

**ELECTRICIAN DE  
ÎNTREȚINERE ȘI REPARAȚII  
ÎN INDUSTRIA MICĂ**

## CUPRINS

<b>CAPITOLUL I. ELECTROSTATICA</b>	<b>4</b>
Electrizarea corpurilor	4
Legea lui Coulomb	5
Câmpul electric	6
Inducția și fluxul electric. Teorema lui Gauss.	7
Potențial și diferența de potențial	8
Condensatoare electrice	10
<b>CAPITOLUL II. CURENTUL CONTINUU</b>	<b>14</b>
Curentul electric continuu. Efectele sale	14
Legea lui ohm. Rezistențele electrice	15
Energia electrică. Legea Joule – Lenz.	18
Puterea electrică	18
Randament	19
Rețele de curent continuu	20
Teoremele lui Kirchhoff	20
Surse și receptoare. Metode de conectare	22
<b>CAPITOLUL III. ELECTROMAGNETISM</b>	<b>27</b>
Fenomene magnetice și electromagnetice	27
Inducția magnetică și intensitatea câmpului magnetic	28
Forțe electromagnetice și electrodinamice. Flux magnetic.	29
Circuite magnetice.	31
Inducția electromagnetica	34
<b>CAPITOLUL IV. CURENTUL ALTERNATIV</b>	<b>37</b>
Curentul alternativ monofazat	37
Circuite de curent alternativ monofazat	39
Curentul alternativ trifazat	45
Puterea în curent alternativ	47
<b>CAPITOLUL V. APARATE ELECTRICE DE ÎNALTĂ ȘI JOASĂ TENSIUNE</b>	<b>51</b>
Noțiuni generale	51
Aparate electrice de înaltă tensiune	51
Aparate electrice de joasă tensiune	53
Măsurări electrice	71
Măsurarea mărimilor electrice	77
<b>CAPITOLUL VI. REPREZENTAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE</b>	<b>84</b>
Semne convenționale	84
Întocmirea și citirea schemelor electrice	90
<b>CAPITOLUL VII. MAȘINI ELECTRICE ȘI ACȚIONĂRI</b>	<b>95</b>
Noțiuni generale asupra mașinilor și transformatoarelor electrice	95
Mărimi și unități electrice și magnetice	95
Generalități privind încălzirea și răcirea mașinilor și transformatoarelor electrice	101
Regimurile nominale de funcționare ale mașinilor electrice	104
Transformatorul electric	106
Mașini de curent continuu	122
Mașini sincrone	131
Mașini asincrone	132

<b>CAPITOLUL VIII MONTAREA APARATELOR DE CONECTARE, COMANDA SI DE PROTECȚIE</b>	<b>145</b>
Montarea prizelor	145
Montarea întreruptoarelor pentru instalațiilor de iluminat	145
Montarea tablourilor de distribuție	147
Echiparea si montarea corpurilor de iluminat	148
Norme generale de protecție la executarea, exploatarea si întreținerea instalațiilor electrice interioare	150
Pile electrice si acumulatori	153
Norme electrice obligatorii in instalații electrice	156
<b>CAPITOLUL X. COMPONENTE SI CIRCUITE ELECTRONICE</b>	<b>166</b>
Noțiuni generale	166
Semiconductoare	168
Circuite electrice cu elemente neliniare in c.c.	168
Tranzistoare	171
Tiristoare	174
Triacul	176
Diacul	177
Marcarea si codificarea rezistoarelor	178
<b>CAPITOLUL XII. FRIGIDERE</b>	<b>181</b>
Principiul general de funcționare a mașinii frigorifice	181
Frigidere cu absorbție	183
Frigidere cu compresor	188
Exploatarea, întreținerea si utilizarea economica a energiei	193
<b>ANEXE</b>	<b>199</b>
Studiul schemelor de montare a tuburilor fluorescente	199
Anexa 1 – Pornirea directă a unui motor asincron trifazat	203
Anexa 2 – Pornirea și inversarea de sens a unui motor asincron trifazat	205
Anexa 3 – Pornirea stea triunghi cu trecerea manuală din stea în triunghi	207
Anexa 4 – Pornirea stea triunghi a unui motor asincron trifazat cu trecerea automată din stea în triunghi	209

# CAPITOLUL I. ELECTROSTATICA

## ELECTRIZAREA CORPURILOR

Corpurile materiale sunt, în mod normal, neutre din punct de vedere electric, adică sarcinile electrice negative (electronii) dintr-un anumit corp sunt egale (compensează) cu cele pozitive (protoni, pozitroni etc.) din același corp. Prin anumite procedee, unele materiale se electrizează, adică se încarcă cu o anumită sarcină electrică.

## ELECTRIZAREA PRIN FRECARE

S-a observat că, frecând un baston de sticlă cu o bucată de postav, electronii trec de pe bastonul de sticlă pe postav. Așadar, prin frecare postavul căpătând electroni în plus s-a încărcat cu sarcină negativă (electrizare negativă), în timp ce bastonul de sticlă pierzând electroni s-a încărcat cu sarcina pozitivă. Aceeași experiență, repetată însă cu un baston de chihlimbar, arată că de data aceasta postavul se încarcă cu sarcina pozitivă, iar bastonul de chihlimbar cu sarcina negativă.

Fenomenele care au loc în cazul corpurilor imobile purtătoare de sarcini electrice și la care sarcinile respective nu variază în timp, sunt studiate în acea parte a electrotehnicii numită *electrostatică*.

Un element de baza în studierea fenomenelor electrostatice îl constituie pendulul electrostatic (fig.1.1) format dintr-o bobină ușoară  $B$  (de exemplu din măduva de soc) suspendată de un suport  $S$  printr-un fir de mătase  $M$ .

Experiența arată că corpurile încărcate cu sarcini electrice de același fel se resping (fig.1.2, a), iar cele încărcate cu sarcini de semne diferite se atrag (fig.1.2, b) lucru pus în evidență cu ajutorul unor perechi de pendule electrostatice.

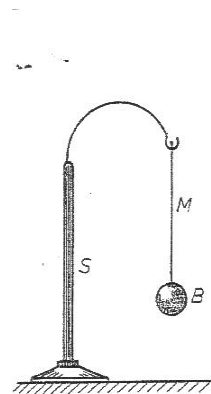


Fig.1.1. Pendulul electrostatic

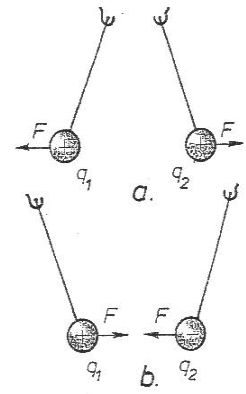


Fig.1.2. Interacțiunea sarcinilor electrice:  
a. -respingere; b. -atrager.

## ELECTRIZAREA PRIN CONTACT

Un corp electrizat, de exemplu un baston de sticlă  $S$  (fig.1.3, a) electrizat pozitiv prin frecare atingând un pendul neutru  $P$  îi transmite acestuia prin contact direct o parte din sarcina sa pozitivă astfel ca în final pendulul respectiv este respins (fig.1.3, b). Același lucru este valabil și pentru corpurile electrizate negativ.

## ELECTRIZAREA PRIN INFLUENȚĂ

Apropiind un corp electrizat, de exemplu același baston de sticlă  $S$  (fig.1.4,a), de un pendul neutru  $P$ , acesta este electrizat prin influență (de la distanță) cu o sarcină negativă, adică, în general, cu o sarcină de semn contrar și ca urmare pendulul va fi atras.

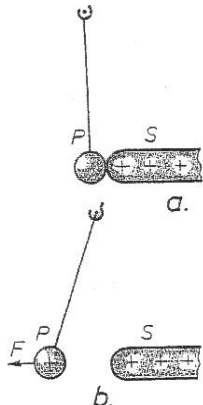


Fig.1.3. Electrizarea prin contact:  
a. -atingere; b. -respingere.

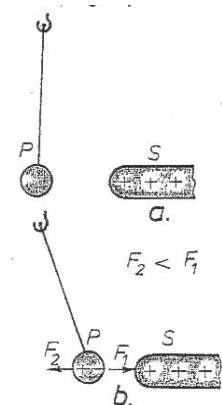


Fig.1.4. Electrizarea prin influență:  
a. -electrizare; b. -polarizarea sarcinilor.

**Observație.** De fapt, prin influență, în pendulul

neutru  $P$  sarcinile sunt polarizate și anume (fig.1.4, b) sarcinile negative sunt atrase cât mai aproape de bastonul de sticlă, iar cele pozitive sunt respinse în zona mai îndepărtată.

În această situație forța de atracție  $F_1$  datorată sarcinilor de semn contrar este mai mare decât forța de respingere  $F_2$  datorată sarcinilor de același semn.

Sarcina electrică este o mărime fizică ce se măsoară cu o unitate (de măsură) care în sistemul internațional de unități SI se numește *Coulomb* și se notează cu  $C$ . Coulombul a fost ales în mod arbitrar egal cu sarcina electrică a  $6,24 \cdot 10^{18}$  electroni luată cu semnul minus; altfel spus, sarcina electrică  $q_e$  a unui electron este:

$$q_e = - 1,601 \cdot 10^{-19} C \quad (1.1)$$

Corpurile materiale se comporta diferit la deplasarea sarcinilor în interiorul lor. Sub acest aspect se deosebesc materialele: *conductoare*, *izolatoare (dielectrici)* și *semiconductoare*.

- **Conductoarele** conțin în structura lor electroni liberi (“gaz electronic”) care se pot deplasa liber în interiorul materialului putând da naștere unui curent de electroni (curentul electric). Materialele conductoare sunt în special metalele (Cu, Al, Ag, Fe etc.) și electroliții.
- **Izolatoarele (dielectricii)** nu permit deplasarea electronilor în interiorul lor, adică le izolează. Materialele izolante sunt: sticla, porțelanul, marmura, hârtia, lemnul, uleiul mineral, cauciucul, masele plastice, matasea, aerul etc.
- **Semiconductoarele** sunt materiale care permit deplasarea sarcinilor electrice în condiții speciale, ele constituind baza elementelor electronice semiconductoare – diode, tranzistoare, tiristoare etc.

### LEGEA LUI COULOMB

Se considera două corpuri de dimensiuni mici, neglijabile în raport cu distanța între ele, încărcate cu anumite sarcini electrice. Sarcinile unor asemenea corpuri se numesc *sarcini punctiforme*. Legea lui Coulomb, stabilită experimental arată că: *două corpuri punctiforme încărcate cu sarcini electrice  $q_1$  și  $q_2$  se resping sau se atrag cu o forță  $F$  a cărei mărime este proporțională cu sarcinile  $q_1$  și  $q_2$  și invers proporțională cu pătratul distanței  $r$  dintre cele două sarcini* (fig.1.5):

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2}, \tag{1.2}$$

în care  $\epsilon$  este o mărime caracteristică denumită *permitivitate* sau *constanta dielectrică* a mediului în care se afla cele două corpuri.

În sistemul internațional de unități (SI) permitivitatea vidului, practic egală cu cea a aerului, este:

$$\epsilon = \epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \left[ \frac{F}{m} \right] \tag{1.3}$$

Înlocuind relația (1.3) în (1.2) rezulta pentru vid (aer):

$$F_0 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot q_1 \cdot q_2}{r^2} [N] \tag{1.4}$$

sau: forța de interacțiune dintre două sarcini de 1 C ( $q_1 = q_2 = 1$  C) așezate în vid la distanța de 1 m ( $r = 1$  m) este de  $9 \cdot 10^9$  N.

În cazul în care mediul în care se manifesta forțele de interacțiune între sarcinile electrice nu este vidul sau aerul ci un altul (mediu dielectric) (de exemplu: petrol, mica, parafina etc.) legea lui Coulomb rămâne valabilă cu observația că permitivitatea dielectrică  $\epsilon$  are altă valoare, de obicei mai mare decât  $\epsilon_0$ .

Raportul  $\epsilon / \epsilon_0$  se numește *permitivitate dielectrică relativă* și se notează  $\epsilon_r$  :

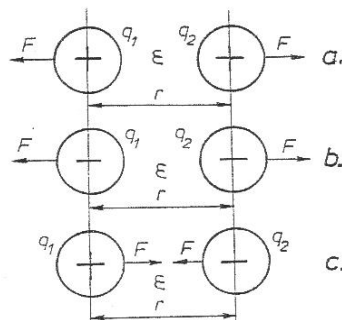
$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

**Observație.** Permitivitatea dielectrică relativă este un număr fără dimensiuni.

Rezulta că, în cazul unui mediu dielectric oarecare, legea lui Coulomb se scrie:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot r^2},$$

**Observație.** Semnul forței  $F$  este pozitiv (de respingere) dacă cele două sarcini au același semn (fig.1.5, a, b) și negativ (de atragere) dacă acestea au semne contrarii (fig.1.5, c).



$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \pi \epsilon \cdot r^2}$$

Fig. 1.5 Interacțiunea cantitativă a corpurilor electrizate: a. - ambele pozitive; b. - ambele negative; c. - de semne diferite.

## CÂMPUL ELECTRIC

Considerând o sarcina electrica punctiforma  $q_1$  (fig.1.6) in jurul acesteia se pot manifesta forte de interacțiune in orice direcție cu orice alta sarcina  $q_2, q_3...q_n$ . Se spune ca sarcina punctiforma  $q_1$  da naștere in jurul sau unui câmp electric capabil de a produce forțe de atragere sau respingere a altor sarcini. Câmpul electric  $E_1$  produs de sarcina electrica  $q_1$  este definit ca raportul dintre forța  $F_{12}$  care se manifesta asupra unei sarcini oarecare  $q_2$  si valoarea acestei sarcini:

$$E_1 = \frac{F_{12}}{q_2} \quad (1.5)$$

Deoarece conform legii lui Coulomb avem:

$$F_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2}$$

Rezulta

$$E_1 = \frac{F_{12}}{q_2} = \frac{q_1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} \quad (1.6)$$

Pentru sarcinile punctiforme, liniile de forță ale câmpului electric sunt radiale fiind îndreptate fie spre exterior in cazul câmpului electric produs de o sarcina pozitiva  $q_1$  (fig. 1.7, a) – sensul de respingere a unei sarcini pozitive  $q_2$  – fie spre interior in cazul câmpului electric produs de o sarcina negativa  $q_2$  (fig. 1.7, b) – sensul de atragere a unei sarcini pozitive  $q_1$ .

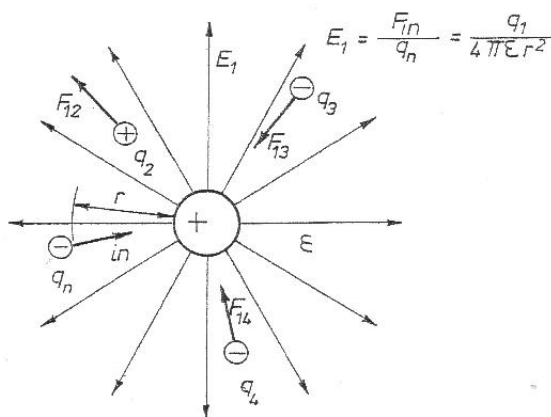


Fig. 1.6. Producerea câmpului electric.

**Observație.** Similar se poate vorbi despre câmpul electric produs de oricare sarcina fără a avea o anumita preferință. Astfel, referindu-ne la exemplul precedent, putem vorbi si de câmpul electric al sarcinii  $q_2$  determinat cu aceeași relație:

$$E_2 = \frac{F_{21}}{q_2} \quad (1.7)$$

Evident:

$$F_{21} = F_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2}$$

Astfel ca se obține un rezultat similar:

$$E_2 = \frac{q_1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} \quad (1.8)$$

In cazul câmpului electric produs de mai multe sarcini electrice punctiforme, câmp care se manifesta intr-o forma combinata prin forte de interacțiune cu alte sarcini electrice, liniile de forță prezintă forme mai complicate.

Astfel, de exemplu, liniile de forță ale câmpului produs de doua sarcini punctiforme pozitive (negative) prezintă aspectul din fig. 1.7, c, iar cel produs de o sarcina pozitiva si alta negativa, prezintă aspectul din fig. 1.7, d.

In sfârșit, in unele cazuri, liniile de forță ale câmpului electric sunt paralele (fig. 1.8) caz in care el se numește *uniform* sau *omogen*. Un asemenea câmp omogen este produs fie de o sarcina punctiforma foarte îndepărtata, fie de o armatura plata suficient de lata.

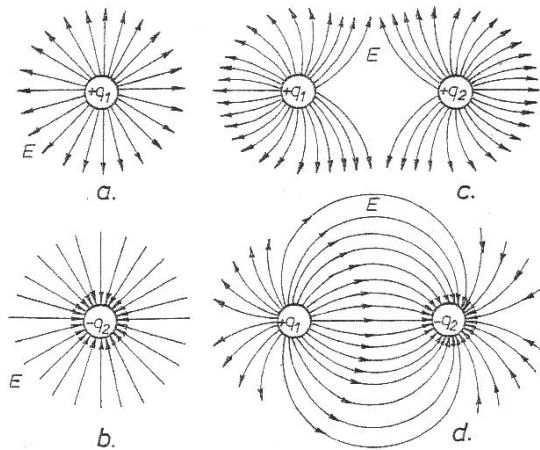


Fig.1.7 Linii de forță ale câmpului electric produs de sarcini electrice: a. -pozitivă; b. -negativă; c. -două sarcini pozitive; d. -sarcini de semne diferite.

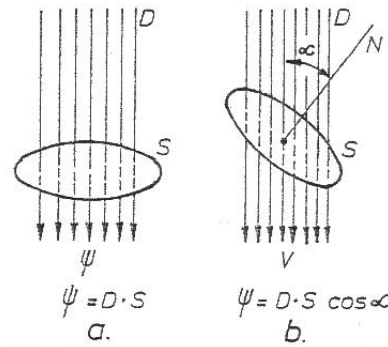


Fig.1.8. Fluxul electric prin suprafețe plane: a. -rectangular; b. -oblic.

## INDUCTIA ȘI FLUXUL ELECTRIC. TEOREMA LUI GAUSS. INDUCȚIA ELECTRICĂ

În unele cazuri este mai comod să se utilizeze o mărime nouă – inducția electrică  $D$  definită de expresia:

$$D = \epsilon \cdot E \quad (1.9)$$

Din (1.6) și (1.9) se obține:

$$D_1 = \epsilon \cdot E_1 = \frac{\epsilon \cdot q_1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} = \frac{q_1}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \left[ \frac{C}{m^2} \right] \quad (1.10)$$

Rezultă deci că, în cazul unui dielectric omogen valoarea inducției electrice nu depinde de permitivitatea dielectrică a mediului.

**Observație.** Din relația (1.10) se constată că unitatea de măsură a inducției este  $\left[ \frac{C}{m^2} \right]$  - coulomb pe metru pătrat.

### FLUXUL ELECTRIC

În legătura cu numeroase mărimi vectoriale care formează câmpuri de vectori o noțiune utilizată frecvent este aceea de flux. De obicei, fluxul unui câmp de vectori poate fi definit ca totalitatea liniilor de forță cuprinse într-un contur închis sau care străbat o suprafață oarecare bine definită. De exemplu, într-o conductă de lichid (de fluid) de secțiune  $S$  fiecare particulă lichidă are o viteză  $v$  paralelă cu axa conductei, deci vectorul vitezei formează în acest caz un câmp de viteze. Fluxul vectorului  $v$  care străbate secțiunea  $S$  reprezintă produsul  $Q$  dintre vectorul vitezei și secțiune:

$$Q = v \cdot S \quad (1.11)$$

După cum se știe, acest produs nu reprezintă altceva decât debitul de fluid  $Q$  (fluxul):

$$Q = v \left[ \frac{m}{s} \right] \cdot S [m^2] = \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

În mod analog, dacă se consideră un câmp electric omogen de inducție  $D$  și o suprafață plană  $S$  oarecare, perpendiculară pe liniile de forță (fig.1.8, a), fluxul electric  $\psi$  este definit de relația:

$$\Psi = D \cdot S \quad (1.12)$$

Dacă liniile de forță ale câmpului  $D$  fac cu normala  $N$  la suprafața  $S$  un unghi oarecare  $\alpha$  (fig.1.8, b) atunci expresia fluxului devine:

$$\Psi = D \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (1.13)$$

Fluxul electric  $\psi$  mai poate fi definit și prin numărul total  $N$  de linii de forță unitare ce străbate o anumită suprafață.

### TEOREMA LUI GAUSS

Dacă se consideră o suprafață închisă oarecare  $S$ , de exemplu o sferă (fig.1.9, a) situată într-un câmp electric se constată că numărul de linii de forță  $N_i$  care intră în suprafața  $S$  (sfera) este același cu numărul de linii de forță  $N_e$  care ies din suprafața respectivă,

$$N_i = N_e \quad (1.14)$$

Sau

$$\Psi_i = \Psi_e \quad (1.15)$$

adică fluxul electric de intrare  $\psi_i$  în suprafața respectivă este egal cu fluxul electric de ieșire  $\psi_e$ .

Relația (1.15) se mai poate scrie punând în evidența fluxul total  $\psi_t$  prin suprafața considerată:

$$\Psi_i = \Psi_t - \Psi_e = 0 \quad (1.16)$$

și se enunță astfel:

Dacă în interiorul unei suprafețe  $S$  situate într-un câmp electric nu se găsesc sarcini electrice, fluxul electric total  $\psi_t$  prin acea suprafață este nul.

Fie o sarcină electrică  $q$  situată într-un punct și o sferă de rază  $r$  cu centrul în acel punct (fig.1.9, a). În orice punct al suprafeței, inducția electrică  $D$  are valoarea:

$$D = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (1.17)$$

este deci constantă, iar vectorul inducției este perpendicular pe suprafața sferei.

În acest caz particular, fluxul electric  $\psi$  produs de sarcină  $q$  prin suprafață  $S$  a sferei ( $S = 4 \pi r^2$ ) se poate calcula cu relația (1.12),

$$\Psi = D \cdot S = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 = q \quad (1.18)$$

Se constată deci că fluxul electric ce străbate o suprafață închisă în care se găsește o sarcină electrică  $q$  este numeric egal cu sarcina respectivă.

**Observație.** Fluxul electric nu depinde de raza  $r$  și deci nici de forma suprafeței care închide sarcina  $q$ .

În sfârșit, dacă o suprafață oarecare  $S$  (fig.1.9, c) închide mai multe sarcini electrice  $q_1, q_2, q_3 \dots$  fluxul electric total care străbate acea suprafață va fi, conform relației (1.18) definit de expresia:

$$\psi = q_1 + q_2 + q_3 + \dots = \sum q \quad (1.19)$$

Această relație este cunoscută sub denumirea de *teorema lui Gauss*.

**Observație.** Din relația (1.18) se constată că unitatea de măsură a fluxului este [C] – Coulombul.

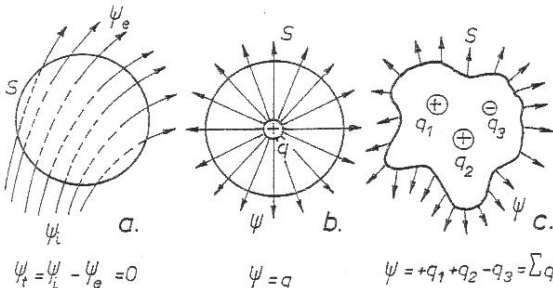


Fig. 1.9. Fluxul electric printr-o suprafață închisă (sferă):  
 a. - fără sarcini electrice; b. - cu o sarcină electrică;  
 c. - cu mai multe sarcini.

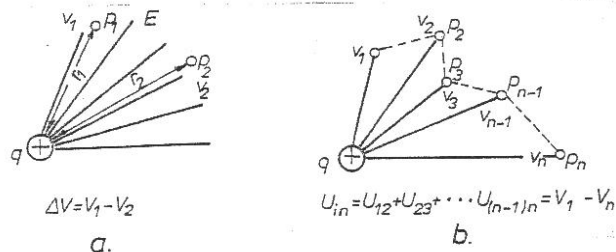


Fig. 1.10. Definierea potențialelor (tensiunilor) electrice:  
 a. - cu două puncte; b. - cu mai multe puncte.

## POTENȚIAL ȘI DIFERENȚA DE POTENȚIAL.

### POTENȚIAL ELECTRIC

Deoarece în mod practic este mai greu de pus în evidența sarcinile electrice, câmpul electric se definește de obicei cu ajutorul unei noi mărimi numită *potențial electric*  $V$  și definit de relația

$$V = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot \frac{q}{r} + V_0 \quad (1.20)$$

în care:  $q$  - sarcină electrică ;

$r$  - distanța până la punctul în care se determină potențialul electric ;

$V_0$  - o constantă numită potențial de referință.

**Observație.** Dacă se consideră potențialul punctelor situate foarte departe, teoretic la infinit față de sarcină  $q$  ( $r = \infty$ ), din relația (1.20) se obține  $V = V_0$ , deci  $V_0$  se mai numește și *potențialul punctelor de la infinit*.

Considerând o sarcină  $q$  (fig.1.10,a) și două puncte  $p_1$  și  $p_2$  situate la distanța  $r_2$  față de această sarcină conform relației (1.20) se pot scrie potențialele  $V_1$  și  $V_2$  ale punctelor datorate sarcinii  $q$ :



$$V_1 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q}{r_1} + V_0 \quad (1.21)$$

si

$$V_2 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q}{r_2} + V_0 \quad (1.22)$$

### DIFERENȚA DE POTENȚIAL

Diferența  $\Delta V = V_1 - V_2$  poarta numele de *diferență de potențial* între cele doua puncte si se deduce analitic din expresia:

$$\begin{aligned} \Delta V = V_1 - V_2 &= \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q}{r_1} + V_0 - \left[ \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q}{r_2} + V_0 \right] \\ \Delta V &= \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot q \cdot \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot q \cdot \left[ \frac{r_2 - r_1}{r_1 \cdot r_2} \right] \end{aligned} \quad (1.23)$$

Diferența de potențial între doua puncte care se mai numește și *tensiune electrica (U)* precum și potențialul electric se măsoară în volți (V):

$$\Delta V = U \text{ [V]}$$

Sa presupunem ca într-un câmp electric exista o serie de puncte  $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$  (fig.1.10,b) de potențiale  $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$  astfel ca tensiunile între punctele succesive sunt:

$$U_{12} = V_1 - V_2 ; U_{23} = V_2 - V_3 ; \dots U_{(n-1)n} = V_{n-1} - V_n$$

Se observa ca însumând tensiunile respective se obține:

$$U_{12} + U_{23} + \dots + U_{(n-1)n} - V_1 - V_2 + V_2 - V_3 + \dots + V_{n-1} - V_n = V_1 - V_n = U_{1n} \quad (1.24)$$

**Observație.** Valorile potențialelor intermediare s-au anulat reciproc rămânând numai diferența de potențial între  $p_1$  și  $p_n$ .

Se poate conchide deci ca: tensiunea între doua puncte oarecare este data de suma tensiunilor între punctele intermediare independent de traseul (poziția) pe care se afla aceste puncte  $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$  sau  $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$ .

**Observație.** Spre deosebire de potențial care este definit arbitrar, în raport cu un potențial de referință  $V_0$ , diferența de potențial are o valoare bine definita, independenta de  $V_0$ .

Reluând exemplul din fig.1.10 si relația (1.23) se va considera ca cele doua puncte  $p_1$  și  $p_2$  sunt atât de apropiate încât  $r_1 \approx r_2 \approx r$ , iar diferența  $\Delta r = r_1 - r_2$  este foarte mica în raport cu  $r$ . În aceasta situație cu notațiile adoptate, relația (1.23) devine:

$$\Delta V = -\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot q \cdot \frac{\Delta r}{r^2}$$

sau, deoarece conform cu (1.6)

$$\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot q \cdot \frac{1}{r^2} = E_1 \quad (1.25)$$

rezulta:

$$\Delta V = - E \cdot \Delta r \quad (1.26)$$

Din aceasta relație se obține o noua forma de definire a intensității câmpului electric  $E$ :

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta r} \quad (1.27)$$

adică: *intensitatea câmpului electric E reprezintă variația potențialelor în raport cu variația distanței între punctele considerate.*

Considerând  $\Delta r = 1$  se obține  $E = - \Delta V$  adică, intensitatea câmpului electric este egala cu diferența de potențial pe unitatea de lungime.

După cum se știe, variația unei mărimi  $V$  în raport cu o alta mărime  $r$  este data de derivata mărimii  $V$  în raport cu  $r$  deci: matematic intensitatea câmpului electric se poate exprima astfel:

$$E = -\frac{dV}{dr} \quad (1.28)$$

adică: *intensitatea câmpului electric reprezintă derivata (cu semn schimbat) a potențialului în punctul considerat.*

Din expresia (1.20):

$$V = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot q \cdot \frac{1}{r} + V_0 \quad (1.29)$$

prin derivare in raport cu  $r$  rezulta:

$$\frac{dV}{dr} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon} \cdot q \cdot \frac{1}{r^2} = -E \quad (1.30)$$

Unitatea de măsura a câmpului electric este: volt pe metru [V / m].

## CONDENSATOARE ELECTRICE DEFINIREA CONDENSATOARELOR

Doua armaturi conductoare  $A_1$  si  $A_2$  (fig. 1.11) încărcate cu sarcini electrice egale si de semn contrar  $\pm Q$ , separate între ele printr-un strat izolator (dielectric), formează un condensator electric. Notând cu  $Q$  valoarea absoluta a sarcinilor celor doua armaturi si cu  $V_1$  si  $V_2$  potențialele acestora, diferența de potențial  $\Delta V$  (tensiunea  $U$  aplicata condensatorului va fi:

$$\Delta V = U = V_1 - V_2 \quad (1.31)$$

Raportul dintre sarcina  $Q$  a armaturilor si tensiunea  $V$  aplicata se numește capacitatea  $C$  a condensatorului:

$$C = Q / U \quad (1.32)$$

Unitatea de măsura pentru capacitate este faradul si se notează cu F. Din relația (1.32) se observa ca:

$$1F = 1C / 1V \quad (1.31)$$

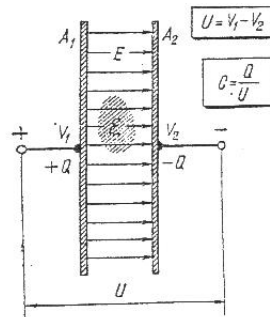


Fig. 1.11. Condensator electric.

Rezultă că faradul poate fi definit ca fiind capacitatea unui condensator care se încarcă cu o sarcină electrică de 1 coulomb atunci când este supus unei tensiuni de 1 volt.

**Observație.** Practic, faradul este o unitate de măsura foarte mare in raport cu capacitățile condensatoarelor uzuale astfel ca în mod curent se folosesc submultiplii faradului: microfaradul (1  $\mu\text{f} = 10^{-6}$  F); nanofaradul (1 nF =  $10^{-9}$  F) si picofaradul (1 pF =  $10^{-12}$  F).

În industrie se construiesc si se utilizează o serie de condensatoare de diverse forme: plane, cilindrice etc. folosind pentru armaturi foite subțiri sau placi de aluminiu, iar ca dielectric: aerul, hârtia, materialele plastice - de exemplu styroflex - etc.

Revenind la fig. 1.11 se poate constata ca, câmpul electric  $E$  dintre armaturi este un câmp omogen a cărui intensitate se deduce din relația:

$$E = U / d \text{ (V / m)}$$

în care  $d$  este distanta dintre cele doua armaturi.

## LEGAREA CONDENSATOARELOR

**Legarea în serie.** Mai multe condensatoare de capacitate  $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$  sunt legate in serie atunci când ele sunt conectate ca in fig. 1.12,a.

Sub influenta câmpului electric produs între armaturile condensatoarelor de către tensiunea  $U$  fiecare condensator se încarcă cu aceeași sarcina electrica  $Q$ . De exemplu, pe condensatorul de capacitate  $C_1$  apare sarcina  $+Q$  si  $-Q$ . Pe armatura condensatorului  $C_2$  legata de armatura  $-Q$  a condensatorului  $C_1$  apare datorita electrizării prin influenta sarcina  $+Q$  si așa mai departe. Altfel spus, fiecare conductor de legătura dintre condensatoare era anterior neutru din punct de vedere electric iar acum, prin electrizare, sarcinile  $-Q$  si  $+Q$  polarizate sunt egale.

Cunoscând sarcina  $Q$ , aceeași pe toate condensatoarele, se pot deduce tensiunile la bornele fiecăruia:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}; U_2 = \frac{Q}{C_2}; U_3 = \frac{Q}{C_3}; \dots; U_n = \frac{Q}{C_n} \quad (1.34)$$

Conform relației (1.24) tensiunea aplicată  $U$  este egală cu suma tensiunilor  $U_1, U_2, U_3 \dots U_n$   
 $U_1+U_2+U_3+\dots+U_n$

Sau

$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \frac{Q}{C_n} = Q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \right) \quad (1.35)$$

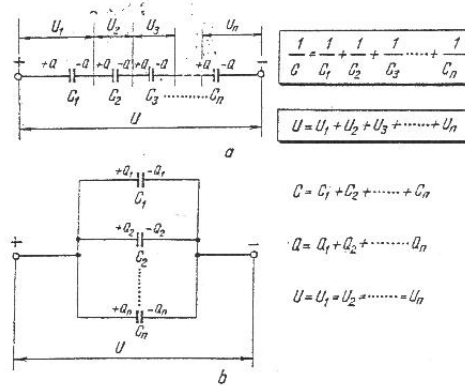


Fig. 1.12. Legarea condensatoarelor:  
a — serie; b — paralel.

Un condensator echivalent de capacitate  $C$  este caracterizat prin aceea că supus aceleași tensiuni  $U$  se va încărca cu aceeași sarcină  $Q$ .

$$U = \frac{Q}{C} \quad (1.36)$$

Din compararea expresiilor (1.35) și (1.36) rezultă că capacitatea echivalentă  $C$  a celor  $n$  condensatoare legate în serie va fi:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (1.37)$$

În concluzie: valoarea inversă a capacității echivalente este egală cu suma valorilor inverse capacităților parțiale.

**Aplicația 1.** Trei condensatoare având capacitățile  $C_1=40 \mu\text{F}$ ;  $C_2=200 \mu\text{F}$  și  $C_3=50 \mu\text{F}$  sunt legate în serie și supuse unei tensiuni  $U=100\text{V}$ . Se cere:

1. Capacitatea echivalentă a condensatoarelor.
2. Sarcina  $Q$  cu care se încarcă fiecare condensator.
3. Tensiunile  $U_1, U_2$  și  $U_3$  de la bornele fiecărui condensator.

*Răspuns:*

1. Capacitatea echivalentă se obține din relația (1.37):

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{40 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{200 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{50 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-6}}$$

de unde rezultă:

$$C = 20 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 20 \mu\text{F}$$

2. Sarcina  $Q$  se obține din relația (1.35):

$$Q = C \cdot U = 20 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 100 \text{ V} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ C} = 2 \text{ mC}$$

3. Tensiunile fiecărui condensator sunt:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{40 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ V},$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ V},$$

$$U_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-6}} = 40 \text{ V}$$

**Observația 1.** Capacitatea echivalentă  $C$  ( $20 \mu\text{F}$ ) este mai mică decât cea mai mică dintre capacități ( $C_1=40\mu\text{F}$ ).

**Observația 2.** Celei mai mari capacități ( $C_2=200\mu\text{F}$ ) îi corespunde cea mai mică tensiune la borne ( $U_2=10\text{V}$ ) și invers.

**Legarea în paralel.** Mai multe condensatoare de capacitate  $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$  sunt legate în paralel atunci când sunt conectate ca în fig. 1.12, b.

Sub influența câmpului electric produs de tensiunea comună  $U$  – aceeași pentru toate condensatoarele – acestea se încarcă cu sarcinile electrice  $Q_1, Q_2, Q_3 \dots Q_n$  diferite pentru fiecare condensator.

$$Q_1=U \cdot C_1; Q_2=U \cdot C_2; Q_3=U \cdot C_3 \dots Q_n=U \cdot C_n \quad (1.38)$$

Sarcina totală acumulată de toate condensatoarele va fi:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+\dots+Q_n=U \cdot C_1+U \cdot C_2+U \cdot C_3+ \dots +U \cdot C_n \quad (1.39)$$

sau

$$Q=U(C_1+C_2+C_3+\dots C_n)=U \cdot C \quad (1.40)$$

Rezultă deci, ca capacitatea echivalentă  $C$  a celor  $n$  condensatoare legate în paralel este:

$$C=C_1+C_2+C_3+\dots C_n \quad (1.41)$$

**Aplicația 2.** Condensatoarele din exemplu precedent ( $C_1=40 \mu\text{F}$ ;  $C_2=200 \mu\text{F}$  și  $C_3=50 \mu\text{F}$ ) sunt legate în paralel și supuse aceleiași tensiuni  $U=100\text{V}$ . Se cere:

1. Capacitatea echivalentă.
2. Sarcina electrică a fiecărui condensator și sarcina totală  $Q$ .
3. Tensiunile la bornele fiecărui condensator.

*Răspuns:*

1. Capacitatea echivalentă se obține din relația (1.41):

$$C=C_1+C_2+C_3 = 40 \mu\text{F} + 200 \mu\text{F} + 50 \mu\text{F} = 290 \mu\text{F}$$

2. Sarcinile electrice ale fiecărui condensator – relația (1.38) – sunt:

$$Q_1 = U \cdot C_1 = 100 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 4 \cdot 10^{-3} \text{C} = 4 \text{mC},$$

$$Q_2 = U \cdot C_2 = 100 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 20 \cdot 10^{-3} \text{C} = 20 \text{mC},$$

$$Q_3 = U \cdot C_3 = 100 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-3} \text{C} = 5 \text{mC}.$$

Iar sarcina totală acumulată – relația (1.39) – este:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3= 4+20+5=29 \text{ mC}$$

3. Tensiunile la bornele condensatoarelor sunt:

$$U_1=U_2=U_3=U=100\text{V}$$

**Legarea mixtă** reprezintă o combinație de legare serie și paralel. Calculul mărimilor care ne interesează se efectuează separat pentru fiecare conexiune în parte conform relațiilor de mai sus.

**Aplicația 3.** Șase condensatoare  $C_1, C_2 \dots C_6$  sunt legate în conexiune mixtă ca în fig. 1.13, a fiind alimentate cu tensiunea  $U=500\text{V}$ .

Sa se determine aceiași parametri ca și în aplicațiile precedente.

*Răspuns:* Se determină cu ajutorul relației (1.37) capacitatea echivalentă  $C_7$  a celor trei condensatoare ( $C_1, C_2, C_3$ ) legate în serie:

$$\frac{1}{C_7} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{200 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{250 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{1000 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{100 \cdot 10^{-6}}$$

deci:

$$C_7=100 \cdot 10^{-6} \text{F}=100 \mu\text{F}$$

Condensatorul echivalent  $C_7$  constituie împreună cu  $C_4$  și  $C_5$  conexiune echivalentă paralelă (fig. 1.13,b), deci conform cu relația (1.41) se obține:

$$C_8=C_7+C_4+C_5= 100+50+250 = 400 \mu\text{F}$$

Astfel schema s-a redus (fig. 1.13, c) la două condensatoare  $C_8$  (echivalent) și  $C_6$  (real) legate în serie. Rezultă capacitatea totală a schemei (fig. 1.13, d):

$$\frac{1}{C_9} = \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_6} = \frac{1}{400 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{100 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{80 \cdot 10^{-6}}$$

deci:

$$C_9= 80 \cdot 10^{-6} \text{F} = 80 \mu\text{F}$$

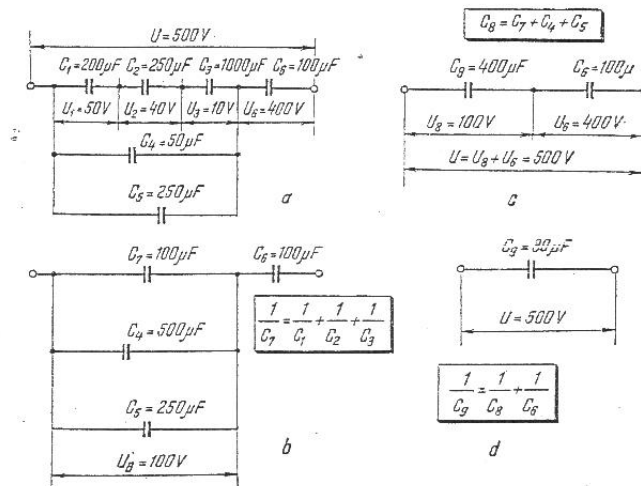


Fig. 1.13. Exemplu de legare mixtă a condensatoarelor:  
a - schema inițială; b,c,d - scheme echivalente.

Aplicând tensiunea  $U=500V$ , rezultă că sarcina comună pe  $C_8$  și  $C_6$  va fi:

$$Q_8=Q_6=Q_9=U \cdot C_9=500 \cdot 80 \cdot 10^{-6}=40 \text{ mC}$$

Rezultă tensiunile pe  $C_8$  și  $C_6$ :

$$U_8 = \frac{Q_9}{C_8} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{400 \cdot 10^{-6}} = 100V,$$

$$U_6 = \frac{Q_9}{C_6} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = 400V$$

**Observație.** Se verifică:  $U=U_8+U_6=100+400=500V$

Având tensiunea  $U_8$  care reprezintă de fapt tensiunea comună a capacităților  $C_7$  (echivalentă),  $C_4$  și  $C_5$ , se deduc sarcinile parțiale:

$$Q_7 = U_8 \cdot C_7 = 100 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ mC},$$

$$Q_3 = U_8 \cdot C_3 = 100 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 5 \text{ mC},$$

$$Q_4 = U_8 \cdot C_4 = 100 \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 25 \text{ mC}.$$

**Observație.** Se verifică:  $Q_8=Q_7+Q_3+Q_4=10+5+25=45 \text{ mC}$ .

Sarcina comună condensatoarelor de capacitate  $C_1$ ,  $C_2$  și  $C_3$  fiind  $Q_7=10 \text{ mC}$ , rezultă repartitia tensiunii  $U_8=U_7=100V$  pe cele trei condensatoare înseriate:

$$U_1 = \frac{Q_7}{C_1} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^{-6}} = 50V,$$

$$U_2 = \frac{Q_7}{C_2} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{250 \cdot 10^{-6}} = 40V,$$

$$U_3 = \frac{Q_7}{C_3} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 10^{-6}} = 10V$$

**Observație.** Se verifică:  $U_7=U_1+U_2+U_3=50+40+10=100V$ .

## CAPITOLUL II. CURENTUL CONTINUU

### CURENTUL ELECTRIC CONTINUU. EFECTELE SALE

#### Curentul continuu

Un material izolant – dielectric – supus unei tensiuni (câmp electric) continue nu este străbătut de curent electric (se exceptează străpungerea dielectricului care reprezintă un fenomen anormal și ireversibil - de distrugere) datorită faptului că dielectricul nu conține electroni liberi. Curentul electric poate circula în mod normal numai prin conductoare datorită existenței electronilor liberi din structura acestor materiale. Considerând o bucată de conductor  $A - B$  (fig.2.1) între capetele cărui se aplică o diferență de potențial  $U = V_A - V_B$  se constată că electronii (sarcinile negative) se vor deplasa de la punctul B cu potențial mai scăzut spre punctul A cu potențial mai ridicat sub forma unui curent de electroni  $I_e$ . Același curent circula prin sursa  $S$  de la borna (+) – sarcini pozitive – spre borna minus (-) – sarcini negative.

Deplasarea sarcinilor electrice prin conductoare formează *curentul electric*. Deoarece deplasarea se face în mod continuu – permanent – în același sens, acesta s-a numit *curent electric continuu*.

S-a convenit în mod arbitrar să se considere sensul pozitiv de circulație al curentului electric sensul invers deplasării sarcinilor negative.

În consecință curentul electric  $I$  circula prin conductoare (fig.2.1) de la borna plus (+) – potențialul mai ridicat – spre borna minus (-) – potențial mai scăzut, - iar prin sursă circula de la minus spre plus.

Curentul electric este caracterizat prin intensitatea sa  $I$  care reprezintă raportul dintre cantitatea de electricitate  $Q$  și timpul  $t$  în care aceasta trece prin conductorul considerat:

$$I = \frac{Q}{t} \left[ \frac{C}{s} \right] \quad (2.1)$$

**Observație.** Intensitatea curentului este numeric egală cu cantitatea de electricitate – exprimată în coulombi (C) – care trece prin conductor într-o secundă (s).

Pentru o cantitate de electricitate infinit mică  $dQ$  ce străbate conductorul într-un timp infinit mic  $dt$  relația (2.1) se poate exprima astfel:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (2.2)$$

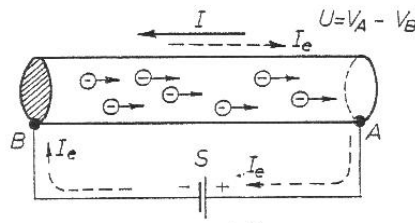


Fig.2.1 Curentul electric într-un conductor.

Este evident că, deoarece numărul de electroni – sarcina  $Q$  – care trece prin conductor este același în orice secțiune a conductorului, rezulta că, intensitatea curentului electric este aceeași în toate punctele conductorului.

Din relația (2.1) se constată că intensitatea curentului electric se măsoară în coulombi pe secundă [C / s] unitate care în sistemul internațional de unități SI a primit numele de *amper* – simbol A.

$$1A = 1 \frac{C}{s} \quad (2.3)$$

Raportul  $J$  între intensitatea  $I$  (A) a curentului și secțiunea  $S$  ( $m^2$ ) a conductorului se numește *densitate de curent*:

$$J = \frac{I}{S} \left[ \frac{A}{m^2} \right] \quad (2.4)$$

În sistemul SI densitatea de curent se măsoară în amperi pe metru pătrat [ $A / m^2$ ] sau, în mod frecvent, printr-un submultiplu al acestei unități: amper pe milimetru pătrat [ $A / mm^2$ ].

Se constata ca:

$$1 \frac{A}{mm^2} = \frac{1A}{(10^{-3}m)^2} = 10^6 \frac{A}{m^2}$$

### Efectele curentului electric

Trecerea curentului electric printr-un conductor poate fi pusa in evidenta printr-o serie de efecte – fenomene:

- **Efectul termic.** Conductoarele parcurse de curent electric se încălzesc producând o cantitate de căldura  $K$  in mediul înconjurător (fig.2.2, a).
- **Efectul luminos.** Când densitatea de curent este foarte mare încălzirea este atât de puternica încât conductorul ajunge la incandescența (fig.2.2,b) ca de exemplu filamentul  $F$  al lămpii electrice  $L$  care emite fluxul luminos  $\Phi$ .
- **Efectul chimic.** Dacă curentul electric traversează o soluție de apa cu acid sulfuric (fig.2.2,c) apa se descompune in elementele sale – oxigen (O) la borna minus si hidrogen (H) la borna plus. Trebuie menționat ca in soluțiile chimice curentul electric se datorează nu numai deplasării electronilor, ca la metale, ci si deplasării (in sensul pozitiv) ionilor pozitivi (+).

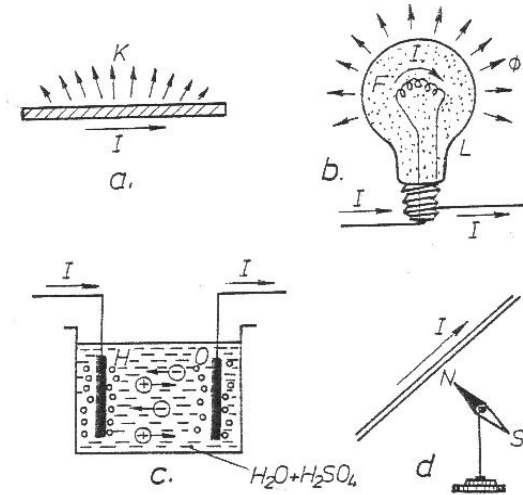


Fig.2.2 Efectele curentului electric:  
a. - termic; b. - luminos; c. - chimic; d. - magnetic.

Datorita acestei diferente, metalele se numesc *conductoare de speta intai*, iar solutiile chimice (electrolitii) – *conductoare de speta a doua*.

- **Efectul magnetic.** Dacă se apropie un ac magnetic al unei busole (fig.2.2,d) de un conductor parcurs de curent electric, acesta nu mai arata nordul, ci se plaseaza perpendicular pe directia conductorului, ceea ce dovedeste ca curentul electric produce un camp magnetic.

## LEGEA LUI OHM. REZISTENTELE ELECTRICE

### Legea lui Ohm

Experimental s-a stabilit ca, curentul electric  $I$  dintr-un conductor este direct proportional cu tensiunea  $U$  aplicata:

$$I = G \cdot U \quad (2.4)$$

in care  $G$  este un factor de proportionalitate numit *conductanta electrica*.

In mod obisnuit se foloseste o marime inversa conductantei numita *rezistenta electrica R*:

$$R = \frac{1}{G} \text{ sau } G = \frac{1}{R}$$

astfel ca, relația (2.4) se scrie de obicei sub forma:

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.5)$$

relatie cunoscuta sub numele de *legea lui Ohm*.

Intensitatea curentului electric  $I$  reprezinta raportul dintre tensiunea electrica  $U$  si rezistenta  $R$  a conductorului.

Din relația (2.5) se obtine o alta forma pentru legea lui Ohm:

$$R = \frac{U}{I} \left[ \frac{V}{A} \right] \quad (2.6)$$

Rezistenta unui conductor intre doua puncte este data de raportul dintre tensiunea  $U$  intre cele doua puncte si intensitatea  $I$  a curentului prin conductor.

**Observație.** Rezistenta electrica se măsoară in volti pe amperi  $[V / A]$ . Aceasta unitate de masura se numește ohm [simbol  $\Omega$ ].

$$1\Omega = 1 \frac{V}{A} \quad (2.7)$$

In sfarsit, relația (2.5) se mai poate scrie:

$$U = R \cdot I \quad (2.8)$$

Deci legea lui Ohm se poate enunța și în alta formă:

Un curent electric de intensitate  $I$  ce străbate rezistența electrică  $R$  produce la bornele sale o diferență de potențial (tensiune)  $U$  egală cu produsul  $RI$ .

Diferența de potențial produsă de trecerea curentului printr-o rezistență se numește și *cadere de tensiune* sau *pierdere de tensiune*.

### Rezistente electrice

Pentru un conductor de forma cilindrică de lungime  $l$  și secțiune  $S$ , rezistența  $R$  este proporțională cu lungimea  $l$  a conductorului și invers proporțională cu suprafața (secțiunea)  $S$ :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} [\Omega] \quad (2.9)$$

în care:

$\rho$  este un factor de proporționalitate denumit *rezistivitate*.

Rezistivitatea este o mărime specifică fiecărui material conductor. Din relația (2.9) se obține valoarea rezistivității:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L} \left[ \frac{\Omega \cdot m^2}{m} \right] \text{ sau } [\Omega \cdot m] \quad (2.10)$$

Pentru conductoarele uzuale rezistența  $R$  se exprimă în  $[\Omega]$ , lungimea  $l$  în  $[m]$ , secțiunea  $S$  în  $[mm^2]$ , iar rezistivitatea  $\rho$  în  $[\Omega mm^2 / m]$ .

Cu cât rezistivitatea este numeric mai mică, cu atât materialul este mai bun conductor (tabelul 2.1).

Tabelul 2.1.

Material	Rezistivitatea (la 20°C) $\rho(\Omega \text{ mm}^2 / m)$	Coefficient de temperatura $\alpha[1 / ^\circ C]$
Argint	0,0164 = 1/61	$3,6 \times 10^{-3}$
Cupru	0,0176 = 1/57	$4 \times 10^{-3}$
Aluminiu	0,029 = 1/34	$4,1 \times 10^{-3}$
Fier	0,13 = 1/7	$5 \times 10^{-3}$
Constantan	0,5 = 1 / 2	$0,005 \times 10^{-3}$
Manganin	0,42 = 1 / 2,4	$0,006 \times 10^{-3}$
Cromnichel	1,2 = 1 / 0,83	$0,8 \times 10^{-3}$

În tabelul 2.1, rezistivitatea a fost indicată atât sub forma zecimală, cât și sub forma fracționară care este mai sugestivă. Din relația (2.10) se observă că pentru un conductor de secțiune  $S = 1 \text{ mm}^2$  și rezistența  $R = 1\Omega$  numitorul din fracția care exprimă rezistivitatea reprezintă lungimea conductorului exprimată în metri. De exemplu:

$$1 \Omega (\text{conductor } 1 \text{ mm}^2) = 57 \text{ m conductor Cu} = 34 \text{ conductor Al etc.}$$

**Observația 1.** Conductoarele realizate din aliaje denumite: *constantan*, *manganin*, și *cromnichel* au rezistivități foarte mari:

$$1 \Omega (\text{conductor } 1 \text{ mm}^2) = 2 \text{ m conductor constantan} = 2,4 \text{ m conductor manganin} = \\ = 0,83 \text{ m conductor cromnichel}$$

Aceste materiale sunt folosite în realizarea industrială a rezistențelor electrice pentru fiare de calcat, resouri etc.

Dacă în locul rezistenței  $R$  se folosește conductanța  $G$  legea lui Ohm se scrie

$$I = G \cdot U$$

deci:

$$G = \frac{I}{U} \left[ \frac{A}{V} \right]$$



Conductanta se măsoară în

$$\left[ \frac{A}{V} \right] \equiv \frac{1}{\Omega} = \Omega^{-1} = mho$$

Unitatea de măsură  $\Omega^{-1}$  se numește mho (citește “mo”) sau siemens (citește “simens”). Valoarea inversă a rezistivității  $\rho$  se numește conductivitate  $\gamma$  și se măsoară în  $[m / \Omega mm^2]$  sau  $[mho \times m / mm^2]$ :

$$\gamma = 1 / \rho \quad (2.11)$$

Relația se mai poate scrie:

$$R = 1 / \gamma \cdot S \quad (2.12)$$

**Aplicația 1.** Care este intensitatea curentului absorbit de o rezistență de constantă având  $l = 20$  m,  $S = 2,5$  mm<sup>2</sup> și fiind supusă la o tensiune  $U = 12$  V?

*Răspuns:* Conform cu relația (2.9) și tabelul 2.1 rezistența este:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{2,5} = 4 \Omega$$

rezultă:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12}{4} = 3 A$$

**Aplicația 2.** Să se determine căderea de tensiune  $U$  pe conductor de aluminiu având  $l = 680$  m,  $S = 10$  mm<sup>2</sup> și care este străbătut de un curent  $I = 40$  A ?

*Răspuns:* Ca și în cazul precedent avem:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{1}{34} \cdot \frac{680}{10} = 2 \Omega$$

se obține:

$$U = R \cdot I = 2 \cdot 40 = 80 V$$

**Aplicația 3.** Ce lungime trebuie să aibă o rezistență  $R = 40 \Omega$  din sarma de constantan cu secțiunea  $S = 1,5$  mm<sup>2</sup> ?

*Răspuns:*

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{40 \cdot 1,5}{0,4} = 150 m$$

**Aplicația 4.** Curentul debitat de o mașină electrică este  $U_1 = 200$  V,  $I_1 = 5$  A; după un timp de funcționare, datorită încălzirii bobinajului, deci datorită măririi rezistenței, curentul a scăzut la valoarea  $I_2 = 4$  A, deci tensiunea a rămas neschimbată. Să se calculeze, temperatura  $\theta_2$  la care a ajuns bobinajul după funcționare, știind că temperatura inițială este  $\theta_1 = 20^\circ C$ , iar înfășurarea este confecționată din cupru.

*Răspuns:*

$$R_1 = \frac{200}{5} = 40 \Omega; R_2 = \frac{200}{4} = 50 \Omega$$

putem scrie:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)],$$

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha \theta_2 - R_1 \alpha \theta_1,$$

$$R_1 \alpha \theta_2 = R_2 - R_1 + R_1 \alpha \theta_1.$$

de unde rezultă ( $\alpha_{cu} = 4 \times 10^{-3} 1/^\circ C$  – tabelul 2.1-):

$$\theta_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \alpha} + \theta_1 = \frac{50 - 40}{40 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} + 20 = 82,5^\circ C$$

## Rezistoare fixe si reglabile

Rezistentele pentru obtinerea unor efecte electrice se realizeaza sub forma unor elemente fizice numite *rezistoare*. Ele se confecioneaza in diverse variante constructive:

- **Rezistoare fixe.** Se realizeaza sub anumite valori fixe ale rezistentei electrice, cum ar fi de exemplu rezistoarele pentru fiare de calcat ( $R = 44\Omega$ ) sau cele chimice folosite in radiofonie ( $R^* = 100\Omega, 500\Omega \dots 1\text{ k}\Omega, \dots 8,2\text{ k}\Omega \dots 2,2\text{ M}\Omega$ ).

\*  $1\text{ k}\Omega = 10^3\Omega$ ;  $1\text{ M}\Omega = 10^3\text{ k}\Omega = 10^6\Omega$ .

- **Rezistoare reglabile sau reostate.** Isi pot modifica rezistenta după dorinta cu ajutorul unor manete, roți de manevra, butoane etc. Se realizeaza in doua variante: *cu ploturi* sau *cu cursor*. Reostatele cu ploturi permit variatia discontinua (in trepte) a rezistentei (fig.2.3,a), iar cele cu cursor (fig.2.3,b) asigura variatia continua a rezistentei.

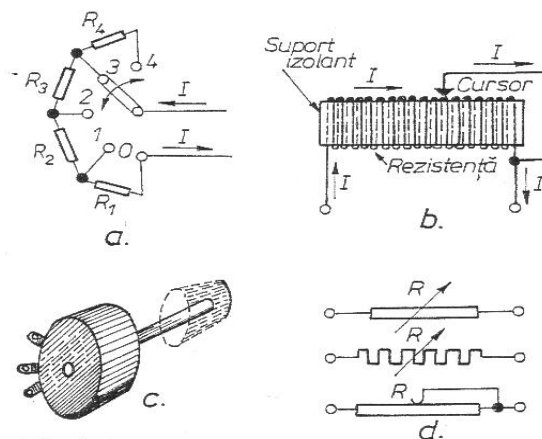


Fig.2.3 Rezistoare reglabile:  
a. -reostat cu ploturi; b. -reostat cu cursor;  
c. -potentiometru tip radio; d. -simboluri.

In categoria rezistoarelor reglabile se incadreaza si potentiometrele folosite in circuitele electronice (fig.2.3,c). In fig.2.3,d sunt prezentate unele simboluri folosite pentru rezistoare.

**Atentie!** Rezistorul este elementul fizic care este caracterizat de o serie de parametri ca: lungime, latime, culoare, masa si rezistenta.

## ENERGIA ELECTRICA. LEGEA JOULE – LENZ.

Daca un rezistor avand o rezistenta  $R$  este parcurs de curentul  $I$ , rezistorul degaja permanent caldura care partial este acumulata in masa sa, ridicandu-i temperatura, si partial este cedata mediului ambiant. Experimental s-a demonstrat ca energia curentului electric, pe scurt energia electrica  $W$ , este proportionala cu rezistenta  $R(\Omega)$ , cu patratul intensitatii  $I(\text{A})$  si cu timpul  $t(\text{s})$  cat dureaza trecerea curentului electric:

$$W = R \cdot I^2 \cdot t \text{ [J]} \quad (2.13)$$

Unitatea de masura pentru energie in sistemul SI este joul – ul [J]. Energia respectiva se transforma integral in caldura, relația (2.13) definind in acest caz legea Joule – Lenz.

Energia electrica  $W$  sau caldura  $Q$ , calculata cu relația (2.13), se poate exprima si in calorii (cal) tinand seama de faptul ca:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J} \quad \text{sau} \quad 1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$$

Rezulta deci:

$$Q = 0,24 \cdot R \cdot I^2 \cdot t \text{ [cal]} \quad (2.14)$$

Daca se tine seama de faptul ca  $RI = U$ , relația (2.13) se mai poate exprima si sub urmatoarele forme:

$$W = (R \cdot I) \cdot I \cdot t = U \cdot I \cdot t \quad (2.15)$$

sau:

$$W = R \cdot \left(\frac{U}{R}\right)^2 \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t \quad (2.16)$$

## PUTEREA ELECTRICA

După cum se stie, energia produsa sau transformata in unitatea de timp reprezinta puterea  $P$ :

$$P = \frac{W}{t} \left[ \frac{\text{J}}{\text{S}} \right] \quad (2.17)$$

Rezulta ca, puterea electrica se obtine din relatiile (2.13), (2.15) sau (2.16) prin impartirea cu timpul  $t$ :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{R \cdot I^2 \cdot t}{t} = R \cdot I^2 \quad (2.18)$$

sau:

$$P = U \cdot I \quad (2.19)$$

sau:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (2.20)$$

Unitatea de masura a puterii electrice rezulta din (2.17) ca fiind joul pe secunda [J / s] care in sistemul SI se numește *watt* (W).

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

In acelasi timp din relația (2.19) se obtine:

$$1 \text{ E} = 1 \text{ VA}$$

adica puterea de un watt este puterea corespunzatoare unui curent de un amper la o diferenta de potențial de un volt.

In practica, pentru masurarea puterii se folosesc frecvent multiplii watt – ului : kilowatt (kW) si megawatt (MW). Similar, pentru masurarea energiei se folosesc in afara de joul (wattsecunda) un multiplu al acestuia: kilowattora (kWh)

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

### RANDAMENT

In utilizarea energiei electrice, din intreaga putere  $P_t$  absorbita de la o sursa de energie, o parte din putere,  $\Delta p$ , se pierde prin efect Joule – Lenz (caldura), in conductoarele de legatura, precum si in alte elemente ale instalatiei, astfel ca, practic, se foloseste numai o parte din putere numita *putere utila*  $P_u$  :

$$P_u = P_t - \Delta p \quad (2.21)$$

Raportul dintre puterea utila  $P_u$  si puterea totala  $P_t$  absorbita se numește *randamentul* instalatiei electrice si se noteaza de obicei cu  $\eta$  (“ita”) :

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} \quad (2.22)$$

Tinand seama si de relația (2.21) randamentul mai poate fi exprimat si astfel:

$$\eta = \frac{P_t - \Delta p}{P_t} \quad (2.23)$$

sau:

$$\eta = \frac{P}{P_u + \Delta p} \quad (2.24)$$

Daca se are in vedere o anumita perioada de timp  $t$  in care se considera functionarea unei anumite instalatii electrice, prin inmultirea puterilor din expresiile (2.22), (2.23) si (2.24) cu timpul  $t$  se obtin energiile corespunzatoare:

- energia totala :  $W_t = P_t t$  ;
- energia utila :  $W_u = P_u t$  ;
- pierderea de energie :  $\Delta W = \Delta p t$ .

In acest caz, randamentul  $\eta$  mai poate fi exprimat si sub urmatoarele forme:

$$\eta = \frac{W_u}{W_t} = \frac{W_t - \Delta W}{W_t} = \frac{W_u}{W_u + \Delta W} \quad (2.25)$$

**Observație.** Din relatiile (2.21) ... (2.25) se constata ca randamentul este intotdeauna subunitar ( $\eta < 1$ ).

**Aplicația 5.** Sa se calculeze energia electrica (kWh) absorbita de o rezistenta  $R = 60 \Omega$  parcursa de un curent  $I = 10 \text{ A}$  in timpul  $t = 10 \text{ min}$ .

*Răspuns:*

$$t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

Conform cu relația (2.13):

$$W = R \cdot I^2 \cdot t = 60 \cdot 10^2 \cdot 600 = 3600000 \text{ J} = 1 \text{ kWh}$$

**Aplicația 6.** Sa se calculeze echivalentul caloric al unui kilowattora.

*Răspuns:*

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$$

deci:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \cdot 0,24 = 864000 \text{ cal} = 864 \text{ kcal}$$

**Aplicația 7.** Un cuptor electric având o rezistență  $R = 3\Omega$  este alimentat la tensiunea  $U = 120 \text{ V}$ . Se cere: a) – puterea absorbită de cuptor;  
b) – energia consumată în 40 min. de funcționare;  
c) – energia utilă dacă în timpul de 40 min. un bloc de oțel cu masă  $m = 19 \text{ kg}$ . Este încălzit de la temperatura  $t_1 = 15^\circ\text{C}$  la temperatura  $t_2 = 1200^\circ\text{C}$ , căldura specifică a oțelului fiind  $c = 0,11 \text{ kcal / kg}^\circ\text{C}$ .  
d) – randamentul cuptorului.

*Răspuns:*

a) Puterea absorbită  $P$ :

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{120^2}{3} = 4800 \text{ W} = 4,8 \text{ kW}$$

b) Energia absorbită  $W$ :

$$W = P \cdot t = 4800 \cdot 40 \cdot 60 = 11520000 \text{ J}$$

$$W = \frac{11 \cdot 520000}{3,6 \cdot 10^6} = 3,2 \text{ kWh}$$

c) Energia utilă  $W_u$  pentru încălzirea blocului de oțel este:

$$W_u = mc(t_2 - t_1) = 19 \text{ kg} \cdot 0,11 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 1185^\circ\text{C} = 2480 \text{ kcal}$$

Conform rezultatului din aplicația precedentă se poate scrie:

$$W_u = \frac{2480 \text{ kcal}}{864 \text{ kcal / kWh}} = 2,87 \text{ kWh}$$

d) Randamentul cuptorului este:

$$\eta = \frac{W_u}{W} = \frac{2,87 \text{ kWh}}{3,2 \text{ kWh}} = 0,9 = 90\%$$

## RETELE DE CURENT CONTINUU

### Circuit închis. Tensiune electromotoare

Curentul electric poate circula numai într-un circuit închis care să cuprindă cel puțin o sursă de energie  $S$  și cel puțin un conductor care să închidă circuitul parcurs de curent.

Sursa produce la bornele sale  $A$  și  $B$  o tensiune  $E$  care dă naștere în conductorul de rezistență  $R$  unui curent electric de intensitate  $I$ , în conformitate cu legea lui Ohm [ $I = U/R$ ].

### TEOREMELE LUI KIRCHHOFF

Pentru rezolvarea rețelelor electrice complexe se folosesc, pe lângă legea lui Ohm, și teoremele (legile) lui Kirchhoff.

**TEOREMA I A LUI KIRCHHOFF.** Considerând un nod  $n$  al unei rețele complexe oarecare (fig.2.4) în care se întâlnesc un număr oarecare de laturi – de exemplu cinci – se demonstrează prima teoremă a lui Kirchhoff și anume că suma curenților care intră în nod ( $I_1 + I_2 + I_4$ ) este egală cu suma curenților care ies din nod ( $I_3 + I_5$ ):

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5 \tag{2.26}$$

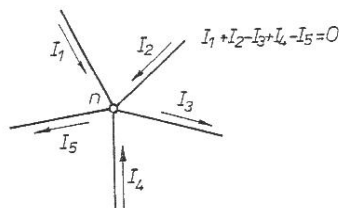


Fig.2.4 Nodul unei rețele electrice.

O asemenea constatare ne apare logica tinand seama de principiul conservarii sarcinilor electrice in nodul considerat, adica: cantitatea de electricitate (numarul de electroni)  $I_1 dt + I_2 dt + I_4 dt$  care intra in nod in timpul  $dt$  este egal cu cantitatea de electricitate  $I_3 dt + I_5 dt$  care iese din nod in acelasi timp:

$$dQ_1 + dQ_2 + dQ_4 = dQ_3 + dQ_5 \quad (2.27)$$

Relația (2.26) se mai poate scrie si sub forma:

$$I_1 + I_2 + (-I_3) + I_4 + (-I_5) = 0 \quad (2.28)$$

Sub aceasta forma, convenind sa se considere pozitivi curentii care intra in nod si negativi curentii care ies din nod, teorema I a lui Kirchhoff se poate enunta astfel: *suma algebrica a curentilor care intra intr-un nod al unei retele electrice este egala cu zero:*

$$\sum I = 0 \quad (2.29)$$

### TEOREMA A II-A A LUI KIRCHHOFF.

Pentru a putea enunta aceasta teorema sunt necesare unele precizari si conventii ce trebuie avute in vedere.

- O succesiune de laturi ale unei retele complexe care formeaza un circuit ce se inchide – ajunge in punctul din care a plecat – se numește *circuit inchis, ochi sau bucla a retelei*. De exemplu, circuitul  $A - B - C - D \dots A$  (fig.2.5) constituie un circuit inchis.
- Sa presupunem ca in circuitul din fig.2.5 curentii  $I_1, I_2, I_3$  si  $I_4$  din cele patru laturi ale circuitului inchis considerat au sensurile de circulatie din figura, si ca se admite un anumit sens (arbitrar) de parcurgere al acestui circuit (sensul trigonometric pozitiv) adica  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow A$ .

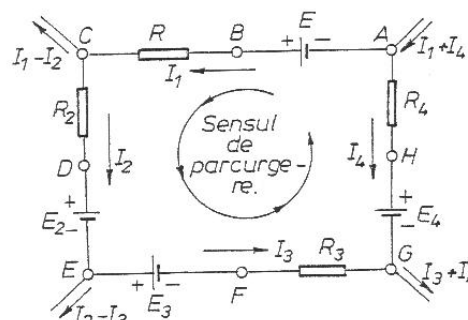


Fig.2.5 Circuit închis (bucla) al unei retele.

Se stabilesc urmatoarele conventii:

- Daca sensul de parcurgere al circuitului coincide cu sensul de debitare al sursei (trece prin sursa de la minus spre plus) atunci sursa se considera generatoare si i se atribuie semnul + (in fig.2.5 avem  $+E_1$  si  $+E_4$ ), iar daca situatia este inversa sursa se considera receptoare si i se atribuie semnul - (in fig.2.5 avem  $-E_2$  si  $-E_3$ ).
- Daca sensul de parcurgere a circuitului coincide cu sensul curentului in latura respectiva, caderea de tensiune  $RI$  pe rezistenta este considerata pozitiva atribuindu-i-se semnul + (in fig.2.5 avem  $+R_1 I_1, +R_2 I_2$  si  $+R_3 I_3$ ), iar daca situatia este inversa caderea de tensiune este considerata negativa, atribuindu-i-se semnul - (in fig.2.5 avem  $-R_4 I_4$ ).

Adoptand aceste conventii, teorema a II-a a lui Kirchhoff se enunta astfel: *intr-un circuit electric inchis suma algebrica a tensiunilor electromotoare este egala cu suma algebrica a caderilor de tensiune.*

Pentru exemplul din fig.2.5 si conform celor stabilite se poate scrie:

$$E_1 - E_2 - E_3 + E_4 = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 - R_4 I_4 \quad (2.30)$$

sau intr-o forma generala:

$$\sum E = \sum RI \quad (2.31)$$

Pentru demonstrarea acestei teoreme se va nota cu  $V_A, V_B, V_C, \dots, V_H$  potențialele punctelor (atentie! numai punctele A, C, E si G sunt noduri) A, B, C ... H din circuitul inchis din fig.2.5 si pe baza celor cunoscute se vor scrie succesiv urmatoarele ecuatii:

$$V_A - V_B = (V_B - V_A) = -E_1 \quad (2.32)_1$$

$$V_B - V_C = R_1 I_1 \quad (2.32)_2$$

$$V_C - V_D = R_2 I_2 \quad (2.32)_3$$

$$V_D - V_E = E_2 \quad (2.32)_4$$

$$V_E - V_F = E_3 \quad (2.32)_5$$

$$V_F - V_G = R_3 I_3 \quad (2.32)_6$$

$$V_G - V_H = -(V_H - V_G) = -E_4 \quad (2.32)_7$$

$$V_H - V_A = -(V_A - V_H) = -R_4 I_4 \quad (2.32)_8$$

Adunand cele opt relatii membru cu membru, se observa ca suma termenilor din membrul intai este nula ( $V_A - V_B + V_B - V_C + V_C - V_D \dots - V_A = 0$ ) deci si suma termenilor din membrul doi este de asemenea nula:

$$0 = -E_1 + R_1 I_1 + R_2 I_2 + E_2 + E_3 + R_3 I_3 - E_4 - R_4 I_4$$

sau:

$$E_1 - E_2 - E_3 + E_4 = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3 - R_4 I_4$$

Astfel ca teorema a II – a lui Kirchhoff este demonstrata – s-a obținut relația (2.30).

## SURSE SI RECEPTOARE. METODE DE CONECTARE

### Surse electrice

O sursa producatoare de curent continuu (generator de curent continuu – dinam sau baterie de acumuloare) este caracterizata printr-o tensiune electromotoare  $E$ . Aceasta tensiune poate fi masurata la bornele sursei numai daca aceasta functioneaza in gol (nu debiteaza curent). La functionarea in sarcina, datorita unei rezistente interne  $r$  a sursei, tensiunea  $U$  la borna este mai mica decat tensiunea electromotoare  $E$  datorita unei caderi de tensiune interne  $\Delta U$ . In aceasta situatie (fig.2.5) curentul debitat de sursa conform legii lui Ohm este:

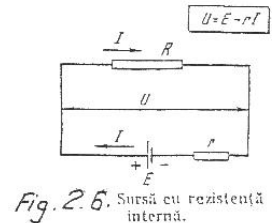


Fig. 2.5. Sursă cu rezistență internă.

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (2.33)$$

de unde rezulta tensiunea  $U$  la borne:

$$U = E - r \cdot I = E - r \cdot \frac{E}{R + r} = \frac{E \cdot R}{R + r} \quad (2.34)$$

Tinand seama de relația (2.33) se obtine in definitiv:

$$U = R \cdot I \quad (2.35)$$

**Observație.** Din relația (2.34) se observa ca pentru  $I = 0 \Rightarrow U = E$ .

După cum s-a mai aratat, sursele electrice de producere a curentului continuu se realizeaza, fie sub forma unor masini electrice rotative – dinam – care produc curentul electric la diverse tensiuni (de la cativa volti pana la cateva sute de volti), fie sub forma unor pile sau acumuloare care contin energia electrica acumulata sub o forma chimica.

### Randamentul surselor electrice

Relația (2.34) mai poate fi scrisa sub forma:

$$E = U + r \cdot I \quad (2.36)$$

Inmultind aceasta relatie cu  $I$  se obtine:

$$E \cdot I = U \cdot I + r \cdot I^2 \quad (2.37)$$

Aceasta expresie reprezinta bilantul puterilor electrice care intervin intr-o asemenea situatie:

$$EI = P_g = \text{puterea debitata de sursa};$$

$$UI = P_u = \text{puterea debitata in circuitul exterior};$$

$$RI^2 = \Delta P = \text{puterea pierduta in rezistenta internă.}$$

**Observație.** Pierderea de putere  $\Delta P$  se transforma in caldura, motiv pentru care in functionare se incalzeste.

Din relația (2.37) se poate deduce randamentul sursei electrice:

$$\eta = \frac{P_u}{P_g} = \frac{U \cdot I}{E \cdot I} = \frac{U}{E} \quad (2.38)$$

### Pile si acumuloare electrice

#### a) Tensiunea electromotoare electrolitica.

Daca se confunda un electrod metalic intr-un electrolit se constata ca intre electrod si electrolit apare o diferenta de potențial care depinde de natura electrodului, a electrolitului si de concentratia in ioni a electrolitului. Aceasta diferenta de potențial numita *diferenta de potențial electrolitica* se explica prin faptul ca, fie ca ionii pozitivi ai electrolitului trec in electrodul de metal, acesta devenind pozitiv fata de electrolit, fie invers, caz in care metalul devine negativ fata de electrolit.

In tabelul 2.2 sunt indicate diferentele de potențial electrolitice  $e$  ale unor metale.

Tabelul 2.2

Metalul	$e[V]$	Metalul	$e[V]$
Potasiu (K)	- 2,92	Plumb (Pb)	- 012
Sodiu (Na)	- 2,71	Hidrogen ( H )	0
Zinc (Zn)	- 0,76	Cupru ( Cu )	+ 0,34
Fier (Fe)	- 0,43	Argint ( Ag )	+ 0,8
Cadmium (Cd)	- 0,40	Mercur (Hg)	+ 0,86

Daca intr-un electrolit (fig.2.7) se introduc doi electrozi metalici diferiti  $A$  si  $B$  avand diferenta de potențial electrolitic  $e_A$  si  $e_B$ , intre cei doi electrozi apare o diferenta de potențial:

$$e_{AB} = e_A - e_B \quad (2.39)$$

Ca urmare, legand intre ei cei doi electrozi ia nastere un curent electric care circula in exterior de la electrodul cu potențial mai ridicat (pozitiv) spre cel cu potențial mai coborat (negativ).

S-a creat astfel o sursa de energie electrica care transforma energia chimica in energie electrica. Aceste surse se numesc elemente galvanice si se impart in doua mari categorii: *pile electrice si acumuloare*.

Diferenta de potențial  $e_{AB}$  se numește *tensiune electromotoare electrolitica*.

De exemplu, tensiunea electromotoare a unui element galvanic avand electrozi din cupru ( $e_A = + 0,34$  V) si zinc ( $e_B = - 0,76$  V) va avea tensiunea electromotoare:

$$E_{AB} = e_A - e_B = + 0,34 - (- 0,76) = 1,1$$

**Observație.** Daca cei doi electrozi sunt realizati din acelasi material tensiunea electromotoare electrolitica este nula deoarece diferentele de potențial partiale sunt egale si opuse.

#### b) Pile electrice.

Sunt elemente galvanice la care in urma fenomenelor de electroliza produse de curentul debitat electrolizii si electrolitul se uzeaza complet si, ca urmare, aceste elemente nu pot fi refozosite. Dintre numeroasele tipuri de pile electrice se mentioneaza cele umede, ca de exemplu, elementul Volta cu electrozi din zinc si cupru ( $e_{AB} = 1,1$  V) cufundati intr-osolutie de acid sulfuric precum si cele uscate realizate sub forma unui pahar de zinc in care se introduce un electrod de carbune intr-o solutie de amoniac  $NH_4Cl$  ( $e_{AB} = 1,5$  V). Pilele uscate se intalnesc in comert sub denumirea de baterii de lanterna, avand 1,5 V, 4,5 V ( trei baterii legate in serie), 9 V etc. si sunt fabricate si in tara noastra la intreprinderea EL-BA (Electrobanat) – Timisoara.

#### c) Acumuloare electrice.

Sunt elemente galvanice, reversibile, adica la care fenomenele chimice care au loc in timpul debitarii curentului (descarcarea acumulatorului) se produc in sens invers atunci cand prin element trece un curent de sens contrar curentului de descarcare (incarcarea acumulatorului). Acumuloarele sunt de doua tipuri principale: *acide si alcaline*.

Acumuloarele acide au electrozii din plumb si respectiv oxid de plumb, iar ca electrolit folosesc solutie de acid sulfuric. Tensiunea electromotoare a unui element este de 2 ... 2,2 V, minima fiind de 1,85 V. Descarcarea sub aceasta limita nu este admisa deoarece elementul se strica (se sulfataza). In regim de incarcare tensiunea pe element creste la V 2,6 – 2,7 producandu-se la sfarsitul incarcarii o degajare de bule de hidrogen; se spune ca acumulatorul “fierbe”.

Acumuloarele se construiesc sub forma unor baterii formate din 3, 6, 12 ... elemente avand astfel tensiuni nominale de 6, 12, 24, ... volti.

Ca regula generala acumuloarele sunt folosite in tampon cu o sursa de curent continuu – dinam sau redresor – ca de exemplu pe autovehicule; in acest caz, la pornire se absoarbe din baterie energia electrica necesara pornirii, iar in functionare, alimentarea se face din dinam incarcandu-se concomitent si bateria de acumuloare.

Acumuloarele alcaline au electrozi din fier si nichel iar ca electrolit se foloseste hidratul de potasiu (KOH). Aceste tipuri de acumuloare sunt mai robuste si mai usoare pentru aceeasi capacitate, fiind in schimb mai scumpe.

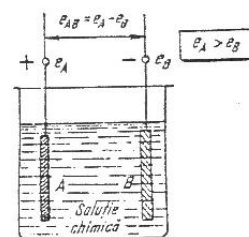


Fig. 2.7. Element galvanic.

Capacitatea unui acumulator se măsoară în amper-ora (Ah) care reprezintă produsul între curentul debitat și timpul în care acest curent poate fi debitat. Se consideră ca curentul nominal  $I_n$  al unei baterii curentul corespunzător unei funcționări de 10 ore.

De exemplu, o baterie tip auto de  $U_n = 12\text{ V}$  are capacitatea  $C = 60\text{ Ah}$ , ceea ce corespunde unui curent nominal  $I_n = 6\text{ A}$ . Aceasta înseamnă că în funcționare normală (nominală) o asemenea baterie poate debita o putere  $P_n = U_n I_n = 12 \times 6 = 72\text{ W}$  timp de 10 ore.

**Observație.** Pentru un timp foarte scurt (2 – 3 s) o baterie poate debita curenti de 8 – 10 ori  $I_n$ .

### RECEPTOARE

Sarcinile (receptoarele) exterioare ale circuitelor de curent continuu sunt în principal rezistoarele care, după cum s-a arătat, fiind caracterizate printr-o rezistență  $R$  produc:

- căderea de tensiune  $\Delta U = R I$ ,
- pierderea de putere  $\Delta P = R I^2$ ,

în care  $I$  este curentul ce străbate rezistorul respectiv. În subsidiar, tot ca receptoare de curent continuu sunt considerate și sursele străbătute de curent în sens invers sensului lor de debitare, adică, de exemplu, bateriile de acumulare funcționând în regim de încărcare.

### Legarea rezistoarelor

#### a) Legarea în serie.

Considerând pe o latură a unei rețele complexe mai multe rezistoare având rezistențele  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$  legate în serie (fig.2.8,a) ele vor fi străbătute de același curent  $I$ . Acest curent va produce în rezistoare caderile de tensiune:

$$U_1 = R_1 I; \quad U_2 = R_2 I; \quad \dots \quad U_n = R_n I \quad (2.40)$$

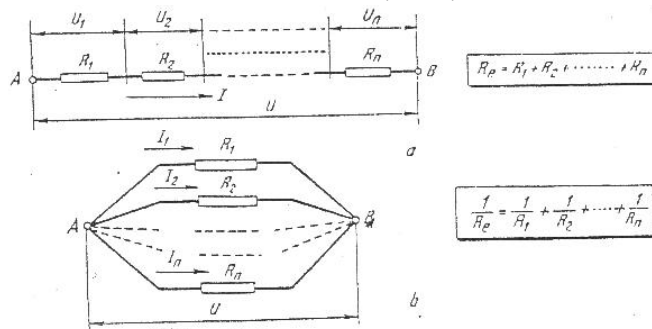


Fig. 2.8. Legarea rezistoarelor:  
a – în serie; b – în paralel.

Suma acestor caderi de tensiune este egală cu tensiunea totală  $U$  aplicată grupului de rezistoare:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = R_1 I + R_2 I + \dots + R_n I = (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \cdot I \quad (2.41)$$

Conform legii lui Ohm rezistența echivalentă  $R_e$  este egală cu raportul dintre  $U$  și  $I$ . Astfel din relația (2.41) rezultă:

$$R_e = \frac{U}{I} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2.42)$$

Rezistența echivalentă  $R_e$  a mai multor rezistoare legate în serie având rezistențele  $R_1, R_2, \dots, R_n$  este egală cu suma rezistențelor respective.

**Observație.** În cazul a  $n$  rezistențe identice  $R$  legate în serie rezistența echivalentă este:

$$R_e = n \cdot R \quad (2.43)$$

**Atenție!** Rezistența echivalentă este mai mare decât cea mai mare rezistență parțială.

#### b) Legarea în paralel.

Considerând mai multe rezistoare având rezistențele  $R_1, R_2, \dots, R_n$  legate în paralel (fig.2.8,b) acestea fiind supuse tensiunii comune  $U$ , vor fi parcurse de curenții  $I_1, I_2, \dots, I_n$  definiți de legea lui Ohm:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad \dots \quad I_n = \frac{U}{R_n} \quad (2.44)$$

Conform primei teoreme a lui Kirchhoff curentul total  $I$  absorbit de cele  $n$  rezistențe va fi egal cu suma curenților ce străbat rezistențele respective:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (2.45)$$

**Observație.** Aceasta relație este valabilă și în nodul  $A$  și în nodul  $B$  al rețelei.



Inlocuind in (2.45) valorile curentilor din relatiile (2.44) se obtine:

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n} = U \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) = U \cdot \frac{1}{R_e} \quad (2.46)$$

de unde, prin identificare, se obtine:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (2.47)$$

Valoarea inversa a rezistentei echivalente  $R_e$  a mai multor rezistoare legate in paralel si avand rezistentele  $R_1, R_2, \dots, R_n$  este egala cu suma valorilor inverse ale rezistentelor respective.

**Observație.** In cazul a  $n$  rezistente identice  $R$  legate in paralel, rezistenta echivalenta  $R_e$  va fi data de expresia:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{n}{R} \text{ sau } R_e = \frac{R}{n}$$

**Atentie!** Rezistenta echivalenta este mai mica decit cea mai mica rezistenta partiala.

### b) Legarea mixta.

Este o legare combinata serie – paralel. Pentru determinarea rezistentei echivalente  $R$  se determina valoarea rezistentelor echivalente ale fiecarui grup de rezistente paralele – conform relatiei (2.55) obtinandu-se un numar oarecare de rezistente (reale si echivalente) care sunt legate in serie, adica se aduna – conform relatiei (2.42) etc.

**Aplicatie.** Sa se calculeze rezistenta echivalenta a schemei de rezistoare din figura 2.9,a.

*Răspuns:* Se calculeaza rezistenta echivalenta  $R_6$  a rezistentei  $R_2 = 20 \Omega$  in paralel cu  $R_3 = 30 \Omega$  conform relatiei:

$$\frac{1}{R_6} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}; R_6 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12 \Omega$$

$$R_7 = R_1 + R_6 = 28 + 12 = 40 \Omega$$

$$R_8 = \frac{R_4 \cdot R_7}{R_4 + R_7} = \frac{40 \cdot 60}{40 + 60} = 24 \Omega$$

$$R_e = R_8 + R_5 = 24 + 11 = 35 \Omega$$

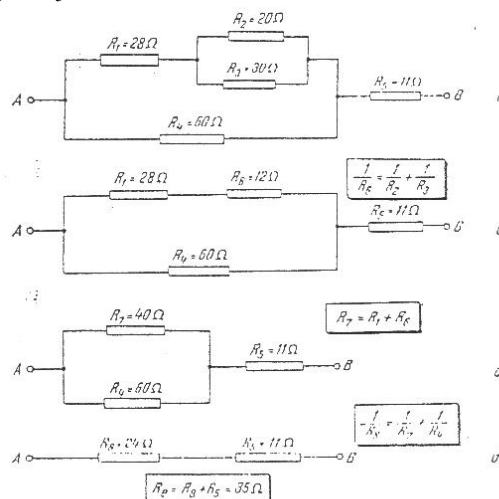


Fig. 2.9. Legarea mixtă a rezistoarelor – aplicație:  
a – schema inițială; b, c, d – scheme echivalente.

## Legarea surselor electrice

### a) Legarea in serie

In cazul in care se doresc tensiuni mai mari, sursele se leaga in serie figura (2.10,a). Sursa echivalenta astfel obtinuta va avea:

- tensiunea echivalenta  $E_e$  egala cu suma tensiunilor parțiale  $E_1, E_2 \dots E_n$ :

$$E_e = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (2.48)$$

- rezistenta internă echivalenta  $r_e$  egala cu suma rezistentelor interne parțiale:

$$r_e = r_1 + r_2 + \dots + r_n \quad (2.49)$$

De obicei se leaga in serie  $n$  acumuloare identice de tensiune electromotoare  $E$  si capacitate  $C$  si se obtine o baterie cu tensiunea  $E_e = n \cdot E$  si rezistenta interna  $r_e = n \cdot r$  in sa de aceea si capacitate  $C$ , intrucit curentul nominal ramine neschimbat. De exemplu, conectind in serie 10 acumuloare de 12 V si 60 Ah se obtine o baterie de 120 V si 60 Ah.

**Atentie!** Desi curentul nominal al bateriei a ramas acelasi cu acela al unui singur acumulator ( $I_n = 6A$ ) in schimb, datorita cresterii tensiunii, puterea nominala a crescut de 10 ori.

$$(P_n = E_n I_n = 120 \times 6 = 720 \text{ W})$$

### b) Legarea in paralel

Daca sunt necesari curenti mai mari, acumuloarele se leaga in paralel figura 2.10,b.

**Observație.** Daca la legarea in serie se pot folosi surse de tensiune diferite, la legarea in paralel este obligatoriu folosirea acumuloarelor cu aceea si tensiune electromotoare – de preferinta identice. Legind in paralel  $m$  acumuloare identice de tensiune  $E$  si capacitate  $C$  se obtine o baterie cu aceea si tensiune  $E_e = E$  in sa cu capacitate de  $m$  ori mai mare ( $C_e = m C$ ) si o rezistenta interna ( $r_e = r / m$ ) de  $m$  ori mai mica.

De exemplu, conectind in paralel 10 acumuloare de 12 V si 60 Ah se obtine o baterie de 12 V si 600 Ah. Desi tensiunea nominala a bateriei a ramas aceea si ( $E_n = 12 \text{ V}$ ) in schimb, datorita cresterii curentului, puterea nominala a crescut de 10 ori.

$$(P_n = E_n 12 \times 60 = 720 \text{ W}).$$

Asadar puterea ce o poate furniza bateria nu depinde de modul de conectare al acumuloarelor.

### c) Legarea mixta

Reprezinta o legare combinata serie – paralel. Considerand ca se leaga mai multe acumuloare identice de tensiune electromotoare  $E$ , capacitate  $C$ , curent nominal  $I$ , putere  $P$  si rezistenta interna  $r$  intr-un montaj mixt cuprinzand  $m$  ramuri in paralel, fiecare avand cate  $n$  acumuloare legate in serie, (fig.2.10,c) se obtine o baterie echivalenta cu urmatoarele caracteristici:

- tensiunea electromotoare echivalenta:

$$E_e = nE \tag{2.50}$$

- capacitatea echivalenta:

$$C_e = mC \tag{2.51}$$

- rezistenta echivalenta:

$$r_e = n/m r \tag{2.52}$$

- numarul de acumuloare:

$$a = mn \tag{2.53}$$

- curentul nominal echivalent:

$$I_e = mI \tag{2.54}$$

- puterea nominala echivalenta:

$$P_e = mnP \tag{2.55}$$

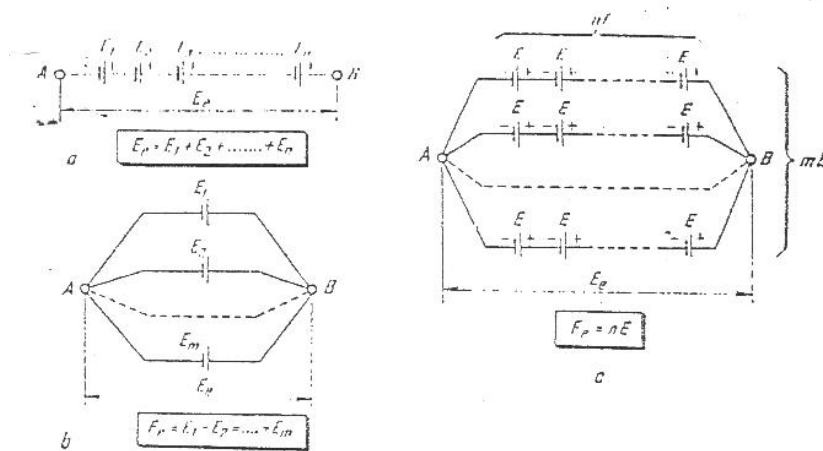


Fig. 2.10

Legarea surselor electrice:  
a – in serie; b – in paralel; c – mixta.

## CAPITOLUL III. ELECTROMAGNETISM

### FENOMENE MAGNETICE SI ELECTROMAGNETICE

#### Fenomene magnetice

Sunt cunoscute proprietățile unor bucăți de metal (magneți permanenți) realizate pe cale naturala sau artificiala de a atrage obiecte de otel sau de a orienta in diverse moduri acul unei busole. Se spune ca acești magneți permanenți poseda un câmp magnetic (de fapt este vorba despre un câmp de forțe magnetice) care acționează prin forțe de-a lungul unor linii de forță ce pornesc de la un capăt al magnetului (polul nord – N- ) si se închid la celalalt capăt al sau (polul sud – S- ) (fig.3.1).

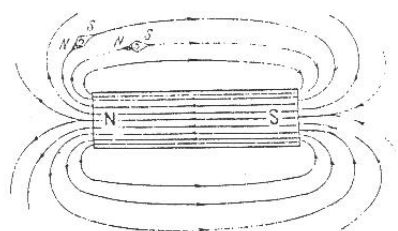


Fig. 3.1. Câmpul magnetic al unui magnet permanent.

Traseul acestor linii de forță poate fi pus in evidenta, de exemplu, prin plimbarea unui ac magnetic – busola – in jurul magnetului, acesta plasându-se întotdeauna in lungul liniilor de forță magnetice, polul nord al acului indicând sensul câmpului.

**Observație.** Polul *N* al acului este orientat spre polul *S* si invers.

#### Fenomene electromagnetice

Experimental s-a constatat ca si curenții electrici creează in jurul lor câmpuri magnetice a căror prezenta este pusa in evidenta, de exemplu, cu ajutorul acului magnetic care indica traseul si sensul liniilor de forță.

Astfel, liniile de forță ale câmpului magnetic produse de un curent *I* intr-un conductor rectiliniu (fig.3.2,a) sunt circulare si concentrice fata de conductor. In ceea ce privește sensul liniilor de forță ale câmpului magnetic, acesta se determina cu regula burghiului (sau a șurubului normal cu filet, de dreapta) care arata ca: liniile magnetice de forță au sensul de rotire al unui burghiu care înaintează in sensul de deplasare al curentului (fig.3.2,a). In cazul unei spire conductoare parcursa de un curent *I* liniile de forță ale câmpului magnetic au aspectul din fig.3.2,b.

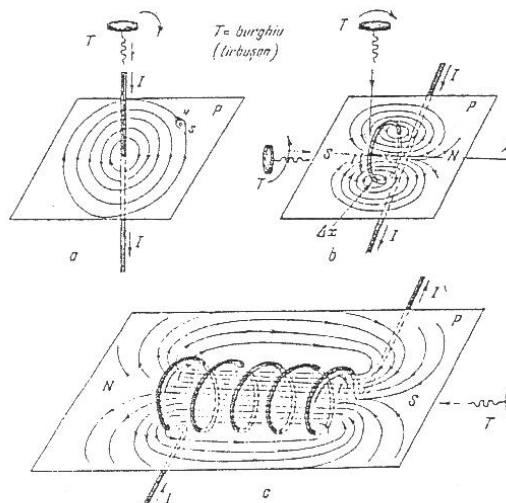


Fig. 3.2 Câmpul electromagnetic produs de: a – un conductor linear; b – o spira; c – un solenoid.

Sensul liniilor de forță ale câmpului magnetic se determina cu aceeași regula a burghiului in care acest caz este mai comod sa fie aplicata sub forma următoare: liniile de forță magnetice se deplasează in sensul de înaintare al burghiului (fig.3.2,b).

**Observație. 1.** In ambele formulări legea burghiului este aceeași. Daca se considera un element  $\Delta x$  din conductor (fig.3.2,b) in punctul in care acesta înțeapă planul imaginar *P* se poate observa ca legea burghiului poate fi aplicata si in prima formulare.

**Observație. 2.** Liniile de forță au fost trasate numai in planul imaginar *P* perpendicular pe planul spirei (fig.3.2,b). In realitate ele exista in mod uniform in întreg spațiul din jurul spirei, aspectul lor – spectrul magnetic – fiind același in oricare alt plan perpendicular pe planul spirei (planul *P* rotit in jurul axei *A* de simetrie a spirei).

In sfârșit, daca se considera o bobina (solenoid) parcursa de un curent *I* spectrul magnetic al liniilor de forță va fi acela din fig.3.2,c lucru care ne apare logic ținând seama de faptul ca o bobina nu reprezintă altceva decât un număr de spire inseriate la care se aplica aceleași reguli ca mai înainte.

Se constata ca, spectrul magnetic al unui solenoid (fig.3.2,c) este practic identic cu al unui magnet permanent care ar ocupa spațiul din interiorul bobinei. Prin identificarea fenomenelor se poate vorbi in acest caz si de un pol nord (*N*) respectiv de un pol sud (*S*) al bobinei.

Din cele arătate mai sus rezulta ca, in afara câmpului electric care se manifesta in conductoare (sensul lui fiind același cu cel al curentului electric) întotdeauna este prezent si un câmp magnetic ( ale cărui linii de forță sunt perpendiculare pe cele ale câmpului electric) dependent de cel electric si cu care constituie in ansamblu *câmpul electromagnetici*.

# INDUCTIA MAGNETICA SI INTENSITATEA CÂMPULUI MAGNETIC

## Inducția magnetică

Câmpul magnetic se poate caracteriza în fiecare punct al sau printr-o mărime vectorială  $B$  numită inducție magnetică. Aceasta mărime depinde de valoarea curentului care a produs câmpul magnetic și în sistemul de unități SI și se măsoară într-o unitate numită tesla (T). De exemplu, pentru un solenoid care se încheie sub forma de inel – tor – fig.3.3 și care este parcurs de curentul  $I$ , valoarea inducției magnetice  $B$  în interiorul bobinei inelare este:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{n}{l} \cdot I [T] \quad (3.1)$$

în care:  $n$  - numărul de spire al solenoidului;

$l$  - lungimea medie a torului ( $l = 2\pi r$ ;  $r$  fiind raza torului);

$\mu_0$  - permeabilitatea magnetică a vidului, practic egală cu a aerului, în care se găsesc liniile de forță.

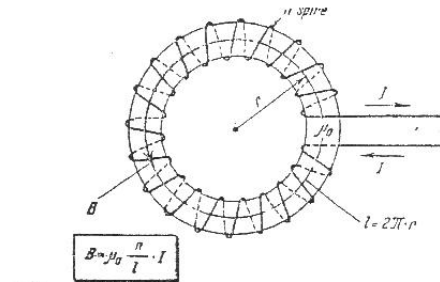


Fig. 3.3. Inducția magnetică într-un tor.

De fapt, într-un caz general factorul  $\mu$  reprezintă o mărime specifică fiecărui mediu material străbătut de liniile de forță ale câmpului magnetic.

Permeabilitatea magnetică a vidului are o valoare constantă:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \left[ \frac{T \cdot m}{A} \right] \quad (3.2)$$

Dacă în interiorul aceleiași bobine – torului – se afla alt material, de exemplu oțel, valoarea inducției se modifică deși curentul  $I$  a rămas același:

$$B = \mu \cdot \frac{n}{l} \cdot I \quad (3.3)$$

ceea ce dovedește că permeabilitatea magnetică  $\mu$  este diferită pentru diferite materiale.

Raportul dintre permeabilitatea magnetică  $\mu$  a unui mediu material oarecare și permeabilitatea magnetică  $\mu_0$  a vidului se numește *permeabilitate magnetică relativă*  $\mu_r$ , adică:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

## Intensitatea câmpului magnetic

Dacă pentru un mediu magnetic omogen dintr-un câmp magnetic se raportează valoarea inducției magnetice la valoarea permeabilității magnetice se obține o mărime vectorială  $H$ , în fază cu  $B$ , numită intensitatea câmpului magnetic.

În cazul bobinei toroidale se obține:

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{n}{l} \cdot I \left[ \frac{A}{m} \right] \quad (3.4)$$

**Observația 1.** Spre deosebire de inducția magnetică  $B$  intensitatea câmpului magnetic  $H$  nu depinde de natura mediului material.

**Observația 2.** Unitatea de măsură pentru intensitatea câmpului magnetic este  $[A / m]$  sau – din relația 3.4- observând că  $n$  este numărul total de spire al bobinei ( $n$  este un număr fără dimensiuni) se poate spune că  $H$  poate fi exprimat în amperspire pe metru (de lungime). Din relația (3.4) se deduce:

$$B = \mu \cdot H \quad (3.5)$$

relație care este valabilă pentru orice circuit magnetic. Prin circuit magnetic se înțelege orice circuit închis străbătut de liniile de forță magnetice.

## FORTE ELECTROMAGNETICE SI ELECTRODINAMICE. FLUX MAGNETIC.

### Forțe electromagnetice.

Daca intr-un câmp magnetic (produs de un magnet sau de un curent electric – electromagnet -) se introduce un conductor parcurs de curent, acesta va fi supus unei forțe mecanice numita *forță electromagnetica*.

Direcția de acțiune a acestei forțe este perpendiculara pe planul constituit din vectorul inducție magnetica  $B$  si de direcția curentului  $I$ .

Daca direcția curentului din conductorul de lungime  $l$  este perpendiculara pe direcția liniilor de forță magnetice, forță electromagnetica  $F$  este data de relația (fig.3.4,a):

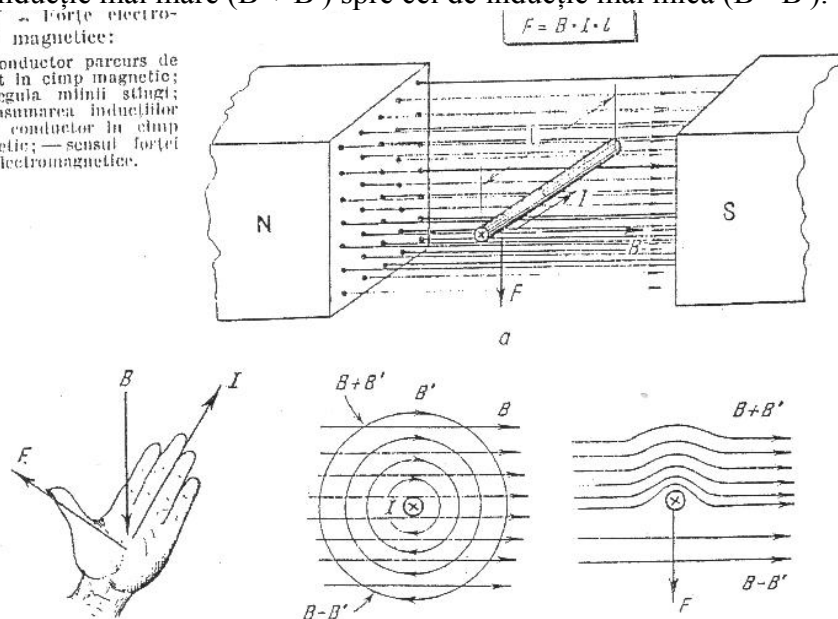
$$F = B \cdot I \cdot l [N] \quad (3.6)$$

In fig.3.4,a se prezintă si sensul forței  $F$ . Se presupune ca vectorul inducție magnetica  $B$  este orizontal si orientat de la dreapta la stânga, iar curentul  $I$  este oblic pe planul hârtiei având sensul spre spatele hârtiei (crucea  $\otimes$ ).

**Atenție !** Indicația  $\odot$  arata ca un vector venind de deasupra hârtiei înțeapă planul acesteia – simbolul cozii unei săgeți care intra in hârtie. Indicația  $\square$  arata ca un vector venind de sub hârtie înțeapă planul acesteia – simbolul vârfului unei săgeți care iese din hârtie. Pentru determinarea sensului forței electromagnetice se pot folosi următoarele metode:

- **Regula mâinii stângi:** Mana stângă având degetul mare depărtat la  $90^\circ$  si in același plan cu celelalte degete (fig.3.4,b), se așează astfel ca vectorul  $B$  să înțepe palma, iar curentul  $I$  sa circule in sensul degetului arătător. In acest caz degetul mare indica sensul forței  $F$ .
- **Regula îndesirii liniilor de forță:** Reluând schematic figura 3.4,a, se trasează conform legii burghiului liniile de forță ale câmpului magnetic de inducție  $B'$  produs de curentul  $I$  (fig.3.4,c). Ca efect (fig.3.4,d) in partea superioara a conductorului inducția  $B'$  are același sens cu  $B$ , deci liniile de forță se îndesesc, iar in partea inferioara inducția  $B'$  are sens contrar inducției  $B$ , deci inducția totala scade. Se observa ca sensul forței  $F$  este astfel orientat ca si cum liniile de forță ale câmpului rezultat ar fi elastice împingând conductorul de sus in jos, deci sensul forței  $F$  este dinspre câmpul de inducție mai mare ( $B + B'$ ) spre cel de inducție mai mica ( $B - B'$ ).

Fig. 3.4 - Forțe electromagnetice:  
 a - conductor parcurs de curent in câmp magnetic;  
 b - regula mâinii stângi;  
 c - însumarea inducțiilor la un conductor in câmp magnetic; - sensul forței electromagnetice.



### Forțe electromagnetice

Daca se considera doua conductoare  $C_1$  si  $C_2$  (fig.3.5,a) plasate in aer si parcurse de curenții  $I_1$  si  $I_2$ , ele vor fi supuse unei forțe  $F$  de atragere sau de respingere care se calculează cu relația:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot d} \cdot I_1 \cdot I_2 \quad (3.7)$$

In care:  $l$  - lungimea de paralelism intre conductoare;  
 $d$  - distanta intre conductoare.

Aceste tipuri de forțe se numesc *forțe electromagnetice* si ele au sensul de respingere dintre conductoare daca curenții au sensuri contrare (fig.3.5,a).

Pentru a demonstra acest lucru se va considera situația din figura 3.5,a însă conductoarele văzute de sus (fig.3.5,c). În acest caz, se observă că liniile de forță ale câmpurilor magnetice au sensurile din fig., deci în axa conductoarelor se vor afla vectorii  $B_1$  produs de curentul  $I_1$  (conform regulii burghiului) și  $B_2$  produs de  $I_2$ . Se constată că forțele electrodinamice  $F$  sunt de respingere în conformitate cu:

- regula mâinii stângi;
- faptul că liniile câmpului magnetic se îndesesc între conductoare.

În cazul unei bucle închise – spire – (fig.3.5,d) parcurse de același curent  $I$ , curentul având în ramurile elementare paralele sensuri opuse rezulta un efect de respingere, între elementele aceleiași bucle. Ca urmare, se spune despre o bucla parcursă de un curent electric că ea tinde să se mărească (extindă) la maximum.

**Observație.** Forțele electrodinamice nu sunt altceva decât forțe electromagnetice la care se cunoaște curentul, de exemplu  $I_1$  care a produs câmpul de inducție  $B_1$  în care este situat conductorul parcurs de un alt curent, de exemplu  $I_2$ .

Relația se poate scrie astfel:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot D} \cdot l \cdot I_2 = B_1 \cdot l \cdot I_2 \quad (3.8)$$

Prin identificarea relației (3.8) cu (3.6) se poate obține valoarea inducției  $B_1$  a unui câmp redus de un conductor liniar parcurs de un curent  $I_1$  la distanța  $d$  de conductor:

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot d} \quad (3.9)$$

### Flux magnetic

Considerând o suprafață  $S$  (contur închis) perpendiculară pe direcția liniilor de forță a unui câmp magnetic de inducție  $B$  (fig.3.6,d) se definește *fluxul de inducție magnetică*  $\Phi$  (pe scurt fluxul magnetic  $\Phi$ ) produsul:

$$\Phi = B \cdot S \quad (3.10)$$

Unitatea de măsură a fluxului magnetic este weber -ul (Wb). [1 Wb = 1 T x m<sup>2</sup>]. Din aceasta cauza unitatea de măsură a inducției magnetice, (tesla) mai este definită uneori ca fiind Weber -ul pe metru pătrat [ 1 T = Wb / m<sup>2</sup>].

În cazul în care liniile magnetice ale unui câmp de inducție magnetică  $B$  fac un unghi  $\alpha$  cu normala  $N$  la planul conturului (fig.3.6,b) de suprafață  $S$  valoarea fluxului respectiv este dată de relația:

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (3.11)$$

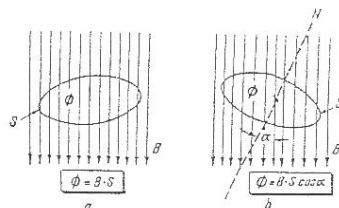


Fig. 3.6 Flux magnetic:  
a — prin suprafețe perpendiculare pe câmp; b — prin suprafețe oblice.

În sfârșit, dacă se considera numai o spira de secțiune  $S$  având în interior un câmp magnetic de inducție  $B$  (produs de curentul  $I$  ce o străbate) fluxul magnetic al unei spire va fi:

$$\Phi = B \cdot S \quad (3.12)$$

Iar dacă se considera similar o bobină cilindrică sau toroidală având  $n$  spire, atunci fluxul total ce străbate bobina va fi:

$$\Psi = n \cdot B \cdot S = n \cdot \Phi \quad (3.13)$$

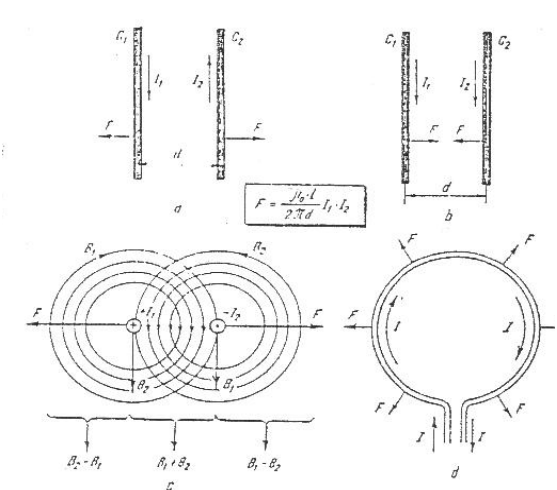


Fig. 3.5 Forțe electrodinamice:  
a — de respingere; b — de atracție; c — determinarea sensului de respingere  
d — forțe în bucle parcurse de curent.

## CIRCUITE MAGNETICE

### Materiale magnetice

Diversele materiale se comporta in mod diferit in câmpuri magnetice in sensul ca ele prezintă (la aceleași dimensiuni geometrice) permeabilități magnetice diferite.

Se considera un circuit magnetic oarecare sub influența unui câmp magnetic  $H$ , de exemplu un solenoid toroidal de lungime medie  $l$  ( $l = 2\pi r$ ;  $r$  - raza torului) având un număr  $n$  de spire parcurse de curentul  $I$  (fig.3.7,a) –  $H = n \cdot I / l$ .

După cum s-a arătat, dacă circuitul magnetic este plasat in vid (“mediul magnetic” al torului este vidul), in acest caz inducția magnetică  $B_0$  a câmpului va fi:

$$B_0 = \mu_0 \cdot H$$

- **Materiale paramagnetice.** In cazul in care mediul este format din anumite materiale, de exemplu aer sau unele materiale (fig.3.7,b) inducția magnetică crește cu o inducție suplimentară  $B'$ , fata de inducția in vid, deși câmpul  $H$  a rămas neschimbat:

$$B_1 = B_0 + B' = \mu_0 H + B'$$

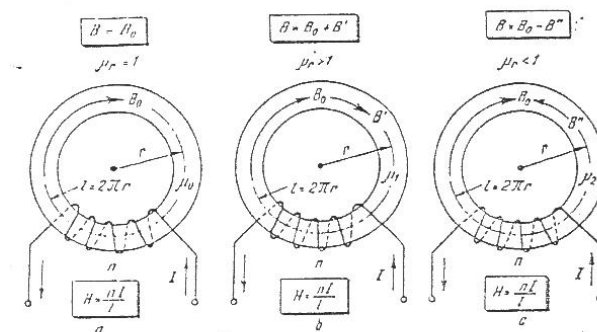


Fig. 3.7 Materiale magnetice:  
a – vid; b – paramagnetice; c – diamagnetice.

Ca urmare permeabilitatea magnetică absolută  $\mu_1$  va avea valoarea:

$$\mu_1 = \frac{B_1}{H} = \mu_0 + \frac{B'}{H} > \mu_0 \quad (3.14)$$

Din relația (3.14) se deduce permeabilitatea magnetică relativă  $\mu_{r1}$ :

$$\mu_{r1} = \frac{\mu_1}{\mu_0} = 1 + \frac{B'}{\mu_0 \cdot H} = 1 + \frac{B'}{B_0} > 1 \quad (3.15)$$

Materialele la care permeabilitatea magnetică relativă este supraunitară se numesc materiale *paramagnetice*. De exemplu aerul are  $\mu = 1,000003$ , deci permeabilitatea aerului se considera practic egală cu cea a vidului.

- **Materiale diamagnetice.** La alte tipuri de materiale ca, de exemplu, cuprul, inducția magnetică scade ușor cu o inducție suplimentară  $B''$  fata de inducția in vid, deși câmpul  $H$  a rămas neschimbat (fig.3.7,c):

$$B_2 = B_0 - B'' = \mu_0 H - B'' \quad (3.16)$$

Permeabilitatea magnetică absolută a acestor tipuri de materiale va avea valoarea:

$$\mu_2 = \frac{B_2}{H} = \mu_0 - \frac{B''}{H} < \mu_0 \quad (3.17)$$

Similar, se deduce:

$$\mu_{r2} = \frac{\mu_2}{\mu_0} = 1 - \frac{B''}{\mu_0 \cdot H} = 1 - \frac{B''}{B_0} < 1 \quad (3.18)$$

Materialele la care permeabilitatea magnetică relativă este subunitară se numesc materiale *diamagnetice*. De exemplu, cuprul are  $\mu_r = 0,999995$ .

- **Materiale feromagnetice.** O grupă de materiale paramagnetice o constituie cele feromagnetice, la care permeabilitatea magnetică relativă nu numai că este supraunitară dar are valori foarte mari (fig.3.7,b). De exemplu  $\mu_r = 500 \dots 5000$ .

Din această categorie de materiale fac parte in principal compușii fierului – fonta, oțelul – și nichelul, precum și unele aliaje ale acestora.

**Observație.** In calculele tehnice pentru toate materialele, cu excepția celor feromagnetice, se considera  $\mu_r = 1$ .

## MAGNETIZAREA MATERIALELOR FEROMAGNETICE

Permeabilitatea magnetica a materialelor feromagnetice nu este constanta, ci variaza in functie de câmpul magnetic. Considerând torul din exemplul precedent realizat din material feromagnetic, de exemplu otel având bobina alimentata cu un curent având succesiv valorile  $I_1, I_2, I_3 \dots$  ( $I_1 < I_2 < I_3$ ) se obține curba  $B = f(H)$  din figura 3.8, care poate fi considerata ca având trei zone:

- Zona 0 – X este porțiune liniara cu panta relativ mare, (panta curbei reprezintă chiar permeabilitatea magnetica  $\mu$ ) zona in care inducția B este proporționala cu câmpul H, deci  $\mu$  este constant si relativ mare; este zona in care se spune ca miezul magnetic funcționează nesaturat;
- Zona X – Y este porțiunea in care fierul începe sa se satureze, deci permeabilitatea magnetica scade; zona este numita *cotul curbei de magnetizare*;
- Zona Y – Z este o porțiune liniara cu panta relativ mica, iar  $\mu$  are o valoare aproximativ constanta care tinde spre  $\mu_0$  (deci  $\mu_r \approx 1$ ); aceasta este zona saturata a curbei de magnetizare.

Pe aceeași diagrama s-a trasat și curba  $\mu_r = f(H)$  dedusa din curba  $B = f(H)$ .

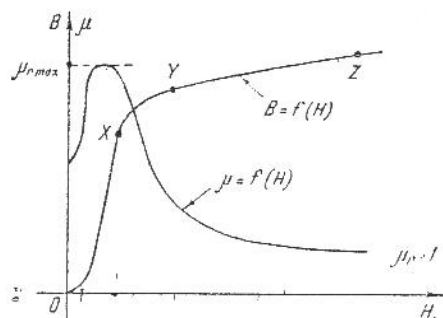


Fig. 3.8. Caracteristicile  $B = f(H)$  și  $\mu = f(H)$ .

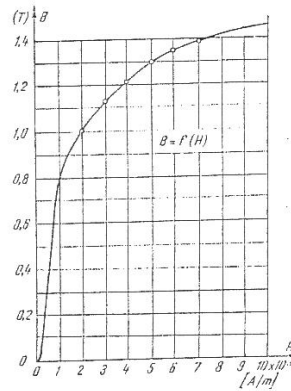


Fig. 3.9. Curba de magnetizare a oțelului electrotehnic.

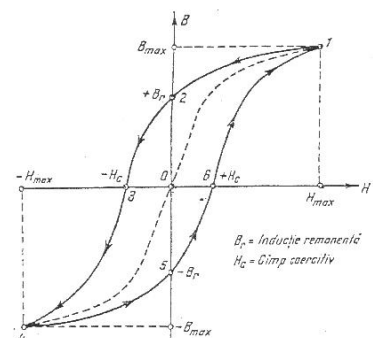


Fig. 3.10. Ciclu histeresis.

In figura 3.9 se prezintă curba  $B = f(H)$  pentru un anumit tip de otel electrotehnic folosit la construcția mașinilor și aparatelor electrice.

**Observație.** In apropierea originii (fig.3.8) curba de magnetizare prezintă un cot relativ mic, ceea ce face ca  $\mu_r$  să nu aibă valoarea maximă  $\mu_{r \max}$  începând chiar de la valori foarte mici ale câmpului H.

Dacă magnetizarea miezului de otel se face prin variația continua a curentului I de la  $0 - I_{\max} \rightarrow 0 \rightarrow -I_{\max} - 0$  câmpul magnetic H va prezenta o variație similara  $0 \rightarrow H_{\max} \rightarrow 0 \rightarrow -H_{\max} \rightarrow 0$  însă inducția B va avea valori diferite după cum câmpul H este in creștere sau scădere (fig.3.10).

S-a obținut astfel o curba de magnetizare numita *ciclu de histeresis*. Denumirea de “histeresis” vine din limba greaca și înseamnă “rămânere în urma”. In figura 3.10 se observa, de exemplu, ca in punctul 2, deși curentul I (câmpul H) a revenit la zero, totuși inducția mai are o valoare pozitiva  $B = B_r$ , numita inducție remanenta; de asemenea in punctul 5, deși  $H = 0$ , totuși  $B = -B_r$ .

Similar, in punctul 3 (respectiv 6) pentru a putea produce o inducție magnetica nula venind dinspre inducții remanente pozitive (respectiv negative) este necesar un câmp  $-H_c$  (punctul 3) respectiv  $+H_c$  (punctul 6) numit *câmp coercitiv*. In timpul unui ciclu de histeresis materialul absoarbe din câmpul magnetic o cantitate de energie (energia este necesara învingerii frecărilor produse in timpul orientării unor curenți moleculari din interiorul materialului) care se transforma in căldura și care constituie *pierderile prin histeresis*. Acest lucru apare cu pregnanta in curentul alternativ unde curentul își schimba sensul de 50 de ori pe secunda.

Pierderile prin histeresis sunt proporționale cu suprafața ciclului de histeresis și, bineînțeles, cu cantitatea de material feromagnetic. Din aceasta cauza in industrie pentru un anumit tip de otel electrotehnic și pentru o anumita frecventa (de exemplu  $f = 50$  Hz) se menționează pierderile specifice [W / kg] prin fenomenul de histeresis.

Prin realizarea unor table (tole) dintr-un otel special numit otel electrotehnic obținut prin adaos de siliciu (4 – 5% Si) in fier se asigura o curba de magnetizare cu permeabilitate magnetica mare precum și un ciclu de histeresis cu o suprafață relativ redusa.

Prin folosirea unor oteluri speciale cu inducții remanente mari și câmpuri coercitive mari se realizează magneți permanenți, care deci își păstrează proprietățile magnetice și in lipsa câmpului de inducție H produs de curenții electrici.



## LEGEA CIRCUITULUI MAGNETIC

Se considera un tor de otel (fig.3.11) de lungime medie  $l$  ( $l = 2\pi r$ ; fiind raza medie a torului) având o bobina constituita din  $n$  spire si străbătuta de curentul  $I$ .

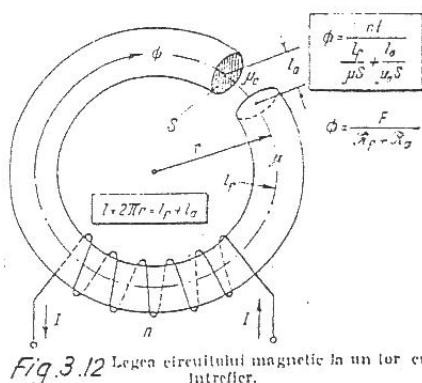
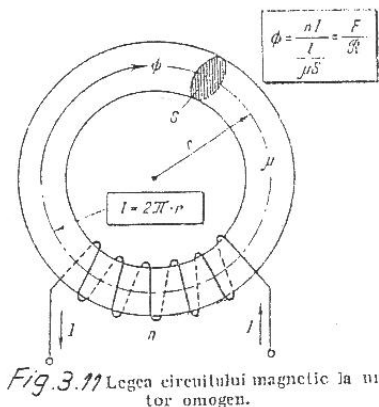
Ținând seama de relațiile (3.2) si (3.10) se poate scrie expresia fluxului magnetic  $\Phi$  ce străbate torul:

$$\Phi = \mu \cdot \frac{n \cdot I}{l} \cdot S = \frac{n \cdot I}{\mu \cdot S} \quad (3.19)$$

Expresia:

$$\mathcal{F} = n \cdot I \quad (3.20)$$

se numește *tensiune magnetomotoare* sau solenație si poate fi exprimata in amperispire.



Expresia:

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu \cdot S} \quad (3.21)$$

Ca urmare ținând seama de expresiile (3.20) si (3.21) fluxul magnetic (relația 3.19) poate fi exprimat într-o forma mai simpla astfel:

$$\Phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}} \quad (3.22)$$

relație care definește legea circuitului magnetic.

**Observație.** Se poate constata o analogie între relația (3.22) si relația care definește legea lui Ohm:

$$I = \frac{E}{R} \quad (3.23)$$

Relația poate fi considerata ca analoaga legii lui Ohm aplicata unui circuit magnetic putând face o analogie si între mărimile componente:

$I$  = curent electric →  $\Phi$  = flux (curent) magnetic;

$E$  = tensiune electromotoare →  $\mathcal{F}$  = tensiune magnetomotoare;

$R$  = rezistenta electrica  $\left[ R = \frac{L}{\gamma \cdot S} \right]$  →  $\mathcal{R}$  = reductanță magnetica  $\left[ \mathcal{R} = \frac{L}{\mu \cdot S} \right]$ ;

$\gamma$  = conductivitatea electrica →  $\mu$  = permeabilitatea magnetica.

După cum se va vedea analogia între mărimile electrice si magnetice poate fi extinsa cu observația ca in timp ce conductivitatea  $\gamma$  este in principiu constanta, permeabilitatea magnetica  $\mu$  se modifica cu tensiunea magnetomotoare, ceea ce ne determina sa spunem ca circuitele magnetice sunt nelinere.

Din relația (3.4) si (3.20) se poate observa ca intensitatea câmpului magnetic  $H$  nu reprezintă altceva decât tensiunea magnetomotoare pe unitatea de lungime a circuitului magnetic:

$$H = \frac{\mathcal{F}}{l} = \frac{n \cdot I}{L} \quad (3.24)$$

Sa presupunem ca torul de otel este întrerupt pe o lungime  $l_a$  (fig.3.12) astfel ca lungimea circuitului in fier rămâne  $l_f$  ( $l_a + l_f = l = 2\pi r$ ). Porțiunea de aer din circuitul magnetic se numește întrefier. In acest caz reductanța circuitului magnetic („rezistenta” magnetica) se modifica întrucât fluxul magnetic trebuie sa străbată si o porțiune de aer care are permeabilitatea magnetica mult mai mica. Legea circuitului magnetic se scrie in aceasta situație:

$$\Phi = \frac{F}{\mathcal{R}_f + \mathcal{R}_a} = \frac{n \cdot I}{\frac{l_f}{\mu \cdot S} + \frac{l_a}{\mu_0 \cdot S}} \quad (3.25)$$

Trecând la o formulare generală, dacă se presupune ca de-a lungul unui circuit magnetic oarecare există diverse porțiuni cu lungimile  $l_1, l_2, \dots, l_n$ , secțiunile  $S_1, S_2, \dots, S_n$  și permeabilitățile magnetice  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  legea circuitului magnetic se poate scrie:

$$\Phi = \frac{n \cdot I}{\frac{l_1}{\mu_1 \cdot S_1} + \frac{l_2}{\mu_2 \cdot S_2} + \dots + \frac{l_n}{\mu_n \cdot S_n}} \quad (3.26)$$

## INDUCTIA ELECTROMAGNETICA

### Fenomene de inducție electromagnetică

Se considera o bobină B (fig.3.14,a) având legat la bornele sale un ampermetru A și un magnet permanent plasat coaxial cu bobina. Ampermetrul se afla pe poziția zero.

Se introduce brusc magnetul în interiorul bobinei (fig.3.14,b), ceea ce are ca efect devierea într-un anumit sens (de exemplu +) a ampermetrului A. Magnetul fiind lăsat în poziția introdusă (fig.3.14,c) ampermetrul indică de asemenea zero. La extragerea brusca a magnetului din interiorul bobinei (fig.3.14,d) ampermetrul deviază din nou, însă de data aceasta în sens contrar, după care magnetul permanent revenind la poziția inițială (fig.3.14,a) acul ampermetrului revine din nou pe zero.

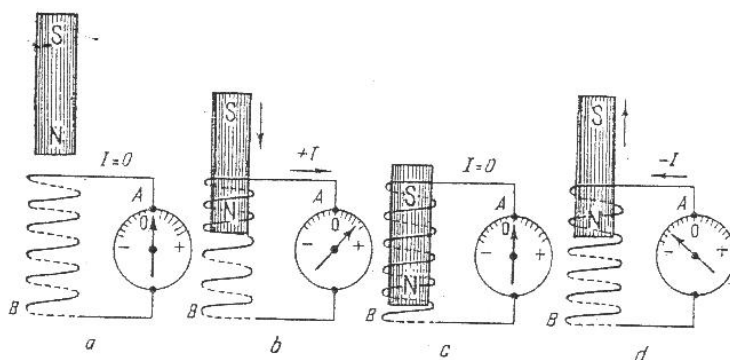


Fig. 3.14. Inducția electromagnetică într-o bobină:  
a — cu magnetul în exterior; b — la introducerea magnetului; c — cu magnetul în interiorul bobinei; d — la scoaterea magnetului.

În locul câmpului magnetic produs de magnetul permanent se poate folosi pentru realizarea aceluiași experiențe o altă bobină parcursă de curent continuu - electromagnet.

Această experiență ne permite să tragem următoarea concluzie: într-o bobină ia naștere o tensiune electromotoare (curent) atunci când fluxul magnetic prin spirele sale variază. Acest fenomen poartă numele de *inducție electromagnetică*. Tensiunea electromotoare care ia naștere prin fenomenul de inducție electromagnetică se numește *tensiune electromotoare de inducție*, iar curentul produs în bobină se numește *curent de inducție*.

Aceeași experiență ne permite să mai constatăm că tensiunea electromotoare de inducție are un anumit sens atunci când fluxul magnetic crește (la introducerea magnetului fig.3.14,b) și sens contrar când fluxul magnetic scade (la scoaterea magnetului fig.3.14,d).

Repetând experiența de mai sus, însă deplasând magnetul cu viteze din ce în ce mai mari, se constată că deviațiile ampermetrului, deci tensiunile electromotoare induse, cresc proporțional cu vitezele respective, de asemenea, la aceeași viteză de deplasare a magnetului, tensiunile electromotoare induse cresc proporțional cu numărul de spire al bobinei folosite.

### Legea inducției electromagnetice

Pe baza experienței de mai sus s-a dedus cantitativ valoarea tensiunii electromotoare  $E$  indusă într-o bobină având  $n$  spire:

$$E = -n \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (3.27)$$

în care:  $\Delta\Phi$  reprezintă variația fluxului magnetic produs în intervalul de timp  $\Delta t$ .

**Observație.** Raportul  $\Delta\Phi / \Delta t$  reprezintă chiar "viteza de variație" a fluxului magnetic  $\Phi$ .

Trecând la variații infinit mici ale fluxului ( $d\Phi$ ) și ale timpului ( $dt$ ) relația se poate exprima astfel:

$$E = -n \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.28)$$

și definește legea inducției electromagnetice.

Tensiunea electromotoare de inducție într-o bobina (spira) este proporțională cu numărul de spire și cu viteza de variație a fluxului magnetic (sau variația fluxului magnetic în unitatea de timp) prin bobina respectivă.

Pentru a se demonstra sensul fizic al semnului minus din expresia (3.28) se va recurge la următoarea experiență (fig.3.15,a): Pentru un miez magnetic  $M$  se plasează o bobina "inductoare"  $A_1$  căreia i se poate aplica un curent  $I_1$  prin închiderea contactului  $K$  și o bobina  $A$  în care se induce o tensiune electromotoare, deci care generează curentul  $I_2$ . La închiderea contactului  $K$  curentul  $I_1$  crescând de la valoarea zero la o valoare  $I_{1max}$  produce fluxul magnetic  $\Phi_1$  (fluxul inductor) care are sensul de creștere  $+\Delta\Phi_1$  (conform legii burghiului).

Curentul  $I_2$  produs de tensiunea electromotoare indusă are sensul de circulație astfel ca fluxul magnetic  $-\Phi_2$  (fluxul indus) precum și sensul de creștere al acestuia  $-\Delta\Phi_2$  (determinat de asemenea conform legii burghiului) are sensul opus (- "minus") fluxul inductor.

La deschiderea contactului  $K$  curentul  $I_1$  scade de la valoarea maximă  $I_{1max}$  la zero (fig.3.15,b) iar fluxul  $\Phi_1$  scade, sensul său de variație fiind  $-\Delta\Phi_1$ ; ca urmare, curentul  $I_2$  determinat de tensiunea electromotoare indusă produce o variație  $+\Delta\Phi_2$  de asemenea de sens opus variației fluxului inductor.

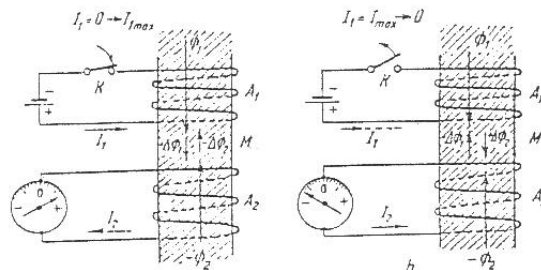


Fig. 3.15 Determinarea legii lui Lenz: a - la stabilirea curentului; b - la întreruperea curentului.

Acest fenomen reprezintă *legea lui Lenz*, care mai poate fi enunțată și astfel: *efectul tinde să se opună cauzei care l-a produs.*

O formă particulară a fenomenului de inducție are loc la deplasarea cu viteza  $v$  a unui conductor de lungime  $l$  perpendicular pe liniile de forță ale unui câmp de inducție  $B$  (fig.3.16).

Considerând că în timpul  $\Delta t$  conductorul efectuează o deplasare  $\Delta x$  aceasta corespunde unei suprafețe  $\Delta S$  de linii de forță:

$$\Delta S = l \cdot \Delta x \tag{3.29}$$

sau unui flux magnetic total:

$$\Delta\Phi = B \cdot \Delta S = B \cdot l \cdot \Delta x \tag{3.30}$$

Tensiunea electromotoare indusă în conductor se obține înlocuind relația (3.30) în (3.27) :

$$E = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = - \frac{B \cdot l \cdot \Delta x}{\Delta t} \tag{3.31}$$

Și deoarece  $\Delta x / \Delta t = v$  rezulta în definitiv:

$$E = - B \cdot l \cdot v \tag{3.32}$$

Dacă vectorul  $v$  - viteza de deplasare a conductorului - face un unghi  $\alpha$  cu direcția vectorului inducție  $B$ , tensiunea electromotoare de inducție se exprimă sub forma sa generală:

$$E = - B \cdot l \cdot v \cdot \sin \alpha \tag{3.33}$$

Sensul tensiunii electromotoare induse în conductor, deci sensul de circulație al unui curent produs, dacă conductorul ar fi închis se obține cu regula mâinii drepte (fig.3.17) și anume: ținând mâna dreaptă cu palma întinsă și degetul mare îndepărtat la  $90^\circ$  astfel ca liniile de forță ale câmpului de inducție  $B$  să înțepe palma, iar conductorul să se deplaseze în direcția indicată de degetul mare, curentul indus, deci tensiunea indusă, va avea sensul indicat de celelalte degete.

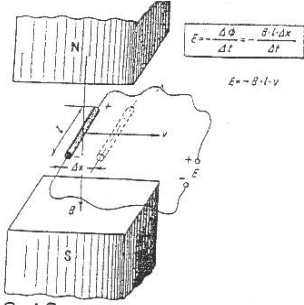


Fig. 3.16 Legea inducției electromagnetice aplicată la un conductor rectiliniu.

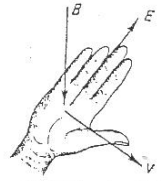


Fig. 3.17 Regula mâinii drepte.

### INDUCTANȚA PROPRIE

După cum s-a arătat, o bobina cu  $n$  spire, parcursă de un curent  $I$ , da naștere unui câmp magnetic  $H$ , unei inducții  $B$  sau unui flux total  $\psi = n \cdot \Phi$  care sunt proporționale cu curentul  $I$ :

$$\psi = n \cdot \Phi = L \cdot I \tag{3.34}$$

Factorul de proporționalitate  $L$  se numește inductanța proprie sau simplu, inductanță (uneori mai este numit și autoinductanță sau inductivitate) bobinei și reprezintă raportul dintre fluxul total și curentul care l-a produs:

$$L = \frac{n \cdot \Phi}{I} \quad (3.35)$$

Considerând o bobina cu circuit magnetic închis, de exemplu un tor, fluxul magnetic  $\Phi$  produs de curentul  $I$  care parcurge cele  $n$  spire va fi conform relației (3.19):

$$\Phi = \frac{n \cdot I}{\mathcal{R}} \quad (3.36)$$

$\mathcal{R}$  fiind reductanța circuitului magnetic.

Înlocuind relația (3.36) în (3.35) se obține:

$$L = \frac{n}{I} \cdot \frac{n \cdot I}{\mathcal{R}} = \frac{n^2}{\mathcal{R}} = \frac{n^2}{l} \cdot S \cdot \mu \quad (3.37)$$

**Observație.** Inductanța  $L$  este constanta dacă permeabilitatea magnetică este constantă, ceea ce corespunde materialelor neferomagnetice precum și celor feromagnetice funcționând în regim nesaturat.

Unitatea de măsură a inductanței este *henry* -ul (simbol H), care are dimensiunea  $\Omega \times s$ .  $1H = 1\Omega \times s$ .

### INDUCTANȚA MUTUALĂ

Se considera două bobine  $A_1$  și  $A_2$  (fig.3.18) cuplate inductiv, adică cu circuit magnetic comun având un număr de  $n_1$  respectiv  $n_2$  spire și parcurse de curenții  $I_1$  și respectiv  $I_2$ .

Fluxurile magnetice produse  $\Phi_1$  și respectiv  $\Phi_2$ , vor circula astfel:

- Fluxul  $\Phi_1$  străbătând cele  $n_1$  spire ale bobinei  $A_1$  va da naștere unui flux propriu total

$$\Psi_{11} = n_1 \times \Phi_1 = L_1 I_1 \quad (3.38)$$

- O parte din fluxul  $\Phi_1$  închizându-se prin aer sub forma unui flux de scăpări  $\Delta\Phi_1$  rezulta ca numai o parte din fluxul  $\Phi_1$  și anume

$$\Phi_{12} = \Phi_1 - \Delta\Phi_1 = K_1 \Phi_1, \quad (3.39)$$

va străbate bobina  $A_2$ . Fluxul  $\Phi_{12}$  prin bobina  $A_2$  va da naștere unui flux total:

$$\Psi_{12} = n_2 \Phi_{12} = n_2 K_1 \Phi_1. \quad (3.40)$$

**Observație.**  $K_1$  este un factor subunitar ( $K_1 < 1$ ). Similar, fluxul  $\Phi_2$  străbătând cele  $n_2$  spire ale bobinei proprii va da naștere fluxului propriu total:

$$\Psi_{22} = n_2 \Phi_2 = L_2 I_2 \quad (3.41)$$

O parte din fluxul  $\Phi_2$  închizându-se prin aer sub forma fluxului de scăpări  $\Delta\Phi_2$  rezulta ca numai o parte din fluxul  $\Phi_2$  și anume:

$$\Phi_{21} = \Phi_2 - \Delta\Phi_2 = K_2 \Phi_2 \quad (3.42)$$

va străbate bobina  $A_1$ , astfel ca fluxul total produs în bobina  $A_1$  va fi

$$\Psi_{21} = n_1 \Phi_{21} = n_1 K_2 \Phi_2 \quad (3.43)$$

Se mai poate scrie și astfel:  $\Psi_{12} = n_2 K_1 \Phi_1 = n_2 K_1 L_1 / n_1 I_1$ , în care, coeficientul de proporționalitate  $M_{12}$  definit de relația:  $M_{12} = \Psi_{12} / I_1 = n_2 / n_1 K_1 L_1$  se numește inductanța mutuală între bobinele  $A_1$  și  $A_2$ .

Inductanța mutuală ca și cea proprie se măsoară în henrii (H).

Se demonstrează că:

$$M_{12} = M_{21} = M \quad (3.44)$$

Se poate scrie:

$$M^2 = K_1 K_2 L_1 L_2 \quad (3.45)$$

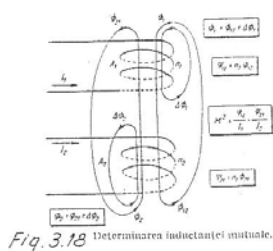
Rezulta că, *inducția mutuală*  $M$  între două bobine având inductanțele proprii  $L_1$  și  $L_2$  va fi data de relația:

$$M = \sqrt{K_1 \cdot K_2} \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} = K \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (3.46)$$

Dacă fluxurile de scăpări  $\Delta\Phi_1$  și  $\Delta\Phi_2$  sunt nule rezulta că:

$$K_1 = K_2 = 1 \Rightarrow K = 1 \quad (3.47)$$

$$M = \sqrt{L_1 \cdot L_2} - \text{Inductanța mutuală} \quad (3.48)$$



# CAPITOLUL IV. CURENTUL ALTERNATIV

## CURENTUL ALTERNATIV MONOFAZAT

### Producerea curentului alternativă

Principial, curentul electric se produce pe baza fenomenului inducției electromagnetice. Într-o spira ce se rotește și taie liniile câmpului magnetic produs de doi poli magnetici,  $N$  și  $S$  (fig.4.1) ia naștere o tensiune electromotoare de inducție.

Pentru înțelegerea fenomenului se va considera axa  $I - I'$ , numita *axa polilor*, și axa  $O - O'$  (perpendiculară pe axa polilor), numita *axa neutra*, și se va nota cu  $\varphi$  unghiul pe care spira îl face la un moment dat cu axa neutra.

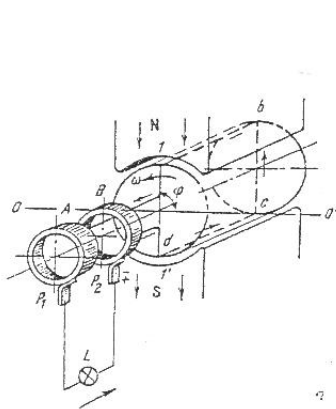


Fig. 4.1. Principiul producerii curentului alternativ.

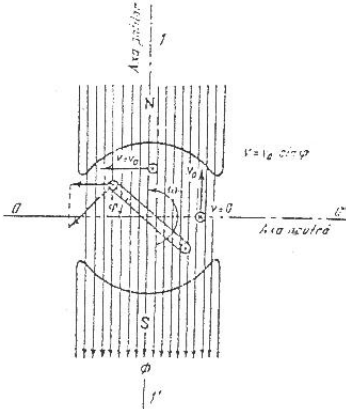


Fig. 4.2. Determinarea vitezei de tăiere a liniilor cimpului magnetic.

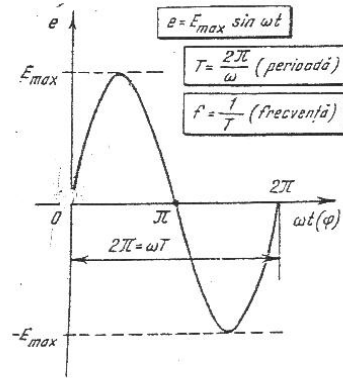


Fig. 4.3. Diagrama tensiunii alternative sinusoidale.

Tensiunea electromotoare  $e_l$ , indusă într-un conductor de lungime  $l$ , care taie cu viteza  $v$  liniile de forță ale câmpului de inducție magnetică  $B$  este:

$$e_l = B \cdot l \cdot v \quad (4.1)$$

Se observă că viteza cu care conductorul taie liniile câmpului nu este constantă, ci depinde de unghiul  $\varphi$ .

Astfel (fig.4.2):

- când spira se află pe axa polilor ( $I - I'$ ) liniile sunt tăiate perpendicular și viteza cu care sunt intersectate are o valoare maximă:  $v = v_0$ ;
- când spira se află pe axa neutra ( $O - O'$ ) liniile nu sunt tăiate (spira se deplasează în lungul liniei) și deci viteza este nulă:  $v = 0$ ;
- când spira face un unghi oarecare  $\varphi$  față de axa neutra, viteza de tăiere a liniilor capului magnetic va fi:

$$v = v_0 \cdot \sin \varphi \quad (4.2)$$

Ca urmare, înlocuind relația (4.2) în (4.1) se va obține valoarea tensiunii  $e_l$  indusă în conductor în cazul general:

$$E_l = B \cdot l \cdot v_0 \cdot \sin \varphi \quad (4.3)$$

Sensul tensiunii induse va fi dat de regula mâinii drepte, adică va avea sensul din fig. 4.1.

**Observație.** O spira este constituită din două conductoare dintre care unul taie liniile câmpului într-un sens astfel ca, tensiunea indusă are o anumită valoare și anumit sens, iar celălalt taie liniile în sens contrar, deci tensiunea indusă are aceeași valoare însă sensul contrar. Deoarece însă poziția celui de-al doilea conductor este inversată, tensiunea electromotoare indusă într-o spira este dată de suma celor două tensiuni egale induse în cele două conductoare:

$$e_2 = 2 \cdot B \cdot l \cdot v_0 \cdot \sin \varphi \quad (4.4)$$

În cazul în care în locul unei spire se folosește o bobină cu  $n$  spire, tensiunea indusă  $e$  are valoarea:

$$e = 2 \cdot n \cdot B \cdot l \cdot v_0 \cdot \sin \varphi \quad (4.5)$$

sau

$$e = E_{max} \cdot \sin \omega t, \quad (4.6)$$

în care s-a notat:

$$E_{max} = 2nBlv_0$$

$$\varphi = \omega t \quad (\omega - \text{viteza unghiulară a bobinei, iar } t = \text{timpul}).$$

S-a obținut astfel o tensiune alternativă sinusoidală (fig.4.3) care este culeasă pe inelele  $A$  și  $B$  prin periile  $P_1$  și  $P_2$  (fig.4.1) și poate alimenta un consumator - de exemplu lampa  $L$ . Aceasta este forma cea mai simplă de producere a curentului alternativ monofazat, iar elementul descris constituie un generator de curent alternativ monofazat.

Fenomenul prezentat este reversibil în sensul că, aplicând prin periile  $P_1$  și  $P_2$  o tensiune alternativă sinusoidală, spira (bobina) descrie o mișcare de rotație deci este capabilă să producă un lucru mecanic. S-a obținut astfel un motor de curent alternativ.

**Nota.** Partea formată din polii magnetici  $N$  și  $S$  constituie *statorul* (care sta) sau *inductorul* (care induce câmp), mașinii electrice (generator sau motor), iar spira (bobina) constituie *rotorul* (care se rotește) sau *indusul* ( în care se induce tensiunea) mașinii respective.

### MARIMI CARACTERISTICE ALE CURENTULUI ALTERNATIV

Revenind la expresia tensiunii electromotoare deduse mai sus ( $e = E_{\max} \sin \omega t$ ), se pot defini unele mărimi caracteristice.

- **Perioada.** Dacă spira face o rotație completă ( $2\pi$ ) în timpul  $T$ , rezulta valoarea vitezei unghiulare:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (4.7)$$

Mărimea  $T$  se numește *perioada* și reprezintă, după cum s-a arătat, timpul (exprimat în secunde), în care spira efectuează o rotație completă, adică timpul după care tensiunea alternativă capătă aceeași valoare și același sens de creștere.

De exemplu, pentru:  $t = T$ ;  $t = 2T$ ;  $t = 3T$ ....., expresia  $\sin \omega t$  capătă valorile:  $\sin \omega T = \sin 2\pi = 1$ ,  $\sin 2 \omega T = \sin 4\pi = 1$ ,  $\sin 3 \omega T = \sin 6\pi = 1$  ..., adică tensiunea electromotoare capătă valoarea maximă ( $e = E_{\max}$ ).

- **Frecvența.** Mărimea  $f$  ( $f = \frac{1}{T}$ ) se numește *frecvența* și reprezintă numărul de perioade cuprinse

într-o secundă. Frecvența se măsoară în perioade pe secundă sau *herți* (Hz). Frecvența curentului alternativ industrial din țara noastră, ca de altfel din toate Europa, (în S.U.A. și în unele țări dependente economic de această țară, frecvența curentului alternativ industrial este de 60 Hz) este de 50 Hz.

- **Valoarea eficace.** Din fig.4.3 și din relația  $e = E_{\max} \sin \omega t$  se observă că o tensiune alternativă monofazată își schimbă sensul de 100 ori pe secundă (2 ori / perioadă x 50 perioade / secundă) trecând astfel:

- de 100 de ori prin zero ( $e = 0$ );
- de 50 de ori prin valoarea maximă ( $e = E_{\max}$ );
- de 50 de ori prin valoarea minimă ( $e = -E_{\max}$ ).

Măsurând cu ajutorul unui voltmetru o asemenea tensiune alternativă, acul acestuia nu va urmări însă aceste variații, ci va indica o anumită valoare fixă  $E$ .

Această valoare a tensiunii este numită *valoare eficace* sau *valoare efectivă*, Se constată că:

$$E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{\max}}{1,41}$$

Tensiunea alternativă sinusoidală mai poate fi exprimată astfel:

$$e = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t$$

Această înseamnă că, de exemplu, dacă voltmetrul indică  $E = 100V$ , valoarea maximă (de vârf) a tensiunii în circuit este  $E_{\max} = \sqrt{2} \cdot 100 = 141V$

**Atenție !** În practica curenta nu se lucrează cu valori maxime ci, de obicei, numai cu valori eficace.

Sensul fizic al noțiunii de valoare a tensiunii (curentului) alternativ rezulta din efectul termic pe care o mărime electrică alternativă sinusoidală îl are asupra consumatorilor rezistivi.

S-a demonstrat teoretic și practic că puterea electrică disipată pe o rezistență  $R$  este aceeași fie că se folosește o tensiune continuă de valoare  $E$ , fie că se folosește o tensiune alternativă sinusoidală de valoare maximă  $E_{\max} = \sqrt{2} \cdot E$

## CIRCUITE DE CURENT ALTERNATIV MONOFAZAT

### Structura circuitelor de curent alternativ

Spre deosebire de circuitele de curent continuu, în curent alternativ pe lângă rezistoare (rezistențe  $R$ ) se întâlnesc și alte elemente pasive și anume: bobine (inductanțe  $L$ ) și condensatoare (capacități  $C$ ).

Cele trei tipuri de elemente  $R$ ,  $L$ , și  $C$  se comportă în mod diferit în circuitele de curent alternativ.

### CIRCUIT CU REZISTENȚA $R$

Considerând o sursă de tensiune alternativă

$$e = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t \quad (4.8)$$

care alimentează o rezistență  $R$  (fig.4.4, a), expresia curentului alternativ care străbate circuitul va fi (conform legii lui Ohm):

$$i = \frac{e}{R} = \sqrt{2} \cdot \frac{E}{R} \cdot \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin \omega t$$

Se constată următoarele (fig.4.4.b):

- curentul obținut este tot alternativ sinusoidal, valoarea sa eficace (indicată de un ampermetru) fiind:

$$I = \frac{E}{R} \quad (4.9)$$

- curentul  $I$  este în fază cu tensiunea  $E$ , deoarece  $I$  și  $e$  se anulează (trece prin zero) și au maximele în același moment, fapt care rezultă și din diagrama fazorială (fig.4.4, c).

**Observație.** Cele arătate mai sus sunt valabile și dacă se consideră ca un curent,

$$i = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin \omega t \quad (4.10)$$

parcurge o rezistență  $R$ .

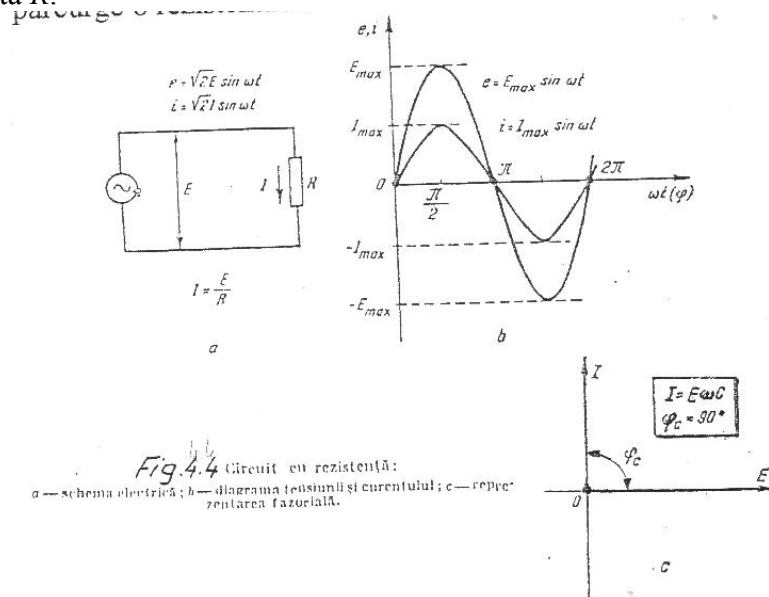


Fig. 4.4 Circuit cu rezistență:  
a - schema electrică; b - diagrama tensiunii și curentului; c - reprezentarea fazorială.

În această situație, la bornele rezistenței se obține o cădere de tensiune

$$e = \sqrt{2} \cdot R \cdot I \cdot \sin \omega t = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t$$

a cărei valoare eficace este:

$$E = R \cdot I \quad (4.11)$$

și care este în fază cu curentul  $I$ .

### CIRCUIT CU INDUCTANȚĂ $L$

Considerându-se aceeași sursă de tensiune alternativă

$$e = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t$$

aplicată unei bobine având inductanța  $L$  (fig.4.5,a), se constată că ia naștere un curent alternativ:

$$i = \sqrt{2} \cdot \frac{E}{\omega \cdot L} \cdot \cos \omega t = \sqrt{2} \cdot I \cdot \cos \omega t \quad (4.12)$$

Se observa următoarele (fig.4.5,b):

- curentul obținut este tot alternativ sinusoidal, valoarea sa eficace fiind:

$$I = \frac{E}{\omega \cdot L} = \frac{E}{X_L} \quad (4.13)$$

In care mărimea  $X_L = \omega \cdot L$  poarta numele de *reactanța inductiva* si, ca si rezistenta, se măsoară in ohmi;

- curentul  $i$  mai poate fi exprimat si sub forma:

$$i = \sqrt{2} \cdot I \cdot \cos \omega t = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin \omega t$$

si este deci in cuadratura si defazat in urma fata de tensiunea  $E$  cu un unghi  $\omega L$  (fig.4.5, c):

$$\varphi_L = -\frac{\pi}{2} = -90^\circ$$

**Observație.** Cele de mai sus sunt valabile si in cazul in care un curent:

$$i = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin \omega t$$

parcurege inductanța  $L$ .

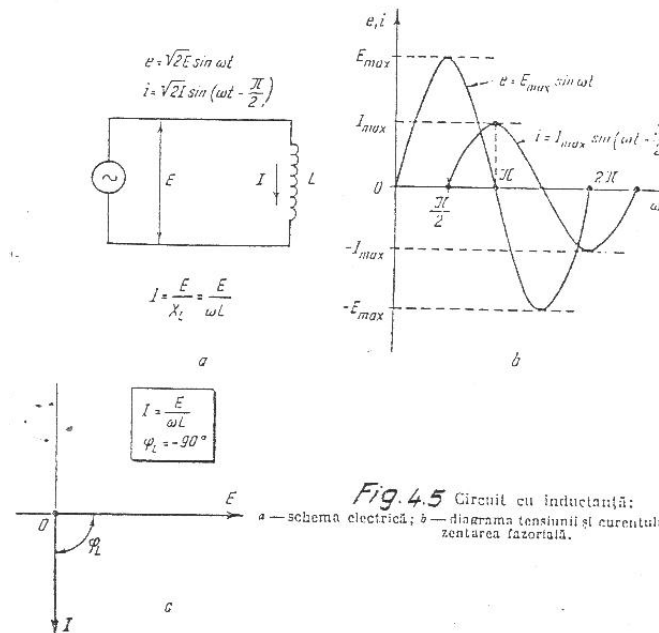


Fig. 4.5 Circuit cu inductanță; a - schema electrică; b - diagrama tensiunii și curentului zentarea fazorială.

In aceasta situație, la bornele inductanței se obține căderea de tensiune:

$$e = \sqrt{2} \cdot \omega \cdot L \cdot I \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.14)$$

a cărei valoare eficace este:

$$E = \omega \cdot L \cdot I = X_L \cdot I \quad (4.15)$$

si care este defazata înainte fata de curentul  $I$  cu unghiul  $\varphi_L = \frac{\pi}{2} + 90^\circ$

### CIRCUIT CU CAPACITATE C

Considerând din nou aceeași sursa de tensiune alternativa:

$$e = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t$$

aplicata unei capacități  $C$  (fig.4.6,a), se constata ca in circuit ia naștere un curent alternativ

$$i = -\sqrt{2} \cdot \frac{E}{\frac{1}{\omega C}} \cdot \cos \omega t = -\sqrt{2} \cdot I \cdot \cos \omega t \quad (4.16)$$

Se observa ca (fig.4.6,b):

- curentul obținut este tot alternativ sinusoidal, având valoarea eficace:

$$I = \frac{E}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{E}{X_C} \quad (4.17)$$

în care mărimea  $X_c$  este reactanța capacitiva si se măsoară tot in ohmi;



➤ curentul  $i$  mai poate fi exprimat sub forma:

$$i = -\sqrt{2} \cdot I \cdot \cos \omega t = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.18)$$

si deci in cuadratura si defazat înainte de tensiunea  $E$  cu unghi  $\varphi_C$  (fig.4.6,c):

$$\varphi_C = \frac{\pi}{2} = +90^\circ$$

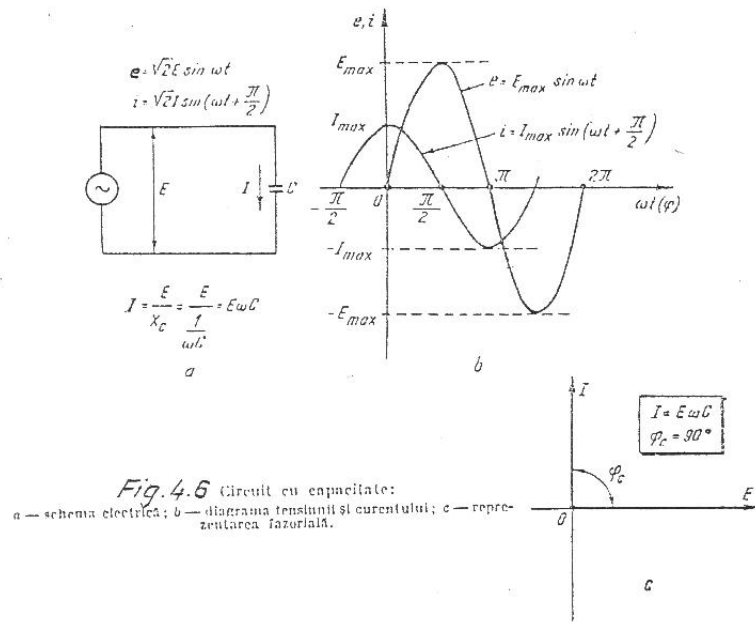


Fig. 4.6 Circuit cu capacitate:  
a - schema electrică; b - diagrama tensiunii și curentului; c - reprezentarea fazorială.

**Observație.** Cele de mai sus sunt valabile si in cazul in care un curent  $i = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin \omega t$  străbate capacitatea  $C$ . In aceasta situație, la bornele capacității se obține o cădere de tensiune:

$$e = \sqrt{2} \cdot \frac{I}{\omega C} \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

a cărei valoare eficace este:  $E = \frac{I}{\omega C} = X_C \cdot I$  si care este defazata in urma fata de curentul  $I$  cu

unghiul  $\varphi_C = -\frac{\pi}{2} = -90^\circ$

### CIRCUIT R, L, C SERIE

În cazul general (fig.4.7,a), prin aplicarea unei tensiuni alternativă de valoare eficace  $E$  în circuitul respectiv se obține un curent de asemenea alternativ, având (fig.4.7,b):

➤ valoarea eficace:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{E}{Z} \quad (4.19)$$

➤ defazajul  $\varphi$  dat de expresia (fig.4.7,c):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{X}{R} \quad (4.20)$$

Mărimea  $Z$  se numește impedanța circuitului si este data de expresia:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Prin  $X = X_L - X_C$  s-a notat reactanța totala a circuitului.

Impedanța  $Z$  (ca si  $R$  si  $X$ ) se măsoară in ohmi.

**Observație.** Legea lui Ohm ( $E = R \cdot I$ ) este valabila si in curent alternativ, in sa sub forma:

$$E = Z \cdot I \quad (4.21)$$

În expresia impedanței  $Z$  intervenind pe lângă rezistența, si reactanța totala a circuitului.

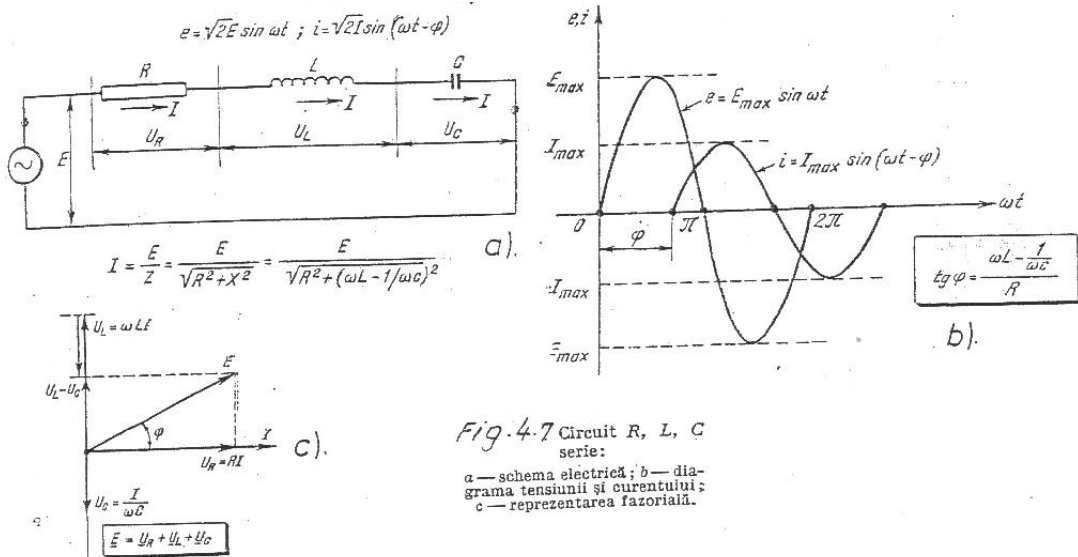


Fig. 4.7 Circuit R, L, C serie:  
 a — schema electrică; b — diagrama tensiunii și curentului;  
 c — reprezentarea fazorială.

### REZONANȚA SERIE

Se considera un circuit serie ca cel din fig.4.7 având cei trei parametri R, L și C de valori fixe. Ținând seama de expresia pulsației, reactanțele inductivă și capacivă se pot exprima astfel:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad (4.22)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad (4.23)$$

Presupunând ca tensiunea sursei de alimentare E se menține constantă însă frecvența variază continuu, se constată ca cele două reactanțe variază direct proporțional ( $X_L$ ), respectiv invers proporțional ( $X_C$ ) cu frecvența.

Reprezentând pe aceeași diagramă (fig.4.8) funcțiile  $X_L = f_1(f)$  și  $X_C = f_2(f)$  se observă că acestea reprezintă o dreaptă trecând prin origine, respectiv o hiperbolă echilaterală.

**Observație.** Când frecvența este nulă (sursa devine de curent continuu) ( $f = 0$ ),  $X_L = 0$  – nu există tensiune electromotoare de autoinducție – și  $X_C = \infty$  – circuitul este întrerupt, iar când  $f \rightarrow \infty$ ,  $X_L \rightarrow \infty$  – circuit întrerupt – și  $X_C = 0$  – capacitatea este în circuit.

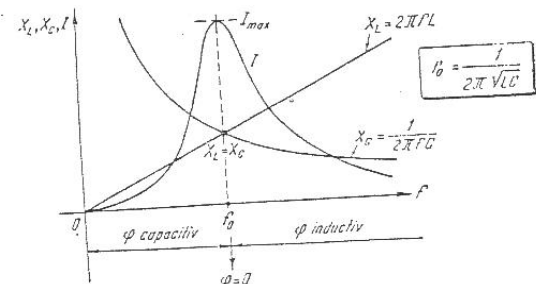


Fig. 4.8 Variația reactanțelor și a curentului în funcție de frecvență.

Din fig.4.8 se constată că există o singură frecvență  $f_0$  pentru care:

$$X_L = X_C \Rightarrow 2\pi \cdot f_0 \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f_0 \cdot C} \quad (4.24)$$

de unde rezulta:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (4.25)$$

în acest caz, deoarece  $X_L - X_C = 0$ , valoarea curentului devine:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2}} = \frac{E}{R} = I_{\max} \quad (4.26)$$

Curentul a căpătat o valoare maximă ca și cum în circuit ar fi rămas numai rezistența R, cele două reactanțe anulându-se reciproc.

Rezultă de asemenea că, în această situație, defazajul  $\varphi$  devine:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = 0 \Rightarrow \varphi = 0$$

adică curentul este în fază cu tensiunea.

Acest fenomen se numește *rezonanță serie* a circuitului R, L, C, iar  $f_0$  este *frecvența de rezonanță* a circuitului.

În fig.4.8 s-a trasat și funcția  $I = f_3(f)$  calculată pe baza relației 4.19.

### Observații.

- Pentru  $f = 0 \Rightarrow X_C = \infty \Rightarrow I = 0$
- Pentru  $f = \infty \Rightarrow X_L = \infty \Rightarrow I = 0$
- Pentru  $f = f_0 \Rightarrow X_L - X_C = 0 \Rightarrow I = I_{max}$

**Aplicația 1.** Sa se rezolve circuitul  $R, L, C$  serie având parametri din fig.4.9, frecvența nominală a rețelei fiind de 50Hz. Se va calcula și frecvența de rezonanță a circuitului.

*Răspuns.* Se calculează succesiv:

- pulsația:  $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 314s^{-1}$
- reactanța inductivă:  $X_L = \omega L = 314 \cdot 320 \cdot 10^{-3} = 100\Omega$
- reactanța capacitivă:  $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = 64\Omega$
- impedanța circuitului:  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{55^2 + (100 - 64)^2} = 66\Omega$

**Observație.** Impedanța totală este mai mică decât reactanța inductivă care este parte constitutivă a impedanței ( $Z < X_L$ ).

- Curentul în circuit este:  $I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{66} = 3,34A$
- Faza curentului este:  $tg\varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{36}{55} = 0,65 \Rightarrow \varphi = 33^\circ$  inductiv
- Căderile de tensiune pe fiecare element vor fi:  
 $U_R = R \cdot I = 55 \cdot 3,34 = 184V$ ;  
 $U_L = X_L \cdot I = 100 \cdot 3,34 = 334V$ ;  
 $U_C = X_C \cdot I = 64 \cdot 3,34 = 214V$ .

**Observație.** Căderea de tensiune pe un element ( $U_L = 334V$ ) este mai mare decât tensiunea sursei ( $U = 220V$ ).

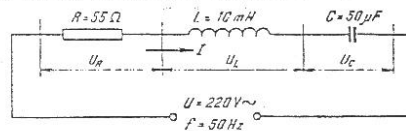
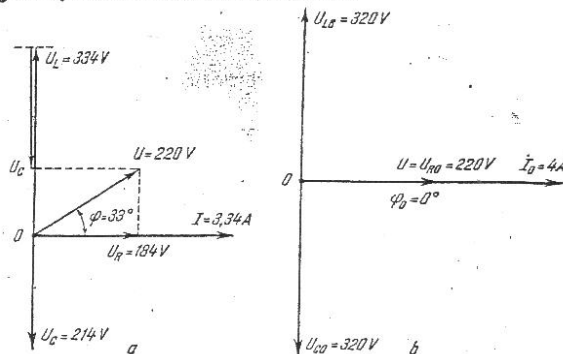


Fig. 4.9 Exemplu de circuit  $R, L, C$  serie (aplicația 4.1).

Fig. 4.10 Reprezentarea fazorială a tensiunilor (aplicația 4.1):  
a — pentru frecvența de 50 Hz;  
b — pentru frecvența de rezonanță (40 Hz).



Cu ajutorul valorilor obținute mai sus se trasează diagrama fazorială din fig.4.10.

- Frecvența de rezonanță a circuitului este:  $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{320 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^{-6}}} = 40Hz$
- Curentul la rezonanță este:  $I_0 = \frac{U}{R} = \frac{220}{55} = 4A$
- Reactanțele la rezonanță vor fi:  $X_{L0} = \omega_0 \cdot L = 2\pi \cdot 40 \cdot 320 \cdot 10^{-3} = 80\Omega$   
 $X_{C0} = \frac{1}{\omega_0 \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 40 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = 80\Omega = X_L$
- Căderile de tensiune la rezonanță vor fi:  
 $U_{R0} = R \cdot I_0 = 55 \cdot 4 = 220V$ ;  
 $U_{L0} = X_{L0} \cdot I_0 = 80 \cdot 4 = 320V$ ;  
 $U_{C0} = X_{C0} \cdot I_0 = 80 \cdot 4 = 320V$ .

### CIRCUIT R, L, C PARALEL

In cazul in care cele trei elemente pasive  $R, L, C$  sunt legate in derivație (fig.4.11,a) prin aplicarea unei tensiuni alternative de valoarea eficace  $E$  fiecare element absoarbe curentul (fig.4.11,b):

$$I_R = \frac{E}{R}; I_L = \frac{E}{X_L} = \frac{E}{\omega L}; I_C = \frac{E}{X_C} = E \cdot \omega \cdot C$$

Din diagrama fazorială (fig. 4.11,c) se constata ca, curentul  $I$  debitat de sursa va fi dat de suma fazorială a celor trei curenți:

$$\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_L + \underline{I}_C \quad (4.27)$$

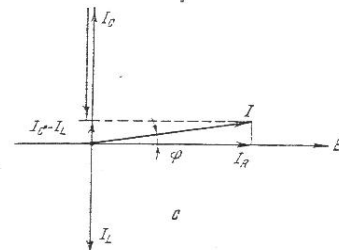
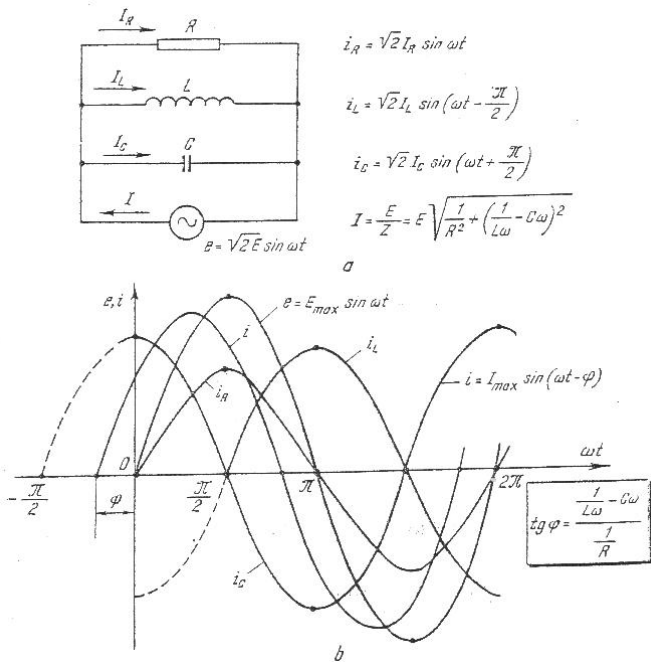


Fig. 4.14. Circuit  $R, L, C$  derivație: a — schema electrică; b — diagrama tensiunii și curentilor; c — reprezentarea fazorială.

Rezulta pentru curentul total:

➤ valoarea eficace:

$$I = E \cdot \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L \cdot \omega} - C \cdot \omega\right)^2} = \frac{E}{Z} \quad (4.28)$$

➤ defazajul  $\varphi$  dat de expresia (fig.4.11,c):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{1}{L \cdot \omega} - C \cdot \omega}{\frac{1}{R}} = R \cdot \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right) \quad (4.29)$$

Impedanța circuitului rezulta din expresia (4.28):

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{L \cdot \omega} - C \cdot \omega\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}} \quad (4.30)$$

### REZONANTA PARALELA

Din relația (4.28) se observa ca si in cazul circuitului  $R, L, C$  paralel se obține fenomenul de rezonanță (rezonanță paralela) daca:

$$\frac{1}{L \cdot \omega} - C \cdot \omega = 0 \Rightarrow \omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Frecvența de rezonanță este data de aceeași expresie ca si in cazul rezonanței serie:

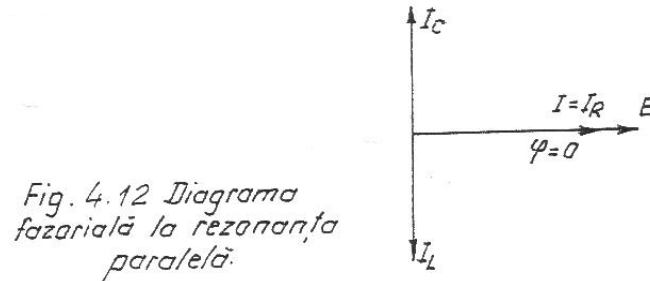
$$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}; f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (4.31)$$

Deoarece in acest caz  $\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C}$  valoarea eficace a curentului este maxima si străbate numai rezistența  $R$ ,  $I = \frac{R}{E} = I_{\max}$ , iar faza sa devine  $\operatorname{tg} \varphi = 0 \Rightarrow \varphi = 0$

Ceilalți doi curenți sunt egali si in opoziție de faza:

$$I_L = \frac{E}{\omega \cdot L} = E \cdot \omega \cdot C = I_C$$

Diagrama fazorială in cazul rezonanței paralele este prezentata in fig. 4.12:



### LEGEA LUI OHM SI TEOREMELE LUI KIRCHHOFF IN CURENT ALTERNATIV

Din cele arătate mai sus a rezultat ca, legile folosite in curent continuu sunt valabile si in curentul alternativ cu observația ca mărimile intervin fazorial.

➤ **Legea lui Ohm:**

$$\underline{I} = \underline{U} / \underline{Z}; \text{ sau } \underline{U} = \underline{Z} \underline{I}; \text{ sau } \underline{Z} = \underline{U} / \underline{I}. \quad (4.32)$$

➤ **Teorema I a lui Kirchhoff:**

$$\sum \underline{I} = 0$$

Suma fazorială a curenților care intra într-un nod al rețelei este nula.

➤ **Teorema a II – a lui Kirchhoff:**

$$\sum \underline{E} = \sum \underline{Z} \underline{I} \quad (4.33)$$

Intr-un circuit închis al unei rețele, suma fazorială a tensiunilor electromotoare este egala cu suma fazoriala a căderilor de tensiune.

### CURENTUL ALTERNATIV TRIFAZAT

#### Producerea curentului alternativ trifazat

Reluând experiența din fig. 4.1, inasa folosind in loc de o spira (bobina) care se rotește in câmpul magnetic, un număr de trei spire decalate in spațiu la unghiuri egale ( $2\pi / 3 = 120^\circ$ ) (fig.4.13) se vor obține trei tensiuni monofazate  $e_1, e_2, e_3$  egale ca valori maxime ( $E_{\max} = E_{1\max} = E_{2\max} = E_{3\max}$ ) si deci egale ca valori eficace ( $E = E_1 = E_2 = E_3$ ), inasa cu unghiuri  $\varphi = 2\pi / 3$ :

$$\begin{cases} e_1 = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \omega t, \\ e_2 = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right), \\ e_3 = \sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{cases} \quad (4.34)$$

Un asemenea sistem poarta numele de *sistem trifazat* de tensiuni, iar mașina electrica ce-l produce se numește *generator trifazat*.

In fig. 4.14 este prezentata diagrama fazorială a sistemului trifazat de tensiuni.

Cele trei spire (bobinaje) pot alimenta teoretic trei impedanțe de sarcina  $Z_1, Z_2$ , si  $Z_3$  prin trei circuite independente (fig. 4.15).

Practic, in scopul reducerii numărului de conductoare, cele trei bobinaje (generatoare) precum si cele trei impedanțe (consumatoare) sunt legate in diverse moduri, numite conexiuni.

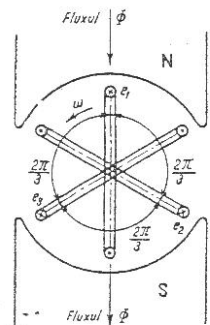


Fig. 4.13 Principiul producerii curentului alternativ trifazat.

$$e_1 = \sqrt{2}E \sin \omega t$$

$$e_2 = \sqrt{2}E \sin \left( \omega t - \frac{2\pi}{3} \right)$$

$$e_3 = \sqrt{2}E \sin \left( \omega t - \frac{4\pi}{3} \right)$$

$$\sqrt{2}E = E_{max}$$

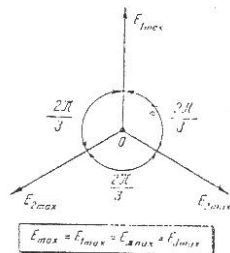


Fig. 4.14 Diagrama fazorială la un sistem trifazat.

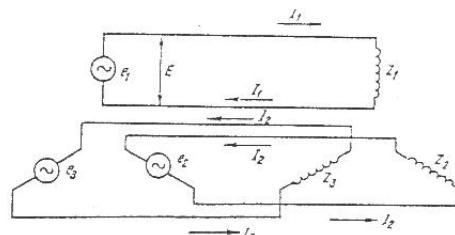


Fig. 4.15 Sistem trifazat alimentând trei sarcini monofazate (schemă teoretică).

### CONEXIUNEA IN STEA CU FIR NEUTRU

Bobinajele (înfășurările) generatorului sau impedanțele de sarcina (de exemplu fazele unui motor) se leagă ca în fig.4.16 numita *legare sau conexiune în stea*. Punctul comun al celor trei bobinaje ale generatorului (notat cu  $O_G$ ), precum și al celor trei impedanțe de sarcina ( $O_S$ ), se numește *punct neutru* sau *nul*. Celelalte trei conductoare se numesc *conductoare active* sau *faze* și se notează, de obicei, cu  $R, S,$  și  $T$ .

Tensiunea fiecărei faze, măsurate între conductorul de faza și nul, se numește *tensiune de faza* ( $E_{RO} = E_{SO} = E_{TO} = E_O$ ), iar tensiunea între conductoarele active se numește *tensiune între faze* ( $U_{RS} = U_{ST} = U_{TR}$ ).

Din diagrama fazorială (fig.4.17) se constată de exemplu, ca:

$$U_{RS} = E_{RO} = E_{SO}$$

sau

$$U_{RS} = 2E_0 \cdot \cos 30^\circ = 2 \cdot E_0 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot E_0$$

Tensiunea între faze este de  $\sqrt{3}$  ori mai mare decât cea pe faza:

$$U = \sqrt{3} \cdot E \tag{4.35}$$

De exemplu, tensiunea de alimentare a locuințelor este de obicei  $E = 220V$  fiind distribuită de la o faza și nul (tensiunea pe faza) a unui sistem trifazat cu conexiune în stea cu fir neutru având  $U = 380V$  tensiune între faze ( $380 = \sqrt{3} \cdot 220$ ).

### CONEXIUNEA IN STEA FARA FIR NEUTRU

Această conexiune este asemănătoare celei precedente, cu observația că firul neutru lipsește (fig.4.18).

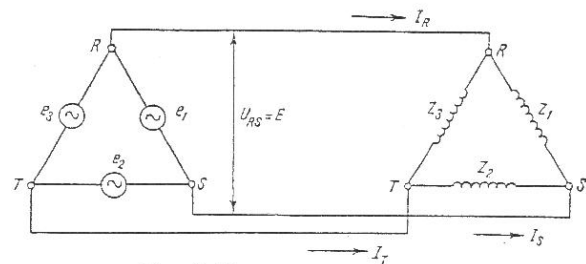


Fig. 4.19 Conexiune în triunghi.

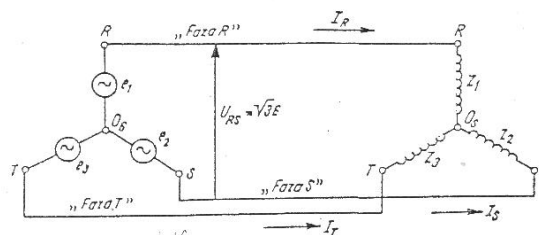


Fig. 4.18 Conexiunea în stea fără fir neutru.

### CONEXIUNEA IN TRIUNGHI

Se realizează ca în fig.4.19 înfășurările fiind legate două câte două între ele. Se constată că în acest caz tensiunea pe o faza (înfășurare) este aceeași cu tensiunea între faze ( $E = U$ ).

**Atenție !** Conexiunile la generator și consumator pot fi diferite, adică, de exemplu, generatorul poate fi conectat în stea, iar consumatorul (motorul) în triunghi.

## PUTEREA IN CURENT ALTERNATIV

### Introducere

Spre deosebire de curentul continuu, unde puterea electrică reprezintă produsul între tensiune și curent ( $P = U \cdot I$ ), în curent alternativ trebuie să se țină seama de faptul că tensiunea nu este întotdeauna în fază cu curentul, existând de obicei un unghi de fază  $\varphi$ .

Considerând, de exemplu, un circuit  $R, L$  serie alimentat de tensiunea  $U$  (fig.4.20,a), curentul  $I$  străbătând circuitul respectiv va provoca:

- o cădere de tensiune pe rezistența  $R$  care va fi în fază cu curentul  $I$ :

$$U_R = R \cdot I; \quad \varphi_R = 0; \quad (4.36)$$

- o cădere de tensiune pe inductanța  $L$  care va fi defazată înaintea curentului  $I$  cu unghiul  $\pi / 2$ :

$$U_L = \omega \cdot L \cdot I; \quad \varphi_L = \pi / 2. \quad (4.37)$$

Din diagrama fazorială (fig.4.20,b) se constată că, conform teoremei a II-a a lui Kirchhoff, se poate scrie:

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L; \quad (4.38)$$

sau, în module:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{R^2 \cdot I^2 + \omega^2 \cdot L^2 \cdot I^2} = I \cdot \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2} = I \cdot Z \quad (4.39)$$

Rezultă:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega \cdot L^2}}; \quad \text{tg} \varphi = \frac{\omega \cdot L}{R} \quad (4.40)$$

Triunghiul din fig.4.20,b având laturile  $U_R$ ,  $U_L$  și  $U$  se numește triunghiul tensiunilor.

Împărțind mărimile care constituie laturile acestui triunghi cu curentul  $I$  se obține un triunghi având laturile  $R$ ,  $X_L$  și  $Z$  (fig.4.20,c) care se numește *triunghiul impedanțelor*.

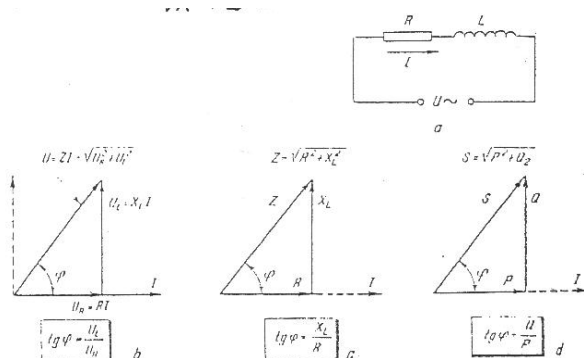


Fig. 4.20 Puterea în curent alternativ:  
a — schema electrică; b — triunghiul tensiunilor; c — triunghiul impedanțelor; d — triunghiul puterilor.

### PUTEREA IN CURENT ALTERNATIV MONOFAZAT.

Cu aceste noțiuni preliminare se va trece la definirea mai multor feluri de puteri în curent alternativ.

- **Puterea activă  $P$**  reprezintă produsul dintre curentul  $I$  și componenta  $U_R$  a tensiunii  $U$  în fază cu curentul:

$$P = U_R \cdot I \quad (4.41)$$

sau, deoarece  $U_R = U \cdot \cos \varphi$  (fig.4.20,b), relația devine:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4.42)$$

Expresia (4.42) definește puterea activă în curent alternativ monofazat și ea se măsoară în W (watt).

Considerând relațiile (4.36) și (4.41) se pot obține și alte expresii pentru puterea activă:

$$P = R I \cdot I = R \cdot I^2 = U_R^2 / R \quad (4.43)$$

**Observație.** Puterea activă mai poate fi definită și ca produsul dintre tensiunea  $U$  și componenta  $I_R$  a curentului  $I$  în fază cu tensiunea. Bineînțeles că  $I_R = I \cdot \cos \varphi$  fapt care conduce la același rezultat:

$$P = U \cdot I_R = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Din motivele arătate mai sus,  $U_R$  se numește *componenta activă a tensiunii*, după cum  $I_R$  se numește *componenta activă a curentului*.

- **Puterea reactivă  $Q$**  reprezintă produsul dintre curentul  $I$  și componenta  $U_L$  a tensiunii  $U$  în cuadratură cu curentul:

$$Q = U_L \cdot I \quad (4.44)$$

sau, deoarece  $U_L = U \cdot \sin \varphi$  (fig.4.20,b) relația devine:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (4.45)$$

Aceasta reprezintă puterea reactivă în curent alternativ monofazat și ea se măsoară în var (denumirea de VAR a fost adoptată de C.E.I. – Comitetul Electrotehnic Internațional, în anul 1930 pe baza propunerii unui savant român – acad. Prof.C.Budeanu )(volt-ampere-reactiv).

Similar, puterea reactivă mai poate fi exprimată și astfel:

$$Q = X_L \cdot I^2 = U^2 / X_L \quad (4.46)$$

De asemenea, puterea reactivă mai poate fi definită ca produsul dintre tensiunea  $U$  și componenta  $I_L$  a curentului  $I$  în cuadratura cu tensiunea. Componenta reactivă  $I_L$  a curentului ( $I_L = I \cdot \sin \varphi$ ) conduce la același rezultat (relația 4.45).

Dacă circuitul este prevăzut și cu capacitate ( $R, L, C$ ) reactanța are forma generală:

$$X = X_L - X_C \quad (4.47)$$

ceea ce înseamnă că expresia generală a puterii reactive este:

$$Q = (X_L - X_C) \cdot I^2 = X_L \cdot I^2 - X_C \cdot I^2 \quad (4.48)$$

Se poate vorbi deci despre:

- puterea reactivă inductivă  $Q_L = X_L \cdot I^2$ ;
- puterea reactivă capacitivă  $Q_C = X_C \cdot I^2$ .

**Observație.** Ca și reactanțele, puterile reactive inductivă și capacitivă au întotdeauna semne contrarii, deci puterea reactivă totală reprezintă diferența celor două puteri.

➤ **Puterea aparentă  $S$**  reprezintă produsul dintre tensiunea  $U$  și curentul  $I$ :

$$S = U \cdot I \quad (4.49)$$

similar, puterea aparentă mai poate fi exprimată și astfel:

$$S = Z \cdot I^2 = U^2 / Z$$

și se măsoară în VA ( volt-ampere). Din relațiile (4.42), (4.45) și (4.49) se constată că:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (4.50)$$

Lucru care se observă și din fig.4.20,d numit triunghiul puterilor obținut din triunghiul tensiunilor prin înmulțirea valorilor fiecărei laturi cu curentul  $I$ .

### PUTEREA IN SISTEMUL TRIFAZAT

Considerând un sistem trifazat – generator sau consumator – având tensiunile pe fază  $E_1, E_2,$  și  $E_3$  curenții  $I_1, I_2$  și  $I_3$  respectiv fazele  $\varphi_1, \varphi_2,$  și  $\varphi_3$  puterile totale vor fi date de suma puterilor celor trei faze. Astfel:

➤ **Puterea activă:**

$$P = E_1 I_1 \cos \varphi_1 + E_2 I_2 \cos \varphi_2 + E_3 I_3 \cos \varphi_3 \quad (4.51)$$

În cazul unui sistem simetric ( $E_1 = E_2 = E_3 = E, I_1 = I_2 = I_3 = I$  și  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$ ) expresia puterii active este:

$$P = 3 \cdot E \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4.52)$$

și deoarece tensiunea între faze  $U$  este:  $U = \sqrt{3} \cdot E$  se obține forma generală a puterii în sistemul trifazat:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (4.53)$$

Care este valabilă independent de modul de conectare – stea, în triunghi – al generatorului (putere produsă) sau al consumatorului (putere consumată).

➤ **Puterea reactivă:**

$$Q = E_1 I_1 \sin \varphi_1 + E_2 I_2 \sin \varphi_2 + E_3 I_3 \sin \varphi_3 \quad (4.54)$$

În cazul unui sistem simetric puterea reactivă este:

$$Q = 3 \cdot E \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (4.55)$$

Sau, similar ca mai sus:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (4.56)$$

➤ **Puterea aparentă:**

$$S = E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 \quad (4.57)$$

În cazul unui sistem simetric puterea aparentă devine:

$$S = 3 \cdot E \cdot I = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (4.58)$$

**Observație.** Și în cazul sistemului trifazat este valabilă relația  $S^2 = P^2 + Q^2$ .



## IMBUNATATIREA FACTORULUI DE PUTERE

Termenul  $\cos \varphi$  din expresia puterii active (4.42) se numește *factor de putere*; el reprezintă un număr subunitar cu care trebuie înmulțită puterea aparenta  $S$  pentru a obține pe cea activă:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi \quad (4.59)$$

Deoarece, circulând prin conductoare și cabluri către consumator curentul  $I$  produce pierderi de putere ( $RI^2$ ) și căderi de tensiune ( $RI$ ) înseamnă că în industrie este necesar ca, pentru o anumită putere absorbită  $P$  și la tensiune data  $U$ , să realizăm un curent absorbit minim, respectiv un factor de putere maxim ( $\cos \varphi_{\max} = 1 \Rightarrow \varphi = 0$ ).

De obicei, în industrie, datorită existenței motoarelor electrice (inductanțe), factorul de putere este subunitar ( $\cos \varphi \approx 0,5 \div 0,8$ ) unghiul  $\varphi$  fiind negativ (I în urma lui U).

Problema sporirii acestui factor la valori apropiate de 1 (de exemplu se impune  $\cos \varphi > 0,92$ ) se numește *îmbunătățirea factorului de putere*. Îmbunătățirea factorului de putere se realizează în întreprinderi în special prin condensatoare statice care prin capacitatea lor „compensează” inductanțelor motoarele electrice.

**Aplicația 2.** Un consumator industrial trifazat simetric alimentat la tensiunea  $U=6,3 \text{ kV}$  (fig.4.21,a) absoarbe un curent  $I_0=363 \text{ A}$  la un unghi de fază  $\varphi_0=-60^\circ$ . Se cere:

- a) determinarea parametrilor schemei;
- b) îmbunătățirea factorului de putere la valoarea  $\cos \varphi_1=0,87$ .

*Răspuns:*

- a) Tensiunea pe fază a consumatorului:

$$E = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{6300}{\sqrt{3}} = 3630 \text{ V}$$

Impedanța echivalentă pe fază:

$$Z_a = \frac{E}{I_a} = \frac{3630}{363} = 10 \Omega$$

Rezistența echivalentă pe fază:

$$R_0 = Z_0 \cdot \cos \varphi_0 = 10 \cdot 0,5 = 5 \Omega$$

Reactanța inductivă pe fază:

$$X_{L0} = Z_0 \cdot \sin \varphi_0 = 10 \cdot 0,87 = 8,7 \Omega$$

Diagrama fazorială este prezentată în fig.4.21,b.

- b) Pentru compensarea factorului de putere se vor calcula puterile  $P_0$ ,  $Q_0$  și  $S_0$  înainte de compensare.

Puterea activă pe fază:

$$P_0 = E \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0 = 3630 \cdot 363 \cdot 0,5 = 651 \cdot 10^3 \text{ W} = 651 \text{ kW}$$

Puterea reactivă pe fază (inductivă):

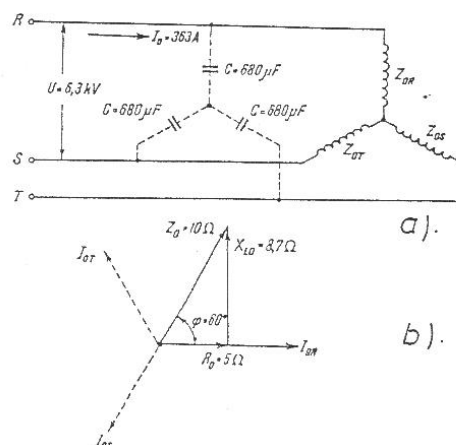
$$Q_0 = E \cdot I_0 \cdot \sin \varphi_0 = 3630 \cdot 363 \cdot 0,87 = 1150 \cdot 10^3 \text{ var} = 1150 \text{ k var} = 1,15 \text{ M var}$$

Puterea aparenta pe fază:

$$S_0 = E \cdot I_0 = 3630 \cdot 363 = 1320 \cdot 10^3 \text{ VA} = 1320 \text{ kVA} = 1,32 \text{ MVA}$$

Triunghiul puterilor este prezentat în figura 4.21.

În noile condiții – cu compensare – puterile absorbite vor trebui să fie ( $\cos \varphi_1=0,87$ ;  $\varphi_1=30^\circ$ ):



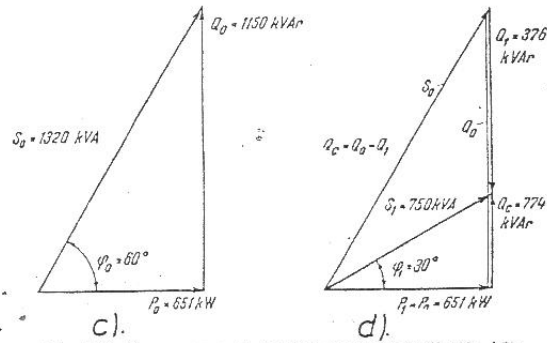


Fig. 4.21. Compensarea factorului de putere (aplicația 4.2):  
 a — schema electrică; b — triunghiul impedanțelor; c — triunghiul puterilor (fără compensare); d — triunghiul puterilor (cu compensare).

Puterea activă pe fază:

$$P_1 = P_0 = 651 \text{ kW}$$

Puterea reactivă pe fază (inductivă):

$$Q_1 = P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 = P_1 \cdot 30^\circ = 651 \cdot 1/\sqrt{3} = 376 \text{ k var}$$

Puterea reactivă compensată:

$$Q_C = Q_0 - Q_1 = 1150 - 376 = 774 \text{ kvar}$$

Puterea aparentă pe fază scade de la 1320 kVA la valoarea:

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \varphi_1} = \frac{651}{0,87} = 750 \text{ kVA}$$

Curentul absorbit pe fază scade de la 363 A la valoarea:

$$I_1 = \frac{S_L}{E} = \frac{750 \cdot 10^3}{3630} = 206 \text{ A}$$

Reactanța capacitivă pe fază:

$$X_C = \frac{E^2}{Q_C} = \frac{3630^2}{774 \cdot 10^3} = 4,7 \Omega$$

Capacitatea de compensare pe fază:

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{314 \cdot 4,7} = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ F} = 680 \mu\text{F}$$

Diagrama fazorială a puterilor în noile condiții va fi cea din fig.4.21,d.

## CAPITOLUL V. APARATE ELECTRICE DE ÎNALTĂ ȘI JOASĂ TENSIUNE

### NOȚIUNI GENERALE

În sistemul energetic, energia electrică străbate un anumit circuit, de la surse (generatoare) la consumatori (motoare, cuptoare, lămpi etc.). Pentru ca acest circuit să funcționeze în bune condiții și în conformitate cu cerințele de producție impuse de om, sunt necesare o serie de obiecte (utilaje) electrotehnice, de construcții mai simple sau mai complexe, numite aparate electrice.

După tensiunea la care sunt folosite, aparatele se clasifică în următoarele categorii:

- aparate electrice de înaltă tensiune (peste 1000V),
- aparate electrice de joasă tensiune (sub 1000V).

Independent de tipul aparatului și de tensiunea pentru care sunt destinate, aparatele electrice au rolul de a stabili sau întrerupe un circuit parcurs de curent. Așadar, aparatele electrice de înaltă și joasă tensiune trebuie să suporte:

- **în regim normal** – curenții nominali (normali), într-un interval de timp oricât de mare;
- **în regim de suprasarcină** – curenți cu suprasarcină ce depășesc cu 10%...60% curenții nominali un timp relativ redus, de exemplu 2...60 min.;
- **în regim de avarie** – curenții de scurtcircuit ( $I_{sc}$ ) ce pot atinge valori de 5...25 ori din curentul nominal ( $I_n$ ), însă un timp foarte redus, de exemplu 1...5 s.

Datorită curenților ce le parcurg, aparatele suportă două feluri de solicitări:

- **mecanice** – datorate forțelor electrodinamice ce iau naștere între conductoarele, bobinajele etc. ale aparatelor parcurse de curent – forțe care sunt proporționale cu  $I^2$ ;
- **termice** – datorate rezistențelor conductoare și ale contactelor electrice curentul produce o încălzire prin efect JOULE LENZ care prin ridicarea temperaturii soliciată izolația aparatului din punct de vedere al încălzirii. Solicitățile respective sunt de asemenea proporționale cu  $I^2$  conform legii lui JOULE LENZ. Pe de altă parte însă deoarece cantitatea de căldură  $Q$  este proporțională și cu timpul  $t$  cât curentul străbate circuitul ( $Q = R \cdot I^2 \cdot t$ ) rezultă că pentru ca temperatura izolației să nu depășească o valoare periculoasă este necesar ca, cu cât curentul de scurtcircuit este mai mare, cu atât timpul admis pentru întreruperea circuitului (“timpul de protecție”) să fie mai scurt.

### APARATE ELECTRICE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

#### SEPARATOARE

Separatoarele sunt aparate de închidere – deschidere (conectare – deconectare) a circuitelor electrice sub tensiune, dar care nu sunt parcurse de curent, separarea fiind vizibilă și cu izolație destul de mare pentru ca pe circuitul deconectat personalul de întreținere să poată executa lucrări în deplină siguranță.

**Construcție.** Separatoarele sunt realizate de obicei sub forma din figura 5.1 în care un cadru de susținere 1, având doi izolatori suport 2, cuprinde contactele fixe 4 și 4' și cuțitul de contact mobil 6. Separatorul poate fi deschis acționând de urechea 5 a contactului mobil, astfel încât circuitul electric racordat prin bornele 3 și 3' este separat vizibil. Borna 7 de legare la masă asigură protecția personalului împotriva “tensiunilor de atingere”. Separatoarele pot fi acționate fie manual, cu ajutorul unei manete izoante, fie pneumatic folosind un “servomotor pneumatic” alimentat cu aer comprimat. Un asemenea servomotor poate fi comandat electric, practic de la orice distanță.

Exemplu 1. În figura 5.1 se prezintă un separator monopolar de interior, 10 KV, 400A, acționat manual.

Exemplu 2. În figura 5.2 se prezintă un separator tripolar, de exterior, 220KV, 600A, tip rotativ cu acționare pneumatică. Izolatoarele 1 și 2 se rotesc datorită servomotorului pneumatic 3, care acționează prin pârghiile 4, 5 și manivela 6. În interiorul pieselor 7 și 8 există contacte alunecătoare care asigură legătura între bornele de circuit 9 și 10 prin brațele mobile 11 și 12.

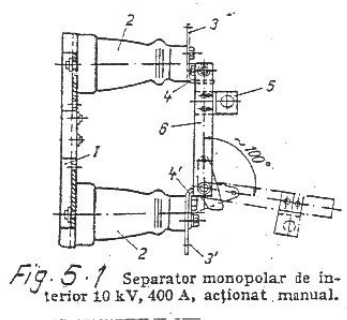


Fig. 5.1 Separator monopolar de interior 10 kV, 400 A, acționat manual.

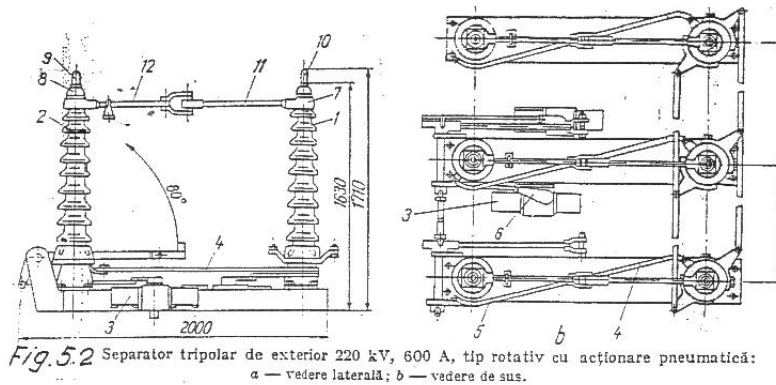


Fig. 5.2 Separator tripolar de exterior 220 kV, 600 A, tip rotativ cu acționare pneumatică:  
a — vedere laterală; b — vedere de sus.

## INTRERUPTOARE

Înteruptoarele sunt aparate de închidere-deschidere a circuitelor de înalta tensiune însă, spre deosebire de separatoare, ele acționează sub curent atât în condiții normale de lucru, când circuitul este străbătut de curentul nominal, cât și la defecte, când circuitul este străbătut de curenți de scurtcircuit.

Înteruptoarele executa operația de închidere sau deschidere fie la comanda unui operator uman, fie în mod automat, la comanda unor dispozitive speciale. Din aceasta cauza ele se mai numesc și înteruptoare automate de tensiune.

Înteruptoarele sunt caracterizate și printr-o mărime numita **putere de rupere S**, care reprezintă puterea trifazata pe care o poate deschide (rupe) înteruptorul la curentul de scurtcircuit  $I_{sc}$  (kA) și la tensiunea nominala  $U_n$  (kV), fără ca el să se deterioreze.

$$S_r = \sqrt{3} U_n I_{sc} \text{ (MVA)}$$

Pentru ca înteruptoarele să poată "rupe" curenți mari, este necesara folosirea unui "mediu de stingere" (ulei, aer comprimat etc.). Acesta este mediul material în care se deschid contactele înteruptorului care rup curentul de scurtcircuit și unde ia naștere un "arc electric" ca acela ce se formează la sudarea electrica. Mediul de stingere este acela care, printr-o deplasare rapida între contacte, "sufla" și stinge arcul electric.

Exemplul 1. În figura 5.3 se prezintă un înteruptor cu ulei puțin, 20kV, 1250A, 500MVA de tip interior.

Exemplul 2. În figura 5.4 se prezintă un înteruptor cu aer comprimat, 220kV, 800A, 15000MVA, de tip exterior.

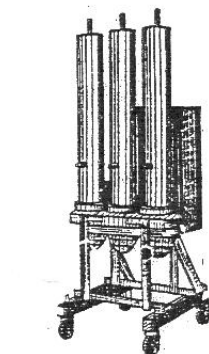


Fig. 5.3 Înteruptor cu ulei puțin, de tip interior.

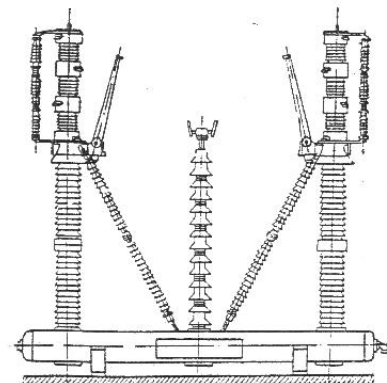


Fig. 5.4 Înteruptor cu aer comprimat, tip exterior.

## SIGURANTE FUZIBILE DE ÎNALTA TENSIUNE

După cum le arata și numele, siguranțele sunt fuzibile, adică "se topesc" la trecerea curenților de scurtcircuit, astfel ca înterup circuitul parcurs de curent. Se spune ca siguranțele au rolul de "protecție" adică de apărare (protejare) a instalației electrice împotriva efectelor produse de scurtcircuite. Siguranțele fuzibile se folosesc în general în instalații de 9...35KV și foarte rar la 110KV, având o putere de rupere redusa (circa 10 MVA). Domeniile lor de aplicare sunt următoarele:

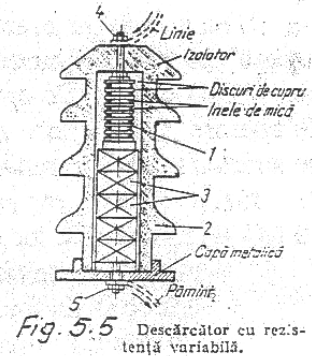
- protecția transformatoarelor cu puteri de până la 1000KVA;
- protecția motoarelor de înalta tensiune (3...6KV);
- protecția liniilor de 15... 20KV de importanta mica (electrificări rurale).

## DESCARCATOARE

Una dintre mărimile specifice unui aparat sau unei instalații electrice este tensiunea nominală  $U_n$  față de care în funcționare normală tensiunile reale sau de serviciu nu pot avea valori mai mari sau mai mici decât în anumite limite admisibile (5...15%). În exploatare însă, pot apărea creșteri de tensiune ce depășesc cu mult valoarea de serviciu maximă admisibilă, datorită unor sarcini suplimentare ce se acumulează pe capacitățile liniilor aeriene sau cablurilor ( $U = Q / C$ ).

Aceste creșteri de tensiune, numite supratensiuni, sunt periculoase prin faptul că pot provoca distrugerea izolației, determinând uneori deteriorări grave, cum ar fi “arderea” transformatoarelor. Descărcătoarele sunt aparate folosite în protecția împotriva supratensiunilor și care asigură scurgerea la pământ a sarcinilor electrice care au produs supratensiunea.

În acest mod, tensiunea normală este restabilită fără a fi nevoie ca alimentarea liniei să fie întreruptă. În cazul unui descărcător tubular, arcul electric ce se scurge la pământ se formează în interiorul unui tub în care arcul este “suflat” printr-o degajare de gaze. În cazul unui descărcător cu rezistență variabilă (fig.5.5) în afara spațiului de rupere 1 aflat în interiorul unui izolator 2 se montează în serie o rezistență 3 formată din carbura de siliciu, care are proprietatea că la creșterea curentului de descărcare rezistența internă a aparatului crește. Acest fapt asigură restabilitatea rapidă a tensiunii normale. Borna 4 este legată la linia protejată, iar borna 5 se leagă la pământ.



## APARATE ELECTRICE DE JOASA TENSIUNE

Prin noțiunea generală de aparat electric de joasă tensiune se pot defini un număr foarte mare de elemente, foarte diferite între ele, atât ca domeniu de folosire, cât și ca mod de construcție sau grad de complexitate. Din această cauză o clasificare precisă este greu de făcut, singurul criteriu de deosebire fiind acela al **funcțiilor** pe care aceste aparate le au în instalațiile electrice industriale. Astfel sunt:

- **aparate de conectare manuală**, ca: întrerupătoare și comutatoare cu pârghie, întrerupătoare pachet, butoane, controlere, separatoare, întrerupătoare de lumină etc.;
- **aparate de conectare automată**, ca: întrerupătoare automate, contactoare, relee, limitatoare de cursă etc.;
- **aparate de reglare continuă și în trepte**, ca: reostate, bobine de soc etc. cu care se realizează pornirea și oprirea mașinilor sau a altor receptoare de energie și variația parametrilor (viteza, tensiunea etc.);
- **aparate de reglare automată continuă** a diferitelor mărimi electrice și neelectrice, reglatoare, cu ajutorul cărora se mențin la un nivel prescris diferiți parametri, ca: nivelul apei, tensiunea, curentul, puterea, frecvența etc.;
- **aparate pentru protejarea circuitelor electrice** împotriva tensiunilor și a curentilor prea mari (iar uneori prea mici): siguranțe, relee de protecție, reactoare și descrescătoare;
- **aparate de control automat**: elemente de comandă, care au ca scop principal controlul regimurilor de funcționare ale diferitelor instalații și agregate, al proceselor tehnologice etc., transmiterea unui impuls electric sau a unui semnal, în cazul când trebuie să se comande pornirea, oprirea, conectarea sau deconectarea lor etc.;
- **aparate destinate producerii unor forțe mecanice** acționând pe o distanță foarte scurtă: acționări electromagnetice, cuplaje electromagnetice, frâne electromagnetice, electromagneți de ridicare și de reținere, supape electromagnetice;
- **complete de aparate**, utilizate pentru realizarea mai multor funcțiuni (tablouri de distribuție, centrale magnetice de comandă, pupitre și panouri de comandă și protecție etc.).

**După principiul de funcționare**, aparatele se clasifică în funcție de fenomenele fizice pe baza cărora funcționează:

- **fenomene electromagnetice** (la relee electromagnetice, contactoare);
- **interacțiune între curentul electric și câmpul magnetic** (la relee de inducție și electrodinamice);
- **fenomene termice** (la relee termice etc.).

În general, funcționarea aparatelor electrice se bazează pe mai multe dintre fenomenele fizice enumerate.

#### După modul de acționare:

- **aparate automate**, a căror funcționare depinde de regimul circuitului în care sunt conectate și nu depinde de personalul de deservire;
- **aparate manuale**, care acționează numai la intervenția personalului de exploatare.

În cadrul aceleiași grupe sau al aceluiași tip de aparate, acestea pot fi clasificate **după valoarea tensiunii** (de înaltă sau joasă tensiune), **după felul curentului** (de curent continuu sau alternativ), **după felul protecției** față de mediul înconjurător (deschise, cu protecție normală, cu protecție împotriva exploziilor), precum și după alte caracteristici constructive (întrerupătoare cu aer, cu ulei etc.).

### CONDITII DE FUNCTIONARE

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească aparatele electrice sunt determinate de domeniul de utilizare a acestora, de caracteristicile mediului în care funcționează și de numeroși alți factori.

În general, orice aparat electric are trei categorii de elemente componente principale, și anume: cai conductoare de curent, piese izolante și elemente mecanice cu rol de fixare sau de transmitere a mișcării. În funcționarea aparatelor, fiecare din aceste elemente este supus unor anumite solicitări, cărora trebuie să le reziste în bune condiții. Cele mai importante și mai frecvente solicitări la care sunt supuse aparatele electrice în timpul funcționării sunt cele electrice, electrodinamice, prin arc electric, datorite mediului, uzurii și temperaturii. Fiecare aparat electric trebuie, în primul rând, să funcționeze sigur și precis în executarea funcțiilor sale.

Funcționarea incorectă a aparatului poate provoca pagube mari și avarii importante ale utilajelor.

#### 1. Solicitări electrice

Solicitarea electrică este cea la care este supus un izolanț electric atunci când două regiuni ale sale se afla la potențiale diferite (fig. 5.6). Tensiunea  $U$  aplicată între cele două regiuni tinde să formeze o cale conducătoare de curent fie prin străpungere, fie prin conturnarea izolanțului (se numește **străpungere** formarea unui canal conducător de electricitate prin interiorul unui izolanț, solid, lichid sau gazos și **conturare** - formarea unui canal conducător pe suprafața unui izolanț solid).

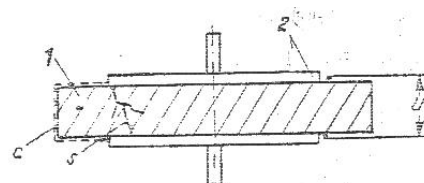


Fig. 5.6 Solicitarea electrică a unui izolanț (reprezentare schematică):  
1 - izolanț; 2 - electrozi;  $U$  - tensiunea aplicată;  
s - linie de conturare pe suprafața izolanțului; s - linie de străpungere prin izolanț.

Pentru a se evita conturnarea sau străpungerea izolanțului, aparatele electrice se încearcă bucata cu bucata la tensiuni mai mari decât tensiunea lor nominală de izolare  $U_n$ . Aparatele de joasă tensiune cu  $U_n = 500V$  și  $600V$  se încearcă la  $2500-3000V$ .

Aparatele de înaltă tensiune cu  $U_n \leq 35KV$  se încearcă la  $U_1 = 2U_n + 15KV$ , iar cele cu  $U_n \geq 60KV$  se încearcă la  $U_1 = 2U_n + 20KV$ .

#### 2. Solicitări termice

Trecerea curentului electric prin conductoare determină încălzirea acestora, încălzirile fiind deosebit de mari în locurile în care secțiunea cailor de curent este redusă (contacte, siguranțe fuzibile) sau rezistivitatea acestora este mai mare (bimetale, rezistente). Încălzirea exagerată a pieselor nu poate fi admisă deoarece ea influențează negativ proprietățile izolanțelor și durata de serviciu a izolanților, rezistența mecanică a pieselor metalice, elasticitatea resorturilor etc., motiv pentru care temperaturile maxime admisibile sunt prescrise prin standarde.

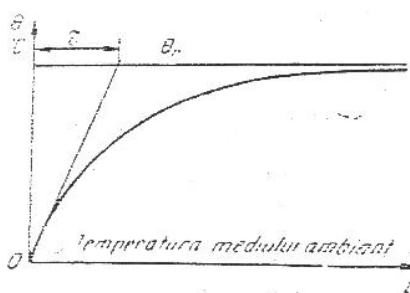


Fig. 5.7 Variația în timp a încălzirii unui conductor străbătut de curent.

Procesul de încălzire a cailor conductoare de curent se desfășoară în paralel cu procesul de răcire a acestora prin transmiterea unei părți a căldurii primite către piesele învecinate sau către mediul ambiant.

**Transmiterea căldurii** se realizează de regula simultan prin **conducție** (trecerea căldurii în interiorul corpurilor solide de la zonele calde la cele reci), prin **convecție** (curenți de fluid formați în lichide și gaze datorita diferențelor de temperatură) și prin **radiație** (emisie de energie termică sub forma de unde electromagnetice).

Datorita răcirii, încălzirea în timp a conductorului ca urmare a acumulării puterii primite prin efect JOUL-LENZ ( $P_p = R \cdot I^2$ ) se desfășoară în serviciul de durată după o curbă conform figurii de mai sus în care se observa că creșterea temperaturii este din ce în ce mai lentă, obținându-se după un anumit timp (teoretic infinit, dar practic egal cu câteva minute până la câteva ore, în funcție de masa corpului) o stabilizare a temperaturii la o valoare maximă numită **temperatura de regim**.

Atingerea acestei valori corespunde momentului în care din puterea primită nu se mai acumulează nimic, ca fiind în întregime cedată mediului ambiant.

Valoarea  $\tau$  din figura de mai sus obținută la intersecția tangentei la curbă (la  $t=0$ ) cu asimptota la curbă (la  $\theta = \theta_r$ ) reprezintă timpul în care conductorul ar atinge încălzirea de regim în condițiile unei răcirii nule. Această valoare, numită **constanta de timp**, caracterizează posibilitățile de încălzire și de răcire ale conductorului. Timpul total de atingere a temperaturii de regim este aproximativ egal cu  $3 \tau$ .

### 3. Solicitări electrodinamice

Curenții mari de scurtcircuit, care pot interveni în cazul unor defecte în instalație, determină apariția unor forțe de atracție sau respingere între conductoare, numite **forțe electrodinamice**. În regim normal de funcționare al aparatelor solicitărilor mecanice datorate forțelor electrodinamice sunt mici. În cazuri de accidente însă, în instalație pot să apară curenți de scurtcircuit de mii și zeci de mii de amperi. Asupra cailor conductoare de curent ale aparatelor se exercită în acest caz forțe de atracție sau respingere de mii sau chiar de zeci de mii de newtoni, ceea ce solicită mecanic întregul aparat și îndeosebi caile conductoare de curent și izolația de susținere a acestora.

Defectele cele mai des întâlnite, provocate de efectul forțelor electrodinamice, sunt:

- îndoirea conductoarelor și, prin aceasta, reducerea distanțelor de izolare;
- slăbirea legăturilor și chiar desprinderea conductoarelor din legături;
- slăbirea presiunii pe contacte, care poate determina sudarea contactelor;
- distrugerea prin solicitare mecanică a izolatoarelor – suport;
- deschiderea separatoarelor sub sarcină, efect deosebit de grav, care poate produce scurtcircuite în instalație și deteriorări importante ale acesteia;
- deformarea bobinelor.

### 4. Influența mediului în care lucrează aparatele

În timpul funcționării lor, aparatele electrice sunt puternic influențate de acțiunea diferiților agenți fizici, cum sunt: umiditatea, praful, radiațiile solare, vaporii corozivi etc. Aceștia, acționând asupra unor elemente sensibile ale aparatelor, pot determina funcționarea necorectă sau scoaterea din funcțiune.

**Aparate care funcționează în condiții normale de mediu.** Cea mai mare parte a aparatelor se construiesc pentru a funcționa în condiții normale, adică în aer, într-un mediu cu următoarele caracteristici (STAS 553/3-80):

- altitudinea: până la 2000 m;
- temperatura mediului înconjurător: cuprinsă între  $-15$  și  $+40^\circ\text{C}$ ;
- umiditatea relativă a mediului înconjurător: maximum 90% la temperatura de  $20^\circ\text{C}$  sau 50% la temperatura de  $40^\circ\text{C}$ ;
- lipsa de praf și agenți corozivi.

Aparatele de înaltă tensiune se construiesc, în funcție de locul de utilizare, chiar pentru "condiții normale" de mediu, în două variante:

- aparate de interior,
- aparate de exterior.

Aparatele de exterior, fiind supuse acțiunii directe a intemperiilor (ploaie, zăpada, chiciura), acțiunii radiațiilor solare, a vântului și a unor depuneri mai bogate de praf, au izolația exterioară dimensionată mai larg și o construcție mai robustă (la care se iau, de asemenea, măsuri de protecție împotriva pătrunderii în aparat a apei de ploaie, împotriva efectului radiațiilor solare și a unor variații mai mari de temperatură).

Aparatele de joasă tensiune se pot construi în multe variante de protecție. Pentru tipizarea construcțiilor, gradele de protecție au fost normalizate. Simbolizarea gradelor normale de protecție se face (conform STAS 3999-75) prin literele IP urmate de trei cifre caracteristice, caracterizând fiecare dintre ele câte unul dintre cele trei grade normale de protecție și anume:

- prima cifră, care poate lua valori între 0 și 6, simbolizează grade normale de protecție împotriva pătrunderii corpurilor solide și a prafului și de protecție a persoanelor împotriva electrocutării prin atingerea pieselor sub tensiune;

- a doua cifra, care poate lua valori între 0 și 8, simbolizează grade normale de protecție împotriva pătrunderii apei;
- a treia cifra, care poate lua valori între 0 și 5, simbolizează grade normale de protecție împotriva deteriorărilor mecanice.

De exemplu, un aparat pe care este marcată protecția IP – 442 este astfel construit încât:

- în aparat nu pot pătrunde corpuri străine având dimensiuni peste 1mm;
- în aparat nu pot pătrunde apa sau alte lichide sub forma de stropi, indiferent de direcția din care vin aceștia;
- aparatul suportă, fără deteriorări, căderea pe aparat a unei greutate de 0,5 kg de la o înălțime de 40 cm deasupra acestuia.

**Aparate care funcționează în condiții speciale de mediu.** Există numeroase situații în care condițiile de utilizare ale aparatelor electrice ies din cadrul condițiilor normale:

- temperaturi ale mediului mai mari decât 40°C sau foarte joase ( sub -5° C);
- altitudine la locul de utilizare peste 2000 m;
- atmosfera încărcată cu praf industrial;
- prezenta de pulberi sau gaze inflamabile ori explozive;
- climat diferit de cel temperat (diferit de condițiile normale, care corespund în linii mari climatului temperat din centrul Europei).

Aceste condiții de mediu determină solicitări deosebite ale aparaturii electrice și, de aceea, pentru astfel de utilizări se elaborează construcții speciale, dintre care se menționează:

- aparate destinate să funcționeze în climat normal, dar în încăperi cu umiditate mărită (băi, pivnițe, grajduri, instalații tehnologice în care se produce abur etc.). Aceste aparate se introduc în carcase etanșe. Se folosesc anumiți izolanți rezistenți la umiditate și se iau măsuri deosebite de protecție a pieselor metalice împotriva coroziunilor;
- aparate destinate să funcționeze în mediu cu aer marin (aparate “în construcție navala”). Atmosfera din apropierea țărmului mărilor solicită foarte sever aparatură electrică, deoarece atmosfera umedă și sărată favorizează coroziunea pieselor metalice și înrăutățește mult comportarea pieselor electroizolante. Se iau măsuri de protecție a metalelor împotriva coroziunii și se folosesc aliaje rezistente la acțiunea corosivă a apei de mare, cum sunt bronzul și siluminul;
- aparate destinate să funcționeze la altitudini de peste 2000 m sau în instalații electrice la bordul avioanelor. La altitudini mai mari de 2000 m se face simțită influența rarefierii aerului care determină:
  - reducerea tensiunii de străpungere;
  - înrăutățirea condițiilor de răcire;
  - modificarea la altitudini de peste 6 – 7000 m, a condițiilor de stingere a arcului electric;
- aparate destinate să funcționeze în medii conținând pulberi sau gaze explozive. Arcul electric care se formează în mod normal la funcționarea aparatelor de întrerupere sau cel care se poate forma în caz de accidente prin străpungerea sau conturnarea unei izolații imperfecte, poate provoca incendii sau explozii grave dacă atmosfera este încărcată cu substanțe inflamabile sau explozive. Astfel de situații se întâlnesc în minele de cărbuni, în care există pericolul de apariție a gazului “grizu” (amestec de metan cu aer), în instalațiile de extragere, prelucrare a produselor petroliere și în multe instalații din industria chimică. Aparatele antiexplozive se marchează cu simbolul general Ex ( STAS 6877/ 1 – 73).

Dintre diferitele procedee care urmăresc să evite aprinderea amestecului exploziv, mai importante sunt *imersiunea în ulei* (simbol 0) și *capsularea antideflagrantă* (simbol d).

Capsularea antideflagrantă este soluția cea mai frecvent folosită. Ea constă în închiderea aparatului într-o carcasă metalică rezistentă la presiunea maximă ce poate apărea în cazul unei explozii în interiorul aparatului. De asemenea, carcasă metalică a aparatului este astfel construită, încât gazele din interior aprinse în momentul apariției arcului electric sunt aruncate în afara prin interstiții foarte înguste, care determină o răcire puternică a gazelor și împiedică astfel transmiterea în exterior. Lățimea și lungimea interstițiului au valori impuse prin norme și variază în funcție de volumul carcasei și de natura mediului exploziv. (*aparate destinate să funcționeze în climatul țărilor calde climat tropical*).



Materialele izolante folosite si acoperirile pieselor metalice se aleg in functie de tipul climatului tropical:

- climat **tropical umed** (TH), caracterizat prin temperatura si umiditate mare, variații mari de temperatura intre zi si noapte si microorganisme ( mucegaiuri, ciuperci );
- climat **tropical uscat** (TA), caracterizat prin temperaturi înalte, radiații solare puternice, furtuni de nisip.

### **CARACTERISTICILE TEHNICE ALE ECHIPAMENTULUI ELECTRIC PENTRU ACTIONAREA UTILAJULUI INDUSTRIAL**

Mărimile semnificative pentru aparatele electrice de joasa tensiune folosite in acțiunea utilajului industrial sunt:

- Curentul electric: continuu sau alternativ;
- Frecventa curentului electric alternativ reprezentata de numărul de perioade de timp pe secunda. In cazul utilajelor industriale aceasta frecventa este de 50 Hz, si mai rar de 60 Hz.
- Tensiunea nominala a aparatelor electrice este valoarea maxima a tensiunii pentru care sunt construite aparatele electrice si in functie de care se face încercarea de verificare a izolației aparatelor. La aparatele de joasa tensiune, standardele prevăd ca tensiunea aplicata la bornele aparatului poate depăși cel mult 15 % din valoarea tensiunii nominale.

Conform STAS 553/2 – 80 valorile tensiunii nominale (tensiunea nominala de izolare) ale aparatelor de joasa tensiune sunt:

- pentru curent alternativ: 60; 250; 380; 500; 660; 800 si 1000 V;
- pentru curent continuu: 60; 250; 440; 600; 800 si 1200 V.

Valorile nominale pentru tensiunea de utilizare conform STAS 553/2-80 sunt:

- pentru curent alternativ: 24; 36; (42); 48; 60; 110; (127); 220; 250; 390; 440; 550; 600; 750; 1000V.
- pentru curent continuu: 24; 48; 60; 110; 120; (127); 220; 250; 440; 600; 800; 1200 V.

Valorile nominale pentru tensiunea de comanda, conform STAS 553/2-80 sunt:

- pentru curent alternativ: 24; (36); (42); 48; 110; (127); 220; 380; 500 V.
- pentru curent continuu: (12); 24; 48; 60; 110; (125); 220; (250); 440 V.

Valorile din paranteza sunt pe cat posibil evitate.

- Curentul nominal al aparatelor electrice este valoarea cea mai mare a curentului electric pe care aparatele o pot suporta un timp îndelungat fără ca încălzirea diferitelor elemente ale lor sa depășească valorile prescrise. In functie de valorile nominale ale curenților se stabilesc toate încercările de verificare ale încălzirii aparatelor electrice.
- Caracteristicile de serviciu ale aparatelor electrice sunt caracteristicile cu care funcționează aparatele in exploatare si ale căror valori (tensiune sau curent) sunt mai mici decât cele nominale. În general pentru funcționarea la diverse caracteristici de serviciu ale aparatelor se înlocuiesc o serie de elemente constructive ca: bobine de tensiune, bobine de curent, contacte, relee termice etc., precum si comutatoare de conexiuni.

**Serviciile de utilizare** definesc modul de funcționare al aparatelor in functie de rolul lor în circuitul electric. De acest mod de utilizare depind o serie de parametri constructivi ai aparatelor, cum sunt secțiunile cailor de curent mărimea electromagneților etc. Principalele servicii nominale standardizate sunt:

- Serviciu continuu (de durata) este cel in care contactele principale ale aparatului sunt străbătute de curent fără întrerupere, un interval timp mai mare de 8 ore.
- Serviciul intermitent care este caracterizat printr-o succesiune atât de frecventă de conectări si deconectări, încât in timpul in care aparatul este închis el nu atinge temperatura maxima, iar in timpul în care este întrerupt nu atinge temperatura ambianta.
- Serviciul de scurta durata este serviciul in care contactele principale ale aparatului sunt străbătute de curent un timp insuficient de lung pentru a permite atingerea temperaturii maxime, dar timpul de întrerupere este suficient de lung pentru a permite atingerea temperaturii ambiante.
- Frecventa nominala de conectare a aparatelor electrice consta in numărul maxim de conectări in timp de o ora la tensiunea nominala a aparatelor.

- Durata relativa de conectare a aparatelor electrice, reprezentata de raportul procentual dintre perioada de lucru dintr-un ciclu (în care aparatul este parcurs de curent) și durata totala a ciclului, este folosita în cazul serviciului intermitent în care aparatele electrice executa un număr relativ mare de conectări și deconectări, timp în care părțile conducătoare de curent, contactele și piesele în mișcare sunt supuse puternic solicitărilor termice și mecanice.

Valorile standardizate ale frecvenței nominale de acționare și ale duratei relative de conectare (conform STAS 553/2-80) sunt indicate în tabel împreună cu timpul de lucru, pentru diferitele durate relative de conectare.

- Rezistența la uzura mecanică a aparatelor electrice este reprezentată de numărul maxim de manevrări pentru care se garantează rezistența mecanică a aparatelor în cazul funcționării în gol, fără curent, fiind acționate de dispozitivele proprii de acționare.
- Rezistența la uzura electrică a aparatelor electrice este reprezentată de numărul maxim de manevrări sub sarcina nominală pe care aparatele le pot suporta fără defectări și fără schimbarea pieselor de contact.

De obicei, rezistența la uzura electrică este de 10 % sau 5 % din rezistența la uzura mecanică.

- Capacitatea de rupere nominală a aparatelor electrice de întrerupere este valoarea curentului maxim, exprimat în kiloamperi, pe care îl pot rupe aparatele la tensiunea lor nominală, cu condiția să rămână în stare de funcționare.

În general capacitatea de rupere a aparatelor electrice are următoarele valori:

- 0 – pentru separatoare;
- egală cu curentul nominal, pentru întreruptoare cu pârghii;
- egală cu de 6 – 10 ori curentul nominal, pentru contactoare;
- egală cu de 30 – 40 ori curentul nominal, pentru întreruptoare automate.
- **Curentul limita termic** al aparatelor electrice este reprezentat de valoarea curentului de scurtcircuit, exprimată în kiloamperi, care poate străbate aparatele un anumit timp (de obicei 5 secunde sau 10 secunde), fără ca încălzirea cailor de curent ale aparatelor să depășească limitele stabilite de norme.
- **Curentul limita dinamic** al aparatelor electrice este reprezentat de curent maxim, exprimat în kiloamperi, care poate străbate aparatele, fără ca ele să fie deteriorate mecanic din cauza forțelor electrodinamice ce apar la trecerea curenților de scurtcircuit prin aparat.
- **Capacitatea de închidere** a aparatelor electrice este reprezentată de curentul maxim pe care aparatele îl pot stabili, la închidere, la tensiunea nominală, cu condiția ca aparatele să rămână în stare de funcționare. De cele mai multe ori capacitatea de închidere este mai mare decât capacitatea de rupere.
- **Gradul de protecție** al aparatelor electrice este reprezentat de construcția carcasei în care sunt introduse aparatele și chiar de materialele din care sunt executate piesele funcționale ale aparatelor.

Condițiile normale de protecție ale aparatelor electrice sunt prevăzute de STAS 5325–79 și se referă la:

- protecția personalului contra atingerii pieselor interioare aflate sub tensiune sau a părților mobile din interiorul aparatului și protecția împotriva pătrunderii corpurilor solide;
- protecția contra pătrunderii apei.

Conform STAS 5325 – 79 gradul de protecție al aparatelor și mașinilor electrice se notează cu literele IP urmate de cifre care în ordine indică gradul de protecție pentru fiecare din cele două feluri de protecție arătate. În tabele se dau semnificațiile caracteristicilor gradelor de protecție conform STAS 5325 – 79.

Considerând semnificația fiecărei cifre se poate determina gradul de protecție al aparatului electric. În acest fel se poate vedea că soclul pentru siguranțe fuzibile LE care are gradul de protecție IP 30, are protecție împotriva atingerii curenți sau alte obiecte similare de dimensiuni mici, protecție împotriva pătrunderii corpurilor solide mici, dar nu are protecție împotriva pătrunderii lichidelor, ceea ce înseamnă că pot fi montate în locuri deschise, fără praf, ferite de corpuri lichide.

Spre deosebire de soclul LF, soclul de siguranță LFI cu gradul de protecție IP, nu are nici un fel de protecție, deci la montarea lor trebuie să se aibă în vedere asigurarea unui loc corespunzător.

## ELEMENTE ALE APARATAJULUI ELECTRIC UTILIZAT IN ACTIONAREA UTILAJULUI INDUSTRIAL

Conectarea elementelor de acționare (motoarele electrice, pistoane hidraulice etc.) ale utilajelor industriale cu sursele de energie (electrică, pneumatică, hidraulică sau orice fel de energie) se realizează prin aparate de conectare, tipul acestora depinzând de felul elementelor de acționare; astfel motoarele electrice sunt conectate la rețeaua electrică prin întreruptoare manuale sau contactoare acționate electromagnetic, iar pistoanele pneumatice și hidraulice sunt conectate la rețelele de energie corespunzătoare prin ventile și distribuitoare manuale sau electromagnetice acționate ca și contactoarele. Pentru protecția elementelor de acționare și a instalațiilor electrice propriu-zise, schemele electrice, atât circuitele de forță, cât și circuitele de comenzi sunt prevăzute cu elemente de protecție ca: siguranțe fuzibile, relee maximale de curent, relee de tensiune minimă, relee bimetalice pentru instalații electrice sau relee de presiune maximă pentru instalații electropneumatice sau electrohidraulice.

Protejarea se face fie prin întreruperea directă a alimentării motorului în circuitul căruia a apărut un defect, așa cum este cazul protejării prin siguranțe fuzibile, fie indirect prin întreruperea alimentării bobinelor electromagneților de acționare, fapt ce duce în final la întreruperea contactelor principale ale contactoarelor, așa cum este cazul diverselor tipuri de relee al căror contact este introdus în circuitul de comandă al contactoarelor.

În circuitele comandă semiautomată sau automată a elementelor de conectare, în afara bobinelor electromagnetice și a contactelor diverselor relee se mai pot găsi și alte elemente ca:

- transformatoare monofazate pentru circuite secundare (de comandă) în cazul comenzilor în curent alternativ, sau transformatoare și redresoare în cazul comenzilor în curent continuu;
- întreruptoare, butoane de comandă, limitatoare de cursă, microîntreruptoare, butoane;
- elemente amplificatoare de semnal de comandă folosite în cazul elementelor de comandă care au un semnal foarte slab cum sunt: traductoarele, elementele reprezentative de circuitele amplificator cu tuburi electronice, cu tranzistoare sau cu tuburi cu gaze;
- elemente de semnalizare optică sau acustică (lămpi de semnalizare, hupe, sonerii etc.) ce indică executarea sau neexecutarea unor comenzi sau apariția avariilor în timpul desfășurării procesului tehnologic;
- elemente de protecție a circuitelor de comandă, în speța siguranțele fuzibile.

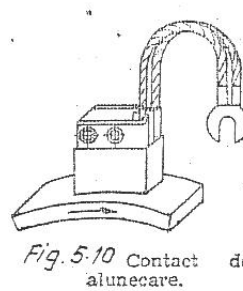
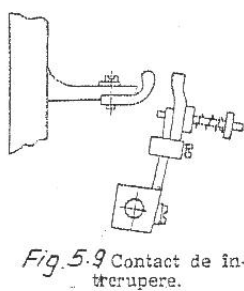
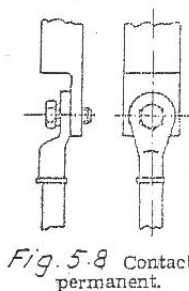
În continuare se va prezenta câteva din elementele principale ale construcției aparatelor electrice utilizate în schemele de acționare aferente utilajelor industriale.

### CONTACTE ELECTRICE

Aparatele electrice, destinate închiderii și deschiderii de circuite electrice trebuie să aibă contacte capabile să suporte solicitările produse în timpul funcționării.

Din punct de vedere funcțional contactele pot fi:

- contacte fixe sau permanente (fig.5.8) având rolul de a realiza continuitatea circuitelor; se realizează prin sudare, lipire, strângere cu șuruburi sau prin apăsare;
- contacte de întrerupere (fig.5.9) având rolul de a stabili sau întrerupe circuitele electrice; se realizează prin apăsare cu ajutorul resorturilor, prin arcuirea materialului din care este executat contactul sau prin răsturnarea bulelor cu mercur în cazul când sunt folosite acestea;
- contacte de alunecare (fig.5.10) având rolul de a stabili circuitul electric între două piese de contact care se mișcă una față de alta, așa cum este contactul între periile colectoare și colectoarele sau inelele colectoare ale mașinilor electrice sau a releelor centrifugale care folosesc aceste contacte.



Din punct de vedere al formei suprafeței de contact contactele pot fi:

- contacte liniare (fig.5.11) la care contactul electric se realizează pe o linie, prin presare sau frecare. Aceste tipuri de contacte sunt cel mai des întâlnite în construcția aparatelor electrice și sunt prezentate în mai multe forme constructive; contactele liniare de tip deget (fig.5.11a), de tip leala (fig.5.11,b), de tip perie (fig.5.11,c);
- contacte punctiforme (fig.5.12) folosite, de obicei, pentru valori mici ale curenților: sunt contactele cele mai simple și au forme de nituri, contactele realizându-se pe vârfuri.

Realizarea contactului se face fără frecare la închidere și fără apăsări mari. Contactele punctiforme se recomandă să fie confecționate din materiale care nu se oxidează ușor sau ai căror oxizi sunt buni conducători de electricitate, deoarece neexistând frecările la închiderea contactului nu se autocurăță.

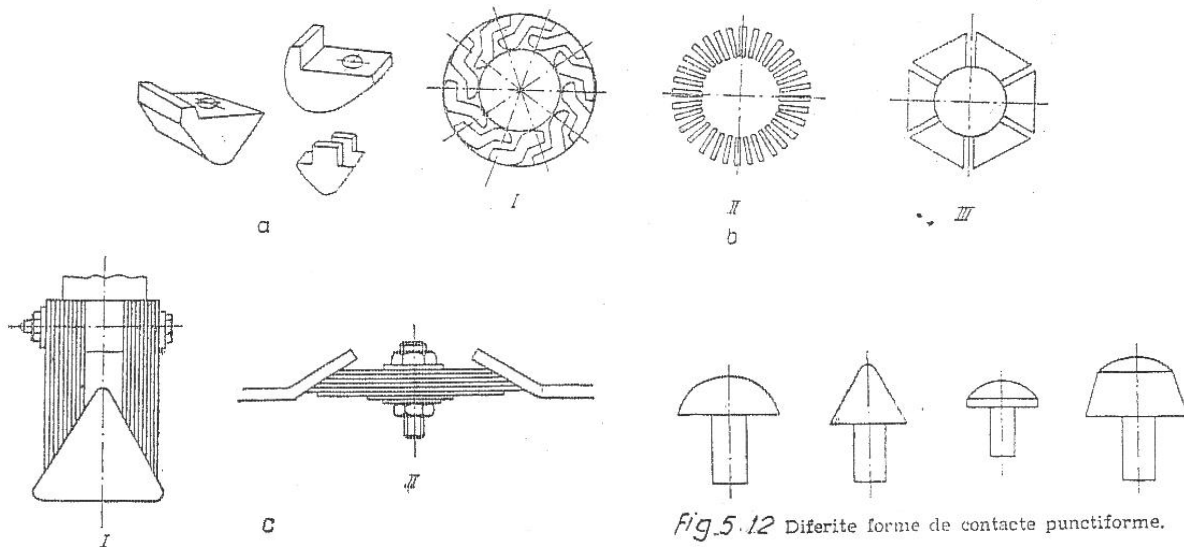


Fig.5.12 Diferite forme de contacte punctiforme.

Fig. 5.11 Contacte liniare de tip :  
a - deget ; b - leala (I - leala Z ; II - leala lamelă) ; c - perie.

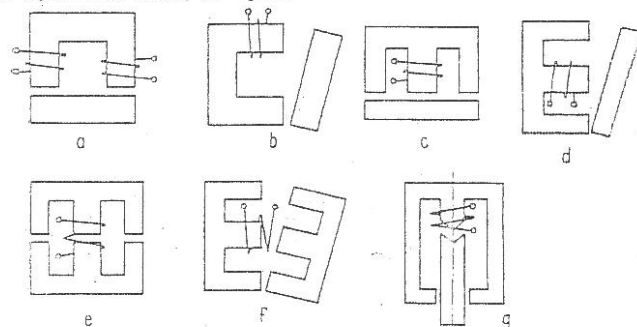


Fig. 5.13 Diferite forme ale electromagneților :

a - tip U cu mișcare de transtație cu două bobine ; b - tip U cu mișcare de rotație cu o bobină ; c - tip E cu mișcare de transtație ; d - tip E cu mișcare de rotație ; e - tip dublu E cu mișcare de transtație ; f - tip dublu E cu mișcare de rotație ; g - cu plonjor.

## ELECTROMAGNETI

Electromagneții intra în componența mai multor genuri de aparate electrice, cum sunt: contactoarele, ruptoarele, întrerupătoarele automate comandate de la distanță, ambreiajele și frânele electromagnetice etc. Circuitul magnetic al unui electromagnet se compune dintr-o armatură fixă pe care se concentrează liniile de forță produse de o bobină și armatură mobilă, care constituie elementul mobil al electromagnetului de care, printr-o gaură cu șuruburi, bolțuri sau nituri se cuplează elementul de acționat.

În general, electromagneții se clasifică în funcție de felul curentului și anume:

- electromagneți de acționare pentru curent continuu,
- electromagneți de acționare pentru curent alternativ monofazat sau pentru curent alternativ trifazat.

Electromagneții pot fi construiți pentru funcționare în orice poziție, cea verticală fiind preferată, deoarece șocurile mecanice sunt reduse. În funcție de tipul constructiv electromagneții pot acționa prin tragere sau împingere. La montarea lor trebuie să se aibă grijă ca partea acționată de electromagnet să aibă o poziție cât mai apropiată de direcția de mișcare a părții mobile pentru a evita producerea uzurii suplimentare sau pentru a se evita vibrațiile (datorită așezării incoerente a miezului mobil pe cel fix, cum este cazul electromagneților de curent alternativ).

În fig.5.13 sunt prezentate câteva forme uzuale de circuite magnetice ale electromagneților.

Electromagneții de curent continuu au, în general, o construcție simplă, circuitul magnetic fiind din oțel masiv, iar bobinele în cele mai multe cazuri au forma cilindrică (fig.5.13). În cazul acestor electromagneți, valoarea curentului din bobina depinde numai de rezistența electrică, pierderile în cupru fiind singura sursă de căldură.

Valoarea curentului, fiind independentă de poziția miezului mobil, permite ca acesta să poată fi oprit într-un punct oarecare al cursei. Prin introducerea unui opritor simplu și reglabil, se obține o funcționare liniștită, se elimină zgomotul metalic provocat de lovirea miezului mobil de cel fix, realizându-se forțe destul de mari fără a produce vibrații.

La electromagneții de acționare în curent continuu, datorită remanentei magnetice, miezul mobil poate rămâne lipit de miezul fix. Pentru evitarea acestui defect, electromagneții sunt prevăzuți cu discuri de alama, piele sau nituri de alama, elemente care mențin un întrefier minim la poziția închis. De asemenea, în unele cazuri când partea de atracție maximă care se produce la poziția închis depășește cu mult forța necesară, se introduce în serie cu bobina de excitație rezistență economizatoare, cu scopul de a micșora valoarea curentului, reducând consumul electromagnetului într-o poziție destul de mare.

Un dezavantaj al electromagneților de curent continuu constă în faptul că pentru alimentarea lor este necesară o sursă de curent continuu, de obicei formată din transformatoare și elemente redresoare.

Pentru diverse acționări, alegerea unui electromagnet se face ținând seama de caracteristica forței rezistente, de condițiile de funcționare, de particularitățile funcționale ale electromagnetului.

Electromagneții de curent continuu cu bobine pentru regim de durată, fiind insensibili la închiderea incompletă a circuitului magnetic și neindicând curenții Foucault în armaturile de fier și în masele metalice apropiate, sunt indicați pentru acționarea elementelor cu pericol de înțepenire. Așa cum sunt distribuitoarele pentru acționări hidraulice sau pneumatice, a elementelor cu curse de acționare mici, având organe metalice feroase masive aflate în apropierea bobinei electromagnetului (ambreiajele și frânele electromagnetice) sau pentru acționarea releelor sensibile la vibrațiile produse de electromagneții de curent alternativ.

Electromagneții de curent alternativ, (fig.5.15) spre deosebire de electromagneții de curent continuu, pot fi alimentați direct din rețeaua industrială de curent alternativ și oferă o reducere importantă a curentului de alimentare după închiderea completă a armaturilor. Sunt utilizați în acționări ce necesită curse de lucru mari și unde închiderea completă a armaturilor se poate garanta prin intercalările de elemente clasice între armatura mobilă a electromagnetului și organul acționat, cum este cazul ventilelor de înțepenire ale contactelor.

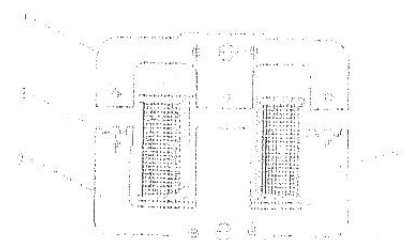


Fig. 5.14 Electromagnet de curent continuu :

1 — armătura mobilă ; 2 — armătura fixă ; 3 — miezul bobinei ; 4 — bobină.

Fig. 5.15 Electromagnet de curent alternativ, cu bobina în serie cu rezistență economizatoare :

1 — bobina ; 2 — rezistență economizatoare ; 3 — armătura mobilă ; 4 — armătura fixă ; 5 — miez bobinei.

### DISPOZITIVE DE STINGERE A ARCULUI (CAMERE DE STINGERE)

Acestea sunt utilizate pentru stingerea rapidă a arcului electric la întreruperea circuitelor electrice. În curent alternativ, la aparatele de conectare, de deconectare de joasă tensiune, pentru stingerea arcului electric, se folosesc în mod obișnuit camere cu plăcuțe metalice (fig.5.16,a) care au rolul de a viza arcul format și de a-l raci.

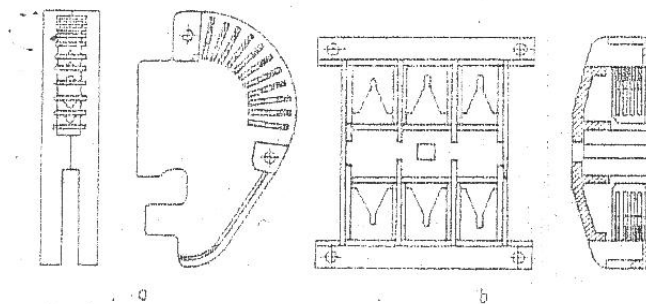
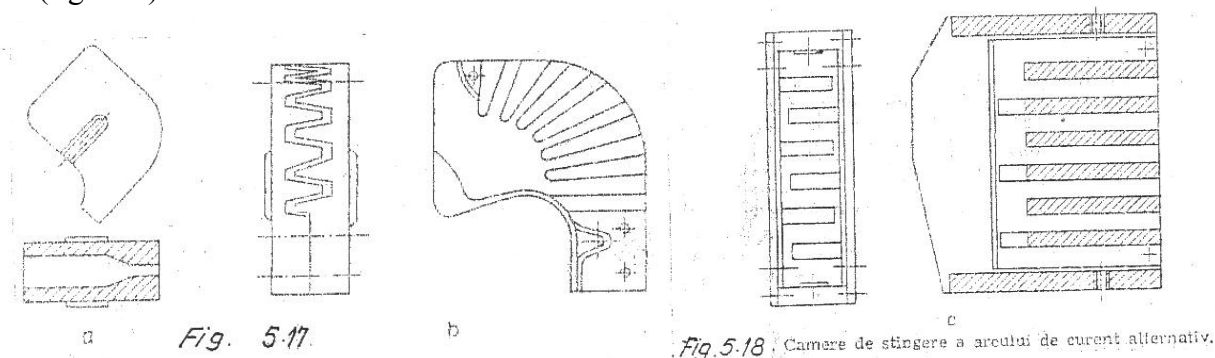


Fig. 5.16 . Camere de stingere a arcului de curent continuu :

a — cu plăcuțe metalice așezate radial ; b — cu plăcuțe metalice pentru cupere dublă.

În cazul folosirii ruperilor duble, cum este cazul majorității aparatelor de conectare, întreruperea definitivă a arcului se produce la prima trecere a curentului prin valoarea zero. Plăcuțele metalice din camera de stingere sunt confecționate din oțel pentru a se putea folosi efectul de atracție al arcului de către piesele feromagnetice, ceea ce duce la întinderea arcului. De asemenea, pentru îmbunătățirea conductibilității superficiale și a rezistenței lor la acțiunea mediului înconjurător, plăcuțele din oțel se cuprează.

În curent continuu, pentru stingerea arcului se folosesc camere de stingere înguste, cu fanta dreaptă (fig.5.17,a) sau ondulată (fig.5.17,b) și camere de stingere cu pereți transversali din material izolant refractar (fig.5.18).



Suflarea arcului de pe contacte pe pereții camerei de stingere din acest tip se face cu ajutorul electromagneților de suflaj. Camerele de stingere pentru curent continuu, asigurând stingerea arcului electric prin lungimea coloanei de arc, prin deplasarea rapidă a arcului prin aerul rece din camera și prin frecarea aerului pe pereții mici ai camerei.

### ELEMENTE ELASTICE

În construcția aparatelor electrice sunt folosite des resorturi metalice. Acestea au rolul de a realiza următoarele operații în funcționarea aparatelor:

- asigură presiunea corespunzătoare pe contact,
- deschid brusc aparatele de deconectat prin acumulare de energie în timpul închiderii aparatelor,
- amortizează mișcările unor organe la capătul curselor aparatelor,
- asigură legături elastice între diferite organe ale mecanismelor aparatelor.

Formele pe care le au elementele elastice folosite în construcția aparatelor electrice sunt foarte diferite, depinzând de rolul pe care îl joacă în construcția aparatului și ale însăși construcției aparatului. În general, ca forma de bază se întâlnesc arcuri plate, spirale elicoidale, arcuri plane, disc, tampon etc.

Resorturile plate se realizează, de obicei, prin ștanțare din aliaje pe baza de cupru (bronz cu beriliu), constituind cea mai mare parte a elementelor arcuitoare conducătoare de curent. De obicei, resorturile plate sunt utilizate în construcția aparatelor electrice pentru obținerea presiunii necesare pe contact (fig.5.19).

Resorturile în forma de spirală elicoidală, se folosesc ca resorturi de întindere sau compresiune și sunt confecționate din oțel tip coarda de pian (fig.5.20). Montarea resorturilor confecționate din sârmă cu diametrul mai mic de 1 mm se face cu ajutorul ochiurilor de prindere obținute prin îndoirea capătului resortului, iar cele confecționate din sârmă cu diametrul mai mare de 1 mm se face cu ajutorul unor piulițe speciale sau a unor piese din tablă.

Resorturile în forma de spirală plană (fig.5.21) se folosesc acolo unde este nevoie de o cumulare de energie la mișcările de rotație, spațiul destinat pentru aceasta fiind restrâns. Aceste resorturi se confecționează din lamele de oțel.

Resorturile disc se utilizează în locurile unde este nevoie de un efort axial de comprimare ridicat, deoarece la cursa mică dezvoltă un efort mare. Acest tip de resorturi se realizează din tabla de oțel de arc. Montarea mai multor resorturi disc, perechi pe un ax central, dă posibilitatea obținerii unor curse utile mari.

Resorturile tampon (fig.5.23) au rolul de a frâna și amortiza elementele mobile ale aparatelor electrice. De obicei, aceste resorturi se execută din cauciuc, material ce prezintă avantajul că este ieftin și se prelucrează ușor, dar care are o serie de dezavantaje, cum ar fi amortizarea imperfectă, îmbătrânirea în timp, lipsa de rezistență la acțiunea uleiurilor minerale și a solvenților, lucru ce duce la înlocuirea lor în mod repetat.

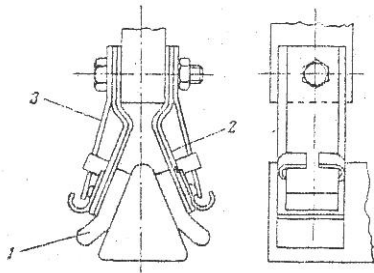


Fig. 5.19 Contact cu elemente elastice plate:  
1 - contact deget; 2 - cale flexibilă de curent; 3 - element arcuitor plat.

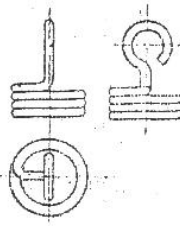


Fig. 5.20. Resoarte în formă de spirale elicoidale.

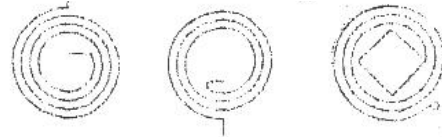


Fig. 5.21 Resoarte în formă de spirală plană.

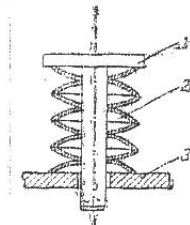


Fig. 5.22 Element elastic compus din resoarte disc:  
1 - element de apăsare; 2 - element elastic; 3 - element de așezare.

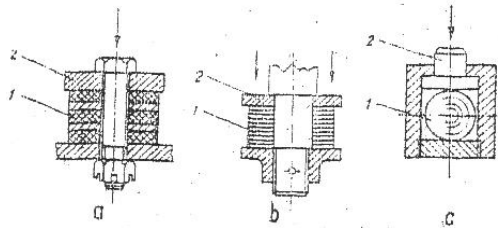


Fig. 5.23 Resoarte tampon din cauciuc:  
1 - element elastic; 2 - element mobil.

## ELEMENTE BIMETALICE

Bimetalesle intra in componenta releelor termice si au rolul de a proteja motoarele electrice împotriva încălzirii prin suprasarcini de lunga durata sau prin rămânere în doua faze.

Bimetalul se montează în circuitul de forță al motorului deschizând contactul releului (care este de obicei în serie cu bobina electromagnetului de acționare al unui element de conectare), în cazul apariției și menținerii unor curenți mai mari decât cei pentru care a fost reglat. Deconectarea se produce după un timp mai mare sau mai mic de la apariția supracurenților, după cum valoarea acestora este mai mare sau mai mica.

Bimetalesle sunt formate din doua metale sudate între ele și apoi laminate împreună, până la obținerea unor foi în care cele doua metale componente sunt legate între ele pe toata suprafață. Una din cele doua componente ale bimetalului numita componenta activa este formata dintr-un aliaj cu un coeficient foarte mare de dilatare la încălzire, de obicei un aliaj de fier cu 15-20% nichel și 6-7% mangan, iar celalalt cu coeficient de dilatare aproape nul. În urma încălzirii, bimetalul se încovoie, partea cu coeficientul mare de dilatare fiind în exteriorul curbării, iar partea cu coeficientul mai mic de dilatare în interiorul curbării (fig.5.24). Deplasările ce rezulta în încovoierea bimetalului sunt folosite la deschiderea unui contact sau la eliberarea unui zăvor.

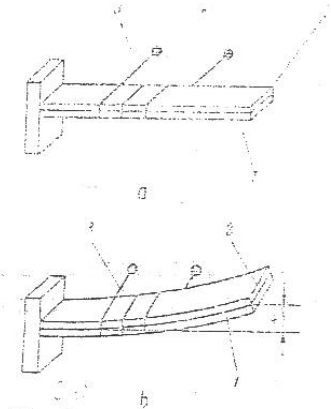


Fig. 5.24 Funcționarea bimetalicelor:  
a - bimetal rece; b - bimetal încălzit; 1 - strat cu coeficient de dilatare mare; 2 - strat cu coeficient de dilatare mic; 3 - înfășurarea de încălzire.

Tipurile constructive de bimetales se grupează după criteriile următoare:

- forma lamelei de bimetal,
- modul de încălzire a bimetalului,
- modul de acționare a bimetalului asupra sistemului de protecție.

În funcție de forma lamelei bimetalice, în practica se întâlnesc următoarele forme constructive:

- bimetales lamelare, obținute prin ștanțare din benzi, au forma de lamela dreapta (fig.5.25,a), forma de U sau banda cu decuplări longitudinale;
- bimetales în forma de disc (fig.5.25,b), folosite în special pentru rele termice cu mare putere de rupere, deoarece au proprietatea de a trece brusc dintr-o poziție în alta, fiind singurele bimetales care pot realiza o întrerupere brusca;

- bimetale in forma de spirala (fig.5.25,c) folosite mai mult pentru fabricarea indicatoarelor de temperatura, unde la un cuplu rezistent mic, la variații mici de temperatura.

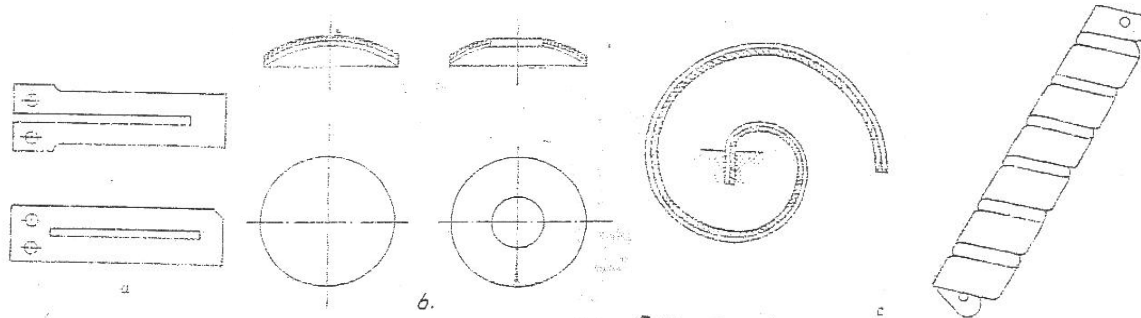


Fig. 5.25 Tipuri constructive de bimetale

După modul de încălzire al bimetalului se întâlnesc:

- bimetale cu încălzire directă, la care încălzirea se obține prin efectul termic al unui curent, care parcurge lama de bimetal, curent ce poate fi curentul absorbit de bobinajele motorului protejat (fig.5.26.1) sau un curent proporțional, reducerea curentului făcându-se cu ajutorul unui șunt (fig.5.26.2) sau a unui transformator de curent (fig.5.26.3);
- bimetal cu încălzire indirectă (fig.5.27) la care încălzirea se face cu ajutorul unor elemente încălzitoare separate și poate fi de două feluri: încălzire prin convecție, în care curentul străbate o rezistență înfășurată pe lamela bimetalică și izolată de aceasta prin mica și azbest, și încălzirea prin radiație, în care curentul străbate o rezistență așezată în apropierea lamelor bimetalice;
- bimetale cu încălzire mixtă (fig.5.28) la care încălzirea se face atât prin efectul termic al curentului care parcurge lamela de bimetal, cât și prin intermediul elementelor încălzitoare separate, străbătute de același curent.

După modul de acționare a bimetalului, se întâlnesc următoarele tipuri de bimetal:

- bimetale cu acțiune lentă, la care deplasarea capătului liber se face lent, proporțional cu încălzirea;
- bimetale cu acțiune bruscă, la care bimetalul este mai întâi reținut într-o poziție fixă și numai după ce forțele de dilatare au atins o anumită valoare, capătul liber se deplasează brusc în poziția de acționare.

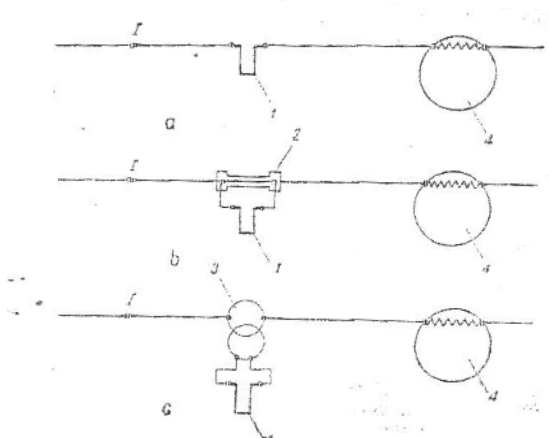


Fig. 5-26. Încălzirea directă a bimetalului.  
1 - bimetal; 2 - șunt; 3 - transformator; 4 - motor principal.

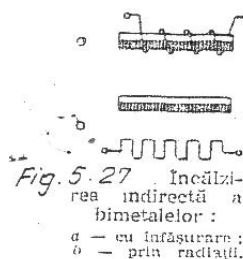


Fig. 5-27. Încălzirea indirectă a bimetalului:  
a - cu înfășurare;  
b - prin radiații.

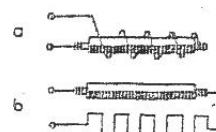


Fig. 5-28. Încălzirea mixtă a bimetalului.

Dimensiunile elementelor bimetalice sunt limitate din considerente constructive și tehnologice, iar curenții la care trebuie să acționeze aceste elemente variază de la câțiva miliamperi până la mii de amperi.

Există o legătură directă nu numai între curentul nominal al bimetalului și dimensiunile sale, dar și între curentul nominal și modul de încălzire și conectare în circuit a lamelor bimetalice.

În consecință, bimetalesle cu încălzire directă, în funcție de natura curentului, se pot găsi în multe variante.



## APARATE DE CONECTARE MANUALA SI COMANDA MANUALA A MASINILOR ELECTRICE

### Înteruptoare pârghie

**Înteruptoarele pârghie**, numite uneori si hebluri, sunt aparate de joasa tensiune, la care închiderea si deschiderea circuitului se face cu ajutorul unui contact mobil in forma de braț de pârghie.

In figura 5.35 se prezintă schematic un întreruptor cu pârghie monopolar. Pe o placa de baza 1 sunt montate contactul fix 2 si contactul mobil 3 (pârghia) prevăzut cu mânerul izolant de acționare 4. Contactul de rupere 5 este o lama metalica ce oscilează fata de pârghia 3, in jurul punctului a, fiind legat de pârghia respectiva si prin resortul 6; astfel, in timpul manevrei de deschidere a întreruptorului, resortul 6 se întinde, asigurând o "rupere" brusca a circuitului electric prin lama 5, care pentru un moment rămăsese încă strânsă în contactul fix 2. Prin bornele 7 se asigura legătura electrica a întreruptorului la rețea.

Înteruptorul pârghie se construiește pentru curenți 25.....1000A si tensiune de 500V si este folosit ca aparat de interior. La folosirea in exterior, mai ales pe șantiere el trebuie închis cu un capac de protecție.

Montarea corecta a întreruptoarelor cu pârghie trebuie făcută ca in figura de mai sus adică:

- cuțitele sunt in poziție verticala;
- in stare deschisa contactul mobil sa nu fie sub tensiune, deci sa se lege spre consumator;
- deschiderea sa se facă de la partea de sus.

Din punct de vedere constructiv întreruptoarele pârghie pot fi: monopolare (in circuite de putere mica), bipolare (in circuite de curent continuu) sau tripolare (in circuite de curent alternativ trifazate).

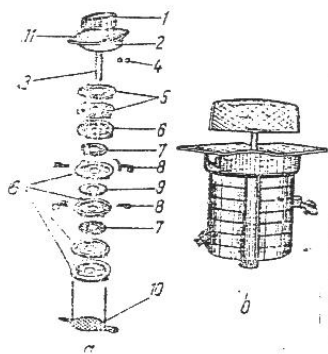
### Înteruptoare pachet

Înteruptoarele (comutatoarele) pachet sunt aparate obținute prin înșirarea pe același ax a unui număr variabil de elemente de conectare (pachet) (fig.5.36).

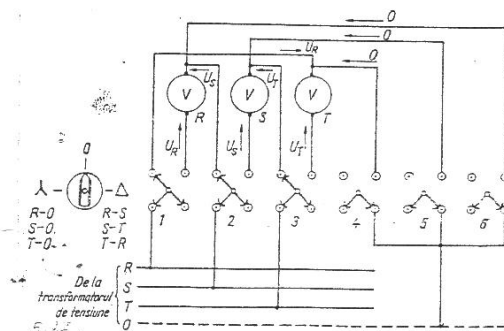
Prin rotirea manetei de acționare cele 4.....8 pachete se rotesc in diverse poziții, stabilind anumite circuite (contacte) si deschizând alte circuite.

In fig. 5.37 se prezintă schema de folosire a unui întreruptor pachet pentru măsurarea tensiunilor pe faze si între faze la o rețea trifazata utilizând trei voltmetre si un comutator cu trei poziții:

- poziția 0;
- poziția 1- măsurarea tensiunii pe faze ( y );
- poziția 2- măsurarea tensiunii între faze ( Δ ).



**Fig. 5.36. Comutator pachet:**  
a — elemente componente; b — comutator asamblat; 1 — manetă de acționare; 2 — mecanism de sacadare; 3 — ax pătrat de acționare a contactelor mobile; 4 — piulițe si rondeli de asamblare; 5 — discuri din pertinax; 6 — discuri din bachelită sau melamină (sustin contactele fixe); 7 — contact mobil in formă de T; 8 — diferite forme de contacte fixe; 9 — contact mobil in formă de I (in opoziție); 10 — placă de bază; 11 — placă de fixare pe panou.

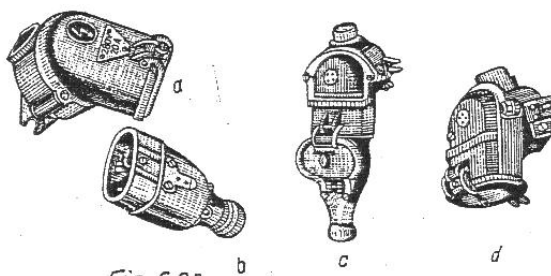


**Fig. 5.37** Exemplet de folosire a comutatorului pachet pentru măsurarea tensiunii trifazate.

### Prize si fise industriale

Pentru conectarea la rețeaua electrica de joasa tensiune a unor consumatori mobili, cum ar fi: grupuri de sudura, mașini de găurit si polizat, ferăstraie electrice etc. se utilizează prize si fise industriale (fig.5.38).

Ele au rolul de a întrerupe circuitul fără curent, întreruperea sarcinii in regim normal sau deschiderea la scurtcircuit fiind asigurate printr-un întreruptor automat, contactor sau siguranța fuzibila.



**Fig. 5.38** Prize și fișe industriale:

a — priză de 25 A; b — fișă de 25 A; c — priză și fișă de 60 A, cuplate; d — priză de 60 A cu capacul închis.

**Priza** reprezintă partea fixa legata la rețea și cuprinde părțile conducătoare de curent, izolate prin porțelan fata de masa, și o carcasa protectoare din fonta sau aluminiu prevăzută cu capac cu arc care acoperă piesele sub tensiune atunci când fișa este scoasă.

**Fișa** reprezintă partea mobilă la care este legată conducta flexibilă de alimentare a consumatorului mobil și cuprinde, ca și priza, cai conducătoare de curent sub forma unor știfturi de contact izolate în porțelan și protejate într-o carcasa metalică care permite îmbinarea sigură cu priza.

Prizele și fisele industriale sunt de obicei trifazate, însă au patru cai de curent, cea de a patra fiind folosită pentru legarea masei aparatului mobil. Știftul de corespunzând firului neutru este mai lung, astfel ca el să stabilească întâi contactul.

### Comutatoare stea-triunghi.

Aceste aparate sunt folosite pentru pornirea-oprirea motoarelor asincrone cu rotor în scurtcircuit și au rolul de a reduce valoarea curentului absorbit în timpul pornirii.

Constructiv, comutatorul stea-triunghi este realizat de obicei sub forma unui întrerupător pachet (fig.5.36) cu un număr de pachete și o schema a contactelor adecvată. Astfel (fig.5.39):

- în poziția „zero” nici un contact mobil nu se află în legătură cu contactele fixe, bornele R, S și T fiind sub tensiune de la rețea (fig.5.39,a);
- în poziția „stea”, prin intermediul contactelor mobile se leagă R, cu A, S cu B și T cu C, iar bornele X, Y și Z se leagă între ele, realizând steaua și motorul pornește (fig.5.39,b);
- în poziția „triunghi”, se leagă bornele R cu A și Z, S cu B și X, T cu C și Y, realizând conectarea motorului în triunghi și legarea la rețea (fig.5.39,c).

**Observație:** La conectarea în stea o înfășurare a motorului primește tensiunea de fază a rețelei (220V), în timp ce la conectarea în triunghi o înfășurare tensiunea între faze (380V).

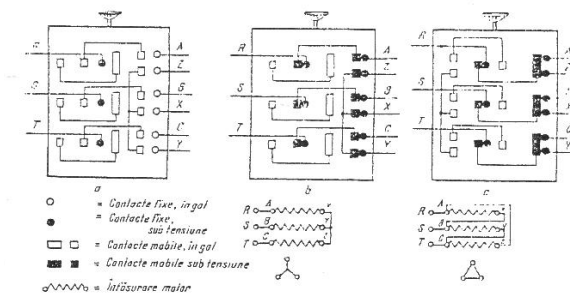


Fig.5.39 Conexiunile la un comutator stea-triunghi:

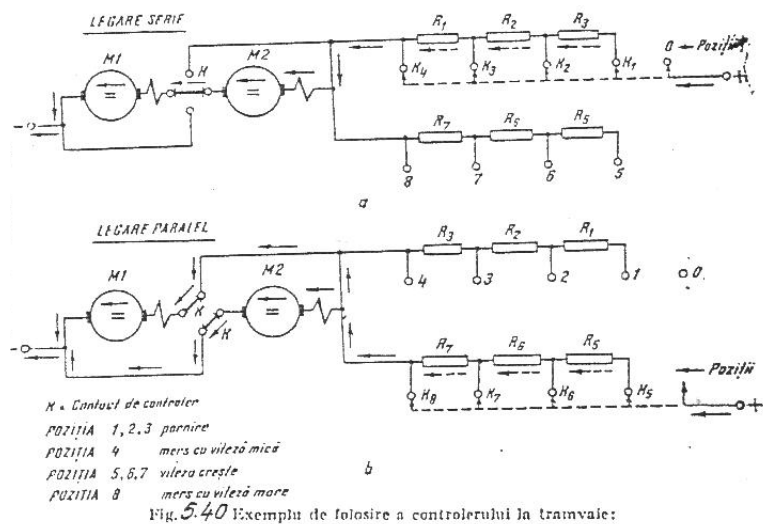
### Controlere.

În cazul unor tipuri de acționări – de exemplu în tracțiune – utilizând motoare electrice (pornire, oprire, varierea vitezei, inversarea sensului de rotație, frânare electrică etc.) sunt folosite controlerele. Acestea sunt aparate de conectare care modifică într-o ordine stabilită conexiunea unor circuite. Controlerele sunt acționate de obicei printr-o manivelă.

Un exemplu de controler este acela întâlnit la tramvai pentru pornirea și modificarea vitezei acestuia. Tramvaiele au două motoare de curent continuu  $M_1$  și  $M_2$  care, cu ajutorul controlerului sunt conectate ca în fig.5.40:

- în poziția 0 motoarele nu sunt alimentate;
- în pozițiile 1, 2 și 3 ("plusul" aplicat la bornele 1, 2 și 3) motoarele sunt conectate în serie și alimentate succesiv prin rezistențele de pornire  $R_1$ ,  $R_2$  și  $R_3$  (fig.5.40,a);
- în poziția 4 ("plusul" aplicat direct la borna 4), motoarele sunt conectate tot în serie, însă primesc întreaga tensiune a rețelei, fără rezistențe suplimentare. Aceasta este o poziție stabilă de mers, în care viteza tramvaiului este mai mică, însă cuplul (forța) sau este maxim, curentul absorbit fiind maxim (motoarele sunt cu excitație serie);
- în pozițiile 5, 6 și 7 ("plusul" aplicat la bornele 5, 6 și 7) motoarele sunt conectate în paralel și alimentate succesiv prin rezistențele  $R_5$ ,  $R_6$  și  $R_7$ , astfel, ca viteza crește (fig.5.40,b);
- în poziția 8 ("plusul" aplicat direct bornei 8) motoarele sunt conectate tot în paralel, însă primesc tensiune maximă, viteza tramvaiului fiind maximă.

**Observație.** Așa cum rezulta din cele mai de sus și cum se poate constata și în practică, manipulanții de tramvaie folosesc controlerul pe pozițiile 1, 2, 3, 5, 6 și 7 numai pentru scurt timp, în regim de pornire și oprire, și folosesc pentru regim de durată numai poziția 4 (la viteza mică și în panta) și poziția 8 (la viteză mare), adică fără rezistențe în circuitul motoarelor.



## APARATE DE CONECTARE AUTOMATA SI COMANDA AUTOMATA A MASINILOR ELECTRICE

### Contactoare.

Sunt aparate care servesc pentru stabilirea, întreruperea sau comutarea unor circuite, deplasarea contactelor mobile ale acestora fiind făcuta nu prin forță musculară, ci prin forță unui electromagnet.

Pe placa izolantă (fig.5.41,a) se afla contactul fix 2, contactul mobil 3 fiind solidar cu armatura mobilă 4 a electromagnetului 5. Contactul mobil este legat prin racordul flexibil 6 la borna de ieșire 7. Resortul elicoidal 8 menține îndepărtată armatura electromagnetului, deci contactul electric este deschis.

Alimentând cu tensiunea  $U$  bobina 9 a electromagnetului, armatura acestuia este atrasă, deci contactul se închide.

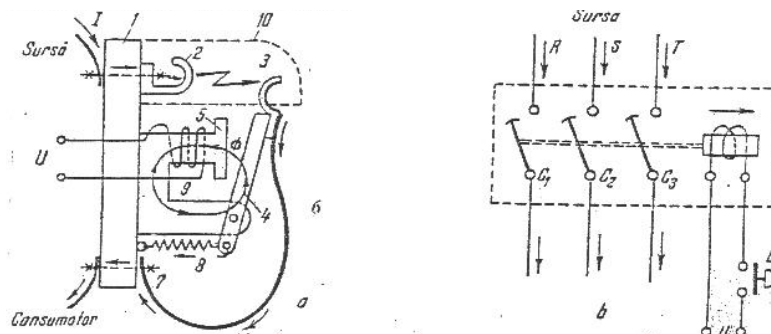


Fig. 5.41 Contactor tripolar:

a — schema constructivă; b — schema electrică.

Pentru a se evita trecerea arcului electric la fazele vecine, fiecare contact are în jurul său o cutie din material izolant 10, numită **camera de stingere**.

Schema electrică a unui contactor tripolar este arătată în fig.5.41,b.

Se constată că prin apăsarea pe butonul B "circuitul de comandă" este alimentat și electromagnetul atrăgând armatura sa mobilă își închide contactele  $C_1, C_2, C_3$ .

**Observație.** Faptul că contactoarele sunt acționate electric face posibilă comanda acestora de la distanță, precum și introducerea lor într-o schemă de automatizare.

### Înteruptoare automate

Principial, întreruptoarele automate sunt asemănătoare contactoarelor însă spre deosebire de acestea sunt destinate să întrerupă curenții nominali sau de suprasarcină, întreruptoarele deschid (declanșează) și curenții de scurtcircuit. Din acest motiv întreruptorul este prevăzut pe lângă relele termice și cu rele electromagnetice care comanda declanșarea întreruptorului la scurtcircuite; așadar în serie, pe circuit cu întreruptorul nu se mai montează siguranțe fuzibile.

Din punct de vedere al sistemului de comandă, se deosebesc două tipuri de întreruptoare de joasă tensiune:

- **cu reținere electrică** la care întreruptorul este prevăzut cu o singură bobină (ca la contactor) și acesta sta închis atâta timp cât bobina este excitată;
- **cu reținere electromagnetica** (mecanica) la care întreruptorul este prevăzut cu două bobine: una de anclanșare (închidere) care produce închiderea întreruptorului la un “impuls de comandă” – excitare – a acesteia întreruptorul rămânând zăvorât (blocat) în poziția închis și o bobină de declanșare (deschidere) care similar produce deschiderea întreruptorului.

În figura 5.42 este prezentată schema de legare a unui motor trifazat printr-un întreruptor automat tripolar cu reținere mecanică. Funcționarea are loc în felul următor:

Apăsând pe butonul de închidere *BI* se întregeste circuitul electric al bobinei de închidere *b* din întreruptorul *I* care astfel este alimentată de la rețea prin fazele *S* și *T*. Prin excitarea bobinei *b* este comandată închiderea contactelor *C<sub>1</sub>*, *C<sub>2</sub>* și *C<sub>3</sub>*, ale întreruptorului *I*, axul întreruptorului fiind blocat în poziția “închis” prin zăvorul *z* care este împins în sus către arcul elicoidal *a*.

În cazul unei suprasarcini a motorului, adică în cazul creșterii curentului *I* cu circa 10...30%, releele termice *R<sub>1</sub>*, *R<sub>2</sub>* sau *R<sub>3</sub>* acționează asupra zăvorului *z* trăgându-l în jos; de asemenea, același zăvor este tras jos de către releele electromagnetice *E<sub>1</sub>*, *E<sub>2</sub>* sau *E<sub>3</sub>* în cazul unui scurtcircuit în motor, când curentul *I* crește valori de 2...4 *I<sub>n</sub>*.

În sfârșit, zăvorul *z* poate fi tras în jos de către bobina de declanșare *d* care este alimentată prin butonul de deschidere *BD*. În toate cazurile, tragerea în jos a zăvorului *z* deblochează axul principal care, sub influența arcului elicoidal *s*, produce deschiderea întreruptorului și deci oprirea motorului.

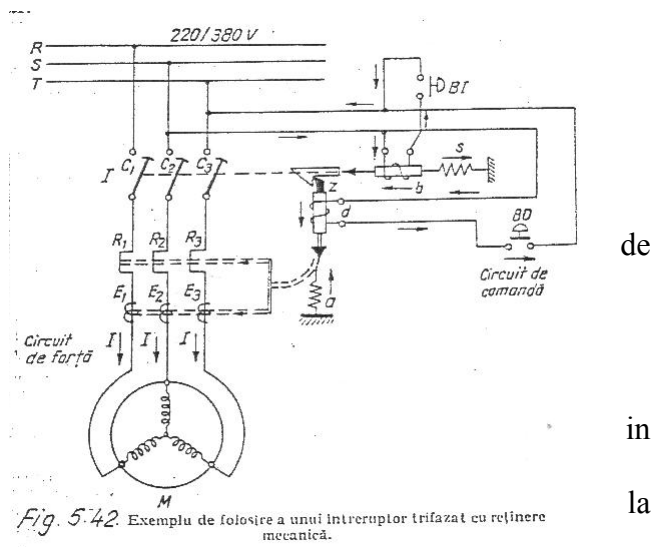


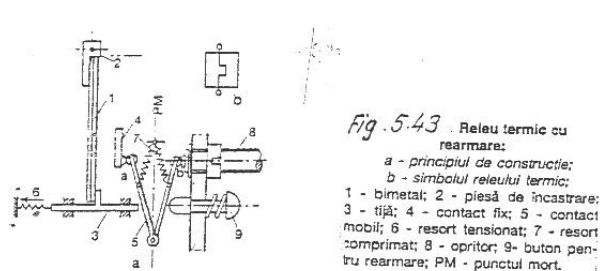
Fig. 5.42. Exemplu de folosire a unui întreruptor trifazat cu reținere mecanică.

### Aparate electrice de protecție.

Sesizează modificarea în timp a anumitor mărimi și atunci când acestea iau valori periculoase, acționează în vederea preîntâmpinării sau limitării avariei care s-ar putea produce.

### Relee termice.

Sunt aparate termice destinate protecției împotriva suprasarcinilor de durată. Principiul lor de funcționare se bazează pe proprietatea bimetalului de a se deforma atunci când temperatura acestora se modifică (fig.5.43,a). Bimetalul este o bandă realizată din 2 plăci metalice îmbinate prin sudare, lipire sau nituire. Cele două bimetaluri au coeficienți de dilatare termică diferiți. La încălzire bimetalul se curbează și se întrerupe circuitul de alimentare a instalației protejate. Întreruperea se realizează prin cuplarea releului termic cu un echipament de întrerupere - de exemplu, un contactor. Astfel, releul termic întrerupe circuitul bobinei contactorului (sau al altui echipament de întrerupere) care la rândul său întrerupe circuitul de alimentare a receptorului pe care îl protejează.



În acest fel bimetalul releului termic întrerupe curenți de valoare mică, ce trec prin bobina echipamentului de întrerupere. Încălzirea bimetalului se face treptat, în timp, în funcție de sarcina și suprasarcina circuitului supravegheat. Pentru ca depărtarea contactului mobil, de cel fix (fig.5.43,a) să nu se facă lent, pentru a nu se produce arc electric, ce ar putea duce la sudarea contactelor, releele termice sunt echipate cu dispozitive de acționare în salt.

Releele termice pot fi cu sau fără rearmare, adică prevăzute sau lipsite de dispozitivul de blocare a reanclanșării. În cazul lipsei dispozitivului de blocare, instalația protejată funcționează nestabil, fiind succesiv conectată și deconectată.

Reanclanșarea se realizează manual sau automat.

Releele termice pot fi prevăzute cu o banda metalica de compensare termica ce permite declanșarea la valoarea impusa a intensității din circuit, independent de temperatura ambianta. Aceasta este eficace între  $-20$  și  $+50^{\circ}\text{C}$ .

Instalațiile trifazate sunt protejate prin intermediul unui bloc de rele termice, adică al unui dispozitiv compus din 3 bimetale, montate fiecare pe cate una dintre faze care, prin intermediul unei tije comune, acționează un sistem de contacte unic.

Blocurile de rele termice trifazate se executa cu sau fără dispozitiv de acționare la mersul in doua faze. Dispozitivul consta in aceea ca, in lipsa deformării bimetalului după una din faze, săgeata rezultata din deformarea celorlalte doua bimetale este mult amplificata, astfel încât circuitul de comanda sa fie acționat într-un timp mult mai scurt. Releele termice cu astfel de dispozitive sunt utilizate, in special, la protecția la suprasarcina a motoarelor trifazate asincrone, pentru a se evita funcționarea in 2 faze a acestora.

Încălzirea bimetalului unui releu termic se poate face:

- **direct**, atunci când benzile bimetalice se afla in circuitul de supravegheat si sunt parcurse de întreg curentul sau de o parte a acestuia atunci când se utilizează un șunt;
- **indirect**, atunci când benzile bimetalice sunt încălzite prin conducție si / sau radiație de curentul supravegheat;
- **semidirect (mixt)**, atunci când benzile bimetalice sunt încălzite simultan prin procedeele de mai sus; bimetalul se afla in serie sau in paralel cu o rezistenta de încălzire;
- **cu reductor de curent**, atunci când curentii de supravegheat au valori mari si nici una din metodele de mai sus nu satisface. Benzile bimetalice se conectează in secundarele reductorului de curent.

### Rele electromagnetice.

Releele electromagnetice sunt aparate destinate protecției împotriva supracurenților foarte mari, adică a curenților de scurtcircuit.

Releele electromagnetice au ca element constructiv principal un electromagnet (fig.5.44,a). Bobina electromagnetului este traversata de curentul supravegheat. Armatura electromagnetului este reținuta in poziția depărtata de un resort.

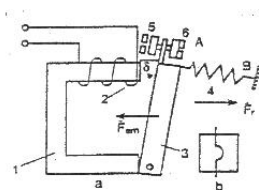


Fig.5.44. Releu electromagnetic:  
a - principiul de construcție a unui releu electromagnetice; b - simbolul releului electromagnetice;  
3 - întrefier; 1 - miez magnetic;  
2 - bobină; 3 - armatură mobilă;  
4 - resort; 5 - contacte normal deschise; 6 - contacte normal închise.

## Disjunctoare si disjunctoare diferențiale

### Disjunctoare.

Sunt aparate de acționare și protecție a instalațiilor de distribuție a energiei electrice. Funcțiile unui disjunctoare sunt:

- stabilire, întrerupere și comanda a unui circuit;
- protecție împotriva suprasarcinilor și a curenților de scurt circuit prin intermediul releelor termice și electromagnetice integrate.

In fig.5.45 se prezintă scheme de principiu a unui disjunctoare, in care 1 reprezintă polii sau contactele principale prevăzute cu sistem de stingere a arcului electric; 2 – releul termic; 3 – releul electromagnetice; 4 – legaturile mecanice care conduc la deschiderea automata a contactelor principale și prin aceasta, la întreruperea circuitului; 5 – dispozitivul de anclanșare și declanșare; 6 – levierul de comanda manuala sau automata.

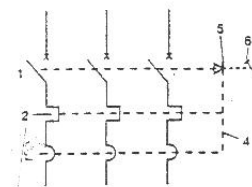


Fig. 5.45 Schema de principiu a unui disjunctoare.

### Înterruptoare diferențiale.

Se folosesc pentru:

- protecția personalului de exploatare împotriva atingerilor directe sau indirecte cu mediile bune conducătoare de electricitate, adică împotriva riscului de electrocutare. Aceste întreruptoare diferențiale sunt cu sensibilitate ridicata, de la 10 mA pana la 30 mA;

- protecția instalațiilor împotriva defectelor de izolație, care au ca urmare deteriorarea materialelor și provocarea incendiilor; aceste întreruptoare diferențiale au o sensibilitate de la 100 mA până la 1 A.

Schema de principiu a întreruptorului este prezentată în fig.5.46. Pe torul 1, situat în aval de întreruptor, se montează bobine traversate de curenții din circuitul de alimentare; 2 este un buton pentru verificare (testarea) funcționării ansamblului; 3 – rezistența adițională și de protecție a circuitului de testare; 4 – buton rotativ de rearmare sau comanda manuală a închiderii sau deschiderii; 5 – dispozitiv pentru blocarea întreruptorului în poziție deschisă, în vederea evitării reanclanșării întreruptorului; 6 – organ de comandă.

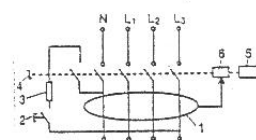


Fig. 5.46. Schema de principiu a întreruptorului diferențial.

Întreruptorul diferențial poate fi prevăzut cu contacte auxiliare normal închise și normal deschise.

### Chei de comanda și butoane.

Se folosesc pentru comanda circuitelor electrice de curent alternativ, la frecvența de 50...60 Hz, și a circuitelor electrice de curent continuu la tensiuni de 24, 48, 110 V. Acestea se construiesc astfel încât să suporte milioane de comenzi.

În fig.5.47 se prezintă diferite tipuri de butoane cu comanda prin apăsare (a), pentru oprirea de urgență (b), cu maneta (c), cu cheie (d), cu maneta (e).

În fig.5.48 se prezintă butoane cu semnalizare luminoasă. Lămpile de semnalizare sunt cu incandescență la o tensiune mai mică de 130 V, putere de 2,6 W, sau cu neon care funcționează la tensiuni cuprinse între 110 și 380 V, precum și blocuri cu butoane de comanda și semnalizare.

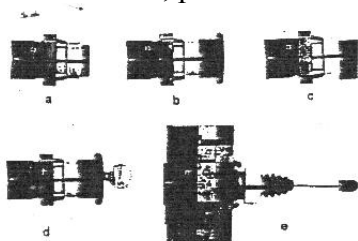


Fig. 5.47. Diferite tipuri de butoane.

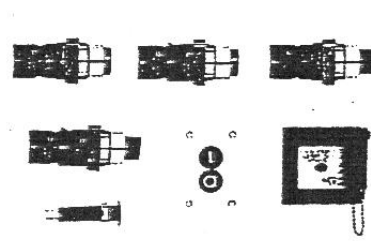


Fig. 5.48. Butoane cu semnalizare luminoasă.

### Aparate electrice de semnalizare.

Semnalizarea electrică are drept scop transmiterea la distanță a unor informații sub formă luminoasă sau sonoră. Informațiile se codifică după care se transmit la distanță. Prin codificarea semnalului se înțelege transformarea unor informații, în tensiune sau curent, prin contacte acționate automat sau prin butoane. Semnalul este transmis prin linii și uneori este amplificat. Semnalul transmis acționează fie direct, fie prin relee. Sursa de energie este de curent alternativ: 12, 24, 48 V sau de curent continuu (baterii de acumulare).

#### Aparate de semnalizare sonoră.

În fig.5.49 se prezintă schema unei sonerii, unde 1 - clopot; 2 - ciocan; 3 - bobina cu circuit magnetic fix; 4 - borna de racordare; 5 - armatura mobilă; 6 - șurub de reglare a contactului bobinei mobile; 7 - borna și suportul armaturii mobile.

Arunci când curentul traversează bobina 3, armatura mobilă 5 este atrasă și ciocanul lovește clopotul. În același timp contactul 6 este întrerupt. Când armatura 5 revine în poziția inițială, contactul 6 este restabilit, curentul traversează din nou bobina și ciclul se reia.

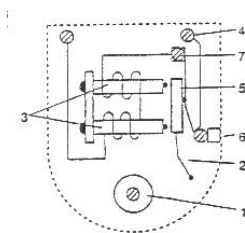


Fig. 5.49. Schema unei sonerii.

Reglarea frecvenței sunetului se realizează cu șurubul 6. Există sonerii de curent alternativ care au o armatură mobilă ce vibrează la frecvența curentului alternativ, aceasta fiind atrasă de două ori pe perioadă.

În afara de sonerii mai sunt utilizate, ca aparate de semnalizare sonoră: buzerele, hupele și sirenele. Acestea, de regulă, sunt montate în schemele de comandă ale diferitelor tablouri de automatizare.

#### Aparate de semnalizare luminoasă.

Acestea sunt lămpi de semnalizare cu diode electroluminiscente cu rezistență de balast incorporată sau coloane luminoase ce pot avea până la cinci etaje.

## MASURARI ELECTRICE

### Noțiuni generale

În procesele de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice apar o serie de mărimi (parametri) electrice cum sunt: tensiunea, frecvența, puterea, energia etc.

În scopul conducerii acestor procese este necesară o informare cu caracter cantitativ asupra acestor parametri, respectiv este necesară măsurarea valorilor lor. Astfel, au apărut o serie de aparate de măsurare electrice (voltmetre, ampermetre, wattmetre etc.) realizate pe baza a diverse principii constructive. Măsurarea mărimilor electrice se poate face însă folosind diferite aparate de măsurare precum și diferite metode de măsurare.

- **Din punctul de vedere al principiului constructiv** aparatele electrice de măsurare se împart în: *magneto-electrice, electromagnetice, logometre, de inducție* etc.
- **Din punctul de vedere al mărimii electrice măsurate** se disting: *galvanometre*, (sarcini electrice – curenți mici); *voltmetre* (tensiune); *ampermetre* (intensitate); *wattmetre* (putere); *frecvențmetre* (frecvență); *contoare* (energie) etc.
- **Din punctul de vedere al citirii indicațiilor aparatului**, există:
  - *aparate cu citire directă*, care pot fi cu ac indicator și scară gradată (fig.5.50,c) sau integroare – contor (fig.5.50,b);
  - *aparate înregistratoare*, care înregistrează cu cerneala pe o bucată de hârtie mărimea măsurată (fig.5.50,a).

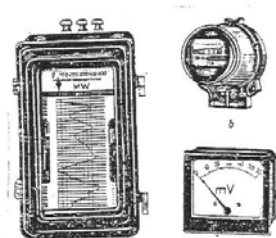


Fig. 5.50. Aparat electric de măsurat:  
 a) aparat înregistrator (megawattmetru);  
 b) aparat integrator (contor de energie);  
 c) aparat indicator multivoltmetru.

- **Din punctul de vedere al preciziei măsurării** aparatele de măsurare electrice se definesc în raport cu clasa de precizie a lor.

Prin *clasa de precizie p* se înțelege valoarea maximă a erorii relative  $r$  (%) – care reprezintă eroarea de măsurare  $e$  în raport cu valoarea reală  $U_r$  a mărimii măsurate  $U_m$  la capătul scării aparatului – adică:

$$p = r\%; r = \frac{e}{U_r} = \frac{U_r - U_m}{U_r} \cdot 100 p$$

De exemplu, dacă la o rețea a cărei tensiune reală este de 100 V ( $U_r=100$  V) un voltmetru oarecare măsoară 98 V ( $U_m = 98$  V), rezulta o eroare de măsurare (“absolută”):

$$E = U_r - U_m = 100 - 98 = 2 \text{ V,}$$

Sau o eroare relativă:

$$r(\%) = \frac{e}{U_r} = \frac{U_r - U_m}{U_r} \cdot 100 = \frac{2}{100} \cdot 100 = 2$$

În acest caz se spune că clasa de precizie a aparatului este 2. Aparatele de măsurare electrice se construiesc:

- de clasa 0,2 (pentru laboratoare mare precizie);
- de clasa 0,5 (pentru laboratoare și verificări);
- de clasa 1, clasa 1,5 sau clasa 2,5 (pentru folosirea în instalații electrice).

Un aparat de măsurare poate fi definit simultan pe baza criteriilor de clasificare arătate mai sus; de exemplu: wattmetru electrodinamic, înregistrator de precizie 1,5 etc.

În cele ce urmează vor fi descrise pe scurt cele mai răspândite tipuri de aparate de măsurare, precum și metode de măsurare a mărimilor electrice uzuale.

## APARATE ELECTRICE DE MASURARE

### Aparate magnetoelectrice

Aceste tipuri de aparate funcționează pe baza forțelor “magnetoelectrice” produse de un câmp magnetic asupra unei bobine (echipaj mobil) parcurs de curent și situat în câmpul respectiv.

• **Elemente constructive.** Un aparat magnetoelectric se prezintă ca în fig.5.51. Un magnet permanent 1 în forma de potcoava este prevăzut cu piesele polare 2 (N și S) cu o deschidere cilindrică, în care se află (concentric) miezul cilindric 3. Elementul mobil este bobina 4 care se poate deplasa în întrefierul format din piesele 2 și 3 și care se rotește în jurul semiaxelor 5 (o semiaxă 5 este plasată în cealaltă parte a bobinei, deci nu se vede).

Semiaxele 5 sunt centrate și reglate să se rotească ușor prin șuruburile 6 având lagăre de “piatră” (agat) și fiind înșurubate în suportul 16. Solidar cu axul 5 și perpendicular pe acesta este fixat acul indicator 7, al cărui vârf se deplasează în fața diviziunilor unei scări gradate 8. Acul se echilibrează prin construcție cu ajutorul contragreutăților 9 ce se pot deplasa pe tije filetate 10. Bobina 4 cu axul 5 și acul indicator 7 (împreună bineînțeles, cu contragreutățile 9 de pe tijele 10) constituie împreună echipajul mobil al aparatului, care poate fi deplasat:

- de cuplul activ creat de forțele magnetoelectrice din întrefier când bobina este parcursă de curent, deplasare ce are loc în sensul rotirii acelor de la ceasornic (sens trigonometric negativ);
- de cuplu activ creat de forțele magnetoelectrice din întrefier când bobina este parcursă de curent, deplasare ce are loc în sensul rotirii acelor de la ceasornic (sens trigonometric negativ);
- de cuplu rezistent creat de arcurile spirale 11 și care având sens contrar celui de mai sus (sens trigonometric pozitiv) menține echipajul mobil (în lipsa curentului) pe poziția de zero.

Pentru reglarea precisă a poziției de zero capătul liber al unuia dintre arcurile spirale 11 se fixează prin tija 12 pe furca 13, în care intra un bolț 14 plasat excentric pe axul izolant 15. Prin rotirea axului 15 bolțul 14 împinge (stânga-dreapta) furca 13 modificând poziția capătului liber al arcului 11.

În acest fel variază în limitele foarte mici valoarea cuplului rezistent, deci se poate modifica poziția de repaus (zero) a acului indicator.

• **Funcționare.** Când prin bobina aparatului trece un curent continuu  $I$ , echipajul mobil este supus unui moment activ  $M_a$  datorat forțelor magnetoelectrice  $F$  (fig.5.52) a cărui valoare este dată de relația:

$$M_a = B_0 \cdot n \cdot s \cdot I$$

în care:  $B_0$  – inducția ( $\text{Wb/m}^2$ ) în întrefier produsă de magnetul permanent;

$n$  – numărul de spirale al bobinei;

$s$  – suprafața bobinei ( $\text{m}^2$ ).

Întrucât  $B$ ,  $n$  și  $s$  sunt mărimi constante pentru un aparat dat, rezulta că momentul activ  $M_a$  este proporțional cu curentul  $I$ :

$$M = K_a \cdot I$$

unde s-a notat:

$$K = B_0 \cdot n \cdot s$$

Pe de altă parte, momentul rezistent  $M_r$  dat de resortul spiral este proporțional cu unghiul de rotație  $\alpha$ :

$$M_r = K_r \cdot \alpha$$

în care  $K_r$  este o constantă specifică resortului.

Așadar, pe măsura ce crește curentul aplicat aparatului, acul indicator se va deplasa cu un unghi mai mare, până ce cele două cupluri se vor echilibra:

$$M_a = M_r \Rightarrow K_a I = K_r \alpha$$

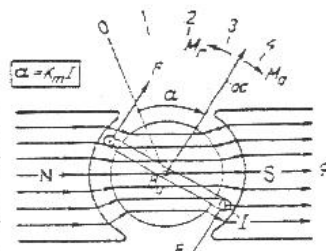
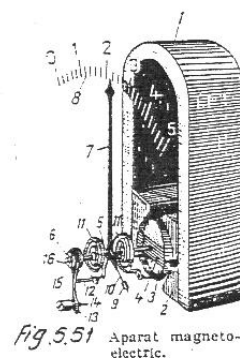


Fig. 5.52. Determinarea cuplurilor la aparatele magnetoelectrice.





Prin urmare, unghiul de deviație  $\alpha$  va fi:

$$\alpha = \frac{K_a}{K_r} \cdot I = K_m \cdot I$$

adică, proporțional cu curentul  $I$  aplicat aparatului, având ca factor de proporționalitate  $K_m$ ,

$$\left( K_m = \frac{K_a}{K_r} \right)$$

**Observația 1.** Din fig.5.52 se constata ca, pentru ca forțele magnetoelectrice sa creeze cuplul activ in sensul dorit, este necesar ca curentul continuu  $I$  aplicat sa aibă un anumit sens de circulație in bobina, adică o anumita “polaritate”. Daca se inversează legătura la bornele aparatului, acul indicator tinde sa se deplaseze in sens invers (“bate in opritor”) deci, rămâne practic pe zero, având o tija care îl oprește. Rezulta ca, bornele aparatelor magnetoelectrice trebuie marcate (+ si -).

**Observația 2.** Ținându-se seama de cele arătate mai sus rezulta ca, aplicându-se un curent alternativ de frecventa industrială ( $f = 50 \text{ Hz}$ ), deci un curent care își schimba foarte rapid (100 ori / secunda), acul indicator va rămâne pe zero, neputând urmări aceste variații întrucât corpul activ mediu este nul. Așadar, aparatele magnetoelectrice nu pot fi folosite la măsurarea curentului alternativ decât daca acesta este in prealabil redresat.

**Observația 3.** Deoarece deviația acului aparatului magnetoelectric este proporționala cu curentul, scara aparatului este “uniforma”, adică indicațiile 1, 2, 3... corespunzând de exemplu tensiunilor de 50V, 100V, 150V ... se afla plasate la unghiuri egale intre ele, adică sunt echidistante (fig.5.53).



Fig. 5.53 Cadranul unui voltmetru magnetoelectric.

• **Utilizare.** Aparatele magnetoelectrice sunt foarte robuste, sensibile si de aceea sunt foarte răspândite, fiind folosite in construcția: ampermetrelor, voltmetrelor, galvanometrelor, a aparatelor universale etc. putând fi realizate cu clase de precizie foarte bune (0,5...1,5).

### APARATE ELECTROMAGNETICE

Sunt aparate care funcționează pe baza fenomenului electromagnetic, adică a atragerii (respingerii) unui element mobil din material magnetic de către o bobina fixa parcursa de curent.

• **Elemente constructive.** In fig.5.54 este arătat sistemul de acționare al unui aparat electromagnetic cu bobina cilindrica. Curentul  $I$  străbate bobina cilindrica (desenata secționat) in interiorul căreia se afla un miez magnetic fix 2 si un miez magnetic mobil 3 solidar cu axul echipajului mobil. La trecerea curentului prin bobina, cele doua miezuri (2 si 3) se magnetizează la fel si ca urmare, miezul 3 este respins rotind axul împreuna cu acul indicator 4. Resortul spiral 5 creează ca si in cazul precedent cuplul antagonist al echipajului mobil.

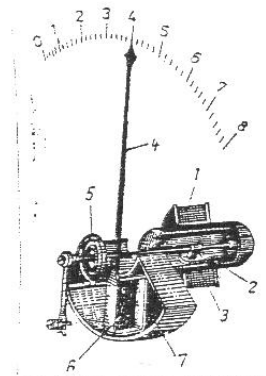


Fig. 5.54 Aparat electromagnetic.

Paleta 6 solidara cu acul indicator se deplasează in spațiul închis 7 (desenat secționat) constituind un “amortizor cu aer” al sistemului mobil. Amortizarea este necesara pentru ca in momentul aplicării curentului, acul sa se deplaseze lin (“amortizat”) si sa se oprească la indicația corespunzătoare fără a descrie oscilații in jurul acelui punct.

• **Funcționare.** Deoarece forțele electromagnetice sunt proporționale cu pătratul fluxului magnetic, iar fluxul este proporțional cu curentul  $I$ , rezulta valoarea momentului activ:

$$M_r = K_a \cdot I^2$$

Momentul rezistent  $M_r$  este dat de aceeași expresie ca si in cazul precedent:

$$M_r = K_r \cdot \alpha$$

Rezulta, din condiția de egalitate a cuplurilor in momentul echilibrului:

$$M_a = M_r \Rightarrow K_a \cdot I^2 = K_r \cdot \alpha$$

Prin urmare, unghiul  $\alpha$  depinde de pătratul curentului:

$$\alpha = \frac{K_a}{K_r} \cdot I^2 = K_e \cdot I^2$$

Coeficientul  $K_e$  ( $K_e = \frac{K_a}{K_r}$ ) fiind un factor de proporționalitate.

**Observația 1.** Deoarece momentul activ este proporțional cu pătratul curentului, rezulta ca echipajul mobil își păstrează sensul de rotație independent de semnul curentului (+  $I$  sau -  $I$ ), adică aparatul măsoară corect, independent de modul de legare la bornele aparatului respectiv. Rezulta ca bornele aparatelor electromagnetice nu trebuie marcate.

**Observația 2.** Ținându-se seama de cele de mai sus, rezulta ca, aplicându-se un curent alternativ, aparatul electromagnetic acționează dând o indicație (unghi) proporțională cu pătratul valorii eficace a curentului respectiv.

**Observația 3.** Deoarece deviația acului aparatului electromagnetic depinde de pătratul curentului scara aparatului este “neuniformă”, adică indicațiile 1, 2, 3... corespund, de exemplu, curenților 1A, 2A, 3A... se afla plasate la unghiuri proporționale cu numerele 1 ( $1^2$ ), 4 ( $2^2$ ), 9 ( $3^2$ )... În acest fel, indicațiile sunt mai dese la începutul scării și se distanțează din ce în ce mai mult spre sfârșitul scării (de exemplu fig.5.55).

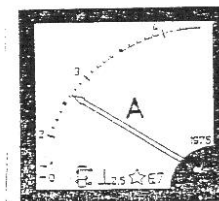


Fig. 5.55 Cadranul unui ampermetru electromagnetic.

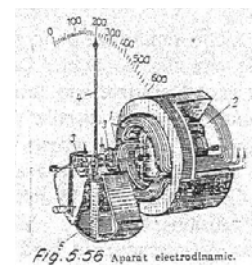
• **Utilizare.** Aparatele electromagnetice sunt răspândite ca ampermetre sau ca voltmetre de tablou (de panou) pentru măsurarea intensității, respectiv a tensiunii, în curent alternativ. Folosirea lor ca aparate de tablou se datorează avantajelor de a fi relativ ieftine, de a avea o bună “stabilitate” (rezistență) la suprasarcini electrice și șocuri mecanice și de a putea fi folosite fără nici un accesoriu (transformatoare de măsură sau șunturi) la curenți mari (200...300 A). Aceste tipuri de aparate prezintă în schimb dezavantajul unor erori de măsurare mai mari (clasa de precizie este 1,5...2,5).

### APARATE ELECTRODINAMICE

Sunt aparate la care momentul activ al echipajului mobil se realizează pe baza interacțiunii între câmpurile a două bobine concentrice parcurse de curenții  $I_1$  și  $I_2$  dintre care o bobina este fixată, iar cealaltă este plasată pe echipajul mobil (forte electrodinamice).

Aparatele electrodinamice (fig.5.56) se aseamănă principial cu cele magneto-electrice, în sensul că în locul câmpului constant dat de magnetul permanent, aici apare un câmp creat de bobina fixă, câmp care poate fi, însă, constant sau variabil.

• **Elemente constructive.** Din fig.5.56 se observă că bobinele fixe 1 sunt identice între ele și astfel așezate încât să formeze un câmp magnetic uniform bobinei mobile 2. Ca și în cazurile precedente, axul cu care este solidarizată bobina 2 constituie împreună cu arcurile spirale 3, acul indicator 4 și paleta de amortizare 5 – echipajul mobil al aparatului electrodinamic.



**Nota.** Dacă în interiorul bobinei se afla un miez cilindric de fier (ca în fig. 5.56) aparatul se numește *ferodinamic*.

• **Funcționare.** Întrucât momentul activ depinde de produsul curenților  $I_1$  și  $I_2$  ce străbat cele două bobine:

$$M_a = K_a \cdot I_1 \cdot I_2$$

iar momentul rezistent este, ca și în celelalte cazuri, proporțional cu unghiul  $\alpha$ :

$$M_r = K_r \cdot \alpha$$

Rezulta că, la echilibru ( $M_a = M_r$ ):

$$K_a \cdot I_1 \cdot I_2 = K_r \cdot \alpha$$

Deviația (indicația) aparatului va depinde de produsul celor doi curenți:

$$\alpha = \frac{K_a}{K_r} \cdot I_1 \cdot I_2 = K_f \cdot I_1 \cdot I_2$$

Dacă doi curenți aplicați sunt alternativi, având valorile eficace  $I_1$  și  $I_2$  și un unghi de defazaj  $\varphi$  între ei, indicația  $\alpha$  a aparatului va fi:

$$\alpha = K_f \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$$

• **Utilizare.** Aparatele electrodinamice prezintă următoarele avantaje:

- pot fi folosite atât în curent continuu cât și în curent alternați,
- au clasa de precizie bună (clasa 1),
- sunt indicate pentru măsurarea unor mărimi compuse din două mărimi electrice elementare (de exemplu puteri –  $P = U \cdot I$ ).

Aceste aparate prezintă însă și dezavantajele următoare:

- consum mare de energie;
- indicațiile sunt influențate de câmpurile magnetice exterioare (parazite);
- scara lor este neuniformă (asemănătoare celei din fig.5.55).

Sunt folosite ca ampermetre sau voltmetre (caz în care cele două bobine sunt legate în serie, deci parcurse de același curent), dar mai ales ca wattmetre și varmetre.

### APARATE CU INDUCȚIE

Aparatele de inducție funcționează pe baza interacțiunii fluxurilor magnetice (create de una sau mai multe bobine), cu curenți induși de acestea în echipajul mobil realizat sub forma unui disc din aluminiu. Rezultatul interacțiunii este rotirea discului din aluminiu.

Funcționarea principală se poate urmări în fig.5.57. Curenții  $I_1$  și  $I_2$  aplicați unor bobine cu miez de fier creează fluxurile magnetice  $\Phi_1$  și  $\Phi_2$  ce străbat discul din aluminiu  $D$ . În discul respectiv fluxurile  $\Phi_1$  și  $\Phi_2$  induc curenții (turbionari)  $i_1$  și  $i_2$ . Interacțiunea (atragera) fluxului  $\Phi_1$  cu curenții  $i_2$  produce o forță  $F_a$  care tinde să rotească discul într-un sens, și similar interacțiunea fluxului  $\Phi_2$  cu curenții  $i_1$  produce forța  $F_b$  de sens contrar.

**Observație.** Întrucât principiul de funcționare al aparatelor de inducție se bazează pe interacțiunea dintre niște fluxuri magnetice și curenți induși de aceștia înseamnă că aparatele respective pot lucra numai în curent alternativ.

Ca urmare discul se va roti sub influența unui cuplu dat de diferența celor două forte  $F_a$  și  $F_b$  produse de curenții alternativi  $I_1$  și  $I_2$ .

Dacă, de exemplu (fig.5.58), bobina 1 este parcursă de curentul absorbit de un consumator, iar bobina 2 de un curent proporțional cu tensiunea aplicată consumatorului, se poate aranja constructiv ca momentul activ aplicat discului  $D$  (fixat pe axul 3) să fie dat de expresia:

$$M_a = K_a \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = K_a \cdot P_1$$

Adică proporțional cu puterea absorbită de consumator.

Momentul rezistent  $M_r$  este creat de un magnet permanent  $M$  care produce o frânare ("frecare vâscoasă") proporțională cu turația  $n_0$  (viteza de rotație) a discului:  $M_r = K_r \cdot n_0$ .

Dar, turația  $n_0$  reprezintă un număr total de rotații  $n_r$  raportat la

$$\text{timpul } \Delta t \text{ în care acestea s-au efectuat: } n_0 = \frac{n_r}{\Delta t} \left[ \frac{\text{rot}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Prin urmare: } M_r = K_r \cdot \frac{n_r}{\Delta t}$$

La egalizarea celor două cupluri:

$$M_a = M_r \Rightarrow K_a \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = K_r \cdot \frac{n_r}{\Delta t}$$

Rezulta ca:

$$n_r = \frac{K_a}{K_r} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \Delta t = K_i \cdot E_r$$

În care:  $K_i = \frac{K_a}{K_r}$  reprezintă un factor de proporționalitate;

$E_r = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \Delta t = P \cdot \Delta t$  - energia absorbită de consumator în timpul  $\Delta t$ .

Însumând (integrând) numărul total de rotații  $n_r$  efectuat de disc într-un timp dat, se obține o mărime proporțională cu energia consumată în timpul respectiv. S-a obținut astfel un "contor" de energie.

Contoarele de energie (fig.5.59) sunt echipate cu un dispozitiv mecanic de numărare care asigură "afișarea (prezentarea) numerică" a mărimii măsurate.

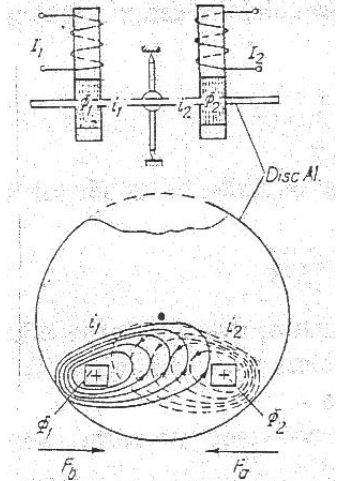


Fig.5.57. Determinarea cuplurilor în aparatele de inducție.

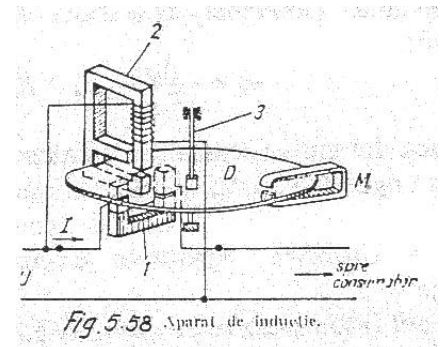


Fig.5.58. Aparat de inducție.

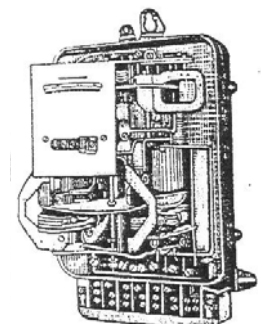









Fig.5.59. Contor de energie.

## SIMBOLIZAREA APARATELOR ELECTRICE DE MASURARE

Pentru a cunoaște mărimea de măsurare (tipul aparatului), principiul sau de funcționare, felul curentului aplicat, clasa de precizie etc. s-au adoptat o serie de simboluri grafice care sa informeze asupra acestor caracteristici. Simbolurile aparatelor in funcție de mărimea de măsurare sunt, de exemplu: A – ampermetru, V – voltmetru, W – wattmetru etc. In tabelul 5.1 sunt prezentate cele mai importante mărimi electrice si aparatele corespunzătoare, inclusiv simbolurile lor grafice.

Tabelul 5.1 Aparate electrice de măsurare

Poz	Mărimea electrica	Aparate de măsurat	
		Denumire	Simbol
1	tensiune	voltmetru	
2	intensitate	ampermetru	
3	putere	wattmetru	
4	factor de putere	cosfimetru	
5	energie	contor	
6	frecventa	frecventmetru	
7	rezistenta	ohmetru	

Simbolurile care reprezintă principiul de funcționare a aparatului (magnetoelectric etc.) sunt date in tabelul 5.2.

Clasa de precizie este arătată prin indicele de clasa (de exemplu 0,5), eventual subliniat sau încercuit.

Simbolurile care indica felul curentului sunt:






- curent continuu: - sau = ;
- curent alternativ: ~ ;
- curent continuu si alternativ: ≈ ;
- curent trifazat:  $\sqrt[3]{}$  .

Simbolurile pentru poziția de funcționare sunt:

- cu cadranul vertical:  $\perp$
- cu cadranul orizontal: -
- cu cadranul oblic:  $<$  (exemplu:  $60^\circ$  = înclinat la  $60^\circ$ ).

Tensiunea de încercare a aparatului este indicata printr-o cifra înscrisa intr-o steluța care exprima valoarea in kilovați a tensiunii respective (de exemplu in fig.5.59, tensiunea de încercare este de 2 kV ). Daca tensiunea de încercare este de numai 500 V, in interiorul steluței nu se scrie nimic.

Tabelul 5.2 Simboluri care reprezintă principiul de funcționare.

Felul aparatului (principiul de functionare)	Simbol
Magnetoelectric	
Electromagnetic	
Electrodinamic	
Ferodinamic	
De inductie	

Pe cadranul aparatului de măsurare mai sunt arătate de obicei si următoarele (fig.5.53 si fig.5.55):

- anul si seria de fabricație (de exemplu: 1975 M 11)
- standardul căruia ii corespunde aparatul (de exemplu STAS 4640 / 62).

In tara noastră, aparatele de măsura se fabrica in principal la Întreprinderea de aparate electrice de măsura (IAEM) din Timișoara.

# MASURAREA MARIMILOR ELECTRICE

## Introducere

Orice aparat de măsurare este construit pentru un anumit fel de curent (continuu sau alternativ) și pentru anumite valori maxime ale mărimii de măsurat.

De exemplu, dacă un voltmetru este construit pentru 10 V curent continuu înseamnă, deocamdată, ca sub aceasta formă el nu poate fi folosit decât pentru tensiuni continue de maximum 10 V. De asemenea, de exemplu, un ampermetru de 1 A curent alternativ nu va putea suporta un curent alternativ mai mare decât aceasta valoare. Totuși, există soluții de adaptare a acestor aparate astfel încât să fie posibilă măsurarea aceluiași mărimi, însă de valori mai mari, printr-o divizare a mărimii măsurate. Aceasta operație poartă denumirea de *extinderea domeniului de măsurare* și poate fi realizată în două moduri:

- prin folosirea unor rezistențe suplimentare ce se montează în serie cu voltmetru (rezistențe adiționale) sau în paralel cu ampermetrul (șunturi). **Nota.** Acest procedeu poate fi aplicat și în curent continuu și în curent alternativ;
- prin folosirea unor transformatoare de măsură (reductoare) care reduc tensiunea sau curentul de la o valoare mare la valoarea maximă admisă de aparat. **Nota.** Acest procedeu se aplică numai în curent alternativ.

Mărimile alternative pot fi redresate (transformate în mărimi continue), pentru ca apoi să poată fi măsurate cu ajutorul aparatelor de curent continuu, însă în condițiile de divizare arătate mai sus.

**Observație.** O mărime alternativă poate fi măsurată cu un aparat de curent continuu după ce a fost redresată, însă o mărime continuă nu poate fi măsurată practic, cu un aparat construit special pentru curent alternativ.

## MASURAREA TENSIUNILOR SI CURENTILOR

### Măsurarea tensiunilor continue sau alternative

Tensiunile se măsoară în mod curent prin legarea voltmetrului în paralel (în derivație) pe circuit (fig.5.60), adică dacă există un consumator  $C$  – de exemplu o lampa – voltmetrul se leagă în paralel cu lampa respectivă.

**Atenție !** Se verifică mai întâi, privind pe cadranul aparatului, dacă voltmetrul este pentru felul curentului măsurat (continuu = sau alternativ  $\sim$ , sau și continuu și alternativ) și dacă valoarea presupusă a rețelei nu depășește indicația maximă de pe scara voltmetrului.

Extinderea domeniului de măsurare al voltmetrului se face prin legarea în serie cu voltmetrul unei rezistențe adiționale care să preia căderea de tensiune suplimentară. În orice caz, voltmetrul prevăzut cu rezistența adițională  $R_a$  se leagă tot în paralel cu consumatorul  $C$  (fig.5.61).

Se presupune, de exemplu, ca se dispune de un aparat magnetoelectric care are derivația maximă pentru o tensiune de 100 mV sau un curent de 1 mA. El poate fi folosit deci, sau ca milivoltmetru (pentru domeniul 0...100 mV), sau ca microampermetru (pentru domeniul 0 ... 1000  $\mu A = 1 mA$ ).

Dacă aparatul trebuie să indice tensiunea maximă de 100 V, atunci rezistența adițională  $R_a$  se calculează astfel (fig.5.62):

- din valoarea totală a tensiunii  $U = 100 V$ , o tensiune de 100 mV = 0,1 V trebuie să fie aplicată aparatului ( $U_v = 0,1 V$ ), iar restul ( $U_a$ ) să “cădă” pe rezistența adițională  $R_a$ ;
- curentul ce străbate rezistența adițională trebuie să fie același cu cel maxim absorbit de voltmetru ( $I_v = 1 mA$ );
- rezultă valoarea rezistenței adiționale.

Așadar, dacă scara are 100 de diviziuni (0...100 mV), folosind rezistența de mai sus, fiecare diviziune va reprezenta un volt.

### Măsurarea curenților continui sau alternativi

Curenții se măsoară în mod obișnuit prin legarea ampermetrului în serie pe circuit, respectiv în serie cu consumatorul  $C$  (fig.5.63). Este necesară, ca și în cazul voltmetrului verificarea mai întâi a indicațiilor de pe cadranul aparatului.

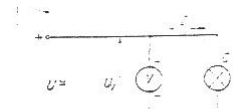


Fig. 5.60. Schema de legare directă a voltmetrului.

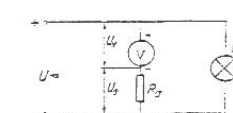


Fig. 5.61. Schema de legare cu rezistență adițională a voltmetrului.

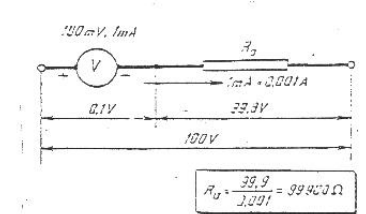
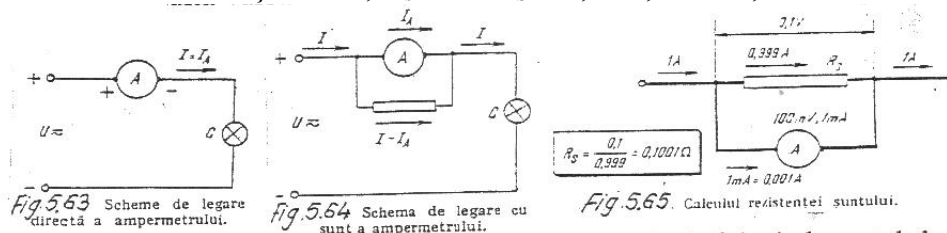


Fig. 5.62. Calculul rezistenței adiționale.

Extinderea domeniului de măsurare al ampermetrului se face prin legarea în paralel cu ampermetrul a unei rezistențe – șunt – care să permită trecerea curentului suplimentar. Și în acest caz ampermetrul cu șuntul său se leagă tot în serie pe circuit (fig.5.64).

Se presupune, de exemplu, ca trebuie măsurat cu același aparat folosit mai sus (1 mA, 100 mV) un curent de maximum 1 A. În acest caz înseamnă că, atunci când aparatul deviază la maximum, deci este parcurs de 1 mA, curentul total care parcurge ampermetrul în paralel cu șuntul este de 1 A. Rezistența șuntului  $R_s$  se calculează, deci, astfel (fig.5.65):

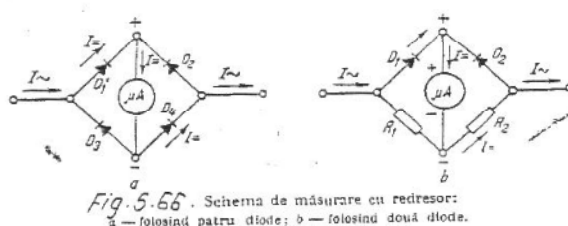
- din valoarea totală a curentului  $I = 1 \text{ A}$ , un curent de  $1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$ , trebuie să treacă prin ampermetru ( $I_A = 0,001 \text{ A}$ ), iar restul curentului,  $I_S$ , să treacă prin șunt:  $I_S = I - I_A = 1 - 0,001 = 0,999 \text{ A}$ ;
- tensiunea de la bornele șuntului trebuie să fie aceeași cu cea maximă de la bornele ampermetrului ( $U_A = 100 \text{ mV} = 0,1 \text{ V}$ );
- rezultă valoarea rezistenței șuntului;  $R_s = U_A / I_S = 0,1 / 0,999 = 0,1001 \Omega$ .



Așadar, dacă scara aparatului are 100 de diviziuni, folosind șuntul de mai sus, fiecare diviziune va reprezenta 10 mA.

### Măsurarea tensiunilor sau curenților alternativi folosind redresoare

În cele mai multe cazuri se folosește un microampermetru magnetoelectric introdus într-o punte redresoare având patru diode (fig.5.66,a) sau – mai economic – două diode și două rezistențe (fig.5.66,b). Diodele sunt în general diode semiconductoare.



Pe baza caracteristicilor diodelor, eventual a rezistențelor din punte, se stabilește valoarea maximă a curentului  $I_a$ , respectiv a tensiunii  $U_a$ . Practic, aceste valori se pot determina și experimental.

Extinderea domeniului de măsurare al aparatului astfel alcătuit se face întocmai ca mai sus.

### Măsurarea tensiunilor și curenților continui sau alternativi folosind aparate universale

Aceasta constituie o metodă obișnuită în practică. Aparatul respectiv, denumit uneori și **voltampermetru**, este constituit dintr-un microampermetru magnetoelectric care poate fi legat direct (curent continuu), fie prin punte redresoare (curent alternativ), și care cuprinde o serie de rezistențe adiționale (mai multe domenii de măsurare pentru tensiune) precum și o serie de șunturi (mai multe domenii de măsurare pentru curenți). Rezistențele suplimentare precum și puntea redresoare pot fi introduse în circuit cu ajutorul unor comutatoare.

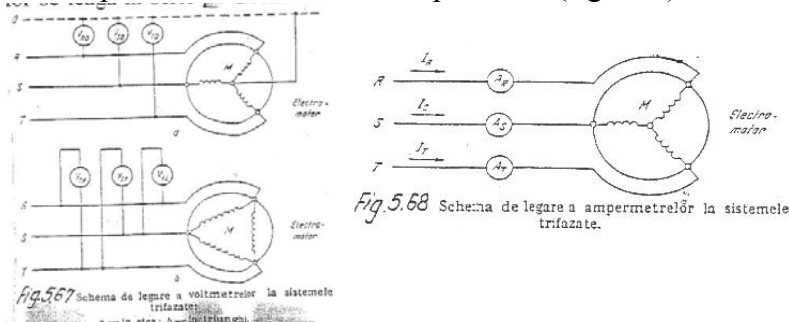
La măsurarea mărimilor în curent alternativ (curenți sau tensiuni) valorile indicate de aparatele cu redresoare sunt cele eficace.

### Măsurarea tensiunilor și curenților trifazați

În cazul sistemelor trifazate apare necesar să se măsoare tensiunile pe fază, caz în care voltmetrele se montează în stea (fig.5.67,a) sau tensiunile între faze, voltmetrele montându-se în triunghi (fig.5.67,b).

Pentru măsurarea curenților se leagă în serie pe fiecare fază câte un ampermetru (fig.5.68).

**Nota.** Observațiile anterioare referitoare la extinderea domeniului de măsurare, la calculul rezistențelor suplimentare etc., sunt valabile, bineînțeles, și sistemele trifazate.



## MASURAREA PUTERILOR

### Măsurarea puterii in curent continuu

Se pot folosi doua metode de măsurare:

- metoda indirecta;
- metoda directa.
- **Metoda de măsurare indirecta** presupune măsurarea separata a curentului absorbit  $I$  si a tensiunii  $U$ , aplicate receptorului așa cum s-a arătat mai sus (fig.5.69,a). Puterea absorbita de receptor se deduce prin calcul:

$$P = U \cdot I [W]$$

**Atenție !** Daca tensiunea  $U$  se măsoară in volți, iar curentul  $I$  in amperi, puterea  $P$  rezulta in wați.

- **Metoda de măsurare directa** necesita un aparat special, wattmetru, care cuprinde doua bobine, (aparat electrodinamic): o bobina de curent (fig.5.69,b) montata ca si un ampermetru, adică in serie pe circuit, si o bobina de tensiune montata ca si un voltmetru, adică in paralel.

**Atenție !** Pentru ca wattmetrul sa măsoare corect, este necesar sa se tina seama de "polaritatea" bobinelor, acestea având marcata cu o steluța (\*) sau cu semnul "plus" (+) bornele de "intrare" ala bobinei respective. Astfel, daca borna "polarizata" a bobinei de tensiune este legata la conductorul + , atunci curentul trebuie sa "intre" prin borna "polarizata" a bobinei de curent.

**Nota.** Daca numai una din bobine se inversează, wattmetrul "bate invers", adică arata zero, indiferent de valoarea lui  $U$  si  $I$ .

### Măsurarea puterii active in curent alternativ monofazat

Metoda de măsurare indirecta poate fi aplicata si in curent alternativ inasa, practic, aceasta soluție este nefolosita deoarece necesita pe lângă ampermetru si voltmetru si un aparat special, **cosfimetrul**, cu ajutorul căruia se determina factorul de putere ( $\cos \varphi$ ), adică unghiul de decalaj intre tensiune si curent.

După cum se știe, in curent alternativ monofazat puterea este data de expresia:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Metoda de măsurare directa este cea mai des folosita si necesita un wattmetru, special construit pentru curent alternativ, schema de legare fiind aceeași ca si la curentul continuu (fig.5.69).

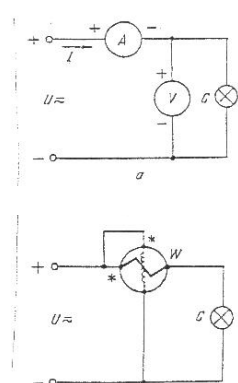


Fig. 5.69 Schema de măsurare a puterii: a - metoda indirectă; b - metoda directă.

### Măsurarea puterii active in curent alternativ trifazat

Se folosește, practic, exclusiv metoda directa, adică utilizând wattmetre.

In cazul unui consumator trifazat "cu fir neutru" (de exemplu un motor **M** legat in stea - fig.5.70,a), se pot folosi trei wattmetre monofazate având bobinele de curent legate pe fiecare faza, iar pe cele de tensiune - legate intre faze si nul (metoda celor trei wattmetre). Daca  $P_1$ ,  $P_2$  si  $P_3$  sunt puterile indicate de cele trei wattmetre, puterea totala  $P_t$  consumata de motor va fi:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 [W]$$

In cazul unui consumator trifazat "fără fir neutru" (de exemplu un motor **M** legat in triunghi - fig.5.70,b) se folosesc numai doua wattmetre monofazate montate pe doua faze. Ca si in cazul precedent, puterea totala absorbita  $P_t$  este data de suma puterilor indicate de cele doua wattmetre:

$$P_t = P_1 + P_2 [W]$$

**Nota.** In practica se construiesc si wattmetre trifazate cu trei echipaje mobile sau cu doua echipaje mobile, care au aceleași semne de legare, însă puterile sunt însumate mecanic pe același ax, aparatul având un singur indicator, deci un singur cadran pe care se citește puterea totala absorbita.

Măsurarea puterii reactive se realizează cu ajutorul varmetrelor (similare wattmetrelor) acestea având un mod de montare (conectare) asemănător wattmetrelor.

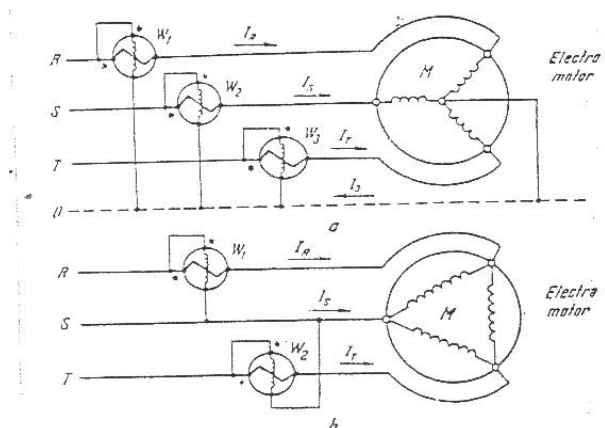


Fig. 5.70 Schema de măsurare a puterii active in curent alternativ trifazat: a - metoda celor trei wattmetre; b - metoda celor două wattmetre.

## MASURAREA ENERGIEI

După cum se știe, energia reprezintă însumarea (integrarea) în timp a puterii și este măsurată cu ajutorul unor aparate speciale cu indicare numerică, numite **contoare**.

### Măsurarea energiei în curent continuu

Se realizează cu ajutorul unor contoare speciale, dinamometrice, denumite și de tip motor.

Având două bobine ca și un wattmetru și un rotor care se învârti permanent, contorul se montează ca și un wattmetru (fig.5.71).

Energia indicată de contor se exprimă în wattore (Wh) sau kilowattore (kWh).

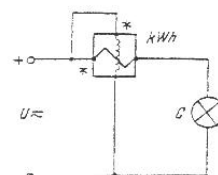


Fig.5.71 Schema de legare (conectare) a contorului (de curent continuu sau de curent alternativ monofazat).

### Măsurarea energiei în curent alternativ monofazat

Contoarele folosite în acest caz sunt aparate de inducție, schema de legare fiind aceeași ca în curent continuu (fig.5.71).

### Măsurarea energiei în curent alternativ trifazat

Se realizează cu ajutorul contoarelor trifazate care în cazul consumatorilor cu fir neutru (în stea) se construiesc cu trei echipaje mobile (fig.5.72,a), iar pentru consumatorii fără fir neutru (în stea sau triunghi) - cu două echipaje mobile (fig.5.72,b).

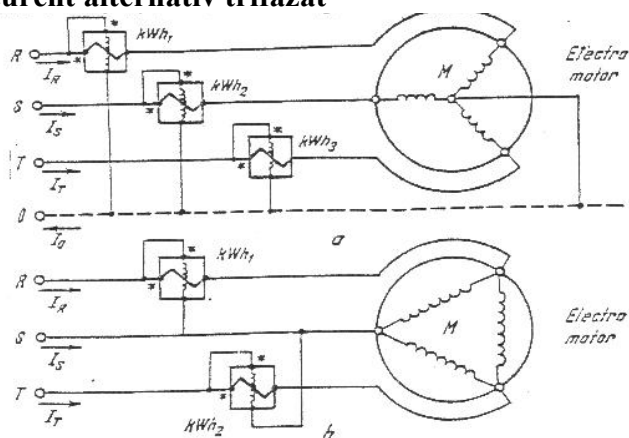


Fig.5.72. Schema de legare a contoarelor trifazate: a - cu trei echipaje mobile; b - cu două echipaje mobile.

**Observație.** Montarea contoarelor în ceea ce privește modul de legare a bobinelor, inclusiv respectarea polarității acestora, se face după aceleași reguli ca și în cazul wattmetrelor. Contoarele trifazate, cu două sau trei echipaje mobile, se construiesc sub forma a doua, respectiv trei aparate de inducție având discurile de aluminiu plasate pe același ac.

## MASURAREA REZISTENTELOR

Pentru măsurarea rezistențelor sunt folosite pe scara industrială două metode:

- metoda voltmetrului și ampermetrului;
- metoda punții Wheatstone.

De asemenea, pentru rezistențe foarte mari (rezistențe de izolație) sunt folosite aparate speciale numite **ohmmetre** sau **megohmmetre**.

- **Metoda voltmetrului și ampermetrului** se bazează pe determinarea prin calcul a valorii rezistenței  $R$  prin măsurarea unui curent  $I$  absorbit de o rezistență dată și a căderii de tensiune corespunzătoare  $U$  la bornele aceleiași rezistențe:

$$R = U / I$$

Sunt folosite două scheme de măsurare: **montajul aval** ("la vale" = mai jos) când voltmetrul este plasat după (mai jos decât) ampermetru (fig.5.73,a) și **montajul amonte** ("la munte" = mai sus), când voltmetrul este plasat înaintea (mai sus decât) ampermetrului (fig.5.73,b).

**Observația 1.** Montajul aval este indicat pentru măsurarea rezistențelor mici (sub  $1 \Omega$ ), adică atunci când curentul  $I_V$  absorbit de voltmetru - și care străbate și el ampermetrul - este neglijabil în raport cu curentul  $I_R$  absorbit de rezistența  $R$ .

**Observația 2.** Montajul amonte este indicat pentru măsurarea rezistențelor mari, adică atunci când căderea de tensiune pe ampermetru  $U_A$  - care este și ea măsurată de voltmetru - este neglijabilă în raport cu tensiunea  $U_R$  de pe rezistența  $R$ .

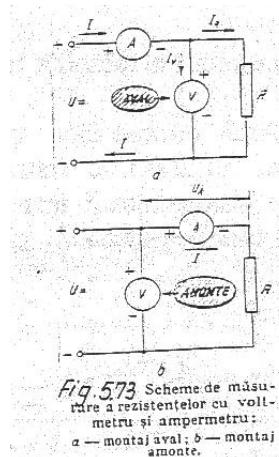


Fig. 5.73 Scheme de măsurare a rezistențelor cu voltmetru și ampermetru: a - montaj aval; b - montaj amonte.

- **Metoda punții Wheatstone** folosește o punte de măsurare la care (fig.5.74):

- $R_a$  și  $R_b$  sunt două rezistențe ale aceluiași potențiomtru cu cursor ( $R_a + R_b = R_0 = \text{constant}$ ):



- $R_y$  este o rezistență variabilă în trepte putând lua valorile fixe ( 0,1 ; 1 ; 10 ; 100 sau 1000 ) ;
- $R_x$  este rezistența necunoscută, a cărei valoare trebuie măsurată.

Se demonstrează că puntea se echilibrează, adică miliampermetrul indică zero, dacă  $R_a/R_b = R_x/R_y$ ,

De unde rezultă posibilitatea de măsurare a rezistenței necunoscute cunoscând valorile celorlalte trei rezistențe:  $R_x = R_a/R_b \cdot R_y$ .

Puntea de măsurare se realizează sub forma unei caseți prevăzute cu următoarele părți (fig.5.75)

- bornele  $x_1$  și  $x_2$  la care se conectează rezistența de măsurare  $R_x$ ;
- bornele  $e_1$  și  $e_2$  unde este legată sursa de tensiune  $E$  (4...6V) ;
- miliampermetru mA, realizat sub forma unui aparat magnetoelectric “cu zero la mijlocul scării”, adică la care acul deviază spre stânga ( - ) dacă curentul  $I_0$  are un sens și spre dreapta (+) dacă  $I_0$  are sens contrar;
- bușele marcate cu 0,1 ; 1 ; ...1000  $\Omega$ , în care, prin introducerea unei fișe rezistența  $R_y$  capătă valoarea respectivă;
- rigla gradată circulară  $C$  a cărei indicație din dreptul săgeții ( $\rightarrow$ ) arată raportul  $R_a/R_b$ ;
- butonul  $B$  prin care se conectează sursa de tensiune  $E$  (pentru a nu consuma permanent).

Măsurarea se face în felul următor (se va urmări simultan – fig.5.74 și fig.5.75):

- se leagă rezistența  $R_x$  la bornele  $x_1$  și  $x_2$ ;
- se dă o valoare oarecare rezistenței  $R_y$  prin introducerea fișei într-una din cele cinci bușe (de exemplu  $R_y = 10$ );
- se ține apăsat butonul  $B$  și, urmărind indicația miliampermetrului, se manevrează rigla circulară  $C$ ;
- dacă miliampermetrul mA deviază minus ( - )  $C$  se rotește în sensul creșterii raportului  $R_a/R_b$  până ce acul vine la zero și invers;
- în cazul în care ajungând la valoarea maximă a raportului  $R_a/R_b$  acul (care s-a apropiat de zero) nu a ajuns încă la zero, înseamnă că  $R_x$  are o valoare mai mare (de exemplu  $R_x > 10 \times 50 = 500\Omega$ ), situație în care fișa se mută în bușea imediat superioară (de exemplu  $R_y = 100\Omega$ ) și operația de mai sus se reia până la echilibrarea punții. În acest caz valoarea rezistenței măsurate se citește făcând produsul următor:

$$R_x = R_y (0,1 \dots 1000) \times \text{raportul } R_a/R_b [\Omega].$$

**Exemplu.** În poziția din figura:  $R_x = 100 \times 7,2 = 720\Omega$ .

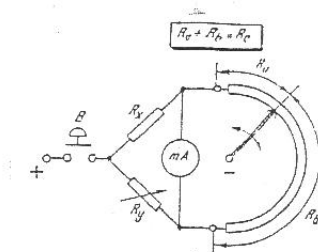


Fig. 5.74. Schema de măsurare a rezistențelor cu puntea Wheatstone.

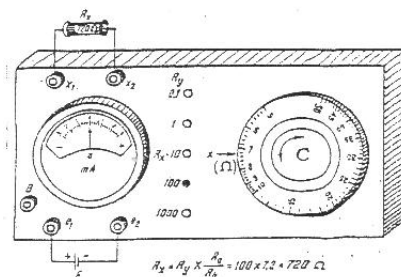


Fig. 5.75. Aspectul exterior al unei punți Wheatstone.

- **Megohmmetrul.** Măsurarea rezistențelor mari, de exemplu cele de izolație ale unei instalații electrice, ale unei mașini sau ale unui aparat, se face cu ajutorul unor aparate speciale numite ohmmetre sau megohmmetre. **Nota.** Aceste rezistențe sunt de ordinul a 300...500 k $\Omega$  sau chiar mai mult.

Cel mai răspândit ohmmetru este cel cu inductor, al cărui aspect exterior este dat în fig.5.76. Ohmmetrul cu inductor are schema din fig.5.77 în care  $G$  este un mic generator de curent continuu (dinam) acționat cu manivela  $M$ . Miliampermetrul mA este etalonat direct în ohmi sau kilohmi.

Măsurarea se face în felul următor:

- se conectează rezistența de măsurare  $R_x$  la bornele  $x_1$  și  $x_2$ ;
- se ține apăsat butonul  $B$  ( $R_x$  este deci scurtcircuitată) și se rotește generatorul prin manivela cu turație crescândă până ce acul mA indică diviziunea zero;
- se ridică brusc mana de pe butonul  $B$ , menținând aceeași turație a generatorului și se citește pe mA direct valoarea rezistenței  $R_x$ .

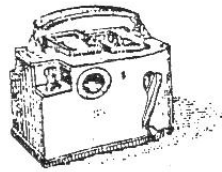


Fig. 5.76 Aspectul exterior al unui ohmmetru cu inductor.

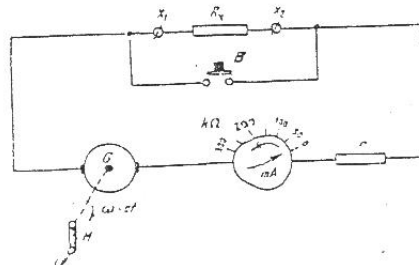


Fig. 5.77 Schema de măsurare a rezistențelor cu ajutorul ohmmetrului cu inductor.

## MASURAREA INDUCTANTELOR SI A CAPACITATILOR

Cea mai simpla metoda de măsurare a inductanțelor și a capacităților este următoarea: se efectuează o măsurare în curent continuu (fig.5.79,a) determinându-se tensiunea la bornele  $U_c$  și curentul absorbit  $I_c$  de elementul respectiv și se deduce rezistența proprie:

$$R = U_c / I_c [\Omega]$$

Se efectuează o măsurare în curent alternativ (fig.5.79,b) determinând similar, tensiunea  $U_a$ , curentul  $I_a$ , precum și frecvența  $f$  a rețelei. Cu ajutorul acestor mărimi se deduce impedanța  $Z$  a elementului:

$$Z = U_a / I_a [\Omega]$$

Din expresia cunoscută a impedanței ( $Z^2 = R^2 + X^2$ ) se deduce reactanța  $Z$  a elementului:  $Z = \sqrt{Z^2 - R^2}$ , din care se obține parametrul căutat:

- pentru inductanțe (L):  $X = X_L = 2 \pi f L \rightarrow L = X_L / 2 \pi f$  [H];
- pentru capacități (C):  $X = X_c = 1 / 2 \pi f c \rightarrow C = 1 / 2 \pi f x_c = 1 / 2 \pi f x$  [F].

Ca și pentru rezistențe, există punți speciale pentru măsurarea inductanțelor și capacităților.

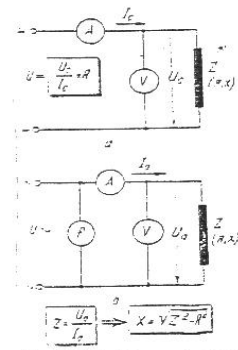


Fig. 5.79 Schema de măsurare a inductanțelor și capacităților:

a — schema de încercare în c.c.;  
b — schema de încercare în c.a.

## TRANSFORMATOARE DE MASURA

### Tipuri constructive

În curent alternativ curenții și tensiunile au uneori valori atât de mari, încât apare necesitatea transformării (reducerii) lor la valori ce pot fi măsurate cu aparate obișnuite și nu prezintă pericol pentru personalul de exploatare. Acest lucru se realizează cu ajutorul **transformatoarelor de măsură**, care se construiesc pentru curent și pentru tensiune.

- **Transformatorul de curent** se folosește de obicei pentru curenți ce depășesc 15 A. El are un bobinaj primar, format din spire puține și groase, care se leagă în serie cu circuitul primar și un bobinaj secundar la care se leagă ampermetrul sau bobina de curent a unui wattmetru sau contor. Un transformator de curent este caracterizat de următoarele mărimi importante:

- tensiunea nominală primară (de izolație), care are valori standardizate (de exemplu 6, 10, 15, 20, 35, 110, 220, 400 kV și 750 kV);
- curentul primar nominal, care are de asemenea valori standardizate (de exemplu 50, 100, 150, 1000, 2000, 7000 A);
- curentul secundar nominal, care de obicei are numai două valori standard: 5 A sau 1 A.

Curenții se indică, de obicei, sub forma raportului de transformare, adică a raportului dat de cei doi curenți (de exemplu 100 / 5 A, 1500 / 5 A, 1000 / 1 A etc.).

Simbolizarea transformatorului de curent este dată în fig.5.78,a.

**Observație.** Transformatoarele de curent au borne polarizate, adică se convine ca, dacă curentul primar  $I$  intra prin borna polarizată, curentul secundar  $I$  iese prin borna polarizată (secundară).

**Atenție !** Nu este permis ca să se întrerupă circuitul secundar al transformatorului de curent când cel primar este parcurs de curent; în caz contrar:

- în bobinajul secundar apar tensiuni mari, periculoase pentru personalul de exploatare;
- miezul de fier se încălzește excesiv și transformatorul arde.

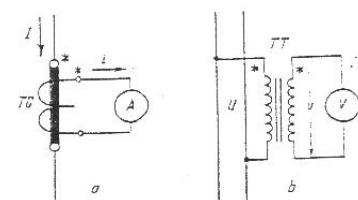


Fig. 5.78 Simbolizarea transformatoarelor de măsură:

a — de curent; b — de tensiune.

- **Transformatorul de tensiune** se folosește de obicei pentru tensiuni ce depășesc 1 kV. Bobinajul primar este format din spire multe și subțiri care se leagă în paralel cu circuitul primar (de înalta tensiune), iar bobinajul secundar alimentează voltmetrul sau bobina de tensiune a unui wattmetru sau contor.

Un transformator de tensiune este caracterizat de următoarele mărimi:

- tensiunea nominală primară (de izolație) – care are aceleași valori standardizate ca la transformatorul de curent (de exemplu 6, 10...750 kV – între faze);
- tensiunea nominală secundară – care are de obicei o singură valoare standard: 100 V între faze.

În mod obișnuit aceste mărimi se dau direct sub forma raportului de transformare (de exemplu: 6000/100 V sau  $110000/\sqrt{3}/100/\sqrt{3}$ ).

Ca și transformatoarele de curent, și cele de tensiune au bornele polarizate. Simbolizarea transformatorului de tensiune este dată în fig.5.78,b.

### MASURAREA FOLOSIND TRANSFORMATOARE

Transformatoarele de tensiune, ca și cele de curent, prezintă pe lângă avantajul de a separa (“galvanic”) personalul de exploatare față de tensiunea înaltă și un avantaj economic în sensul că aparatele de măsurare folosite pot fi construite numai pentru valori standard. Astfel, toate voltmetrele, ca și bobinele de tensiune ale wattmetrelor și contoarelor, se construiesc numai pentru tensiunea de 100 V; de asemenea, toate ampermetrele sau bobinele de curent ale wattmetrelor (contoarelor) se construiesc numai pentru 5 A sau 1 A.

Modul de măsurare folosind transformatoarele de curent sau de tensiune este foarte simplu de imaginat cunoscând schema de legare a aparatelor respective în cazul când nu se folosesc transformatoare. Astfel:

- în locul bobinei aparatului respectiv se introduce bobinajul primar al transformatorului;
- bobina aparatului se leagă în secundarul transformatorului.

Ca exemplu, în fig.5.80 se arată modul de legare prin transformatoare de măsură a trei ampermetre și trei voltmetre de pe o linie de înaltă tensiune, (se folosesc trei transformatoare monofazate legate în stea, a căror tensiune între faze este 110000 V pe primar, respectiv 100 V pe secundar), iar în fig.5.81 – legarea unui contor cu două echipaje mobile pe circuitul de alimentare al unui motor de înaltă tensiune.

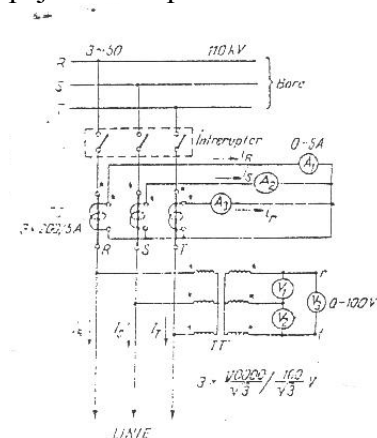


Fig. 5.80 Exemplu de legare a ampermetrelor și voltmetrelor folosind transformatoare de măsură.

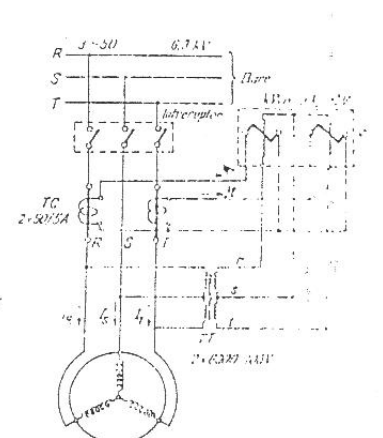


Fig. 5.81 Exemplu de legare a unui contor trifazat folosind transformatoarele de măsură.

## CAPITOLUL VI. REPREZENTAREA INSTALATIILOR ELECTRICE SEMNE CONVENȚIONALE

Semnele generale, semnele distinctive, semnele complementare, semnele funcționale - semnele complete pentru scheme electrice sunt stabilite prin STAS 11381.

În unele cazuri, pentru același element sunt indicate mai multe semne convenționale, astfel:

- o formă preferențială, una sau mai multe forme tolerate;
- o formă simplificată, o formă detaliată;
- pentru modul de reprezentare: monofilar, multifilar.

*Combinarea și compunerea semnelor convenționale.*

Standardele nu conțin semne pentru toate utilizările posibile. Anumite semne se pot obține prin combinarea între ele a semnelor existente în standarde sau cu simbolurile literale utilizate în electronica.

*Alegerea semnelor convenționale pentru o schemă.*

Regulile de bază pentru alegerea unui semn convențional pentru o schemă sunt, în principal, următoarele:

- utilizarea celei mai simple forme a semnului convențional corespunzător scopului particular;
- utilizarea, pe cât posibil, a formei preferențiale;
- alegerea semnelor convenționale astfel, încât toate elementele unei documentații tehnice să fie coerente între ele.

*Orientarea semnelor convenționale.*

Semnele convenționale pot fi orientate, în general, în orice direcție. Dacă nu există indicații contrare, semnele pot fi transpuse prin rotație sau în scopul evitării curbării sau încrucișării liniilor care reprezintă circuite.

Se recomandă, suplimentar, aplicarea următoarelor reguli:

- în cazul contactelor rotative, contactul mobil din semnul convențional reprezentat pe desen trebuie să corespundă întotdeauna contactului mobil din aparatul fizic;
- semnul de mișcare a contactelor din poziția de repaus, în poziția de lucru, va fi de la stânga la dreapta - în reprezentarea verticală - și de sus în jos - în reprezentarea pe orizontală.

*Dimensiunile semnelor convenționale, grosimea liniilor.*

În majoritatea cazurilor, semnificația unui semn convențional este definită prin forma sa. Dimensiunea semnului convențional și grosimea liniei, nu afectează în general, semnificația sa.

În anumite cazuri este de dorit utilizarea de mărimi diferite pentru schemele convenționale:

- pentru a reliefa anumite particularități;
- pentru a permite includerea de informații complementare.

Pentru distingerea sau scoaterea în evidență a anumitor circuite se pot utiliza, pentru reprezentarea conductelor, diferite grosimi. Pentru astfel de situații, se pot utiliza linii mai groase și pentru alte scheme decât acelea ale conductelor.


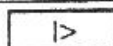
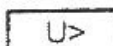

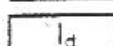
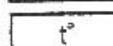





















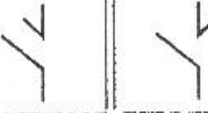













Simbolurile sunt date în tabelul 6.1.

Marcarea aparatelor conform STAS 12120/2-88 CEI 750-83 și CEI 617/1-85		Marcarea aparatelor conform STAS 12120/2-88 CEI 750-83 și CEI 617/1-85	
Simbol (Litera de cod)	Denumirea aparatului	Simbol (Litera de cod)	Denumirea aparatului
A	- Amplificator	P	- Varmetru
	- Interfon		- Contor de energie activă
- Antenă	- Contor de energie reactivă		
- Tahogenerator	- Cosfimetru		
- Termocuplu	- Frecvențmetru		
- Manometru cu contacte	- Termometru		
B	- Detector de incendiu		- Ceas electric
	- Detector de efracție		- Logometru
C	- Aparat telefonic		- Alte aparate de măsură
	- Aparat telegrafic		- Întreruptor de putere de înaltă tensiune
D	- Condensator	- Separator (de linie, de bare de legare la pământ) de înaltă tensiune	
	- Relee de timp	- Întreruptor de putere de joasă tensiune	
E	- Memorie magnetică	- Separator pentru circuite de joasă tensiune	
	- Înregistrator pe bandă sau disc magnetic	- Separator de sarcină pentru circuite de joasă tensiune	
F	- Sursă de încălzire	- Separator cu siguranțe pentru circuite de joasă tensiune	
	- Sursă de iluminat	- Contactor de putere	
G	- Ventilator	- Ruptor	
	- Siguranță fuzibilă	- Rezistență aditională	
H	- Separator cu siguranțe fuzibile	- Rezistență de încălzire	
	- Eclator, descărcător	- Potențometru	
I	- Paratrăsnet	- Reostat de pornire, frânare, excitație	
	- Extinctor	- Sunt	
J	- Releu Bucholz	- Contact, limitator de poziție	
	- Generator, alternator	- Buton comandă anclansare	
K	- Generator de curent continuu	- Buton comandă declansare	
	- Acumulator sau baterie de acumuloare	- Alte butoane	
L	- Compensator rotativ	- Comutatoare de comandă	
	- Lampă (casetă) de semnalizare	- Butoane selectoare	
M	- Indicator de poziție	- Comutator voltmetric	
	- Aparat de semnalizare sonoră (sonerie, hupă)	- Transformator de curent	
N	- Diode electroluminiscente (LED)	- Transformator de tensiune	
	- Releu intermediar	- Transformator de putere	
O	- Releu de pălpăire	- Invertor	
	- Releu polarizat	- Redresor	
P	- Releu control izolație	- Traductor de curent continuu	
	- Releu de semnalizare (cu clapetă)	- Traductor de tensiune continuă	
Q	- Releu de reanclansare	- Alte traductoare	
	- Releu de curent	- Tub electronic	
R	- Releu de tensiune	- Diodă	
	- Releu de putere	- Tiristor	
S	- Releu diferențial	- Tranzistor	
	- Releu de distanță	- Starter pentru lampa fluorescentă	
T	- Releu de frecvență	- Priză și fisă cu multe contacte	
	- Releu termic	- Priză bipolară	
U	- Alte relee	- Priză tripolară	
	- Bobină de reactanță	- Cutie de derivații, de joncțiuni	
V	- Bobină de compensare	- Dispozitive de deconectare	
	- Bobină de filtraj	- Bloc de încercare	
W	- Bobină pentru legarea la pământ a nulului transformatoarelor	- Cleme, reșete	
	- Baterie de condensatoare	- Electroventil de închidere	
X	- Motor de curent continuu	- Electroventil de deschidere	
	- Motor asincron	- Electromagnet de închidere	
Y	- Motor sincron	- Electromagnet de deschidere	
	- Echipament de calcul	- Frână magnetică	
Z	- Regulator de tensiune	- Servomotor	
	- Regulator de frecvență	- Limitator de cursă	
AA	- Regulator de turatie	- Scurtcircuitor	
	- Ampermetru		
AB	- Voltmetru		
	- Wattmetru		

Semne convenționale pentru instalații electrice interioare conform STAS 12993/11-91; CEI 617/11-83		Semne convenționale pentru instalații electrice interioare conform STAS 12993/11-91; CEI 617/11-83	
1. Circuite electrice		1. Circuite electrice	
Simbol	Circuit	Simbol	Circuit
	Circuit electric de forță sau iluminat		Circuit telefonic
	Linie electrică subterană		Circuit de radioficare
	Linie electrică submarină		Circuit de ceasoficare
	Linie electrică aeriană		Circuit de televiziune
	Conductă montată în tub		Platbandă pentru centura de legare la pământ
	Sase conducte montate în tub	<b>2. Aparate de conectare</b>	
	Linie electrică cu cămin de racord		Înteruptor monopolar
	Linie electrică cu dop de etanșeitate		Înteruptor bipolar
<b>Identificarea conductelor specifice</b>			Înteruptor cu lampă de semnalizare
	Conductă de neutru (N)		Înteruptor execuție normală
	Conductă de protecție (PE)		Înteruptor execuție etansă
	Conductă de protecție și neutru (PEN)		Înteruptor execuție antiex
	Circuit trifazic cu conductă de neutru și conductă de protecție		Comutator monopolar
	Circuitul trece la un nivel superior		Comutator bipolar
	Circuitul trece la un nivel inferior		Comutator de capăt
	Circuitul trece de la un nivel inferior la un nivel superior		Comutator cruce
	Circuitul trece de la un nivel superior la un nivel inferior		Buton de comandă
	Doză de legături și conexiuni		Buton de comandă cu lampă inclusă
	Cofret de bransament cu un circuit		Buton de pornire capsulat
	Tablou de distribuție		Avertizor de pază
	Circuit iluminat de siguranță		Buton dublu de comandă, capsulat
	Circuit de tensiune redusă (de protecție)		Cheie de comandă în construcție capsulată
			Comutator voltmetric
		<b>3. Lămpi și corpuri de iluminat</b>	
			Corp de iluminat cu lampă cu incandescență
			Corp de iluminat de siguranță

Semne convenționale pentru instalații electrice interioare conform STAS 12993/11-91; CEI 617/11-83		Semne convenționale conform STAS 11381/22-88 și CEI 617/7-83	
	Corp de iluminat cu lampă fluorescentă		
	Corp de iluminat cu trei lămpi fluorescente		
	Corp de iluminat cu cinci lămpi fluorescente		
	Corp de iluminat cu lampă cu vapori de mercur		
	Proiector		
	Proiector cu spot de lumină		
	Proiector cu fascicul divergent		
	Balast (Observație: - Se utilizează numai când aparatul auxiliar nu este încorporat în corpul de iluminat)		
	Bloc autonom pentru iluminat de securitate (luminobloc)		
	A - Simbolul corpului de iluminat p - putere [W] c - nr. circuit h - înălțimea de suspensie m - nr. întreruptorului		
Simbol	Prize		
	Priză tripolară cu contact de protecție		Contactor
	Priză bipolară cu contact de protecție		Contactor cu releu de protecție
	Priză cu capac		Întreruptor cu acționare mecanică
	Priză cu întreruptor monopolar		Întreruptor cu acționare electromecanică
	Priză cu transformator de separație		Disjunctor
	Priză pentru telecomunicații TP - Telefon M - Microfon Difuzor TV - Televiziune TX - Telex		Separator
	Priză pentru tensiune redusă de protecție		Separator de sarcină Întreruptor automat
			Dispozitiv de deconectare
			Eclisă
			Priză de aparat sau polul unei prize
			Fișă de aparat sau polul unei fișe
			Priză și fișă monopolară
			Chei de comandă
			Cheie de comandă cu trei poziții
			Comutator de comandă cu trei poziții
		2. Aparate de măsură conform STAS 11381/25-88; CEI 617-8/83	
		Simbol	Aparat
			Ampermetru
			Voltmetru
			Wattmetru
			Varmetru
			Cosfimetru



	Frecvențmetru	<p>Simbol</p>        	Protecție maximală de curent
	Frecvențmetru		Protecție de tensiune maximă
	Termometru		Protecție de tensiune minimă
	Tahometru		Protecție diferențială de curent
	Contor de timp		Protecție de suprațemperatură
	Contor de energie activă		Anclăsare automată a rezervei
	Contor de energie reactivă		Reanclăsare automată a rezervei
	Contor de energie activă dublu tarif		Regiajul automat al tensiunii
	Contor de energie activă cu emițător de impulsuri		
	Contor de energie activă cu indicator de $P_{max}$ maxim de putere		
<b>3. Relee</b> conform STAS 11381/23-88; CEI 617-7/83		<b>4. Contacte și butoane</b> conform STAS 11381/21-89	
<p>Simbol</p> 	Aparat		Contact normal deschis
	Elementul de comandă al unui releu (bobina)		Contact normal închis
	Releu cu temporizare la revenire		Contact comutator cu întreruperea circuitului de comutare
	Releu cu temporizare la acționare		Contact comutator cu poziție de mijloc
	Releu cu temporizare la acționare și revenire		Contact pasager care se închide la acționare / Contact pasager care se închide la revenire
	Releu cu acționare și revenire rapidă		
	Releu insensibil la curent alternativ		
	Releu acționat numai în curent alternativ		Contact normal deschis cu temporizare la închidere (acționare)
	Releu termic		Contact normal deschis cu temporizare la deschidere (revenire)
	Releu cu reținere mecanică		Contact normal închis cu temporizare la deschidere (acționare)
	Releu polarizat		Contact normal închis cu temporizare la închidere (revenire)
	Releu de semnalizare cu indicator de funcționare		Contact normal deschis acționat de un releu termic
	Releu Buchholz		



Simbol	Etichetare	6. Siguranțe fuzibile și dispozitive de protecție conform STAS 11381/24-88; CEI 617-7/83	
Simbol	Aparat	Simbol	Aparat
	Buton acționat prin împingere		Siguranță fuzibilă - semn general
	Buton acționat prin împingere cu reținere		Siguranță cu percutor
	Buton acționat prin împingere cu revenire		Siguranță cu percutor și dispozitiv de semnalizare
	Buton acționat prin tragere cu reținere		Înteruptor cu siguranțe fuzibile
	Buton acționat prin tragere cu revenire		Separator cu siguranțe fuzibile
	Buton acționat prin tragere cu revenire		Separator de sarcină cu siguranțe fuzibile
	Buton acționat prin rotire cu reținere		Eclator
	Buton acționat prin rotire cu revenire		Descărcător
		7. Mașini electrice; transformatoare	
Simbol	Aparat	Simbol	Aparat
	Lampă de semnalizare		Motor electric trifazat
	Lampă de semnalizare cu pâlpâire		Motor electric monofazat
	Indicator		Motor de curent continuu
	Indicator electromagnetic de poziție cu două poziții semnificative		Motor sincron
	Claxon		Generator sincron
	Sonerie		Transformator de curent
	Buzer		Transformator monofazat cu două înfășurări separate
	Sirenă		Transformator trifazat cu două înfășurări separate
	Casetă de semnalizare cu două lămpi		Transformator de curent cu două înfășurări secundare cu miezuri separate
			Transformator de curent cu două înfășurări cu miez comun

## INTOCMIREA SI CITIREA SCHEMELOR ELECTRICE

### Generalități

O instalație electrică cuprinde în general un ansamblu de echipamente, grupate și dispuse într-o anumită ordine funcțională, legate între ele prin conductoare, alcătuind felurite circuite: de alimentare, comandă, protecție, semnalizare etc.; alegerea, gruparea și succesiunea elementelor se face după anumite principii tehnico-economice, într-un anumit sistem sau după o anumită "schema" electrică.

Intr-un sens mai restrâns, prin schema electrică se înțelege reprezentarea într-un desen, cu ajutorul unor semne convenționale și după anumite reguli stabilite, a echipamentului ce alcătuiește o instalație, grupat după raporturile sale funcționale în circuite distincte.

De exemplu, schema unei instalații de lumină și forță cuprinde: un tablou de distribuție  $T$ , motorul  $M$ , și lămpile  $L$  alimentate prin circuite separate de la acest tablou precum și aparatele necesare de: protecție, comandă și reglaj etc., aferente acestor circuite.

Spre deosebire de planul instalației, schema nu cuprinde nici o indicație referitoare la amplasamentul utilajelor și aparatelor, traseul circuitelor sau indicații de montaj.

### Întocmirea schemei

La întocmirea unei scheme electrice și la reprezentarea ei în desen, se procedează după o ordine anumită, indiferent dacă urmează a se alcătui schema unei instalații noi - de proiect - sau a unei instalații existente - de relevu.

Pentru exemplificare s-a ales schema monofilară de principiu pentru alimentarea unui motor electric având puterea nominală 10 KW, pornire directă, cu semnalizarea poziției întrerupătorului și măsurarea curentului, fig.6.1.

Se determină întâi elementele care alcătuiesc instalația a cărei schemă se întocmește (alimentarea, receptoarele, aparatajul, conductoarele etc.), caracteristicile lor și ordinea lor funcțională; se stabilește tipul de schemă de reprezentat, după care se trece la desenarea ei, în ordinea următoare (pentru exemplul considerat):

- se trasează cu linii subțiri (C3) circuitul de alimentare *primar*; barele de alimentare 1 (sau tabloul de distribuție) și de nul 2, traseul circuitului primar 3 și semnul standardizat al receptorului (motorul) 4 ;
- se desenează în ordinea funcțională (folosind semnele convenționale standardizate) aparatele care fac parte din comutația primară; întreruptorul manual 5, siguranțele fuzibile 6, întreruptorul automat 7 și reductorul de intensitate 8; legăturile electrice ca: borne, suduri de bare etc., se indică prin mici cercuri;
- se trasează cu linie întreruptă (I2) conductorul de legare la nul 9 (fig.6.1c) și legăturile de protecție 10; se îngroașă restul desenului cu linie C1 ;
- se desenează aparatajul de comandă, protecție, semnalizare etc. din comutația secundară, folosind semnele convenționale standardizate; lămpile de semnalizare 11 și ampermetrul 12;
- se înscriu caracteristicile receptorului și aparatelor, simbolurilor circuitului de alimentare și de nul; numărul de faze, indicațiile privind dimensiunile conductoarelor și tensiunea rețelei.

În cazul unor rețele complexe, pentru a ușura și ordona atât întocmirea cât și citirea acestora, se trasează întâi - cu linii subțiri - o liniatură în carouri, pe care diferitele categorii de semne convenționale - pentru receptoare, aparate de protecție, de comandă etc. - să apară aliniate, iar ansamblul desenului să apară ordonat și clar.

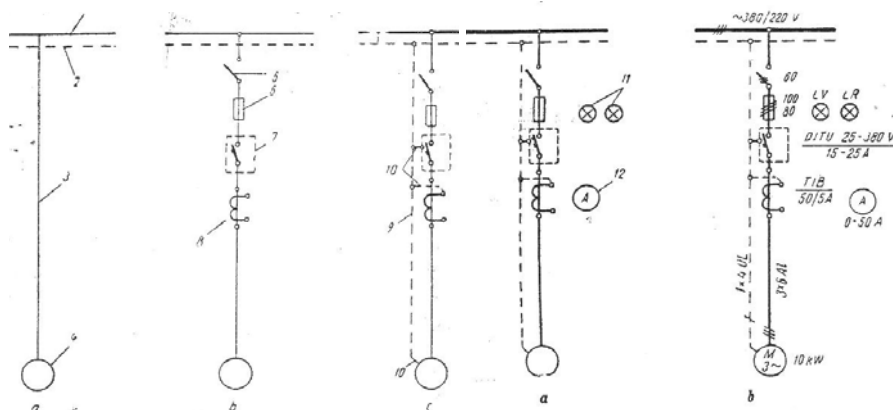


Fig. 6.1. Fazele de întocmire a unei scheme electrice

Citirea schemei se va face de la stânga la dreapta și de sus în jos; se identifică întâi circuitele din comutația primară și apoi aparatul din comutația secundară, urmărindu-se schema de la barele de alimentare către receptoare.

### CATEGORII DE SCHEME SI REPREZENTAREA LOR

Potrivit funcțiilor pe care le îndeplinește echipamentul electric al unui anumit ansamblu, schema sa electrică poate fi considerată ca făcând parte din categoriile:

- schema de circuite primare sau de comutație primară (fig.6.2) în care se reprezintă numai echipamentul principal sau primar - cu legăturile sale - cum ar fi acela care se produce, transporta, distribuie și conservă energie electrică; desenul unei astfel de scheme se execută cu linie continuă groasă;
- schema de circuite secundare sau de comutație secundară (fig.6.2,b și c și fig.6.3) în care se reprezintă elementele echipamentului secundar, pentru comanda, protecția și controlul funcționării elementelor primare, împreună cu conexiunile dintre ele; o astfel de schema se execută cu linie continuă subțire.

Delimitarea sus menționată nu este rigidă, în sensul că pentru a se ușura citirea și înțelegerea schemelor se intercalează în sistemele de comutație primară elemente ale comutației secundare sau invers.

După destinația lor, schemele pot fi: de *principiu* și de *montaj*.

*Schema de principiu* cuprinde reprezentarea legăturilor electrice între dispozitivele ce compun instalația fie integral în ansamblul ei, fie numai porțiuni din aceasta.

De exemplu, în cadrul unei instalații de forță, se poate reprezenta schema de alimentare a tuturor motoarelor electrice de acționare a utilajelor sau, parțial o anumită categorie de motoare electrice de acționare a utilajelor sau, parțial o anumită categorie de motoare, de exemplu: ale aerotermelor.

Schemele de principiu pot fi întocmite în reprezentarea monofilă sau multifilă (fig.6.2,b și c); aceasta din urmă permite o indicare detaliată a aparatelor și receptoarelor dar în cazul schemelor mai complete se creează dificultăți în urmărirea circuitelor și înțelegerea succesiunii în funcționarea aparatelor.

Schemele de principiu pot fi alcătuite și ca scheme desfășurate; acestea au următoarele caracteristici:

- sunt desenate multifilare;
- reprezintă aparatele ce intră în alcătuirea schemei desfășurate în părțile lor componente (bobine, contacte), fără a mai ține seama de legăturile lor mecanice reciproce;
- aparatele și legăturile sunt dispuse în circuite în ordinea lor de funcționare, adică în ordinea trecerii curentului de la un pol la celălalt;
- citirea schemei se face ca și a unui text și anume de la stânga la dreapta, și de sus în jos.

*Schema de conexiuni* este o anexă a schemei desfășurate în care aparatele sunt reprezentate individual și descompuse în elemente componente (fără legături mecanice), alături de un șir de dreptunghiuri care simbolizează șirul de cleme  $L$ . În dreptul fiecărei borne, a fiecărui aparat, se scrie borna aparatului sau șirul de cleme la care este legat. În fig.6.3,c este reprezentată schema de conexiuni aferentă schemei desfășurate din fig.6.3,c. Aceasta cuprinde în primul rând contactul normal deschis CS 1-2 al contactorului de semnalizare care comanda lampa LV; analog, pe rândul al doilea se afla contactul normal închis CS 3-4 al aceluiași contactor, care comanda lampa roșie LR (de avarie, pericol).

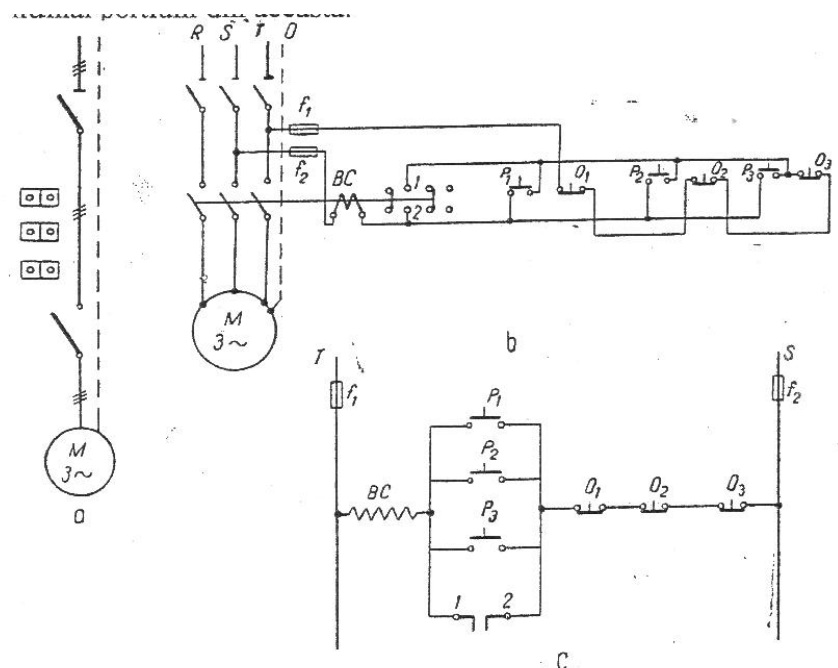


Fig. 6-2 Reprezentarea prin scheme a alimentării unui motor trifazat, cu comandă din 3 puncte distincte: a - schema de principiu monofilă; b - schema de principiu multifilă; c - schema desfășurată.

Schemele de montaj sunt desene de execuție care au rolul de a da indicații asupra montării pe panouri a echipamentului electric, inclusiv a conexiunilor funcționale dintre ele. Toate aparatele se așează în schema conform situației reale de funcționare.

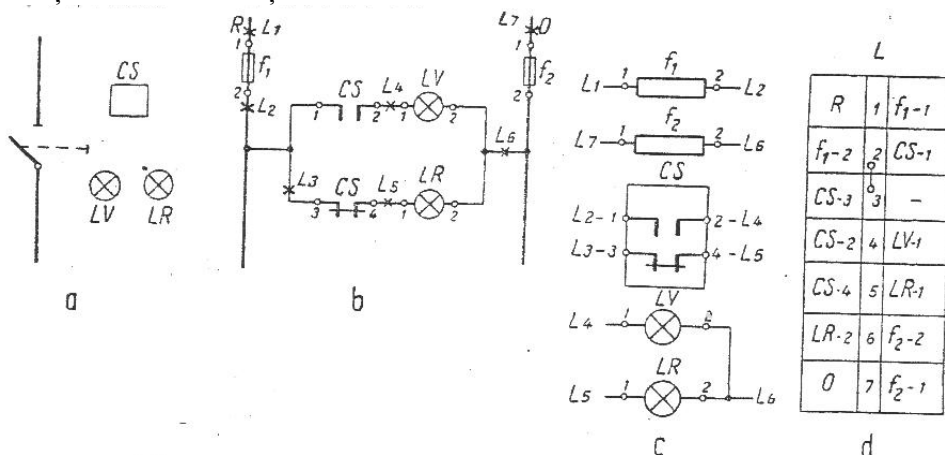


Fig. 6.3 Semnalizarea la distanță a poziției unui separator cu acționare manuală: a – schema de principiu monophasară; b – schema de principiu desfășurată; c, d – schema de montaj.

## REPREZENTAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE ILUMINAT IN CLĂDIRI CIVILE SI SOCIAL-CULTURALE

Dintre clădirile civile, cele mai des întâlnite, sunt blocurile de locuințe. Piesele desenate aferente unui proiect de instalații pentru acest tip de clădire sunt următoarele: planurile instalațiilor, schemele de distribuție, schemele speciale și detaliile de montaj.

### Schemele de distribuție

Proiectul instalației electrice de iluminat dintr-o clădire de locuit necesită următoarele tipuri de scheme: ale tablourilor de apartament, ale tablourilor principale și ale tabloului general. În cazul în care există și consumatori de forță, ei se vor reprezenta în schema tabloului general.

Reprezentarea schemei unui tablou (fig. 6.4) se întocmește astfel:

- tabloul se reprezintă simbolic printr-o linie groasă;
- conductorul de nul al tabloului se figurează printr-o linie întreruptă, paralelă cu prima; se indică totdeauna și legătura cu pământul;
- conductoarele de fază ale fiecărui circuit se reprezintă printr-o linie mai subțire, perpendiculară pe linia tabloului și având în capăt simbolul receptoarelor alimentate (corpuri de iluminat, prize etc.); în dreptul fiecărui circuit se scrie numărul receptoarelor pe care le alimentează (locuri de lampă sau priză) și puterea lor totală instalată;
- conductorul de nul, aferent fiecărui circuit, se trasează paralel cu acesta printr-o linie întreruptă;
- punctele de legătură dintre circuite și bara tabloului se marchează printr-un cerc mic;
- la fel se prezintă legăturile dintre nulul tabloului și nulul circuitelor;
- siguranțele se prezintă pe fiecare circuit prin simbolul standardizat;
- conductorul de nul aferent circuitelor de lumină sau priză monofazică, fiind conductor de nul de lucru, se reprezintă pornind de la nulul tabloului și terminându-se printr-o intersecție cu conductorii de fază, înaintea intrării în siguranțe; aceasta simbolizează faptul că nulul de lucru este și el protejat prin siguranțe;
- în cazul circuitelor de alimentare a prizelor monofazice cu contact de protecție, se desenează doi conductori de nul, primul fiind nul de lucru și reprezentându-se în modul menționat mai sus; al doilea fiind nul de protecție se intersectează cu conductorul de fază la ieșirea acestuia din siguranța, deoarece nulul de protecție nu se protejează prin siguranțe (v. fig. 6.4, circuitul al doilea).

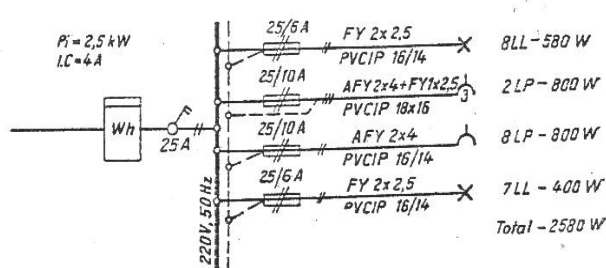


Fig. 6.4 Schema de distribuție a unei instalații de iluminat.

Schema tabloului general se întocmește în mod analog; notațiile pe care aceasta trebuie să le cuprindă, sunt următoarele:

- tipul și mărimea siguranțelor fuzibile;
- caracteristicile circuitelor;
- marcarea curentului nominal al întrerupătoarelor de la intrarea alimentării fiecărui tablou;
- notarea numărului total de locuri de lampa și respectiv de priza din fiecare apartament și a puterii totale instalate pe fiecare circuit;
- notarea la fiecare tablou (pentru cele identice se scrie o singură dată) a puterii instalate și a curentului de calcul.

### SCHEME SPECIALE

Schemele speciale ce pot fi necesare în instalațiile de iluminat din clădirile civile se referă la modul de comandă a circuitelor.

În fig.6.5 sunt prezentate, multifila și monofilar, câteva scheme de legătura cu întrerupătoare și comutatoare, folosite frecvent în instalațiile de iluminat. Se menționează principiul general, după care totdeauna faza se introduce în aparatul de întrerupere sau comandă, nulul îl ocolește, iar corpurile de iluminat se reprezintă legate între nulul instalației și faza (fazele) care iese din întrerupător sau comutator. În fig.6.4 s-a reprezentat o schema a iluminatului cu automat de scară, pentru blocul S + P + 10.

Comanda instalației de iluminat de la ambele capete ale unor coridoare lungi se reprezintă ca în fig.6.7.

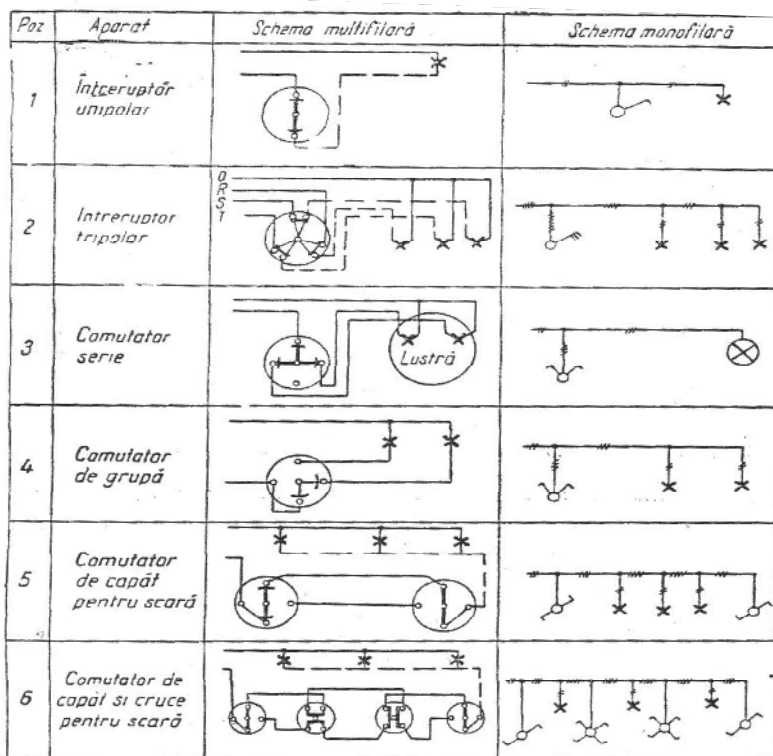


Fig. 6.5 Scheme de conexiuni, cu întrerupătoare și comutatoare, în instalații de iluminat.

### SCHEMELE INSTALAȚIILOR

Schemele instalațiilor de iluminat din clădiri industriale sunt complexe și pot necesita spații de desen întinse. Când tablourile secundare și principale de iluminat sunt destul de numeroase, se reprezintă separat scheme fiecărui tablou secundar și apoi printr-o schema generală, legăturile dintre tablourile principale și secundare. Când numărul tablourilor este mic se pot reprezenta în aceeași schema generală, atât coloanele care leagă tablourile principale de cele secundare, cât și circuitele de alimentare ale receptoarelor, de la tablourile secundare.

În fig.6.6 s-a reprezentat schema de distribuție a unei instalații de iluminat, particularitățile specifice fiind următoarele:

- la ieșirea din siguranță, circuitul este format din patru conductoare: 3 faze (care trec prin siguranță) și nulul (care nu trece prin siguranță); conductorul de nul se reprezintă printr-o linie întreruptă paralelă cu linia circuitului și intersectată cu acesta, imediat după siguranță;
- nulul aferent fiecărui circuit este legat la nulul tabloului, legătura fiind reprezentată printr-un punct mic, sau printr-un cerc;
- notarea fuzibilelor, circuitelor și receptoarelor se face după principiile enunțate în paragrafele precedente;
- în dreptul fiecărui tablou se notează puterea lui instalată și curentul de calcul.

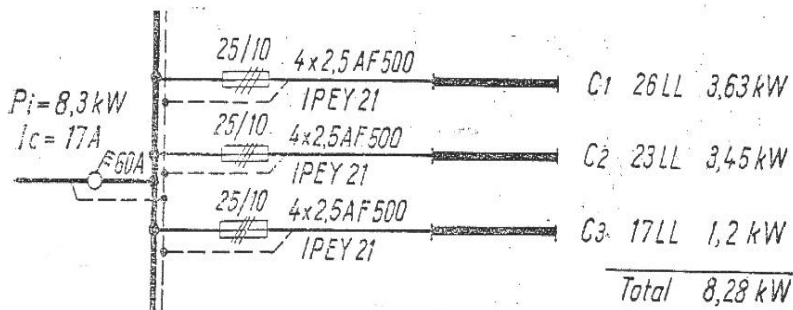


Fig. 6.6. Schema de distribuție a tabloului TL din figura 14.10.

În figura 6.9 s-a reprezentat o schemă de principiu desfășurată a alimentării unui tablou monofazat pentru iluminatul de siguranță, iar în fig.6.10 o schemă de alimentare a unui tablou trifazat pentru iluminatul de siguranță. Comanda din două puncte a celor trei circuite de iluminat este ilustrată prin schema de principiu din figura 6.11.

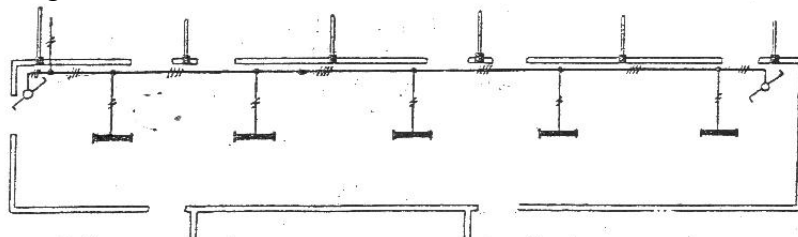


Fig. 6.7. Comanda unui circuit de iluminat dintr-un coridor, de la capetele acestuia.

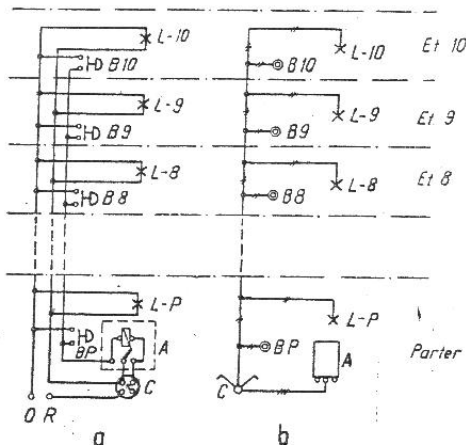


Fig. 6.8 Schema iluminatului de scară:  
a — schemă multifilară; b — schemă unifilară; L-P... L-9, L-10 — lămpi de nivel; B-P... B-9, B-10 — butoane de comandă de nivel; A — automat de scară; C — comutator.

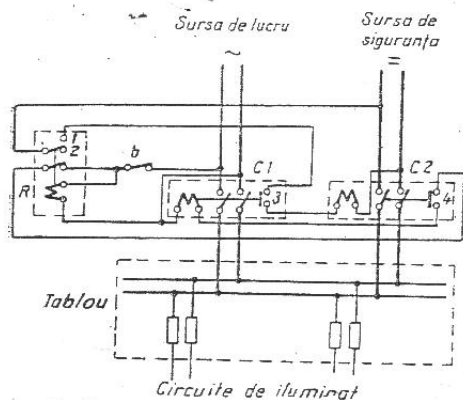


Fig. 6.9 Schema de principiu a alimentării unui tablou monofazat pentru iluminatul de siguranță.

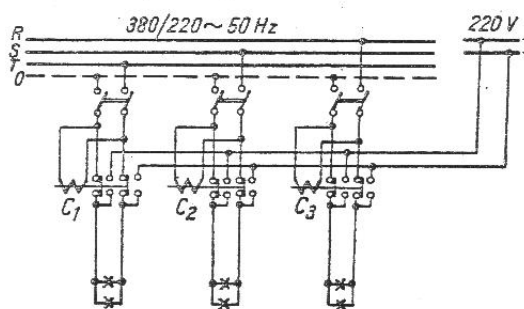


Fig. 6.10 Schema de principiu a unui tablou trifazat pentru iluminatul de siguranță.

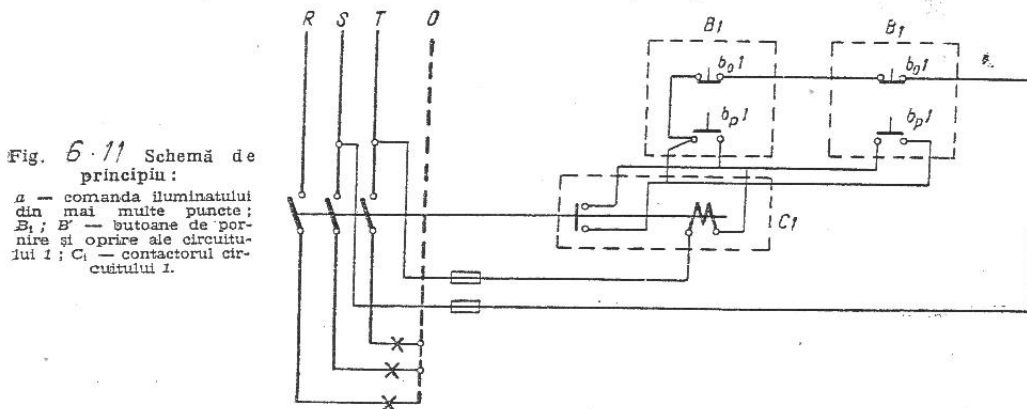


Fig. 6.11 Schema de principiu:  
a — comanda iluminatului din mai multe puncte; B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> — butoane de pornire și oprire ale circuitului I; C<sub>1</sub> — contactorul circuitului I.