oscilant. El poate fi un generator de oscilații electomagnetice.

72. Explicarea producerii oscilațiilor electomagnetice în circuitul oscilant închis. La momentul inițial $t=0$ (fig. 145, a) condensatorul este încărcat; între armăturile lui tensiunea u are valoarea maximă $u=U_m$, iar energia circuitului este concentrată în cîmpul electric dintre armăturile condensatorului. Starea energetică a circuitului este analogă stării în care se află un pendul ridicat la o înălțime h : energia lui este numai potențială.

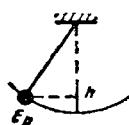
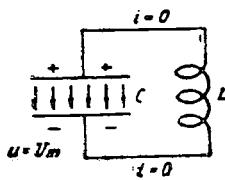
Electronii concentrați pe o armătură a condensatorului încărcat,

cealaltă armătură a condensatorului. Cu alte cuvinte, prin bobină circulă un curent i care crește pînă la valoarea maximă $i=I_m$, în timp ce tensiunea condensatorului scade la valoarea zero, $u=0$. Curentul este defazat în urma tensiunii datorită fenomenului de autoinducție produs în bobina L , în care curentul crește. În momentul cînd tensiunea condensatorului a ajuns la zero, circuitul se află în starea b din figura 145. Cîmpul electric E a ajuns la zero în timp ce cîmpul magnetic B produs în bobina L de curentul de descărcare a atins valoarea maximă; în această stare energia circuitului este concentrată în cîmpul magnetic din bobină. Starea energetică a circuitului este analogă stării în care se află un pendul care trece prin poziția de echilibru: energia lui este numai cinetică. În timpul trecerii de la starea a (condensator încărcat) la starea b (condensator descărcat), tensiunea a scăzut la zero, iar curentul a crescut la valoarea I_m , cum indică graficul din figura 145, b . Această trecere reprezintă de fapt un sfert din perioada de oscilație.

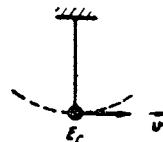
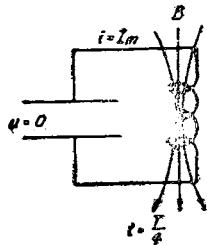
La momentul $t = \frac{T}{4}$ (fig. 145, b) tensiunea e nulă, deci acțiunea cîmpului asupra electronilor a încetat; din această cauză curentul începe să scadă de la valoarea I_m către zero (fig. 145, c). Scăderea curentului din bobină are ca urmare producerea în bobină a unei tensiuni autoinduse de același sens cu tensiunea care a scăzut la zero. De aceea electronii din circuit sunt deplasati în continuare, în același sens ca și pînă acum, de către tensiunea autoindusă. În felul acesta electronii se concentrează pe armătura care anterior a fost pozitivă, iar acum devine negativă, din care cauză condensatorul se reinărcă, dar în sens contrar ca la început. Cind curentul a ajuns la zero, circuitul este în starea c (fig. 145) și s-a terminat o jumătate din perioada de oscilație. În acest moment cîmpul electric dintre armăturile condensatorului a atins valoarea maximă, iar cîmpul magnetic a ajuns la zero. Energia circuitului este din nou concentrată în cîmpul electric.

Incepînd din această stare (fig. 145, c) fenomenele se succed ca mai înainte, dar în sens contrar. La trecerea din starea c în starea d condensatorul se descarcă, tensiunea scade, curentul crește (graficul din fig. 145, d), iar energia cîmpului electric se transformă în energia cîmpului magnetic.

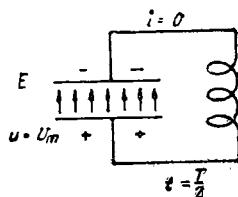
Fig. 145



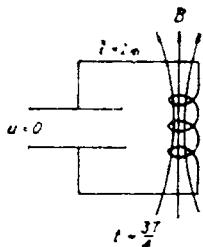
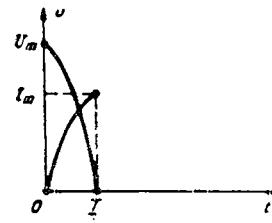
a)



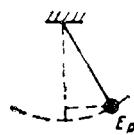
b)



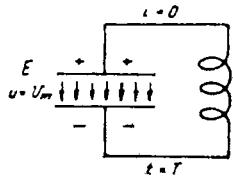
c)



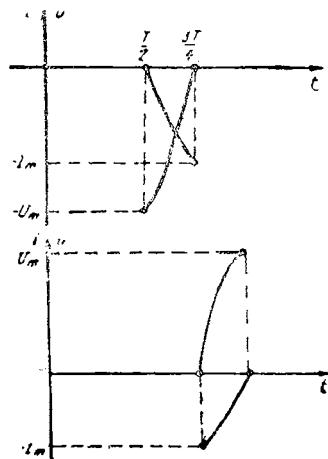
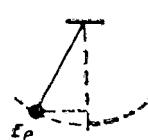
d)



c)



e)



Urmează apoi reîncărcarea condensatorului de către tensiunea autoindusă în bobină (graficul din fig. 145, e), adică se ajunge la situația inițială a curentului (fig. 145, e). Concentrând graficele succesive din figurile 145, b, c, d, e se obține graficul oscilației tensiunii și curentului în cursul descărcării (fig. 146).

Din toate cele spuse până aci rezultă cîteva concluzii:

în primul și al treilea sfert de perioadă se produce descărcarea condensatorului, deci acționează condensatorul; în al doilea și al patrulea sfert de perioadă se produce reîncărcarea condensatorului prin autoinducție, deci acționează bobina;

În circuitul oscilant se produc oscilații electromagnetice; în timpul oscilațiilor electromagnetice energia cîmpului electric și energia cîmpului magnetic se transformă succesiv una în alta.

73. Perioada circuitului oscilant. Un pendul care a primit inițial o cantitate de energie, pe care o înmagazinează sub formă de energie potențială (fig. 145, a) oscilează apoi liber, fără intervenție exterioară, această energie transformîndu-se în energie cinetică și reciproc. Lucrurile se petrec analog cu circuitul oscilant, care este alimentat inițial, înmagazinîndu-se în condensator energie electrică. Oscilația electromagnetică din circuit se produce apoi liber, prin transformarea reciprocă dintre energia electrică și cea magnetică. *Oscilația fiind liberă, se face cu o perioadă proprie, care depinde de valorile capacitatății C și ale inducției L.* Acest lucru se poate demonstra experimental. Circuitul oscilant CL_1 (fig. 147) este alimentat de o tensiune continuă $U = 100$ V, printr-un rezistor de protecție de rezistență $R = 10 \text{ k}\Omega$. Oscilațiile produse în circuitul oscilant CL_1 se transmit prin in-

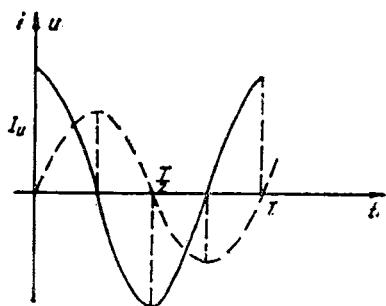


Fig. 146

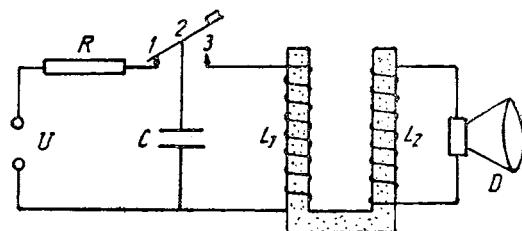


Fig. 147

ductie electromagnetică în bobina L_2 (300 spire), conectată la un difuzor D .

În prima experiență se ia bobina L_1 de 750 spire și $C=1 \mu\text{F}$. Cind comutatorul este adus în poziția 2—3, în circuit se produc oscilații electomagnetică, iar în difuzor se aude un sunet (ne servim de un indicator de frecvență a sunetului). Se repetă experiența cu $C=4 \mu\text{F}$, apoi cu $C=16 \mu\text{F}$. Sunetul înregistrat este octava inferioară celui dintii, cel de la urmă este octava inferioară celui de-al doilea. Deci *frecvența circuitului oscilant variază invers proporțional* cu rădăcina pătrată din valoarea capacității $\nu \sim \frac{1}{\sqrt{C}}$,

În adevăr, se arată în acustică faptul că raportul frecvențelor a două sunete aflate la un interval de o octavă, este 2. Deci avem, cu valorile capacităților date:

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} = 2.$$

În a doua experiență se menține constantă $C=4 \mu\text{F}$, iar L_1 se ia succesiv egal cu 125 spire, 250 spire, 500 spire. Rezultatul este analog celui din prima experiență: *frecvența circuitului oscilant variază invers proporțional cu rădăcina pătrată, a inductanței* $\nu \sim \frac{1}{\sqrt{L}}$

Generalizând se obține $\nu \sim \frac{1}{\sqrt{LC}}$ sau $T \sim \sqrt{LC}$, deoarece $\nu T = 1$. În Sistemul Internațional de unități factorul de proporționalitate este 2π , încit perioada proprie a circuitului oscilant este dată de formula, numită a lui Thomson:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

74. Oscilații amortizate și neamortizate. Oscilațiile libere produse într-un circuit oscilant închis sint *oscilații amortizate*, adică *amplitudinea lor descrește în timp* (fig. 144, b).

Amortizarea oscilațiilor este rezultatul transformării ireversibile de energie din circuit.

Una din cauzele importante ale amortizării este

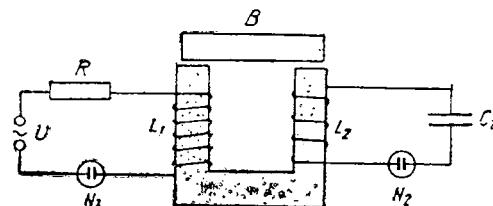


Fig. 148

transformarea treptată a energiei electrice în energie termică în rezistențele active ale circuitului, prin fenomen Joule. Din această cauză amortizarea oscilațiilor electromagnetice este rapidă. Pentru a măsura pierderile de energie prin fenomenul Joule, conductoarele circuitelor oscilante se fac din sârmă de cupru groasă, uneori argintată.

Dacă se transmite circuitului în mod periodic energia pierdută, se compensează amortizarea și se obțin *oscilații neamortizate* (cu amplitudine constantă) numite și *oscilații întreținute*. Întreținerea oscilațiilor electromagnetice se face cu ajutorul tuburilor electrice montate în circuite speciale, cum se va arăta mai departe.

75. Rezonanță în circuitul oscilant. Oscilațiile electromagnetice se pot transmite de la un circuit oscilant la altul prin **rezonanță**. Cele două circuite oscilante sunt cuplate prin cîmpul magnetic comun bobinelor lor (fig. 148).

Bobina L_1 de 1 500 spire, legată în serie cu un rezistor de rezistență $R=1\text{ k}\Omega$ și o lampă cu neon N_1 , este alimentată la rețea de curent alternativ cu $U=220\text{ V}$. În bobina L_1 se produc oscilații cu frecvență $\nu=50\text{ Hz}$. Prin inducție electromagnetică aceste oscilații se transmit în circuitul C_2L_2 cu bobina L_2 de 1 500 spire și $C_2=4\text{ }\mu\text{F}$. Circuitul oscilant L_2C_2 oscilează forțat, adică e pus să oscileze cu o frecvență ($\nu=50\text{ Hz}$) diferită de frecvența lui propie. Lămpile cu neon N_1 și N_2 indică trecerea curentului electric oscilant. Pentru ca energia de oscilație să se transmită complet de la L_1 la L_2 , trebuie ca cele două circuite să fie în rezonanță. În acest scop se deplasează bara de fier B înspre dreapta ori înspre stînga, ceea ce are ca urmare variația inductanței bobinei L_2 . Pentru o anumită poziție a lui B este realizată rezonanță, adică frecvența circuitului oscilant L_2C_2 are 50 Hz. În acest caz lampa N_2 luminează intens, iar lampa N_1 luminează slab, ori chiar se sting. Energia circuitului oscilant se transformă succesiv din forma electrică (în C_2) în forma magnetică (în L_2), iar circuitul L_1 îi transmite numai energia pierdută prin amortizare, de aceea N_1 luminează slab. În circuitul C_2L_2 se produc oscilații întreținute.

Fiind date două circuite oscilante LC condiția de rezonanță este următoarea:

$$T_1=T_2 \text{ deci } L_1C_1=L_2C_2.$$

În practică rezonanță se realizează variind capacitatea C_2 a unui condensator variabil.

Întrebări, exerciții

1. Din ce cauză descărcarea condensatorului printr-o bobină este oscilație?
2. Cum se explică faptul că odată descărocat condensatorul, oscilația electromagnetică totuși continuă?
3. Să se arate rolul condensatorului și rolul bobinei în procesul oscilației electromagnetice.
4. De ce se spune că descărcarea oscilație a condensatorului este o oscilație liberă?
5. Cum se explică amortizarea oscilațiilor?
6. Ce se înțelege prin oscilație forțată?
7. Un condensator cu capacitatea de 3 nF se descarcă printr-o bobină cu inductanță de $1,8 \mu \text{H}$. Ce perioadă au oscilațiile electromagnetice care se produc?

Răsp. $4,6 \cdot 10^{-1} \text{ s}$.

8. Un circuit oscilant conține o bobină cu inductanță de 10 mH și are frecvență proprie de 10^5 Hz . Ce capacitate are condensatorul acestui circuit?

Răsp. 255 pF .

9. Un circuit oscilant are bobina cu inductanță de 70 mH , iar condensatorul său plan are aria armăturilor de $0,45 \text{ m}^2$, separate la o distanță de $0,1 \text{ mm}$ printr-un dielectric cu permisivitatea $17,7 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$. Se cere frecvența lui proprie.

Răsp. $2,13 \cdot 10^3 \text{ Hz}$.

10. Cum variază frecvența proprie a unui circuit oscilant dacă inductanța bobinei se dublează, iar distanța dintre armăturile condensatorului se reduce la jumătate? Dar dacă se dublează și distanța dintre armăturile condensatorului?

Răsp. Se reduce la jumătate; neschimbăță.

B. Cîmp electromagnetic

76. **Circuit oscilant deschis.** Dacă se îndepărtează una de alta, armăturile condensatorului dintr-un circuit oscilant, se obține un circuit oscilant deschis (fig. 149), care are o frecvență proprie de oscilație. Un fir conductor liniar, străbătut de curent de înaltă frecvență, reprezintă cel mai simplu circuit oscilant deschis, numit dipol

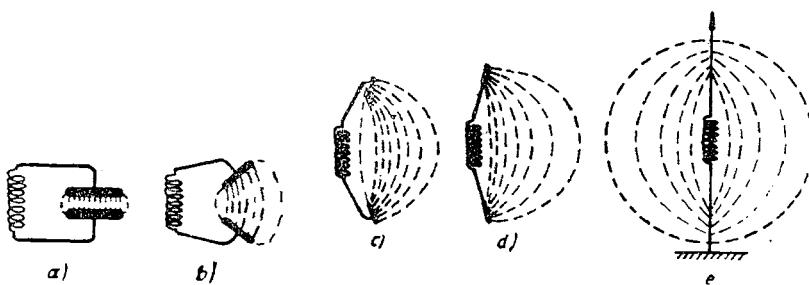


Fig. 149

electric. Capacitatea și inductanța acestui circuit sunt distribuite de-a lungul întregului fir.

Circuitul oscilant închis nu radiază energie în spațiu, deoarece aceasta este concentrată în cîmpul electric și cîmpul magnetic din condensator și bobină. Dipolul electric radiază în spațiu din energia oscilațiilor sale electromagnetice o parte cu atît mai mare, cu cît frecvența oscilațiilor este mai mare.

77. Cîmp electromagnetic. Unde electromagnetice. Cîmpul electric variabil generat de sarcinile electrice care oscilează într-un dipol electric, se va împrăștia în spațiu din jurul dipolului. Teoria electromagnetismului arată că:

a) un cîmp electric variabil generează în jurul său un cîmp magnetic variabil cu linii de cîmp închise (ipoteza curentului de deplasare) și b) cîmpul magnetic variabil creează în jurul său un cîmp electric variabil cu linii de cîmp închise (legea inducției electromagnetice).

În jurul dipolului vor exista concomitent atît cîmp electric variabil E cît și cîmp magnetic variabil B , perpendicular pe unul pe altul: liniile de cîmp electric E sunt în plane ce trec prin dipol, iar liniile de cîmp magnetic B sunt în plane perpendiculare pe axa dipolului (fig. 150).

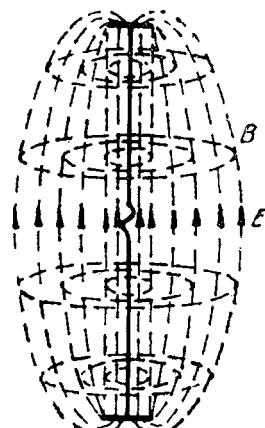


Fig. 150

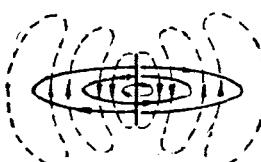


Fig. 151

Ansamblul de două cîmpuri variabile în timp, unul electric și altul magnetic, care se generează unul pe altul poartă numele de cîmp electromagnetic.

Așadar, oscilațiile electromagnetice produse în circuitul oscilant deschis — dipol electric — generează cîmp electromagnetic în jurul dipolului. Esențial pentru cîmpul electromagnetic este că se propagă în spațiu: cîmpul electric variabil se înconjoară cu cîmp magnetic variabil, acesta produce și el în jurul său cîmp electric variabil și.a.m.d. Din aceste fapte rezultă o propagare a cîmpului electromagnetic din aproape în aproape (fig. 151).

Forma de propagare a cîmpului electromagnetic, care variază periodic, poartă numele de **undă electromagnetică**.

Un circuit oscilant deschis — dipol — radiază deci în spațiu unde electromagnetice, care *transportă energie*.

La distanță mare de dipol, vectorul \vec{E} care reprezintă intensitatea cîmpului electric și vectorul \vec{B} care reprezintă intensitatea cîmpului magnetic oscilează în aceeași fază. De-a lungul unei direcții de propagare, undă electromagnetică are următoarea structură: *în fiecare punct vectorul cîmp electric \vec{E} și vectorul cîmp magnetic \vec{B} variază sinusoidal în funcție de timp, sunt perpendiculari între ei, precum și pe direcția de propagare* (fig. 152).

Vectorii \vec{E} , \vec{B} și viteza de propagare c sunt legați între ei după regula burghiului: prin rotirea burghiului spre a se deplasa în sensul vitezei de propagare, vectorul \vec{E} se suprapune peste vectorul \vec{B} după o rotație de $\frac{\pi}{2}$ radiani (fig. 152). Undă electromagnetică este o undă transversală. Lungimea ei de undă λ este legată de frec-

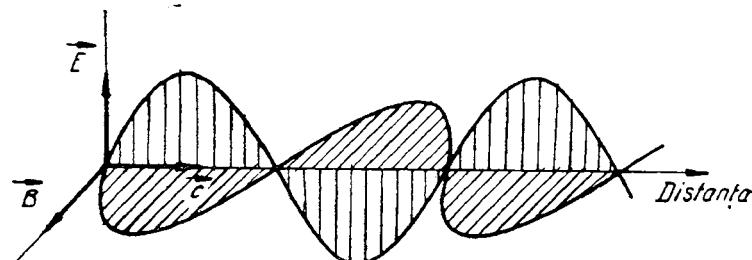


Fig. 152

vență și de viteza de propagare prin aceeași relație ca la undele mecanice:

$$\boxed{\lambda = \frac{c}{v}} \quad (47)$$

Ea reprezintă distanța măsurată dealungul direcției de propagare, dintre două puncte în care la un moment dat intensitățile cîmpului magnetic (respectiv electric) sunt egale, cîmpurile avînd același sens.

78. Proprietățile undelor electromagnetice. Undele electromagnetice au fost descoperite prin calcul de către J. C. Maxwell (1865). Mult mai tîrziu (1887) H. Hertz (1857—1894) a pus în evidență pe cale experimentală unde hertiene, folosite azi în radio-comunicații. După lungimea lor de undă sau după frecvența lor, undele hertiene au fost împărțite în mai multe grupe, ca în tabelul următor:

Lungimea de undă	Frecvență	Denumirea după λ
30 km la 2 km la	2 km 750 m	10—150 kHz 150—400 kHz
750 m la	200 m	400—1 500 kHz
200 m la	50 m	1 500—6 000 kHz
50 m la	10 m	6—30 MHz
10 m la	1 m	30—300 MHz
1 m la	10 cm	300—3 000 MHz
10 cm la	1 cm	3 000—30 000 MHz
1 cm la aprox.	0,1 mm	peste 30 000 MHz

Undele electromagnetice se propagă cu viteza luminii. J. C. Maxwell a demonstrat că viteza de propagare c a undelor electromagnetice în vid este dată de relația:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Înlocuind în relația de mai sus permitivitatea vidului ϵ_0 și permeabilitatea magnetică a vidului μ_0 , se obține:

$$c = \frac{1}{\sqrt{8,9 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-7}}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

adică valoarea vitezei luminii în vid. Într-un mediu cu constante relative ϵ_r și μ_r , viteza luminii este mai mică decât în vid, $v < c$ și este dată de relația:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (48)$$

La verificarea experimentală a acestei relații a contribuit și fizicianul român *D. Negreanu* (1858—1908). Raportul $n = \frac{c}{v}$ se numește indice de refracție absolut al mediului străbătut de undele electromagnetice. Din relația (48) deducem că $n^2 = \epsilon_r \mu_r$.

În propagarea lor, undele electromagnetice se pot reflecta sau refracta. Sunt reflectate mai ales de suprafața corpurilor conductorice ca: metale, suprafața pământului, apa oceanelor etc.

În straturile superioare ale atmosferei se produc foarte mulți ioni de către radiațiile solare. Acolo se formează deci un strat conductor, numit ionosferă, care reflectă în special undele electromagnetice scurte. De aceea este posibilă propagarea la mare distanță a undelor scurte. La trecerea printr-un mediu, undele electromagnetice sunt parțial absorbite. Numai vidul este perfect transparent. Dacă undele electromagnetice sunt absorbite de un mediu, *energia lor se transmite mediului*, mai ales sub formă termică, de aceea mediu se încalzește.

Cind unda electromagnetică este absorbită ori reflectată de un mediu, acesta suferă o presiune din partea undei, numită **presiune de radiație**. Acest fenomen a fost prevăzut teoretic de Maxwell și confirmat experimental de *P. N. Lebedev* (1901). Presiunea de radiație este o dovadă că unda electromagnetică, deci *cimpul electromagnetic*, posedă impuls, deci și masă, măsură a inertiei sale, deci este o formă structurală a materiei.

Proprietățile generale ale undelor electromagnetice confirmă ipoteza lui Maxwell că și *lumina este o undă electromagnetică*. Această concepție despre natura electromagnetică a luminii este un adevăr fundamental al fizicii actuale. S-a demonstrat experimental că trecerea de la undele herțiene la undele infraroșii și de aci la lumină se face continuu, fără a exista o graniță între ele. Astfel s-au obținut unde electromagnetice de 100 μm (Glagoleva-Arkadieva 1924) și chiar de 1,8 μm (V. Petrescu de la Iași). Pe de altă parte s-au găsit radiații infraroșii cu $\lambda = 314 \mu\text{m}$. Astfel undele electromagnetice conțin nu numai undele herțiene. Tot unde electro-

Denumirea undelor	Lungimea de undă în cm	Frecvența în Hz	Sursa de radiație
herțiene	$10^6 \dots 2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^4 \dots 1,5 \cdot 10^{14}$	Circuite oscilație-oscilații atomo-moleculare
infraroșii lumină ultraviolete	$3 \cdot 10^{-2} \dots 7,5 \cdot 10^{-5}$ $7,5 \cdot 10^{-5} \dots 4 \cdot 10^{-5}$ $4 \cdot 10^{-5} \dots 10^{-6}$	$10^{12} \dots 4 \cdot 10^{14}$ $4 \cdot 10^{14} \dots 7,5 \cdot 10^{14}$ $7,5 \cdot 10^{14} \dots 3 \cdot 10^{15}$	mișcarea electro-nilor
Röntgen gamma	$10^{-6} \dots 10^{-9}$ sub 10^{-9}	$3 \cdot 10^{16} \dots 3 \cdot 10^{19}$ peste $3 \cdot 10^{19}$	reacții nucleare

magnetice sint și radiațiile infraroșii, luminoase, ultraviolete, Röntgen și γ . Din tabloul de mai sus se constată că schimbări continui cantitative în valoarea frecvenței radiațiilor electromagnetice duc la schimbări calitative în proprietățile lor.

79. Antena. Pentru a radia în spațiu (sau pentru a recepționa) unde electromagnetice, se folosește circuitul oscilant deschis, numit **antenă**, construită pentru prima dată de A. S. Popov. În mod simplificat antena poate fi reprezentată printr-un fir vertical (fig. 153) pus la pămînt în P . Oscilațiile electromagnetice din antenă se comportă analog oscilațiilor mecanice ale unei coloane de aer dintr-un tub închis la un capăt și deschis la celălalt: ele se prezintă sub formă de unde staționare. La capătul A al antenei se formează un ventru pentru tensiune și nod pentru curent; la pămînt P iau naștere un ventru pentru curent și un nod pentru tensiune. Repartiția tensiunii de-a lungul antenei este reprezentată de curba punctată UP , iar a curentului, de curba AI .

Lungimea proprie l a antenei va fi egală cu $\frac{\lambda}{4}$ a undei electromagnetice radiate de ea: $l = \frac{\lambda}{4}$. De aceea antena radiază în spațiu unde electromagnetice, cu $\lambda = 4l$, adică cu lungimea de undă de 4 ori mai mare decât lungimea ei proprie. Oscilațiile electromagnetice din antena radiantă sunt alimentate de

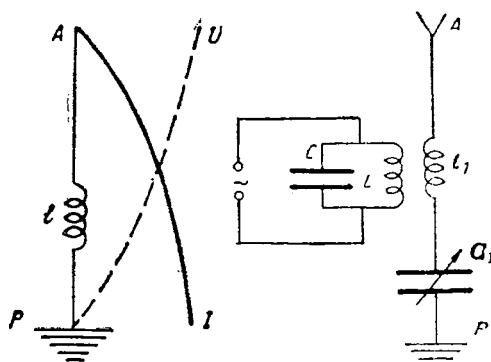


Fig. 153

Fig. 154

un circuit oscilant LC . În acest scop antena este cuplată inductiv cu circuitul oscilant LC (fig. 154). Oscilațiile produse de circuitul LC induc oscilații electromagnetice în antena AP , care radiază unde electromagnetice în spațiu. Pentru ca energia transmisă antenei de către LC să fie maximă, trebuie să fie îndeplinită condiția de rezonanță între circuitul LC și circuitul deschis al antenei. Acordul între ele se realizează cu ajutorul condensatorului variabil C_1 , care acționează ca și cum s-ar micșora lungimea proprie a antenei, iar cuplajul se face între L și L_1 .

O bobină conectată în circuitul antenei are ca efect mărirea lungimii proprii a antenei.

Întrebări și exerciții

1. Ce proprietăți are circuitul oscilant deschis?
2. Ce este cimpul electromagnetic?
3. Ce se înțelege prin undă electromagnetică și cum se reprezintă grafic?
4. Ce este și ce rol joacă antena?
5. Cum se explică faptul că antena poate receptiona unde de diferite lungimi de undă, deși are lungimea firului constantă?
6. Care sunt proprietățile generale ale undelor electromagnetice?
7. Ce dovezi se pot aduce pentru a arăta natura materială a cimpului electromagnetic?
8. O navă cosmică transmite semnale cu frecvențele de 9,019 MHz și 144,625 MHz. Ce lungime de undă au aceste semnale?

Răsp. 33,26 m; 2,07 m.

9. Un circuit oscilant are capacitatea $C=0,601\mu F$ și inductanța $L=10^{-4} H$. Se cer:
 - a. perioada proprie a circuitului;
 - b. frecvența proprie;
 - c. lungimea de undă la care intră în rezonanță.
- Răsp. $4,8 \cdot 10^{-5}$ s; $2,1 \cdot 10^4$ Hz; $1,45 \cdot 10^4$ m.
10. Ce viteza au undele electromagnetice într-un mediu cu indice de reflecție 1,5?

Răsp. $2 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$

C. Tuburi electronice

80. Dioda. Tuburile electronice sunt dispozitive care funcționează pe baza unui flux de electroni emisi de un catod incandescent și colectați de un electrod pozitiv numit *anod*. În orice tub electronic se găsește un electrod numit *catod*, care în unele cazuri este un fir metalic subțire, deobicei din tungsten, încălzit la incandescență. Asemenea catod se numește cu *încălzire directă* și nu mai este folosit astăzi decât în cazuri speciale. Tuburile electronice actuale au *catod cu încălzire indirectă*. El constă dintr-un tub cilindric subțire din nichel sau cupru (fig. 155), acoperit cu *un strat de oxid de bariu și stronțiu*. În interiorul tubului de nichel se află filamentul din tungsten, care este încălzit cu curent alternativ; filamentul e izolat de tubul metalic printr-o pastă de oxizi de aluminiu. Oxizii de bariu și stronțiu emit termoelectroni mai intens și la o temperatură mai mică decât metalele. De aceea pentru aceeași emisie de electroni, catodul cu încălzire indirectă necesită o temperatură mai mică de încălzire a filamentului, din care cauză are durată de funcționare mai lungă, iar structura lui este mai robustă decât a celui cu încălzire directă.

Cel mai simplu tub electronic este *dioda*, care are doi electrozi, *catodul și anodul* (fig. 156). Catodul C servește ca sursă de electroni,

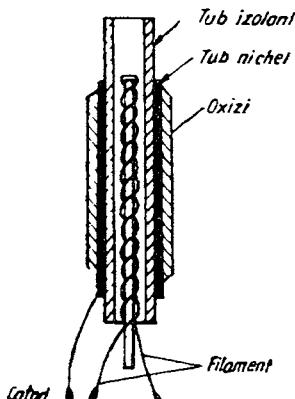


Fig. 155

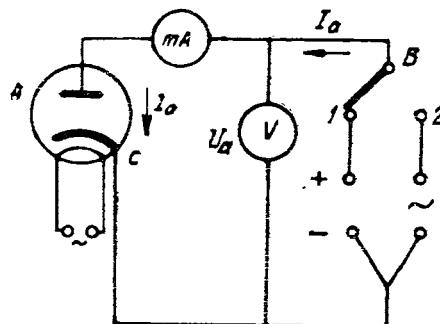


Fig. 156

anodul A servește drept *colector de electroni*. Catodul și anodul se găsesc într-un tub de sticlă, în care s-a făcut vid înalt ($10^{-6} \dots 10^{-7}$ torr). În general catodul este cu încălzire indirectă, filamentul interior fiind alimentat de la o sursă de curent alternativ. Filamentul împreună cu sursa de încălzire formează *circuitul de alimentare* (încălzire) al filamentului. Circuitul $CABC$ formează *circuitul anodic*. Între C și A acest circuit se închide prin fluxul de electroni emiși de catod, care se deplasează către anod datorită diferenței de potențial dintre C și A . Curentul care trece prin circuitul anodic se numește *curent anodic* I_a . Tensiunea aplicată din exterior între C și A se numește *tensiune anodică* U_a . Să urmărim funcționarea diodei pentru diferite tensiuni anodice continue aplicate între A și C , la anod fiind plusul. Dacă $U_a = 0$ și filamentul este încălzit, catodul emite electroni care se îngrămădesc în jurul catodului ca un nor ce formează o sarcină spațială. Dacă se aplică anodului o tensiune $U_a > 0$, electronii emiși sănt dirijați spre anod și în circuitul anodic apare curentul anodic I_a . Pe măsură ce crește U_a , crește și I_a (fig. 157), iar sarcina spațială se micșorează. La o anumită valoare a tensiunii anodice sarcina spațială dispare complet, toți electronii emiși de catod fiind atrași de anod. Curentul anodic atinge o valoare maximă, numită *curent de saturatie*. Cu cît este mai mare temperatura catodului, curentul de saturatie are valori mai mari și apare la valori mai mari ale tensiunii anodice. Variația curentului anodic în funcție de tensiunea anodică se numește *caracteristica diodei* (fig. 157). Dacă se aplică diodei o tensiune anodică negativă (polul — la A și polul + la C) atunci anodul A respinge fluxul electronic emis de C și nu se obține curent anodic, $I_a = 0$. Prin urmare *dioda are conductibilitate unilaterală*: permite trecerea curentului numai în sensul anod-catod prin circuitul exterior.

81. Funcționarea diodei ca redresoare. Proprietatea diodei de a permite trecerea curentului numai cind A este pozitiv o face capacabilă să redreseze curentul alternativ. În figura 156 se trece comutatorul din poziția $B - 1$ în poziția $B - 2$. Între A și C este aplicată o tensiune anodică alternativă, pentru care anodul este succesiv pozitiv și negativ. Alternanțele pentru care A este pozitiv trece prin circuitul anodic (fig. 158), aceleia pentru care A este negativ nu pot trece. La anod se aplică tensiunea de pe axa $O_1 U_a$, dar prin circuit nu trece decât curentul redresat, reprezentat pe axele $O_2 I_a$.

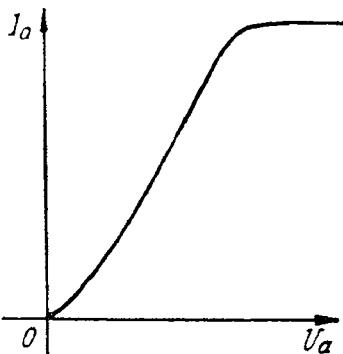


Fig. 157

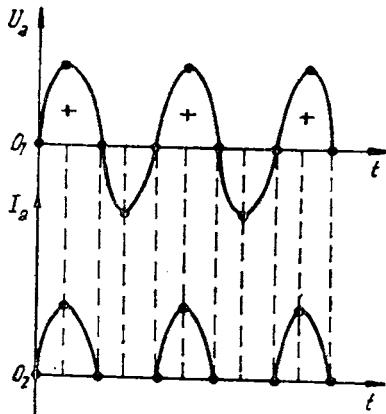


Fig. 158

O_2t din figura 158. O asemenea redresare o realizează dioda montată ca redresor pentru o alternanță. În practică se redreseză ambele alternanțe cu ajutorul a două diode.

În loc de două diode se folosește de obicei o diodă dublă (fig. 159). Anodul A_1 și anodul A_2 din dubla diodă D sunt conectați la capetele bobinei L_1L_2 a unui transformator T , alimentat de la rețea. De aceea în orice moment cei doi anodi sînt unul pozitiv și altul negativ: unul permite trecerea unei alternanțe, celălalt nu. După o semiperioadă semnele celor doi anodi se inversează: unul oprește alternanța următoare, celălalt nu. În felul acesta alternanțele curentului alternativ O_1 (fig. 160) trec toate, cind printr-un anod, cind prin celălalt și se ob-

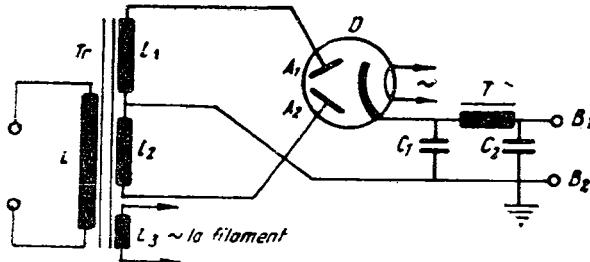


Fig. 159

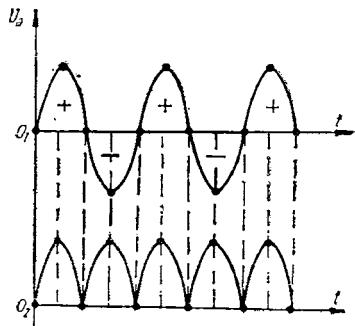


Fig. 160

ține curent redresat cu ambele alternanțe: O_2 (fig. 160); e o tensiune continuă pulsatorie.

Pulsăriile tensiunii sunt netezite cu ajutorul unui filtru, format din condensatoarele C_1 și C_2 și dintr-o bobină cu multe spire și miez din fier T . Prin C_1 și C_2 se scurge la pămînt componenta alternativă, iar prin T trece numai componenta continuă. La bornele redresorului B_1 B_2 se culege o tensiune continuă filtrată.

82. Trioda. Lee de Forest a introdus (1906) între catod și anod un al treilea electrod numit grilă G (fig. 161) deoarece este format dintr-o retea metalică. Tubul electronic cu acești trei electrozi CGA se numește triodă sau tub cu 3 electrozi. Grila se găsește în cimpul electric dintre A și C , de aceea un potențial aplicat grilei modifică acest cimp și astfel poate regla și comanda fasciculul de electroni ce trece de la C la A . Prin urmare catodul emite electroni, anodul colectează electroni, iar grila este un electrod de control și comandă a intensității fluxului de electroni.

Funcționarea grilei necesită două circuite principale: circuitul anodic CAB_aC (fig. 161) prin care circulă curentul anodic I_a și este alimentat de bateria anodică B_a și circuitul de grilă CGPC. Ele au un punct comun, catodul. Încălzirea filamentului necesită un circuit auxiliar, alimentat cu o tensiune alternativă.

83. Caracteristica de grilă. Funcționarea triodei este asemănătoare cu a diodei; potențialul grilei reglează însă valoarea curentului anodic. Pentru a înțelege mai bine funcționarea ei se cercetează variația curentului anodic în funcție de potențialul dintre grilă și catod, cind tensiunea anodică rămîne constantă, adică $I_a = f(U_g)U_a \text{ constant}$. Curba care reprezintă această variație se obține cu ajutorul montajului din figura 161. Filamentul are o temperatură constantă, deci

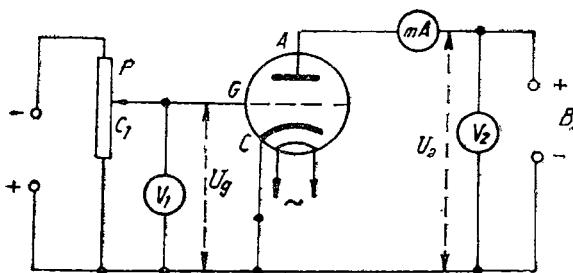


Fig. 161

emite un număr constant de electroni pe secundă. Bateria anodică B_a furnizează o tensiune anodică constantă, U_a .

Cu ajutorul potențiometrului P se poate aplica pe grilă o tensiune de grilă U_g care poate varia de la zero la valori negative și e măsurată de voltmetrul V_1 . Currentul anodic I_a este măsurat de miliampermetrul mA . Plimbând cursorul C_1 de la borna — la borna + a potențiometrului, grila primește potențiale de la valori relativ mari, negative pînă la valoarea zero. Ca potențial de referință nul se consideră potențialul catodului C .

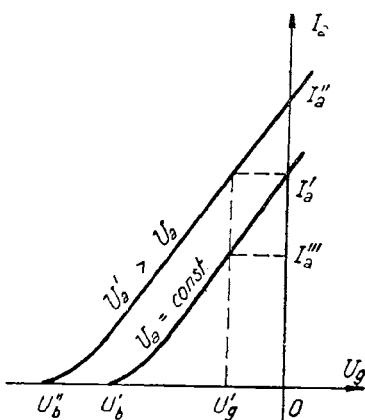


Fig. 162

La tensiuni de grilă puternic negative electronii sunt respinși, fără sării spațiale în jurul catodului; currentul anodic este zero; se spune că tubul e blocat. Valoarea potențialului de grilă U'_b (fig. 162) care face $I_a=0$ se numește *potențial de blocare*. La valori ale tensiunii de grilă, cuprinse între 0 și potențialul de blocare U'_b , electronii trec prin A și currentul crește de la 0 la I'_a . Cind grila are potențialul zero currentul anodic este mare. Cind grila devine pozitivă ea captează o parte din electronii emiși de catod, deci currentul anodic începe să scadă. De aceea trioda funcționează în general cu tensiune de grilă negativă; care se numește *tensiune de negativare*. Din această cauză *în circuitul de grilă nu apare curent*, iar grila are numai rol de reglare a fluxului electronic. Observând curba caracteristică se constată că în limite largi, currentul anodic variază liniar în funcție de U_g . Numai la extremitatea inferioară curba caracteristică are o porțiune curbă. Dacă se trasează a două caracteristică de grilă, pentru altă valoare $U'_a > U_a$ și constantă, se obține o curbă caracteristică $U''_b I''_a$ asemănătoare cu prima, dar deplasată spre stînga (fig. 162). În acest caz potențialul de blocare U''_b are o valoare mai negativă decît în primul caz. Pentru fiecare valoare constantă a lui U_a se poate trasa o curbă caracteristică; se obține astfel o familie de caracteristici de grilă.

Pentru a face să crească curentul anodic cu aceeași valoare ΔI_a , de la I_a'' la I_a' adică $\Delta I_a = I_a' - I_a''$, există două posibilități: a) potențialul grilei crește de valoarea U_g' la valoarea 0, adică cu valoarea ΔU_g , menținind $U_a = \text{constant}$; b) potențialul anodic crește de la valoarea U_a la valoarea U_a' adică cu $\Delta U_a = U_a' - U_a$, menținind potențialul grilei la valoarea $U_g' = \text{const.}$

Raportul dintre variația tensiunii anodice ΔU_a și variația tensiunii de grilă ΔU_g care produc aceeași variație a curentului anodic ΔI_a se numește factor de amplificare și se notează cu litera μ (miu):

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}; \quad \Delta I_a = \text{const.} \quad (49)$$

84. Trioda ca generatoare de oscilații întreținute. În diferitele sale aplicații radiotehnice, trioda poate îndeplini trei funcții: *oscilatoare*, adică generatoare de oscilații întreținute, *amplificatoare* și *detectoare*.

Pentru ca trioda să funcționeze ca generatoare de oscilații întreținute, trebuie să aibă un circuit oscilant L_2C_2 (fig. 163) conectat în circuitul anodic. Bobina acestuia L_2 este cuplată inductiv cu grila prin bobina L_1 . La închiderea circuitului de alimentare curentul anodic I_a încarcă condensatorul C_2 , creând în același timp un cîmp magnetic cresător în L_2 . În L_1 se va induce o tensiune electromotoare de sens opus lui I_a . Această tensiune va face grila mai negativă și va bloca trioda, adică I_a se va anula. Prin urmare trioda a încărcat condensatorul circuitului oscilant și apoi l-a separat de sursa de alimentare U_a . Se produc acum oscilațiile de descărcare a condensatorului C_2 , după mecanismul cunoscut, adică în al doilea sfert de

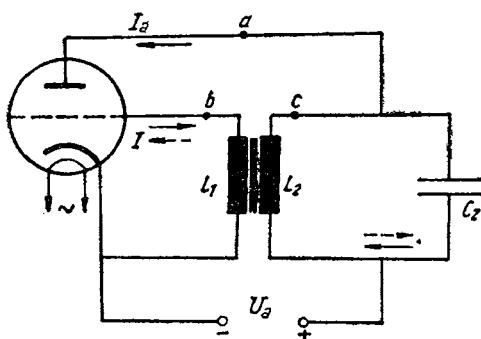


Fig. 163

perioadă condensatorul este reîncărcat, și începe a două jumătate a perioadei de oscilație. Prin L_2 va trece curent de sens opus celui inițial (linii întrerupte), care va induce în L_1 curent opus celui inițial (sägeata punctată). Grila își va micșora negativarea, trioda se va debloca și va trece iar curent anodic.

Acesta va reincărca condensatorul, se va bloca iar tubul etc. În felul acesta oscilațiile electromagnetice din circuitul L_2C_2 vor fi întreținute. În acest fenomen trioda transformă energia curentului continuu în energie unui semnal sinusoidal. După valorile pe care le au capacitatea C_2 și inductanța L_2 , oscilațiile produse au frecvență mai mare sau mai mică, conform relației lui Thomson.

Experiență. Se realizează montajul (fig. 163) cu bobine care au cîteva mii de spire fiecare, puse pe un miez de fier cu circuit magnetic inchis, iar condensatorul avind $8 \mu\text{F} \dots 16 \mu\text{F}$. Un miliampmetru conectat în circuitul anodic, în punctul *a*, indică trecerea unui curent continuu pulsant (variază în jurul unei valori diferită de zero, fără să treacă prin valoarea zero). Un miliampmetru conectat în circuitul bobinei L_1 , în punctul *b*, iar altul în punctul *c* al circuitului condensatorului C_2 , indică trecerea unui curent alternativ, care oscilează în jurul valorii zero. Cele două oscilații sunt însă în opozitie de fază.

Experiența pune astfel în evidență procesul de oscilație electromagnetică.

85. Trioda ca amplificatoare. Amplificarea este procesul prin care se obține la bornele de ieșire a amplificatorului un semnal mai puternic decit semnalul aplicat la bornele lui de intrare. Amplificatoarele pot fi în genere de *amplificare a tensiunii* sau de *amplificare a puterii*. Vom vorbi numai de amplificarea de tensiune. Cel mai simplu este amplificatorul de tensiune *RC*, în care se face cuplajul între etajele de amplificare prin rezistență și condensator. Amplificatorul cu un singur tub se numește etaj amplificator. În figura 164 se dă schema unui etaj amplificator cu o triodă. Semnalul de amplificat se aplică prin bornele de intrare B_1B_2 la grila triodei. Semnalul fiind alternativ poate fi transmis grilei prin condensatorul C_g . În lipsa semnalului prin circuitul grilei nu există curent, deci grila *G* va avea tensiunea U_0 negativă față de catod. Punctul *A* de pe caracteristica de grilă (fig. 165), care corespunde potențialului U_0 a grilei în absența semnalului se numește *punct de funcționare*. Prin amplificare semnalele nu trebuie deformate. Acest lucru e posibil numai dacă trioda funcționează pe porțiunea rectilinie a caracteristicii de grilă. De aceea punctul de funcționare *A* trebuie să se găsească la mijlocul porțiunii rectilinii a caracteristicii.

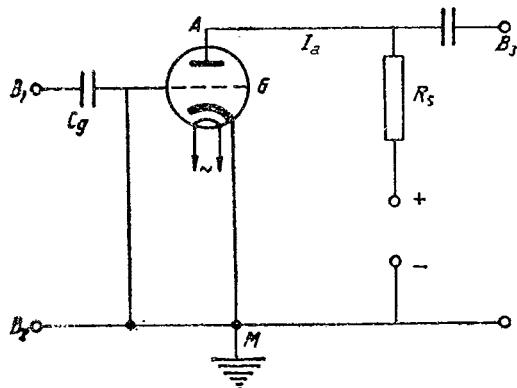


Fig. 164

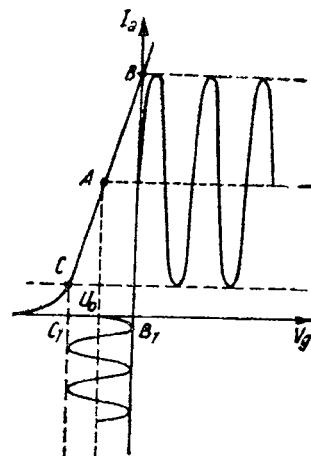


Fig. 165

Semnalul de amplificat reprezintă o variație de tensiune ΔU_s , aplicată la bornele de intrare B_1B_2 , care provoacă variații ale tensiunii de grilă ΔU_g în jurul lui U_0 (fig. 165), între valorile potențialelor corespunzătoare punctelor C_1 și B_1 . Aceste variații ale tensiunii de grilă provoacă variații de curent anodic între valorile corespunzătoare punctelor C și B de pe caracteristică. Variațiile de curent anodic provoacă în rezistența de sarcină R_s variații de tensiune $\Delta U_s = R_s \Delta I_a$, care pot fi culese la bornele rezistenței R_s . Raportul

$$A = \frac{\Delta U_s}{\Delta U_g}$$

rezultă din amplificarea. Tensiunea amplificată de la bornele de ieșire poate fi aplicată la bornele de intrare ale altui etaj de amplificare etc. Așadar: semnalul electric de amplificat — variabil — se aplică pe grila triodei, iar în circuitul anodic se obține tensiunea amplificată.

86. Trioda ca detectoare. Trioda are și proprietatea de redresare. Pentru a funcționa ca redresoare punctul de funcționare se alege la valoarea potențialului de blocare (fig. 166). Montajul se face tot ca în

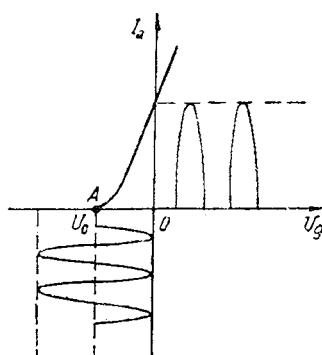


Fig. 166

figura 164, dar se calculează în aşa fel negativarea grilei încât să se ajungă exact la valoarea potențialului de blocare. Semnalul variabil aplicat grilei produce variații simetrice ale potențialului grilei în jurul lui U_0 , care dă naștere la variații asymetrice ale curentului anodic. Alternanțele negative sunt suprimate și trec numai alternanțele pozitive.

D. Radiocomunicații

87. Radioemisie. Prin radiocomunicație se înțelege transmiterea și recepția la distanță a unor informații (sunet, imagine etc.) prin unde electomagnetice. Emisia undelor electomagnetice în vederea unei radiocomunicații se numește radioemisie sau transmisiune radio. Instalațiile de transmisiune radio se numesc emițătoare. Un emițător radio trebuie să producă oscilații de radiofrecvență, să le moduleze conform informației de transmis, să le transforme în unde electomagnetice modulate și să le radieze în spațiu. Radioemițătoarele pot lucra pe o gamă de unde foarte variată, de la undele lungi pînă la undele ultrascurte.

Pentru radiodifuziunea națională se folosesc emițătoarele de unde lungi, medii și scurte. Pentru televiziune se folosesc emițătoarele de unde metrice. În radiolocație (localizarea în spațiu a unui obiect cu ajutorul undelor electomagnetice) se folosesc emițătoare de unde scurte, foarte scurte sau ultrascurte.

Schema unui emițător de radiofonie este dată în figura 167. Oscilațiile de radiofrecvență sunt produse de triode oscilatoare, la care circuitul grilei e cuplat inductiv cu circuitul anodic prin bobinele L_1 și L_2 . Oscilațiile generate sunt modulate, cu ajutorul curentului microfonic, produs de microfonul M și transmis grilei prin transformatorul de joasă frecvență T_r .

Prin modulație se înțelege variația amplitudinii (sau a frecvenței) oscilațiilor de înaltă frecvență în concordanță cu semnalul care trebuie să transmită informația. Dacă microfonul M (fig. 167) nu funcționează, emițătorul generează oscilații electomagnetice între-

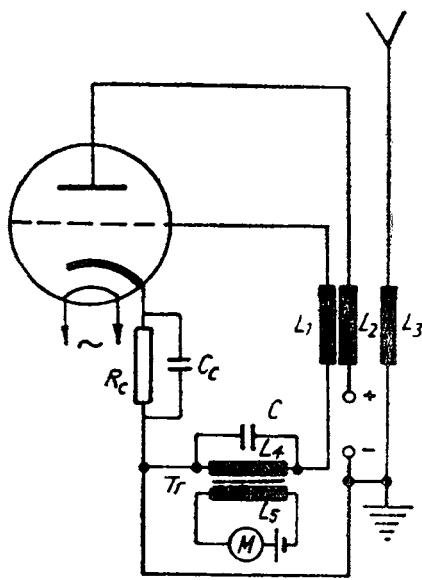


Fig. 167

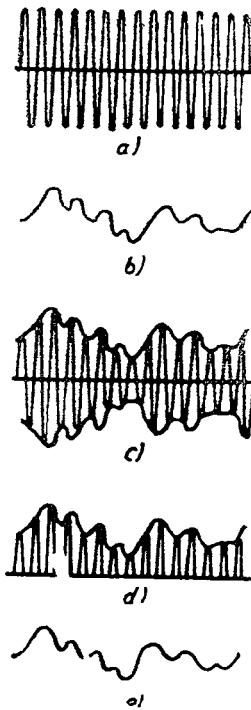


Fig. 168

ținute, care se induc în antenă prin cuplajul inductiv L_2L_3 . Antena radiază în spațiu o undă purtătoare (fig. 168, a) sinusoidală, care nu poate transmite o informație, având amplitudinea constantă. Dacă microfonul funcționează, el produce curent modulat în ritmul vorbirii (muzică etc.). Modulațiile curentului microfonic (fig. 168, b) induc variații de potențial pe grilă prin transformatorul Tr . Din această cauză oscilațiile generale au amplitudinea variabilă, iar antena emite o undă modulată în amplitudine (fig. 168, c) adică o undă de înaltă frecvență a cărei amplitudine variază în funcție de frecvența semnalului sonor.

88. Radiorecepție. Instalațiile pentru recepționarea semnalelor electromagnetice se numesc radioreceptoare. Radioreceptorul transformă semnalul de radiofrecvență modulat în semnale de audiofrecvență pe care le aplică unui difuzor sau unei căști. Un receptor trebuie să îndeplinească mai multe condiții.

În primul rînd să aibă selectivitate: din mulțimea undelor electromagnetice emise de diferite emițătoare, pe diferite frecvențe, să aleagă numai emisiunea dorită.

Să aibă sensibilitate: semnalele foarte slabe recepționate în antenă (milionimi sau miliardimi de watt) să fie foarte mult amplificate, pentru a putea actiona difuzorul sau casca telefonică.

Funcționarea unui radioreceptor simplu cu tub, se poate urmări pe figura 169. Antena captează undele electromagnetice de la diferite emițătoare; oscilațiile produse în antenă sunt induse prin cuplajul L_1L în circuitul de acord LC al aparatului receptor. Cu ajutorul condensatorului variabil C , se reglează frecvența proprie a circuitului LC pentru a corespunde frecvenței uneia din emițătoare. Trioda amplifică oscilațiile și le detectează tăind alternanțele negative (fig. 168, d). Condensatorul C_1 are rolul de a transforma alternanțele pozitive de înaltă frecvență, în oscilații de frecvență acustică (fig. 168, e). Acestea acționează casca telefonică sau difuzorul, transformându-se în sunete, care reproduc semnalul ce a acționat asupra microfonului. Sunt multe tipuri de radioreceptoare; fenomenele fundamentale sunt însă aceleași în toate.

89. Importanța electronicii. Dezvoltarea ei în țara noastră. Electronica — ramură a tehnicii, care se ocupă cu producerea și aplicațiile undelor și oscilațiilor electromagnetice — are astăzi din ce în ce mai multe aplicații în știință și tehnică:

Aparatura modernă de laborator în cele mai diverse domenii (fizică, medicină, biologie etc.) a devenit mult mai sensibilă și mai precisă prin folosirea dispozitivelor electronice. Un instrument de măsură electronic constă dintr-un traductor, un sistem de amplificare și un indicator. Traductorul transformă variațiile unei mărimi oarecare de măsurat (temperatură, presiune etc.), într-un semnal electric, ce este amplificat și prelucrat în sistemul de amplificare, iar rezultatul se citește pe scala indica-

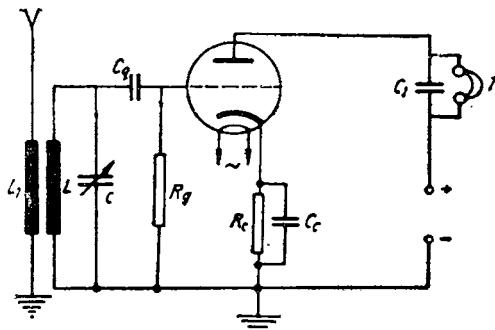


Fig. 169

torului. Instrumentele mai perfecționate permit înregistrarea pe benzi de hârtie a variațiilor în timp a mărimilor măsurate, precum și acționarea asupra cauzelor care produce aceste variații. Este posibilă astfel *reglarea automată* a variațiilor unor mărimi. De exemplu, pentru reglarea temperaturii cupoarelor se folosesc instrumente în care trădutorul (termocuplu) transformă variațiile de temperatură în variații de tensiune electrică, ce sunt amplificate și acționează instrumentul indicator. Dacă variațiile depășesc anumite limite dinainte stabilite, se închid sau se deschid relee, ceea ce face să crească sau să scadă curentul de încălzire (la cupoarele electrice), sau curentul de gaz combustibil (la cupoarele cu arzătoare).

Electronica oferă posibilități practic nelimitate de *automatizare a producției*, contribuind în mod esențial la realizarea progresului tehnic. Prin introducerea *ciberneticii industriale*, formă complexă de automatizare, se realizează ansamblul de operații ale unui flux tehnologic, conform unui program stabilit anterior, precum și controlul îndeplinirii acestor operații și autoreglarea în cazul eventualelor abateri de la program. Atât dispozitivele de programare, cât și cele de control și reglare sunt dispozitive electronice.

Mașinile electronice de calcul, care permit efectuarea unui număr foarte mare de calcule într-un timp foarte scurt, constituie una din cele mai noi și mai complexe aplicații ale electronicii. Viteza mare de lucru a acestor mașini se datorează faptului că ele operează cu semnale electrice, care se propagă în intervale de timp foarte scurte dintr-un dispozitiv al mașinii în altul.

Radioalocația este determinarea poziției unui obiect. În principiu, un radiolocator constă dintr-un emițător care trimite în spațiu un fascicul de unde electromagnetice și dintr-un receptor, care recepționează undele reflectate de obstacolele întâlnite. Dezvoltată inițial în scopuri militare, radioalocația și-a găsit și alte aplicații: în meteorologie, pentru determinarea poziției navelor, în navegația aeriană și maritimă, care a devenit mult mai sigură prin folosirea radioalocației și a radiocomunicațiilor.

Electronica joacă un rol esențial și în domeniul realizării *zborurilor cosmice*, în ceea ce privește plasarea rachetelor pe traiectorie, telecomanda lor de pe Pămînt, efectuarea cercetărilor științifice în

spațiul cosmic și transmiterea pe Pămînt a rezultatelor acestor cercetări, a fotografiilor luate de pe Lună, Marte etc.

Datorită numeroaselor ei aplicații, electronica are un rol deosebit de important în crearea bazei tehnico-materiale a societății.

În țara noastră instalațiile electronice și-au găsit o utilizare tot mai largă în producția industrială, în multe întreprinderi a fost introdusă automatizarea proceselor de producție. Se realizează treptat introducerea automatizării în transporturile feroviare. S-a dezvoltat producția aparatelor de radiorecepție și a televizoarelor. S-a construit o fabrică de semiconductoare, cinescoape și piese de radio. În domeniul radiodifuziunii a crescut numărul posturilor de radioemisie, s-au instalat numeroase centre de radioficare, s-a înființat postul de televiziune.

Intrebări, exerciții

1. De ce este necesară încălzirea unui metal pentru a emite electroni?
2. Ce deosebiri sunt între catodul cu încălzire directă și cel cu încălzire indirectă?
3. Ce proprietate principală are dioda și ce funcție îndeplinește pe baza acestei proprietăți?
4. Ce rol are grila la triodă?
5. Ce deosebire este între funcționarea triodei ca amplificator și funcționarea ei ca detector?
6. Care sunt fenomenele principale care se petrec într-un radioemitter?
7. Care sunt fenomenele principale care se petrec într-un radioreceptor?
8. Din ce cauză catodul unui tub electronic se distrugе imediat dacă tubul nu e golit de aer?
9. Într-o diodă viteza electronilor este cam de $10^6 \frac{m}{s}$, iar în firul metalic al circuitului anodic este o fracțiune de mm/s. Intensitatea curentului anodic are aceeași valoare în ambele porțiuni ale circuitului anodic? De ce?
10. Din filamentul unui tub electronic, la o temperatură dată, ies $1,5 \cdot 10^{18}$ electroni în 6 s. Ce valoare maximă are curentul anodic?

Răsp. 40 mA.

A n e x a

Lucrări practice

Lucrarea I

Măsurarea intensității curentului și măsurarea tensiunii electrice

Pentru măsurarea intensității curentului electric se utilizează galvanometre și ampermetre, iar pentru măsurarea tensiunii electrice, voltmetrele.

În general, cele mai frecvente aparate de măsură sunt aplicații ale efectului magnetic al curentului electric.

După cum știm, ampermetrul se leagă în serie, iar voltmetrul în derivație (fig. L.1).

Aparate și materiale. Elemente Leclanché, baterie electrică sau acumulatori, galvanometre de tip didactic, voltmetru, reostat cu cursor, sîrme de conexiuni.

Modul de lucru

1) *Măsurarea intensității.* Se constituie un circuit (fig. L.2) punând în serie sursa de curent, un galvanometru, un reostat și un întrerupător *K*. Fixăm

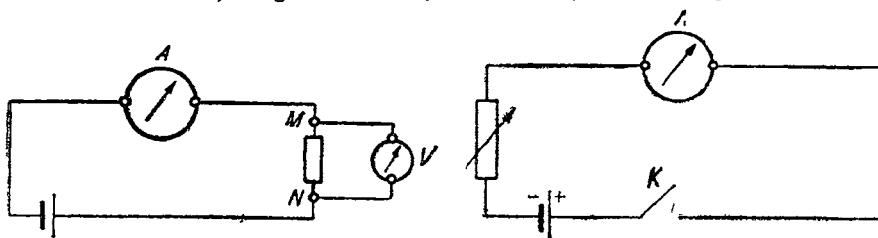


Fig. L.1.

Fig. L.2.

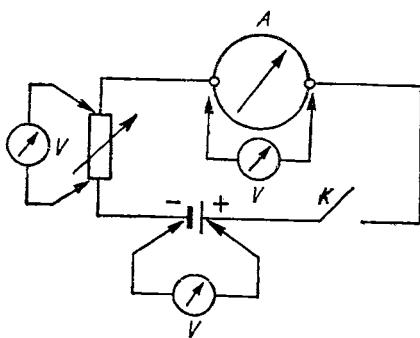


Fig. L.3.

voltmetru pentru a măsura succesiv tensiunile la bornele reostatului, la bornele ampermetrului, la bornele generatorului (fig. L.3).

Notați tensiunile măsurate și comparați-le.

Modificăm poziția cursorului la reostat, făcind ca intensitatea curentului să fie de două ori mai mare.

Se măsoară din nou tensiunile cu voltmetrul.

Se notează tensiunile măsurate și se compară cu cele precedente. Care este concluzia?

Punem în loc de un singur element, două elemente, și facem aceleași măsurători de tensiune, se notează tensiunile și se compară. Care este concluzia?

poziția cursorului la reostat, inchidem circuitul cu intrerupatorul K și măsurăm intensitatea curentului. O notăm. Mutăm ampermetrul între reostat și sursa de curent, lăsând restul neschimbat. Măsurăm din nou intensitatea curentului. O notăm. Mutăm din nou ampermetrul între intrerupător și sursa de curent fără a modifica restul instalației și măsurăm intensitatea curentului. O notăm.

Cum sunt intensitățile obținute? De ce?

2) *Măsurarea tensiunii electrice.* Folosind același circuit, să legăm un

Lucrarea II

Verificarea legii lui Ohm

Legea lui Ohm se exprimă prin relația:

$$I = \frac{U}{R},$$

adică pentru un conductor dat intensitatea curentului este proporțională cu tensiunea aplicată conductorului.

Aparate și materiale utilizate: acumulator de 6 V (sau baterie de lanternă), un ampermetru, un voltmetru, un reostat, sîrmă de conexiune, 2 m sîrmă de nichelină cu diametrul de 0,3 mm, 2 m sîrmă de cromnicichel, 2 m sîrmă de fier, cu diametrul de 0,5 mm. Rezistoare etalonate de 1Ω , 2Ω , 3Ω .

Construim un circuit electric după schema din figura L. 4.

I. Se leagă între punctele M și N sîrmă de nichelină după ce a fost mai întîi spiralată, apoi cu intrerupătorul K se închide circuitul și se observă

Conductor la care se aplică tensiunea	I	U	$\frac{U}{I}$
sîrmă de nichelină			
sîrmă de nichelină			
sîrmă de nichelină			
sîrmă de crom-nichel			
sîrmă de crom-nichel			
sîrmă de crom-nichel			

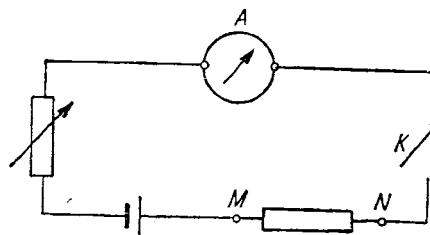


Fig. I.4.

deviația la ampermetru. Potrivim reostatul astfel ca intensitatea curentului să poată fi dublată fără a depăși limita de măsurare.

Cu voltmetrul măsurăm tensiunea între M și N . Păstrăm aceeași rezistență între M și N , și variind poziția cursorului la reostat facem 3 determinări. Notăm indicațiile ampermetrului și voltmetrului într-un tablou.

II. În a doua serie de experiențe punem între M și N un rezistor etalonat, spre exemplu de 2Ω și potrivim, de asemenea, reostatul pentru a avea o anumită intensitate de curent, spre exemplu 1 A. Măsurăm și tensiunea între M și N . Deplasind cursorul reostatului facem 3 determinări și notăm într-un tablou valorile intensității curentului și tensiunii.

Repetăm operațiile cu un alt rezistor etalonat, spre exemplu 3Ω .

Rezistență etalonată	I	U	U calculat
2			
2			
2			
3			
3			

Lucrarea III

Determinarea tensiunii electromotoare a unui element galvanic

Principiul metodei. Fie un element galvanic cu tensiunea electromotore E și rezistență interioară r .

R fiind rezistența exterioară scriem legea lui Ohm:

$$I = \frac{E}{R+r};$$

Dacă o dată rezistența exterioară este R_1 și altă dată R_2 , aplicarea legii lui Ohm ne dă:

$$I_1 = \frac{E}{R_1+r} \quad \text{și} \quad I_2 = \frac{E}{R_2+r};$$

din prima relație scoatem:

$$r = \frac{E}{I_1} - R_1 \quad \text{iar din a doua:} \quad r = \frac{E}{I_2} - R_2;$$

egalind, avem:

$$\frac{E}{I_1} - R_1 = \frac{E}{I_2} - R_2$$

sau

$$E \left(\frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2} \right) = R_1 - R_2 \quad \text{și} \quad E = \frac{R_1 - R_2}{\frac{1}{I_1} - \frac{1}{I_2}}$$

sau

$$E = \frac{I_1 I_2 (R_1 - R_2)}{I_2 - I_1}$$

Aparate și materiale necesare. Cutie cu rezistori decadici (sau rezistori etalonăți). Un element Leclanché, un galvanometru sensibil a cărui rezistență este cunoscută.

Se face următorul montaj (fig. L.5.).

Alegem un rezistor din cutia cu rezistori spre exemplu, 3Ω , închidem circuitul și măsurăm cît mai precis posibil intensitatea curentului.

Luăm apoi un alt rezistor, spre exemplu 5Ω , închidem circuitul și măsurăm intensitatea.

Obținem astfel o determinare.

Luând alte perechi de rezistori putem face mai multe determinări.

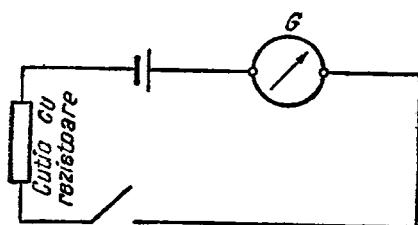


Fig. L.5.

Introducem valorile curentului și intensității într-un tablou.

Determinarea	R	I	E
1	R_1	I_1	E_1
	R_2	I_2	
2	R'_1	I'_1	E'
	R'_2	I'_2	
3	R''_1	I''_1	E''
	R''_2	I''_2	

$$\text{Media aritmetică } E = \frac{E_1 + E' + E''}{3},$$

Lucrarea IV

Determinarea variației rezistenței electrice cu lungimea conductorului, cu secțiunea lui și cu rezistivitatea

Se știe că rezistența electrică a unui conductor omogen și de secțiune constantă este proporțională cu lungimea conductorului, invers proporțională cu secțiunea și depinde de natura substanței din care este făcut, adică:

$$R = \rho \frac{l}{s}.$$

Pe de altă parte, legea lui Ohm ne dă $I = \frac{U}{R}$ sau, înlocuind:

$$I = \frac{U}{\rho \frac{l}{s}} \text{ sau } I = \frac{U}{l \cdot \rho} \cdot s.$$

Dacă se menține U constant, atunci intensitatea curentului este proporțională cu secțiunea, invers proporțională cu lungimea și depinde de rezistivitate.

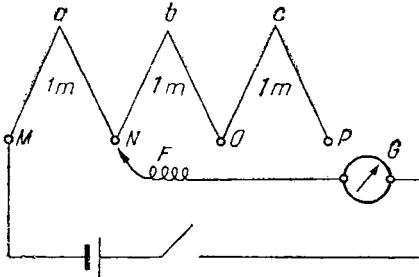


Fig. L.6.

În această lucrare se vor face deci măsurători de intensitate a curentului.

Aparate și materiale necesare. Ampermetru, baterie electrică de 4,5 V, sârmă de nichelină circa 6 m cu diametrul de 0,2 mm, sârmă de fier cu diametrul de 0,2 mm. Facem următorul montaj (fig. L.6.).

I. Variația rezistenței cu lungimea

Intindem 3 m sârmă de nichelină pe o planșetă de lemn, astfel ca între M și N , între N și O , între O și P să fie cîte 1 m. Ar fi bine ca în M , N , O și P să fie niște bucle, iar în a , b , și c simple cuișoare.

Procedăm apoi astfel: punem, pe rînd, fișa F în N , O și P , măsurînd de fiecare dată intensitatea curentului.

Trecem valorile găsite într-un tablou.

Felul conductorului	Fișa în	l	I	U
sârmă de nichelină	N O P	1 m 2 m 3 m	I_1 I_2 I_3	

Dacă lucrarea decurge bine, atunci trebuie ca $I_2 = \frac{I_1}{2}$,

$$I_3 = \frac{I_1}{3}.$$

II. Variația rezistenței cu secțiunea

Modificăm montajul precedent suprapunînd peste porțiunea NbO încă o bucată identică, iar peste porțiunea OcP încă două bucate identice, astfel că porțiunea MN are secțiunea s , porțiunea NbO secțiunea $2s$, porțiunea OcP secțiunea $3s$.

Măsurătorile le facem punind fișa F , pe rînd, în punctele N și O , apoi introducem în circuit numai porțiunea dublă NbO și, în fine, numai porțiunea triplă OcP . Rezultatele măsurătorilor le trecem într-un tablou.

Sîrmă de nichelină	I	U
s	I_1	
$2s$	I_2	
$3s$	I_3	

Rezultatele sunt bune dacă

$$I_2 = 2I_1$$

$$I_3 = 3I_1$$

III. Variația rezistenței cu natura substanței

Din montajul simplu se folosește numai porțiunea $MaNbO$ de 2 m nichelină.

Se măsoară intensitatea curentului. Fie această intensitate I_1 . Apoi se scoate nichelina și se introduc în circuit numai 2 m de sîrmă de fier de aceeași grosime — 0,2 mm.

Valorile curentului se introduc într-un tablou.

Natura substanței conductorului	l	s	I
nichelină	2 m	s	I_1
fier	2 m	s	I_2

Cum este rezistivitatea fierului față de a nichelinei?

Lucrarea V

Studiul legării în derivație a rezistorilor

Lucrarea aceasta este de fapt o lucrare de verificare a legii I a lui Kirchhoff.

206 Verificarea poate fi făcută pe două căi:

1) direct, măsurind curentul principal și curenții derivați (fig. L.7).

2) indirect, utilizând rezistori etalonati, calculând rezistența echivalentă a fasciculului și a curentului principal cunoșind prin măsurare tensiunea aplicată fasciculului, comparând acest rezultat cu valoarea curentului principal măsurată cu ampermetrul.

Aparate și materiale necesare:

3 galvanometre, sîrmă de nichelină cu diametrul de 0,2 mm; de fier cu diametrul de 0,2–0,3 mm; cromnickel, pentru confectionarea a 2 rezistori diferenți, 2 cutii cu rezistori, 1 voltmetru, un întrerupător, un reostat cu cursor, sîrme de conexiune, o baterie electrică sau 3 elemente Lachanché.

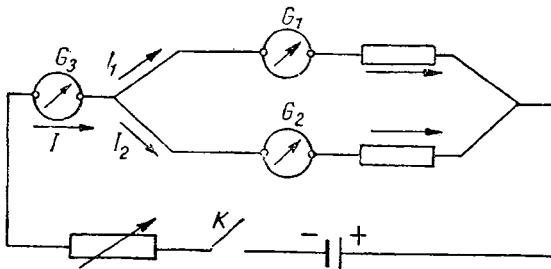


Fig. L.7.

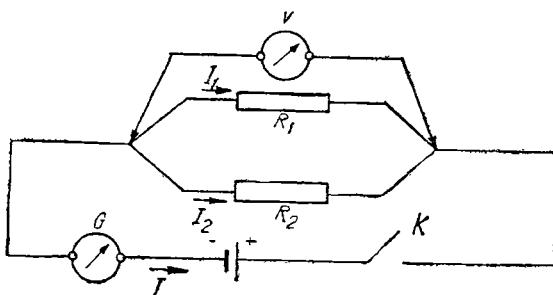


Fig. L.8.

Modul de lucru

Metoda directă

Se spiralează 2 bucăți de cîte 1 m aproximativ de sîrmă de nichelină și de fier. Acestea se pun în circuit după schema. Dacă rezistențele sunt mai mari, atunci se folosesc 2 baterii electrice de cîte 4,5 V, care se leagă în serie. Pentru a face o determinare se procedează astfel:

Se închide circuitul și se potrivește cursorul reostatului, astfel ca curentul principal indicat de G să fie cel mult 2 A. Se citesc indicațiile galvanometrelor G_1 și G_2 . Se notează totul într-un tablou.

Celelalte două determinări se efectuează variind poziția cursorului de la reostat.

Metoda indirectă.

Se constituie circuitul din figura L.8. Se pun cutile cu rezistori în circuit și se scoate din fiecare cîte o fișă, introducindu-se astfel doi rezistori în circuit R_1 și R_2 . Se închide circuitul, se măsoară tensiunea U . Se citește intensitatea I a curentului principal. Datele obținute se trec în tabelul corespunzător.

Nr. de ordine al determinării	I_1 măs.	I_2 măs.	I_1+I_2 calculat	I măs.
1				
2				
3				

Tabelul 1

↑ ↑
se vor compara

Nr. de ordine al determinării	R_1	R_2	R_e	U	$I = \frac{U}{R_{echitiv}}$ calc.	I măs.
1						
2						
3						

Tabelul 2

↑ ↑
se vor compara

Lucrarea VI

Măsurarea rezistenței filamentului unui bec electric, cu ajutorul punții cu fir, la rece și la incandescență

Pentru această lucrare, care utilizează metoda punții cu fir pentru măsurarea unei rezistențe este necesar să cunoaștem principiul punții cu fir.

Schema este dată în figura L.9.

AB este o sîrmă de nichelină lungă de 100 cm. Notăm $AD=l_2$; $DB=l_3$. R_1 este un rezistor etalonat din cutia cu rezistori, R_x este rezistența de măsurat.

Ca sursă curent se folosește un acumulator sau o baterie de buzunar nouă.

Se mută cursorul D pînă ce se stabilește echilibrul în punte, adică prin galvanometrul G nu trece nici un curent.

În această situație, curentul care trece prin R_1 trece și prin R_x . Potențialele punctelor C și D sunt egale.

Urmează că: $V_A - V_C = V_A - V_D$
dar:

$$V_A - V_C = I_1 R_1 \text{ și } V_A - V_D = I_2 R_x$$

De aceea

$$I_1 R_1 = I_2 R_2. \quad (1)$$

În mod analog, $V_C - V_B = V_D - V_B$
și fiindcă

$$V_C - V_B = I_1 R_x \text{ și } V_D - V_B = I_2 R_3,$$

urmează

$$I_1 R_x = I_2 R_3. \quad (2)$$

Împărțind relațiile (2) și (1) se obține:

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_3}{R_2},$$

de unde:

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2},$$

însă

$$\frac{R_3}{R_2} = \frac{l_3}{l_2},$$

astfel că:

$$R_x = R_1 \frac{l_3}{l_2}.$$

Pentru a măsura rezistența filamentului unui bec, se montează în locul rezistorului R_x un bec de 6,3 V cu dulia lui, iar în locul rezistorului R_1 cutia cu rezistori în decade. Montajul cuprinde și un reostat (fig. L.10).

Se utilizează o tensiune mică de la redresor 4–5 V, iar din cutia cu rezistori se iau circa 3 rezistori sau atât ca cursorul D să fie cît mai aproape de mijlocul firului AB .

Cu reostatul se măsoarează cît mai mult tensiunea, astfel ca becul L să se încălzească cît mai puțin (filamentul becului să fie rece).

Se notează l_2 , l_3 și R_1 într-un tablou.

Se fac mai multe determinări (cel puțin 3), variind rezistența rezistorului R_1 și a reostatului.

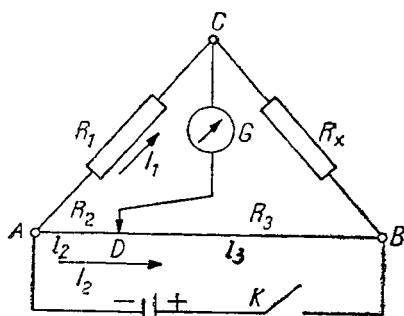


Fig. L.9.

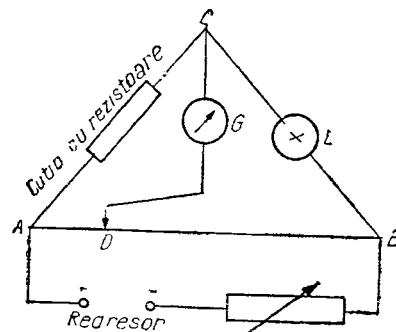


Fig. L.10.

Apoi se măsoară rezistența becului la incandescență, luând de la redresor o tensiune de 10—12 V. Cu reostatul se face ca becul L să devină luminos. Se determină R_1 , l_2 și l_3 .

la rece					la incandescență				
Determinarea nr.	R_1 măs.	l_2 măs.	l_3 măs.	R_x calc.	Determinarea nr.	R_1 măs.	l_2 măs.	l_3 măs.	R_x calc.
1					1				
2					2				
3					3				

↑ ↑
se vor compara

Lucrarea VII

Măsurarea energiei și a puterii electrice

Puterea electrică dezvoltată într-un receptor de curent se calculează — după cum se știe — după formula $P=UI$.

Pentru măsurarea puterii va trebui să măsurăm în același timp tensiunea luată de receptor și intensitatea curentului care îl parurge.

Schema de principiu se prezintă ca în figura L.11.

Potem măsura, de exemplu, puterea consumată de un bec electric de 6,3 V. În acest scop avem nevoie de următoarele:

Aparate și materiale: 1 bec electric de 6,3 V, un ampermetru, un voltmetru, 1 reostat, 2 baterii electrice de 4,5 V, sârmă de conexiune.

Modul de lucru. Cu reostatul și voltmetrul se face ca tensiunea la bornele becului să fie de 6,3 V. Se citește intensitatea și tensiunea, se face produsul lor și se compară cu puterea marcată pe bec. De ce apare o diferență?

Se poate lucra și cu un bec de 110 V dacă se dispune de o tensiune de 120 V continuu.

Pentru măsurarea energiei consumate de un receptor se măsoară și timpul căt durează alimentarea receptorului. Se calculează după formula $W=P \cdot t$.

Lucrarea VIII

Verificarea legii Joule

Legea lui Joule stabilește că:

$$Q = RI^2 t.$$

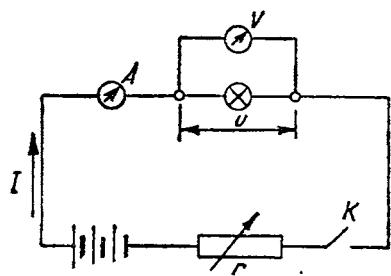


Fig. L.11.

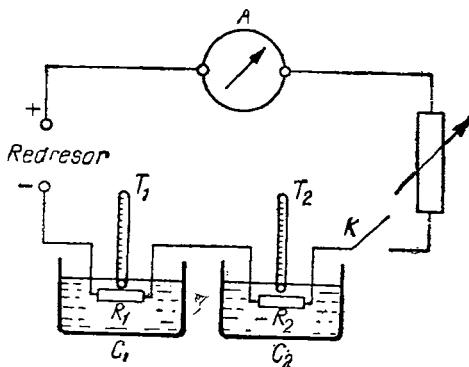


Fig. L.12.

În experiențele care vor fi făcute pentru verificarea acestei legi, trebuie să dovedim că:

1. Q este proporțional cu R ;
2. Q este proporțional cu t ;
3. Q este proporțional cu I^2 .

Verificarea legii Joule comportă deci trei serii de experiențe.

Se construiește un montaj după schema din figura L.12.

Aparate și materiale: ampermtru, reostat (R), două termometre de laborator T_1 și T_2 , două calorimetre, un redresor cu seleniu, un întrerupător K , sârmă de nichelină cu diametrul de 0,5 mm circa 2 m.

Modul de lucru. Se pune în calorimetrelle C_1 și C_2 aceeași masă m de apă sau petrol atât cît să acopere rezistențele R_1 și R_2 . Rezistențele R_1 și R_2 se confectionează din nichelină cu diametrul de 0,5 mm cu lungimile de 1/2 m și 1 m.

Se ia o tensiune convenabilă de la redresor 8—12 V și se face o incercare închizind circuitul, pentru a potrivi cu reostatul o intensitate de 0,5—1 A.

Se trece la executarea experiențelor.

1. *Cantitatea de căldură este proporțională cu rezistența.*

Măsurăm temperaturile inițiale t_0 și t'_0 ale lichidelor din calorimetre.

Inchidem circuitul și lăsăm să treacă curentul circa două minute. Agităm lichidul cu termometrele spre uniformizarea temperaturii. Întrerupem curentul, citim și notăm imediat temperaturile t_1 și t'_1 .

Cantitățile de căldură primite de calorimetru sunt:

$$Q_1 = mc(t_1 - t_0)$$

$$Q_2 = mc(t'_1 - t'_0)$$

raportul lor ne dă:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{t_1 - t_0}{t'_1 - t'_0}$$

Pe de altă parte, legea lui Joule ne dă:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

La verificare trebuie să avem:

$$\frac{t_1 - t_0}{t'_1 - t'_0} = \frac{R_1}{R_2},$$

2. Cantitatea de căldură este proporțională cu timpul

Este suficient un singur calorimetru. Curentul rămâne neschimbăt. Se dublează timpul.

Temperatura inițială fiind aceeași, se obține o altă temperatură finală t_2 . În acest caz, trebuie ca:

$$t_2 - t_0 = 2(t_1 - t_0).$$

3. Cantitatea de căldură este proporțională cu pătratul intensității

Se poate folosi unul din cele 2 calorimetre.

Păstrând același timp ca și în prima determinare, se mărește intensitatea curentului.

Verificarea are loc dacă:

$$\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0},$$

Se trec datele într-un tabel.

Lucrarea IX

Verificarea legii lui Faraday și electroliza

De la studiul electrolizei știm că cele 2 legi ale lui Faraday se pot exprima prin relațiile:

$$\text{Legea I } m = K \cdot I \cdot t$$

$$\text{Legea II } \frac{m_1}{M_1} = \frac{m_2}{M_2} = \text{constant}$$

Modul de lucru. Pentru verificarea legilor electrolizei alcătuim un circuit dintr-un redresor ca sursă, un reostat, 2 voltametre: unul cu ZnCl_2 soluție 50%, altul cu CuSO_4 soluție 50% puse în serie (fig. L.13).

Electrozii voltametrelor sunt o placă de Zn și o placă de Cu pentru anodi și cărbuni pentru catozi.

Cîntărим în prealabil catozii de cărbune cu o balanță sensibilă la 10^{-1} mg. Potrivim cu reostatul un curent de 0,5 A.

Închidem circuitul și notăm momentul.

Lăsăm să se producă electroliza circa 5—10 minute, spre a se depune o cantitate de metal apreciabilă.

Intrerupem curentul cu intrerupătorul K și notăm timpul t_1 .

Scoatem cu grijă catozii de cărbune acoperiți cu Zn și Cu, ii uscăm câțiva timp și ii cintărim din nou. Introducem datele obținute într-un tablou.

Reluăm fie experiența cu cărbuni curăti de metal, fie cu altă pereche de cărbuni, modificind intensitatea curentului, dar păstrând același timp $I_2=2I_1$.

Păstrând aceeași intensitate de curent ca și în prima determinare, se dublează timpul $t_2=2t_1$.

Se trec toate datele în tablou

Legea care se verifică	I_1	I_2	t_1	t_2	m_{Zn}	m_{Cu}	Rezultatul verificării
1							
2							

Lucrarea X

Galvanotehnica. Nichelare

Obiectele din metale ușor corodabile pot fi protejate contra coroziunii prin acoperire — pe cale electrohidraulică — cu metale rezistente la coroziune, cum sunt cuprul și nichelul.

Obiectele de Cu pot căpăta un luciu strălucitor prin nichelare. În cazul nichelării unui obiect de fier se face mai întâi o cuprire și apoi se trece la nichelare.

Modul de lucru. Vom nichela o placă de cupru. În acest scop se curăță suprafața obiectului de nichelat, prin frecare cu tix, pînă se îndepărtează oxiziile sau sărurile. Apoi se spală cu apă, se introduce într-o soluție de HNO_3 , se spală cu apă, apoi într-o soluție de HCl și din nou se spală cu apă multă.

Se pregătește o soluție de sulfat dublu de nichel și amoniu, se mai pun cîteva picături de amoniac pentru ca soluția să fie alcalină.

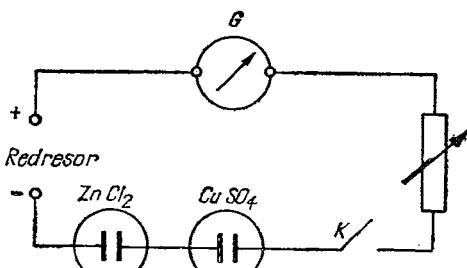


Fig. L.13.

Soluția se introduce într-un cristalizor. Anodul va fi o bucată de nichel, iar placa de Cu se folosește drept catod. Se leagă electrozii la o sursă de curent continuu, catodul la polul negativ, anodul la polul pozitiv.

Cu un reostat și un galvanometru puse în serie se stabilește un curent de aproximativ 0,5 A (fig. L.14).

În acest timp are loc depunerea Ni pe placa de Cu sub forma unui strat gri mat.

I se poate da un luciu prin frecare cu o bucată aspră de postav.

Lucrarea XI

Studiul tensiunii contraelectromotoare la voltametre

Din studiul fenomenului de polarizare a electrozilor se știe că produsele primare ale electrolyzei depuse la electrozi creează o asimetrie a lor și generază o tensiune contraelectromotoare.

Pentru studiul tensiunii contraelectromotoare se folosește un voltmetru cu plăci de Pb și acid sulfuric.

Se alcătuiește un circuit ca în figura L.15.

Cu acest montaj putem arăta existența tensiunii contraelectromotoare, sensul tensiunii contraelectromotoare, mărimea tensiunii contraelectromotoare.

Modul de lucru. Se face un voltmetru dintr-un cristalizor (sau vas Berzelius) în care se introduce soluția de acid sulfuric 10%—20%. Electrozii sunt formați din 2 plăci de Pb cu suprafață curățată de oxizi.

Se folosește o tensiune de circa 4—6 V pentru electrolyză. Închidem circuitul în K_1 și îl întrerupem în K_2 . Lăsăm totul aşa, circa 5 min. Observăm sensul curentului de electrolyză și schimbarea aspectului electrozilor. Deschidem apoi circuitul în K_1 și închidem în K_2 . Observăm sensul curentului la galvanometru.

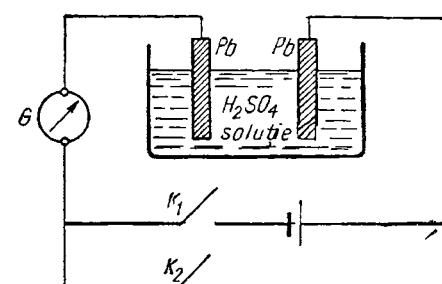
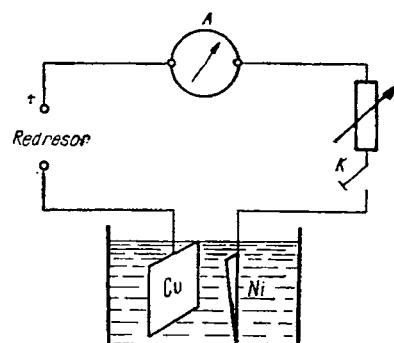


Fig. L.14.

Fig. L.15.

Experiența pune în evidență fenomenul de polarizare și faptul că după terminarea electrolizei, sistemul electrozi-electrolit constituie un generator de curent continuu cu o tensiune electromotoare de polarizație de sens contrar tensiunii aplicată inițial pentru a face electroliza.

Repetăm din nou electroliza (circa 5 min) și cu voltmetrul măsurăm tensiunea la electrozi cînd circuitele sunt deschise în K_1 și K_2 . Notăm valoarea tensiunii găsite U_0 .

Stim că această valoare măsoară aproximativ tensiunea electromotoare a generatorului, adică tensiunea contraelectromotoare a voltametru lui.

Variem experiența, făcînd ca timpul de electroliză să dureze 1 min, 2 min, 3 min etc. Măsurăm de fiecare dată tensiunea electromotoare. Ce se constată?

Înlocuim voltametrul cu plăci de Pb printr-un voltametru cu electrozi de cărbune și soluție de $ZnCl_2$ și repetăm experiența ca mai sus.

Cum este tensiunea contraelectromotoare? O notăm.

Ce concluzie se poate trage?

Lucrarea XII

Cîmpul magnetic produs de un curent liniar, circular, și de un solenoid

Experiența 1. Studiul linilor de cîmp din jurul unui curent liniar. Lucrarea arată că un curent trecînd printr-un conductor creează în jurul său un cîmp magnetic care se manifestă prin forțe ce rotesc polul unui magnet.

Aparate, instrumente de măsură, piese necesare: un vas de sticlă, soluție de sulfat de cupru, un inel de cupru care se poate sprijini pe buza vasului. O tijă de cupru suspendată vertical pe un suport. O bară mică magnetizată sau un ac magnetic așezate pe un disc de plută convenabil lestat care plutește în soluția din vas.

Un acumulator 2—4 volți, 48 Ah. Un amperméttru 0—6 A. Un întrerupător, un reostat.

Modul de lucru. Cu elementele indicate mai sus se montează bara magnetizată pe discul de plută cu un pol în afara lichidului. Se echilibrează discul de plută astfel încît să plutească pe suprafața soluției din vas. Tija de cupru suspendată vertical are un capăt puțin introdus în soluția din vas. Celălalt capăt constituie un pol care se leagă la acumulatorul pus în serie cu amperméttru și reostatul. Inelul care se sprijinează pe buza vasului constituie un al doilea pol al circuitului și se leagă la celălalt pol al acumulatorului. Vasul și dispoziția electrozilor și a barei magnetizate sunt arătate în figura L.16.

Reglăm reostatul în aşa fel încît curentul care trece prin circuitul tije, soluție, inel, reostat, amperméttru, acumulatori să aibă o valoare potrivită, 3—4 A. Reglarea se face socotind că ceea ce limitează curentul dat de acu-

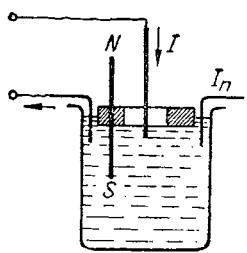


Fig. L.16.

mulatori este valoarea rezistenței reostatului, tija, soluția, inelul având rezistență electrică neglijabilă. Ne convingem de calculul făcut și încercăm punind și ridicînd foarte repede întrerupătorul. Dacă ampermetrul nu arată valori prea mari putem apoi închide definitiv circuitul.

Trecind un curent suficient de intens, bara magnetizată se rotește în jurul tijei. Sensul de rotire depinde de sensul curentului care traversează tija verticală.

Se va verifica sensul de rotație al polului nord, apoi al celui sud, față de sensul curentului.

Se va varia intensitatea curentului.

Concluzia care se trage din experiență este că forțele pe căre le manifestă cuplul creat de curent sunt tangente la niște cercuri (liniile de cîmp), avînd centrul pe conductor (tijă) — liniile de cîmp sunt închise în jurul conductorului — sensul liniilor de cîmp se alege acela după care este mișcat polul nord al barei magnetizate.

Experiența 2. Studiul cîmpului magnetic al unui curent circular.

Obiectul experienței este de a studia acțiunea cîmpului dat de un curent circular sau a unui multiplicator asupra unui ac magnetic, verificînd proporționalitatea dintre curentul care trece prin multiplicator și unghiul de deviere al acului magnetic. Se va compara fenomenul cu acela al devierii unui ac magnetic sau al unei spire alimentate cu curent în cîmpul magnetic pămîntesc.

Aparatura, instrumente de măsură necesare:

- un cadru circular cu $\varnothing=20$ cm, avînd înfășurate pe el 10—15 spire din fir de cupru cu diametrul 0,8—1 mm. Se poate folosi și una din bobinele transformatorului didactic din laboratorul de fizică;
- un ac magnetic care se poate roti în planul orizontal (o busolă);
- un acumulator 4—6 V, 48 Ah; un ampermetru, reostat, întrerupător inversor.

Modul de lucru. În interiorul cadrului (multiplicator) așezat vertical și în centrul său se așază acul magnetic care se poate roti în planul orizontal. Cadrul se poate roti în plan vertical. Îl orientăm în direcția luată de acul magnetic, adică în planul meridianului magnetic.

Facem legătura cadrului cu acumulatorul, ampermetrul, reostatul și cu întrerupătorul puse toate în serie. Reglăm curentul ca în experiența 1, la o valoare potrivită, și apoi închidem pe durată mai lungă întrerupătorul.

Acul magnetic va devia de un anumit unghi ϑ . Pentru măsurarea unghiului așezăm sub ac o hîrtie cu un cerc divizat în grade.

- Se va nota valoarea unghiului ϑ în funcție de intensitatea curentului I care trece prin cadrul.
- Se va stabili că există o proporționalitate între I și $\operatorname{tg} \vartheta$ ($I=k \operatorname{tg} \vartheta$).
- Se va stabili relația dintre intensitatea cîmpului magnetic produs și a curentului care trece prin cadrul. De asemenea, cu acțiunea de orientare a

acului în cimpul magnetic pămîntesc — sub influența componentei orizontale a cimpului magnetic pămîntesc H_0 . Cum acul magnetic se mișcă sub acțiunea cimpului cadrului (H_C) și a componentei H_0 se poate deduce legătura dintre H_C și H_0 , și anume $H_C = H_0 \operatorname{tg} \vartheta$. Componenta H_0 este bine cunoscută pentru țara noastră: ~ 19 A/m. Se poate deci măsura H_C cunoscind $\operatorname{tg} \vartheta$.

Concluzie. Cimpul creat de cadru este proporțional cu I și depinde de raza cadrului și de numărul de spire de pe cadru.

Experiența 3. Cimpul de inducție magnetică al unui solenoid și folosirea lui în acțiونările electromagnetice.

În acțiونările electromagnetice, automatizări, semnalizatoare, intrerupătoare, acțiونarea macazelor etc. se folosește acțiunea cimpului de inducție magnetică dat de un solenoid asupra materialelor magnetice. Se face în prezența lucrare studiul comportării cimpului de inducție al solenoidului.

Aparate, instrumente de măsură, materiale necesare:

— un solenoid sau o bobină de transformator. Un acumulator 6—8 V, 48 Ah sau rețea de c.c. 110 V a școlii; un ampermeter c.c. de 0—10 V, un intrerupător, un cilindru de fier moale, un dinamometru cu cadran, un reostat.

Modul de lucru. Alimentăm solenoidul de la rețea de curent continuu sau acumulator cu un curent de circa 5—8 A (firul cu care este bobinat solenoidul trebuie să nu se încâlzească mult când trece prin el un curent cu o intensitate de 10—12 A), printr-un reostat în serie cu ampermetrul.

Deasupra solenoidului, întrînd o mică porțiune în interiorul său, suspendăm de un dinamometru cu cadran, un cilindru de fier moale care se poate mișca în direcția axului solenoidului așezat vertical. Pentru a trage cilindrul înapoi când solenoidul nu este alimentat cu curent, ne servim de resort pe care îl punem între dinamometru și cilindru de fier.

Înainte de a face să treacă curentul prin solenoid, citim diviziunea indicată de dinamometru. Stabilim, cu ajutorul reostatului, ca la început să treacă prin solenoid curentul minim pentru care se obține o atracție a cilindrului de fier. Notăm valoarea curentului și a diviziunii la dinamometru.

Variem apoi intensitatea curentului și notăm pentru fiecare valoare indicațiile dinamometrului.

Se va stabili relația dintre mărimea forței de atracție F și intensitatea curentului care trece prin solenoid:

$$F=f(I)$$

Se va trasa graficul variației forței cu intensitatea.

Lucrarea XIII

Studiul forței electromagnetice

Experiența studiază forța electromagnetică ce se exercită între cimpul de inducție dat de un curent și un conductor parcurs de curent.

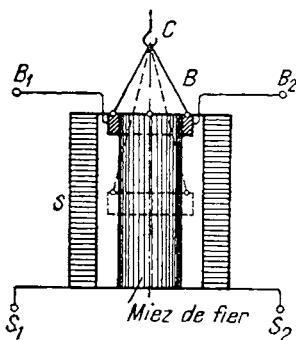


Fig. L.17.

Aparate, instrumente de măsură, piese, materiale etc. Un solenoid S făcut dintr-o carcăsă de lemn sau alt izolant de diametru $D=3$ cm, iar înălțimea $8-10$ cm. Pe carcăsă se înfășoară 200 de spire în 3 straturi, din fir izolat cu diametrul $1-1,2$ mm.

O bobină mobilă B care va putea să intre în solenoid va fi făcută pe o carcăsă izolantă ușoară, de diametrul $2,5$ cm, din $50-60$ de spire cu fir izolat de diametru $0,3-0,4$ mm.

Un miez de fier cilindric de diametrul 2 cm executat din fire de fier răsucite pînă se obține secțiunea corespunzătoare de 2 cm diametru, 2 acumulatori de 4 V, 48 Ah. Ampermetru $0-10$ A, intrerupător inversor, 2 reostate; 1 acumulator 2 V, 1 ampermetru $0-1$ A.

Modul de lucru. Se face montajul ca în figura L.17. Bobina mobilă poate fi suspendată printr-un fir care trece peste un scripete. Se realizează poziția de echilibru cu greutăți atîrnate de capătul celălalt al firului (se poate susține la un dinamometru sau brațul unei balanțe). După ce s-a realizat poziția de echilibru a bobinei mobile față de solenoid facem să treacă un curent de o anumită intensitate prin solenoid (circa $4-5$ A) și altul de $0,4-0,5$ A prin bobina mobilă.

Bobina va fi atrasă de solenoid.

— Se va căuta să se aprecieze forța de atracție a solenoidului în funcție de intensitatea curentului care trece prin solenoid.

Se va observa ce se întimplă cînd se schimbă sensul curentului în solenoid, bobina mobilă sau cei doi curenti deodată.

— Se va lungi firul de suspensie al bobinei mobile aşa încît să o ducem în poziunea de mijloc a solenoidului. Cum va fi forța de atracție acum pentru același curent în solenoid și același curent în bobina mobilă?

— Introducînd miezul de fier în solenoid se vor face din nou măsurători ale forței de atracție.

Concluzie. Forța electromagnetică depinde de inducția magnetică creată de curentul din solenoid în prezența miezelui de fier. Depinde și de curentul de bobina mobilă. Se va arăta cum intervine lungimea conductorului bobinei mobile în calculul forței electromagnetice.

Lucrarea XIV

Inducția electromagnetică

Experiența 1. Producerea de tensiuni electromotoare de inducție
electromagnetică.

Scopul lucrării. Să se arate producerea t.e.m. de inducție electromagnetică prin întreruperea și restabilirea unui curent.

Materialul necesar: ca la lucrarea studiul forței electromagnetice, având în plus un galvanometru cu șunt.

Modul de lucru. Se realizează montajul din figura L.18. Alimentăm solenoidul de la sursa de curent printr-un reostat cu un curent de o anumită valoare. Solenoidul are în interior miezul de fier. La întreruperea sau la restabilirea curentului prin solenoid, prin bobina mobilă care nu este alimentată cu curent, ci este pusă în serie cu galvanometru, va trece un curent care va devia acul galvanometrului din poziția de zero. După terminarea închiderii sau deschiderii circuitului, acul revine la zero.

— Se va observa sensul deviației acului galvanometrului la închiderea și deschiderea circuitului.

— Cu ajutorul reostatului se dau diferite valori curentului care trece prin solenoid și se observă mărimea deviației galvanometrului.

— Se repetă experiența cu solenoidul fără miez de fier. Se vor nota sensul și valoarea curentului în bobina mobilă pentru diferite intensități ale curentului prin solenoid.

— Se va căuta să se stabilească regula după care se poate afla sensul curentului în bobina mobilă, în cazul închiderii și în cazul deschiderii circuitului solenoidului.

— Se va observa dacă se produce t.e.m. în bobina mobilă, cind, după ce s-a închis întrerupătorul din circuitul solenoidului, variem repede mărimea rezistenței reostatului, fără a ajunge la curenți prea mari.

— Se va lucra cu bobina mobilă pusă: 1° la mijlocul solenoidului și 2° aproape de capătul solenoidului.

Concluzie. Se va căuta să se explice cum au luat naștere tensiunile electromotoare de inducție în bobina mobilă. De ce au scăzut acestea cind s-a scos miezul de fier din solenoid. Care este dependența dintre t.e.m. induse și curentul care trece prin solenoid.

Experiență 2. Verificarea regulii lui Lenz

Obiectul lucrării este de a se arăta că sensul curentului induc este astfel înțeles prin acțiunea sa magnetică se opune cauzei care i-a dat naștere.

Materiale necesare sunt acelea din lucrarea de mai sus, sau în loc de solenoid, o bobină care are miezul de fier ceva mai lung decât bobina. În plus, un inel de aluminiu și un suport pentru suspendarea inelului.

Modul de lucru. Se leagă în serie solenoidul cu un reostat, un ampermeteru, un întrerupător inversor și o sursă de curent.

Cu ajutorul reostatului potrivim valoarea curentului, care nu trebuie să fie prea mare, pentru a nu încalzi solenoidul în mod exagerat. Pe miezul de

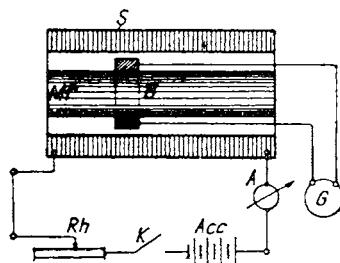


Fig. L.18.

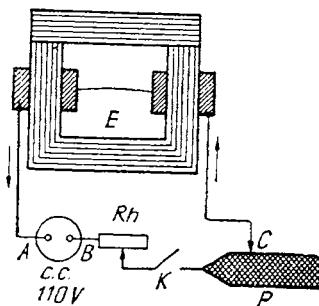


Fig. L.19.

fier al bobinei se pune inelul de aluminiu care înconjură miezul de fier. La închiderea curentului prin solenoid inelul este aruncat în sus.

— Să se explice fenomenul.

— Se repetă experiența după ce se inversază curentul ce trece prin solenoid.

Concluzie. Se va căuta să se arate care este sensul curentului din inelul de aluminiu și cum se explică fenomenele observate. Cum se poate ilustra, din cele observate legea lui Lenz.

Experiența 3. Rolul inductanței la producerea curenților de extraruptură.

Obiectul experienței este de a se arăta că la întreruperea circuitelor cu inductanțe mari, curenții de extraruptură devin foarte mari.

Materiale, aparate, instrumente de măsură: solenoidul cu miez de fier de la lucrarea studiul forței electromagnetice sau un electromagnet (*E*) alimentat de la rețeaua de curent continuu de 110 V a laboratorului, acumulator, întrerupător, ampermetru, fire flexibile izolate în cauciuc. O pilă *P*. Montarea lor se face ca în figura L.19.

Modul de lucru. Se regleză curentul care trece prin electromagnet sau solenoid cu ajutorul reostatului, aşa încât intensitatea lui să nu fie dăunătoare înășurării electromagnetului sau solenoidului.

După ce s-a stabilit curentul potrivit, închidem pe o durată mai lungă întrerupătorul și mișcăm un conductor (capătul dezizolat *C* al conductorului) pe partea aspiră a pilei. Se observă scînteie foarte luminoase, care se produc ori de cîte ori firul trece de la o asperitate la alta a pilei și întrerupe astfel circuitul.

Să va repeta experiența fără miezul de fier al electromagnetului. Scînteile sunt mai puțin luminoase. Să se explice de ce?

Concluzia. Inductanțele mari din circuit măresc curenții de extraruptură.

Lucrarea XV

a. **Tema.** Trasarea caracteristicii de grilă a unei triode.

b. **Aparate și materiale necesare.** Alimentatorul IMD pentru curent continuu și alternativ, triodă în soclu fixat pe o scîndură; avind bornele scoase la bucșe, potențiometru, miliampmetru de 100 mA, voltmetru de 100 V, voltmetru 300 V, fire de legătură cu fișe, hîrtie milimetrică. Se poate folosi de asemenea trusa electronică IMD.

Principiul metodei. Fixîndu-se tensiunea anodică U_a la o anumită valoare,

220 se măsoară valorile curentului anodic I_a pentru valorile tensiunii de grilă U_g .

care variază între 0 și o tensiune oarecare negativă. Se reprezintă grafic $I_a = f(U_g)$ pentru $U_a = \text{const.}$ obținând curba caracteristică de grilă a triodei.

d. Procedeu experimental. Legarea la sursa electrică se face numai după ce montajul a fost verificat de conductorul lucrării. Se face montajul din figura L.20. Filamentul se alimentează la 6,3 V curent alternativ. Tensiunea continuă anodică U_a se ia de la alimentatorul IMD, iar tensiunea de grilă U_g se ia tot de la alimentator, prin intermediul potențiometrului R .

Varianta. Același montaj se poate realiza cu trusa electronică IMD. În acest scop, pe placă de bază se prende planșa şablon VI (fig. L.21) pe care se fixează în locașurile respective: suportul cu tubul electronic, având comutatorul lateral pe poziția T, miliampmetrul mA , voltmetrul V , potențiometrul de $0,5 M\Omega$, potențiometrul de 15Ω . Alimentarea se face la bornele și cu valorile de tensiuni indicate pe planșa şablon (fig. L.21).

Mersul experienței este același în ambele montaje. Se vor trasa trei curbe caracteristice: una pentru $U_a = 100$ V, alta pentru $U_a = 150$ V și alta pentru $U_a = 200$ V. Se aplică la anod tensiunea continuă de 100 V, care este menținută constantă; la grilă se aplică tensiunea continuă de -20 V, iar la filament tensiunea alternativă de 6,3 V. Cu ajutorul potențiometrului se variază tensiunea de grilă U_g din volt în volt, citită la voltmetrul V , de la 0

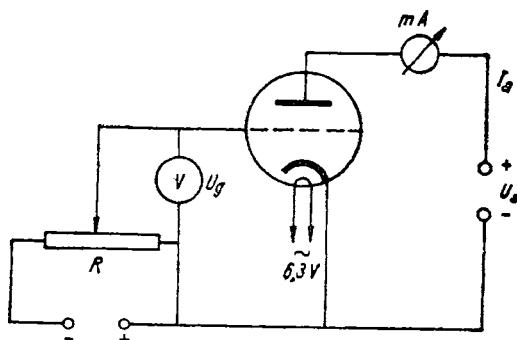


Fig. L.20.

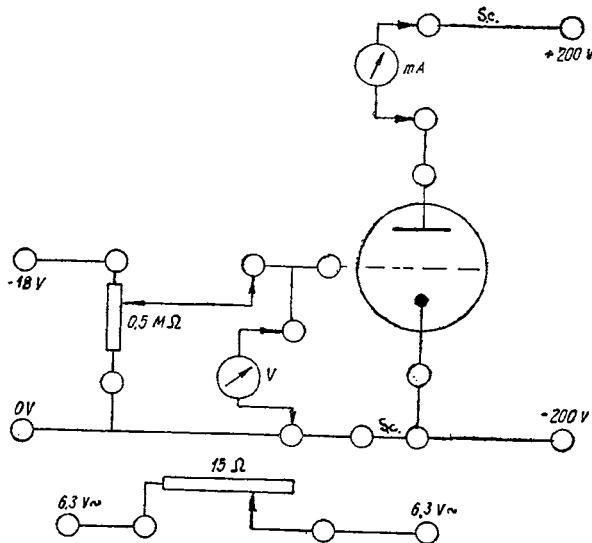


Fig. L.21.

pînă la o valoare care anulează curentul anodic I_a , citit la mA. Pentru aceeași U_g se citește I_a care corespunde la fiecare U_a . Se repetă apoi experiența la fel, aplicînd la anod tensiunea $U_a=150$ V=const., apoi pentru $U_a=200$ V=const.

e. *Tabel de rezultate.* Toate rezultatele măsurătorilor făcute se trec în tabelul de rezultate:

U_g V	U_a V	I_a mA	U_a V	U_g V	I_a mA	U_a V	U_g V	I_a mA
100			150			200		

f. *Valorificarea rezultatelor obținute.* Curba caracteristică a triodei pentru cele trei tensiuni anodice se trasează pe același grafic, pe hîrtie miliometrică. Pe abscisă se reprezintă U_g , iar pe ordinată se reprezintă I_a . Ce particularitate prezintă curbele caracteristice? De ce nu prezintă curentul de saturație? El ar putea fi pus în evidență dacă încălzirea s-ar face numai cu tensiunea ≈ 2 V. De ce?

Cu ajutorul curbelor caracteristice trasate să se calculeze panta $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g}$ pentru $U_a=\text{constant}$, rezistența interioară a triodei $R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$ pentru $U_g=\text{constant}$ și factorul de amplificare $\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}$ pentru $I_a=\text{constant}$.

Lucrarea XVI

a. *Temă. Funcționarea triodei ca amplificator.*

b. *Aparate și materiale necesare.* Alimentatorul IMD pentru curent continuu și alternativ, trusa electrică IMD, fire de legătură cu fișe, baterie de lanterna.

c. *Principiul metodei.* Se folosește trioda ca amplificator de oscilații de frecvență acustică, produse de un microfon. Schema generală este arătată în figura L.22. Negativarea grilei aduce punctul de lucru al triodei pe mijlocul porțiunii rectilinii a caracteristicii de grilă.

d. *Procedeu experimental.* Legătura cu alimentatorul se face numai după verificarea montajului de către conducătorul lucrării. Se realizează montajul (fig. L.23. partea din dreapta liniei intrerupte) indicat de planșă şablon VII din trusa electronică IMD. Pe planșă se introduc în locașurile corespunzătoare: suportul cu tubul electronic, avînd comutatorul lateral pe poziția T, difuzorul cu rezistență mare, potențiometrul de $100\text{ k}\Omega$; rezistoarele de $0,5\text{ M}\Omega$, respectiv 120Ω , condensatoarele de $10\text{ }\mu\text{F}$ respectiv $50\mu\text{ F}$, miezul de fier în U cu bobinele L_1 și L_2 de 2 500 spire și 12 000 spire. La bornele DC

se aplică semnalul de amplificat. Acesta se obține de la un microfon prin montajul din figura L. 23 (partea din stânga liniei întrerupte). Legătura se face prin fire cu fișe între A—C și B—D. Alimentarea se face cu bornele și cu valorile de tensiuni indicate pe planșele şablon, luate de la alimentatorul IMD.

Mai întii, se leagă difuzorul la bornele A—B, fără legătură cu planșa VII. Sunetul unui diapazon, pus în fața microfonului, se aude slab în difuzor. Apoi se conectează difuzorul la locul său în circuitul anodic (planșa VII) și se unesc A cu C și B cu D. De data aceasta difuzorul redă puternic sunetul diapazonului recepționat de microfon.

e. *Valorificarea rezultatelor obținute.* Se observă efectul de amplificare produs de triodă.

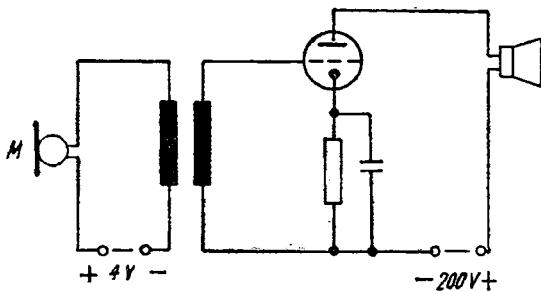


Fig. L.22.

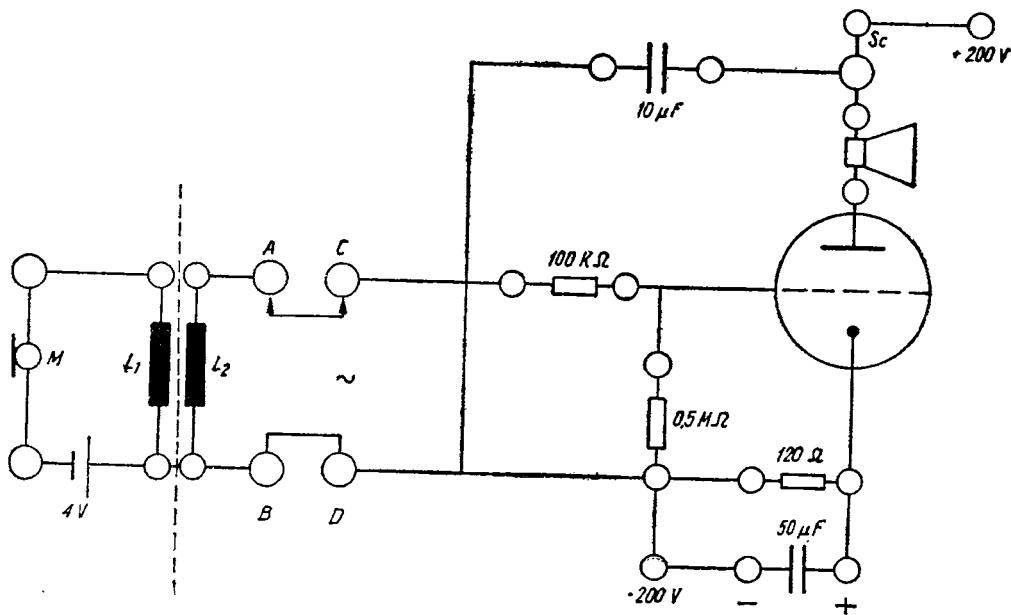


Fig. L.23.

a. **Tema. Radioemisie și radiorecepția.**

b. *Aparate și materiale necesare.* Panourile realizate de IMD, fire de legătură cu fișe.

c. *Principiul metodei.* Primul panou conține un aparat de radioemisie cu o triodă. Montajul este desenat pe panou. Pe același panou este montat alimentatorul. Panourile sunt fixate vertical pe suporturi. Oscilațiile generate de triodă sunt modulate de un microfon.

Al doilea panou, fixat vertical pe suport, conține un radioreceptor cu o dublă triodă detectoare-amplificatoare și o triodă amplificatoare. Pe același panou este montat și alimentatorul. Radioreceptorul poate recepționa undele emise de panoul radioemitter.

d. *Procedeu experimental.* Pentru a pune în funcțiune radioemitterul se conectează aparatul la rețea de curent alternativ 110 V sau 220 V. În prealabil comutatorul să fie adus la borna corespunzătoare rețelei orașului. Se închide circuitul și se așteaptă pînă se încălzesc tuburile electronice. Se reglează capacitatea condensatorului variabil C_3 pînă ce lampa L_p luminează maxim, semn că oscilatorul oscilează.

Radioreceptorul se conectează de asemenea la priză și se reglează capacitatele variabile C_2 , C_3 , C_4 pînă ce audiația este maximă în difuzor. Se vorbește în fața microfonului și se ascultă în difuzor. Pentru a fi mai elocvent, radioreceptorul se poate așeza în altă încăpere.

Electrocinetica

I. Legile curentului electric continuu	3
A. Curentul electric	3
B. Intensitatea curentului electric	8
C. Tensiunea și rezistența electrică. Legea lui Ohm	10
D. Legile lui Kirchhoff și aplicațiile lor	23
E. Energia și puterea curentului electric	29
F. Aplicațiile efectului termic al curentului electric	31
 II. Curentul electric prin electrolitii	 33
A. Electroliza și legile ei	33
B. Aplicațiile electrolizei în tehnică	40
C. Polarizarea electrozilor unui voltametru. Acumulatorii	43

Electromagnetismul

I. Fenomene electromagnetice	47
A. Acțiuni electromagnetice	47
B. Cimpul magnetic al curentului electric. Legea lui Biot și Savart	55
C. Acțiunea reciprocă a curentilor electrici. Forța electro-dinamică	59
D. Aplicații ale fenomenelor electromagnetice	62
	225

II. Inducția electromagnetică

A. Fenomenele de inducție electromagnetică. Tensiuni electromotoare induse	76
B. Autoinducția	87

Generatoare, motoare, transformatoare

I. Curentul alternativ

II. Mașini electrice

A. Mașini electrice de curenț alternativ	108
B. Mașini de curenț continuu	121

III. Transportul energiei electrice la distanță

A. Transformatoare	135
B. Transformatoare speciale	139

IV. Alte aplicații ale inducției electromagneticice și curențului alternativ

A. Telefonul	142
B. Magnetofonul	144

Electrificare

A. Planurile de electrificare	149
B. Bazele fizice ale electrificării. Producerea energiei electrice	151
C. Centrale electrice	155
D. Sistemul electroenergetic național	160
E. Transportul și distribuția energiei electrice	162

Curențul electric în gaze

A. Ionizarea gazelor	163
B. Descărcarea în gaze la presiune normală	167
C. Descărcări în gaze rarefiate	168

Oscilații și unde electromagnetice Tuburi electrice

A. Oscilații electromagnetice	. . .	173
B. Cimp electromagnetic	. .	180
C. Tuburi electronice	. .	187
D. Radiocomunicații	. .	195

Anexă

Lucrări practice de cercetare și dezvoltare - 200

*Coli de tipar: 14.25
Tiraj 17 000 +100
Anul de aparitie: 1974*

Tiparul executat sub comanda nr. 574.
al Intreprinderii poligrafice „Crișana”, Oradea
str. Moscovei nr. 5,
Repubica Socialistă România



1.25 5.15

Editura didactică și pedagogică - București 1974