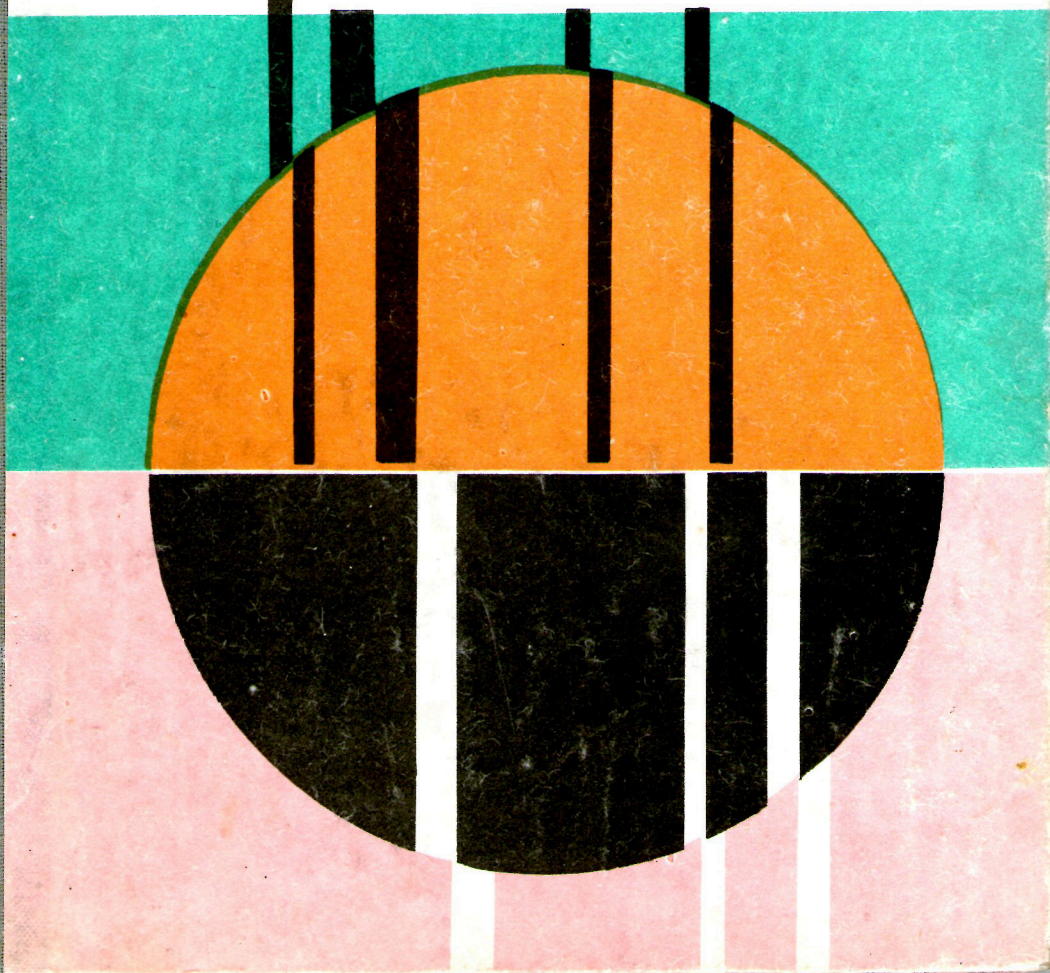


EUGENIA
ISAC

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI ȘTIINȚEI

MĂSURĂRI ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

MANUAL PENTRU CLASELE A X-A, A XI-A ȘI A XII-A



MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI ȘTIINȚEI

Ing. EUGENIA ISAC
prof. gr. I

INTRODUCERE

MĂSURĂRI ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

MANUAL, PENTRU CLASELE a X-a, a XI-a și a XII-a,
LICEE CU PROFIL DE ELECTROTEHNICĂ ȘI ELECTRONICĂ, MINE,
PETROL, METALURGIE, CONSTRUCȚII-MONTAJ, TRANSPORTURI ȘI
AGRICULTURĂ



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ,
BUCUREȘTI — 1991

Manualul de față constituie reeditarea manualului
cu același nume pentru clasa a X-a, ediția 1981,
și a celui pentru clasa a XI-a, ediția 1982, elabo-
rate conform programei școlare aprobate de MEI cu
nr. 36213/1981

Referenți: dr. ing. *Aurel Millea*;
Brîndușa Bolecan, prof. ing.

Redactor: ing. *Monica Ursea*
Tehnoredactor: *Ion Mirea*
Coperta: *V. Wegemann*

ISBN 973-30-1635-7

INTRODUCERE

În etapa actuală de dezvoltare a societății românești, aproape că nu există domeniu al activității economico-sociale în care să nu se folosească instalații și aparate electrice și electronice. Larga răspîndire a acestora, precum și diversificarea și perfecționarea lor, necesită cadre bine pregătite, capabile să răspundă cerințelor impuse de dezvoltarea științei și tehnicii contemporane.

În scopul asigurării unei activități cât mai eficiente, în vederea obținerii unei producții maxime și de calitate în domeniul electric, toți participanții la procesul de producție, de la muncitor pînă la cercetător, trebuie să cunoască aparatele și metodele de măsurat și utilizarea lor corectă.

Obiectul de învățămînt „Măsurări electrice și electronice” are scopul să asigure însușirea cunoștințelor, priceperilor și deprinderilor necesare, în legătură cu aparatele și metodele de măsurat, contribuind astfel la o bună formare profesională a viitorilor electricieni și electroniști.

MĂSURĂRI, MIJLOACE ȘI METODE DE MĂSURARE

A. MĂSURĂRI

În activitatea practică se întâlnesc diferite mărimi fizice, care se deosebesc între ele calitativ, după natura lor (lungimi, suprafețe, presiuni, temperaturi, tensiuni, puteri, rezistențe etc.), și cantitativ.

Evaluarea cantitativă a unei mărimi de o anumită natură se realizează prin măsurare. Deci: *măsurarea este procesul prin care se evaluează cantitativ mărimile fizice, de același fel.*

A măsura o mărime M înseamnă a o compara cu o mărime de aceeași natură, U , considerată convențional drept unitate de măsură, și a vedea de câte ori unitatea de măsură se cuprinde în mărimea de măsurat.

Procesul de măsurare se poate exprima prin raportul dintre mărimea de măsurat M și unitatea de măsură U , iar rezultatul măsurării reprezintă valoarea numerică V a mărimii de măsurat:

$$\frac{M}{U} = V. \quad (1.1)$$

Conform relației (1.1), mărimea de măsurat se poate exprima prin:

$$M = V \cdot U. \quad (1.2)$$

○ **De reținut!** Expresia $M = V \cdot U$ arată că ori de câte ori se exprimă o anumită mărime, trebuie menționată și unitatea de măsură, multiplii sau submultiplii acesteia (de exemplu: $I = 2A$; $R = 1 \text{ k}\Omega$; $C = 100 \mu\text{F}$).

1. UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Așa cum s-a arătat, pentru a măsura o mărime este necesar să fie stabilită unitatea de măsură a acelei mărimi.

Unitatea de măsură este o mărime de aceeași natură cu mărimea de măsurat, aleasă în mod convențional.

În trecutul îndepărtat, în țara noastră, oamenii conveniseră să măsoare lungimile cu cotul sau prăjina, iar capacitățile — cu găleata sau cu vadra. O dată cu dezvoltarea științei și tehnicii și cu dezvoltarea schimburilor și cooperărilor dintre oameni, a fost necesar ca unitățile de măsură să fie stabilite cât mai precis și să fie recunoscute de cât

mai mulți oameni. Unitățile de măsură ce se folosesc în prezent au fost stabilite prin convenții internaționale, ținându-se seama de nivelul de cunoaștere al omenirii la data stabilirii lor.

2. SISTEME DE UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Deoarece pentru a efectua o măsurare este necesar să se cunoască unitatea de măsură corespunzătoare mărimii fizice ce se măsoară, trebuie să existe pentru fiecare mărime fizică câte o unitate de măsură (de exemplu: pentru lungimi — metrul, pentru timp — secunda, pentru intensitatea curentului electric — amperul ș.a.m.d.).

Din mulțimea de unități de măsură, unele, în număr restrâns, au fost definite independent de altele, și de aceea ele au fost denumite *unități fundamentale*. Celelalte unități de măsură, care se numesc *unități derivate*, pot fi definite în funcție de unitățile de măsură fundamentale pe baza legilor și a relațiilor care leagă între ele mărimile fizice corespunzătoare.

Totalitatea unităților fundamentale și derivate dintr-un anumit domeniu alcătuiesc un sistem de unități de măsură.

Au fost folosite mai multe sisteme de unități de măsură, care diferă între ele prin unitățile fundamentale adoptate. Astfel, în tehnică se folosea sistemul practic MKSA, în timp ce în fizică era preferat sistemul CGS. În electromagnetism era folosit sistemul CGS electromagnetic (CGS_{μ_0}), în timp ce în electrostatică se prefera sistemul CGS electrostatic (CGS_{ϵ_0}). Am mai putea da, în acest sens, numeroase exemple.

3. SISTEMUL INTERNAȚIONAL

Având în vedere faptul că la un moment dat se foloseau diferite sisteme de unități de măsură, ceea ce complica relațiile dintre diferite domenii de activitate, la cea de-a XI-a Conferință Generală de Măsură și Greutăți, care a avut loc la Paris în 1960, s-a propus adoptarea unui sistem de unități de măsură care să satisfacă toate domeniile științifice și tehnice. În acest fel, s-a adoptat Sistemul Internațional al Unității de Măsură, cu simbolul SI, care are șapte unități fundamentale și două unități complementare.

Unitățile fundamentale sînt:

- | | |
|------------|---|
| — metru | — cu simbolul m, pentru lungimi; |
| — kilogram | — cu simbolul kg, pentru masă; |
| — secundă | — cu simbolul s, pentru timp; |
| — amper | — cu simbolul A, pentru intensitatea curentului electric; |

- *kelvin* — cu simbolul K, pentru temperatura termodinamică;
- *candelă* — cu simbolul cd, pentru intensitatea luminoasă;
- *mol* — cu simbolul mol, pentru cantitatea de substanță.

Unitățile complementare sînt:

- *radian* — cu simbolul rad, pentru unghi plan;
- *steradian* — cu simbolul sr, pentru unghi solid.

În funcție de aceste unități fundamentale și complementare se pot defini toate celelalte unități de măsură derivate.

În țara noastră Sistemul Internațional a fost adoptat în 1961 ca sistem de unități de măsură legal și obligatoriu. Legea metrologiei nr. 27/1978 stabilește că, în cazuri justificate, pot fi utilizate ca unități de măsură legale și alte unități în afara sistemului SI, cum sînt grad Celsius pentru temperatură, bar pentru presiune, kilogramforță pentru forță etc. Unitățile de măsură legale sînt specificate în anexa care face parte din legea metrologiei.

B. PROCESUL DE MĂSURARE

Într-un proces de măsurare se pornește de la mărimea de măsurat, care constituie obiectul măsurării. Apoi se stabilește cu ce se va executa măsurarea și cum se va face aceasta. Avînd în vedere cele de mai sus, putem spune că în procesul de măsurare intervin următoarele elemente:

- *obiectul măsurării* (ce se măsoară?);
- *mijloacele de măsurare* (cu ce se măsoară?);
- *metodele de măsurare* (cum se măsoară?).

1. MIJLOACE DE MĂSURARE

Mijloacele de măsurare reprezintă totalitatea mijloacelor tehnice utilizate în procesul de măsurare.

• În funcție de complexitatea lor, mijloacele de măsurare se împart în:

- *măsurii*;
- *aparate de măsurat*;
- *instalații de măsurare*.

Măsura este materializarea unității de măsură sau a unui multiplu sau submultiplu al acesteia.

Exemple: metrul (din lemn sau din metal), ruleta (de 1m sau de 10m), rezistorul etalon, condensatorul etalon etc.

Aparatul de măsurat este un sistem tehnic care permite determinarea cantitativă a mărimilor ce se măsoară.

Exemple: ampermetrul, voltmetrul, ohmmetrul etc.

Instalația de măsurat este un ansamblu de aparate și măsurii conectate între ele după o anumită schemă, în scopul unor măsurări.

Exemple: instalația folosită la măsurarea rezistențelor electrice prin metoda ampermetrului și voltmetrului, instalațiile utilizate la etalonarea aparatelor de măsurat electrice, instalațiile de telemăsurări etc.

- După precizia lor, mijloacele de măsurare se împart în:
 - *mijloace de măsurare etalon sau etaloane*;
 - *mijloace de măsurare de lucru*.

Mijloacele de măsurare etalon sînt cele mai precise mijloace de măsurare. Ele servesc la definirea, materializarea, conservarea sau reproducerea unității de măsură în scopul transmiterii unității către alte mijloace de măsurare.

La rîndul lor, etaloanele sînt de mai multe categorii:

— *etalon primar* — etalonul care întrunește cele mai ridicate calități metrologice. În unele cazuri, etaloanele pot deveni etaloane internaționale sau etaloane naționale. Etaloanele internaționale sînt recunoscute prin acorduri internaționale, iar etaloanele naționale sînt atestate printr-o decizie oficială a unei țări și constituie baza metrologică a țării respective;

— *etaloane secundare*. Transmiterea unității de măsură se realizează pornind de la etalonul național, care este și etalon primar cu ajutorul unor instalații și metode adecvate, se etalonează etaloanele secundare de ordinul I, de la care, prin mijloace tehnice similare, unitatea de măsură se transmite la etaloanele secundare de ordinul II ș.a.m.d.;

— *etalon de lucru* — etalonul a cărui valoare este atribuită prin comparație cu un etalon secundar și care servește la verificarea mijloacelor de măsurat de lucru.

Mijloacele de măsurare de lucru sînt cele cu care se execută măsurările cerute de practică.

2. METODE DE MĂSURARE

Metodele de măsurare reprezintă ansamblul de procedee folosite pentru obținerea informației de măsurare. Ele arată cum se execută măsurările.

După modul în care se obține rezultatul măsurării, metodele de măsurare se împart în *metode indirecte* și *metode directe*.

A. METODE DE MĂSURARE INDIRECTE

Metodele de măsurare indirecte sînt acele metode prin care se măsoară alte mărimi, iar valoarea mărimii de măsurat se obține prin calcul (de exemplu, măsurarea rezistențelor prin metoda ampermetrului și voltmetrului).

B. METODE DE MĂSURARE DIRECTE

Metodele de măsurare directe sînt acele metode în care se măsoară nemijlocit mărimea de măsurat. Metodele directe pot fi cu citire directă sau de comparație.

● **Citirea directă** se folosește în cazul aparatelor care au scara gradată direct în unități ale mărimii de măsurat (de exemplu: ampermetre, voltmetre, ohmmetre etc.).

● **Metodele de comparație** pot fi: metode de substituție, metode diferențiale, metode de zero și altele.

Metoda de substituție constă în înlocuirea mărimii de măsurat A_x , existentă într-o anumită instalație de măsurare, cu o mărime cunoscută și variabilă A_0 , care se modifică pînă cînd indicațiile aparatelor de măsurat vor fi aceleași ca și în cazul cînd în instalație se află mărimea A_x . În acest caz, $A_x = A_0$.

Metoda de zero se bazează pe acțiunea simultană, dar de sens contrar, a mărimii de comparație și a mărimii de măsurat asupra unui aparat detector de nul. Mărimea de comparație se variază pînă cînd detectorul de nul indică zero. În acest caz, valoarea mărimii de măsurat este dată de valoarea mărimii de comparație. Operația de măsurare are caracterul unui proces de reglaj în buclă închisă, ceea ce asigură metodei o precizie ridicată. Metoda de zero se folosește la măsurarea tensiunilor electrice cu compensatoarele și la măsurarea mărimilor electrice cu punțile echilibrate.

Metoda diferențială se caracterizează prin aceea că aparatul de măsurat măsoară diferența $A_x - A_0 = A$, unde A_x este mărimea de măsurat, iar A_0 — o mărime de aceeași natură cu A_x , dar cunoscută cu o anumită precizie. Precizia măsurării este cu atît mai mare cu cît diferența A este mai mică.

C. ERORI DE MĂSURARE

1. DEFINIȚII

Orice mărime care se măsoară are o valoare a sa adevărată X , dar oricît de îngrijit s-ar efectua măsurarea, folosind cele mai perfecționate mijloace și metode de măsurare, niciodată nu se va

cunoaște valoarea adevărată. De aceea se spune că ea este inaccesibilă măsurărilor. Rezultatul obținut prin măsurare poate să difere mai mult sau mai puțin de valoarea adevărată.

● **Eroarea absolută.** Deoarece valoarea adevărată nu poate fi cunoscută, pentru aprecierea calității unei măsurări se compară valoarea măsurată X_m cu o valoare de referință X_0 , obținută prin măsurări efectuate cu metodele și mijloacele de măsurare cele mai precise. În acest caz, se poate considera eroarea absolută de măsurare ca fiind:

$$\varepsilon = X_m - X_0. \quad (1.3)$$

Eroarea absolută se exprimă în aceleași unități de măsură ca și mărimea de măsurat și poate fi pozitivă sau negativă după cum X_m este mai mare sau mai mic decît X_0 . Eroarea absolută arată cu cît s-a greșit în cadrul unei măsurări față de valoarea de referință, dar nu dă direct nici o informație utilă asupra gradului de precizie al măsurării.

● **Eroarea relativă.** Pentru a aprecia precizia unei măsurări, trebuie să se compare eroarea absolută cu valoarea mărimii măsurate. În acest scop, se definește eroarea relativă, care reprezintă raportul între eroarea de măsurat absolută și valoarea de referință:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{X_0} = \frac{X_m - X_0}{X_0}. \quad (1.4)$$

Eroarea relativă este un număr fără dimensiuni și se exprimă, de obicei, în procente.

Pentru a înțelege mai bine necesitatea definirii erorii relative, se dau în continuare două exemple.

Exemplul 1. La ieșirea unui redresor se măsoară tensiunea cu un voltmetru care indică 251 V în loc de 250 V. În acest caz:

$$\begin{aligned} X_0 &= 250 \text{ V}; X_m = 251 \text{ V}; \\ \varepsilon &= X_m - X_0 = 251 - 250 = 1 \text{ V}; \\ \varepsilon_r &= \frac{\varepsilon}{X_0} = \frac{1}{250} = 0,004 = 0,4\%. \end{aligned}$$

Exemplul 2. La măsurarea tensiunii la bornele unei rezistențe, voltmetrul utilizat indică 5 V în loc de 6 V. În acest caz:

$$\begin{aligned} X_0 &= 6 \text{ V}; X_m = 5 \text{ V}; \\ \varepsilon &= X_m - X_0 = 5 - 6 = -1 \text{ V}; \\ \varepsilon_r &= \frac{\varepsilon}{X_0} = \frac{1}{6} = 0,16 = 16,6\%. \end{aligned}$$

După cum se vede din cele două exemple, aceeași eroare absolută de măsurare are efecte diferite. Pentru a obține o informație asupra preciziei măsurării, este necesar să se calculeze eroarea relativă.

2. CLASIFICAREA ERORILOR

● După cauza care le produce, erorile se împart în *erori subiective* și *erori obiective*.

Erorile subiective sînt datorate operatorului, depinzînd de atenția, înlemnirea și starea organelor sale de percepție.

Erorile obiective sînt cele care se datorează imperfecțiunii aparatelor de măsurat, influențelor diferiților factori externi sau metodei insuficient de exacte.

● Din punctul de vedere al caracterului lor, erorile pot fi *sistematice*, *aleatoare* sau *întîmplătoare* și *grave*.

Erorile sistematice sînt acele erori care intervin cu aceleași valori ori de cîte ori se repetă măsurarea în condiții identice. Ele se pot datora imperfecțiunilor de construcție și de etalonare ale aparatelor de măsurat, influențelor controlabile ale mediului sau metodei care se folosește. Aceste erori se pot determina și se poate ține seama de ele aplicînd *corecția*. Corecția este egală cu eroarea absolută de măsurare, considerată cu semn schimbat. Ea se adaugă la rezultatul măsurării pentru a obține o valoare mai apropiată de cea adevărată.

Exemplu: Se cunoaște că un miliampermetru cu scară liniară are o eroare sistematică de 1 mA în plus (deci $\varepsilon = 1$ mA). Dacă la o măsurare se obține $X_m = 25$ mA aplicînd corecția:

$$C = -\varepsilon = -1 \text{ mA},$$

valoarea corectă va fi:

$$X_m = X_m + C = 25 - 1 = 24 \text{ mA}.$$

Erori aleatoare (întîmplătoare) sînt acele erori care intervin cu valori și semne diferite cînd măsurarea se repetă. Aceste erori se pot datora fluctuațiilor de indicație ale aparatelor (din cauza frecării, uzurii unor piese), influențelor necontrolabile ale mediului sau operatorului.

Pentru a micșora influența erorilor întîmplătoare asupra rezultatului măsurării, se recomandă să se repete de mai multe ori măsurarea și să se facă media aritmetică a valorilor obținute. Astfel, dacă pentru determinarea unei mărimi au fost executate n măsurări în urma cărora s-au găsit valorile x_1, x_2, \dots, x_n , valoarea cea mai probabilă a mărimii măsurate este:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}.$$

Erori grave sau *greșeli* sînt acele erori care intervin cu valori foarte mari. Ele se pot datora folosirii aparatelor defecte, alegerii necorespunzătoare a aparatelor sau metodelor, calculelor greșite sau

neatenției operatorului. Greșelile trebuie evitate și, pentru a le putea evita, trebuie să se cunoască foarte bine aparatele de măsurare, precum și instalațiile, echipamentele sau aparatele asupra cărora se fac măsurări.

3. ERORILE APARATELOR DE MĂSURAT ELECTRICE

Așa cum s-a arătat, în efectuarea unei măsurări unele erori sînt datorate imperfecțiunii aparatelor de măsurat. În momentul măsurării, indicația a a aparatului de măsurat ar trebui să corespundă valorii adevărate X . În realitate, el oferă o indicație a_m corespunzătoare valorii măsurate X_m . Diferența între indicația în momentul măsurării și indicația exactă reprezintă *eroarea instrumentală*:

$$\varepsilon_i = a_m - a. \quad (1.5)$$

Eroarea instrumentală se exprimă în aceleași unități ca și mărimea de măsurat și poate avea diferite valori.

● Valoarea maximă admisibilă a erorii instrumentale reprezintă *eroarea instrumentală tolerată*. Aceasta caracterizează fiecare aparat și este stabilită prin construcție de producătorul de aparate de măsurat.

De exemplu, un miliampermetru de 100 mA poate avea o eroare instrumentală tolerată de 1 mA.

● Eroarea instrumentală tolerată arată cu cît poate greși un aparat de măsurat, dar nu dă direct o informație utilă despre calitatea aparatului. Pentru caracterizarea preciziei unui aparat de măsurat este necesar să se compare eroarea instrumentală tolerată cu valoarea maximă pe care o indică aparatul respectiv. Se obține astfel *eroarea raportată tolerată*, care se exprimă de obicei în procente:

$$\varepsilon_{rap} = \frac{(a_m - a)_{max}}{a_{max}} 100 [\%] \quad (1.6)$$

unde a_{max} este indicația maximă (valoarea de la capătul scării).

Eroarea raportată tolerată este o mărime specifică fiecărui aparat de măsurat și, în funcție de ea, se stabilește clasa de precizie.

4. CLASE DE PRECIZIE ALE APARATELOR

Clasa de precizie a unui aparat de măsurat electric este un număr egal cu eroarea raportată tolerată (maxim admisă) exprimată în procente. Clasa de precizie este indicată pe cadranul fiecărui aparat de măsurat.

Pentru aparatele de măsurat electrice fabricate în România, conform STAS 4640/1-71, se folosesc următoarele clase de precizie: 0,05-0,1-0,2-0,5-1-1,5-2,5-5.

Clasa de precizie caracterizează aparatul și nu măsurarea. Pentru a obține o precizie cît mai bună a măsurării, se recomandă să se

folosească aparatul de măsurat astfel încît să se obțină o indicație cît mai mare (în cea de-a doua jumătate a scării gradate).

Exemplu: Un miliampermetru de 50 mA cu clasa de precizie 1 are o eroare raportată tolerată de 1%. Eroarea instrumentală maximă va fi:

$$(a_m - a)_{max} = \varepsilon_{rap} \cdot a_{max} = 0,01 \cdot 50 = 0,5 \text{ mA.}$$

Cînd se măsoară cu acest aparat $I_1 = 50 \text{ mA}$, eroarea relativă a măsurării va fi:

$$\varepsilon_{r1} = \frac{(a_m - a)_{max}}{I_1} = \frac{0,5}{50} = 1\%.$$

Dacă se măsoară cu același aparat $I_2 = 25 \text{ mA}$, eroarea relativă a măsurării va fi:

$$\varepsilon_{r2} = \frac{0,5}{25} = 2\%.$$

În caz că se măsoară $I_3 = 5 \text{ mA}$, eroarea relativă va fi:

$$\varepsilon_{r3} = \frac{0,5}{5} = 10\%.$$

Din exemplele de mai sus se vede că la același aparat eroarea relativă a măsurării este cu atît mai mică cu cît indicația este mai mare.

D. CARACTERISTICI METROLOGICE

Caracteristicile metrologice ale aparatelor de măsurat electrice sînt criterii de calitate ale acestora, care se au în vedere de obicei și la verificările metrologice inițiale sau periodice. Dintre caracteristicile metrologice ale aparatelor de măsurat electrice, cele mai importante sînt: *sensibilitatea*, *justețea*, *fidelitatea* și *precizia*.

● **Sensibilitatea** este caracteristica metrologică a unui aparat de măsurat care exprimă raportul între variația mărimii de ieșire și variația mărimii de intrare (a mărimii de măsurat):

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta X}. \quad (1.7)$$

Relația (1.7) arată că, cu cît variația mărimii de ieșire este mai mare, pentru aceeași variație a mărimii de măsurat, cu atît sensibilitatea este mai mare.

Pragul de sensibilitate este cea mai mică variație a mărimii de măsurat care determină o variație perceptibilă a mărimii de ieșire. Uneori, pragul de sensibilitate se mai numește și *rezoluție*.

● **Justețea** este proprietatea unui aparat de măsurat de a da indicații medii cît mai apropiate de valoarea adevărată a mărimii de

măsurat. Justețea depinde de erorile sistematice și este cu atît mai bună cu cît erorile sistematice sînt mai mici.

● **Fidelitatea** este proprietatea unui aparat de măsurat de a da indicații cît mai apropiate între ele cînd măsurarea se repetă în condiții identice. Fidelitatea este cu atît mai bună cu cît erorile întâmplătoare (fluctuațiile de indicație) sînt mai mici.

● **Precizia** este o caracteristică metrologică globală a unui aparat de măsurat. Ea exprimă proprietatea aparatului de a da indicații cît mai apropiate de valoarea adevărată (de a avea erori cît mai mici). La un aparat de măsurat, precizia este cu atît mai mare cu cît fidelitatea și justețea sînt mai bune.

E. NOȚIUNI DE LEGISLAȚIE METROLOGICĂ

În condițiile dezvoltării științei și tehnicii și ale extinderii operațiilor atît pe plan național cît și pe plan internațional, este necesar să se asigure o funcționare corectă și precisă a mijloacelor de măsurare. În vederea satisfacerii acestor cerințe, este necesar ca mijloacele de măsurare să fie supuse verificării metrologice înainte de punerea lor în funcțiune, după fiecare revizie sau reparație și, periodic, în cursul utilizării lor.

În țara noastră, conform Legii metrologiei nr. 27/1978, toate mijloacele de măsurare care se construiesc, se importă, se repară și se folosesc sînt supuse verificărilor de stat obligatorii, care sînt efectuate de Inspectoratul General de Stat pentru Controlul Calității Produselor.

Pentru verificarea metrologică se efectuează diferite operații metrologice, adică diverse lucrări, în scopul de a constata dacă performanțele mijloacelor de măsurare corespund sau se mențin în limitele impuse de standarde, norme sau alte prescripții în vigoare.

Operațiile metrologice care se efectuează asupra mijloacelor de măsurare etalon se numesc *etalonări*, iar cele ce se efectuează asupra mijloacelor de măsurare de lucru se numesc *verificări*.

Etalonările și verificările se fac obligatoriu:

— inițial, pentru mijloacele de măsurare noi, înainte de darea lor în folosință;

— periodic, asupra mijloacelor de măsurare în folosință, la termene stabilite prin norme tehnice de metrologie;

— ocazional, în urma reparațiilor și ori de cîte ori este necesar pentru a asigura funcționarea corespunzătoare a mijloacelor de măsurare.

În urma etalonării se emite certificatul de etalonare, în care sînt trecute toate datele necesare identificării etalonului respectiv și datele obținute pentru fiecare punct în parte.

Pentru mijloacele de măsurare de lucru, în urma verificării se eliberează un buletin de verificare în care se menționează datele necesare identificării, precum și rezultatul verificării: „Admis” sau „Respins”.

Mijloacele de măsurare admise la etalonări sau verificări de stat se investesc cu marca de stat. Marca de stat are rolul de a sigila mijloacele de măsurare verificate, astfel încît să nu se poată interveni la mecanismele lor fără a o deteriora.

APARATE DE MĂSURAT ELECTRICE

A. NOȚIUNI GENERALE

Aparatele de măsurat electrice sînt mijloace de măsurare care permit determinarea cantitativă a mărimilor electrice sau a mărimilor neelectrice, prin intermediul unei mărimi electrice.

● Aparatele de măsurat electrice se realizează într-o mare varietate de tipuri constructive, dar oricît de complicate ar fi, ele pot fi considerate ca fiind alcătuite dintr-un *traductor*, *dispozitive intermediare* și un *instrument de măsurat*, conform schemei din figura 2.1.

Traductorul este un dispozitiv care transformă, cu o anumită eroare limită, mărimea aplicată la intrarea sa într-o altă mărime obținută la ieșire. De obicei, în aparatele de măsurat electrice traductorul transformă o mărime neelectrică într-o mărime electrică.

Exemple de traductoare: termocuplul, termorezistența etc.

Dispozitivele intermediare au rolul de a prelucra și adapta mărimile de la intrarea lor pînă la obținerea mărimii necesare la intrarea instrumentului de măsurat.

Exemple de dispozitive intermediare: amplificatoare, atenuatoare, circuite de detecție etc.

Instrumentul de măsurat este un mijloc de măsurare care transformă semnalul de la intrarea sa într-o mărime perceptibilă cu ajutorul căreia se determină valoarea mărimii măsurate. Mărimea perceptibilă de la ieșire poate să fie urmărită direct de un operator, sub formă de *indicație*, poate fi *înregistrată* sau poate fi transmisă unor dispozitive de *acționare*, *stocare* sau *prelucrare a informațiilor de măsurare*.

○ **Trebuie menționat** că la unele aparate unele componente pot să lipsească. Astfel, în anumite măsurări, instrumentul de măsurat poate



Fig. 2.1. Schema funcțională generală a aparatelor de măsurat electrice.

fi folosit fără traductor și fără dispozitive intermediare. În acest caz, instrumentul de măsurat singur poate fi considerat aparat de măsurat.

- **Aparatele de măsurat electrice** se împart în două mari categorii :
 - aparate de măsurat numerice (digitale);
 - aparate de măsurat analogice.

Aparatele de măsurat numerice (digitale) se caracterizează prin faptul că mărimea de măsurat se transformă în semnale digitale, care sînt prelucrate cu circuite specifice, iar rezultatul măsurării se afișează sub formă numerică.

B. APARATE ANALOGICE INDICATOARE

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Funcționarea aparatelor de măsurat indicatoare se bazează pe transformarea unei părți din energia electrică sau magnetică a mărimii de măsurat sau a semnalului electric intermediar în energie mecanică, care produce mărimea perceptibilă de la ieșire, respectiv deplasarea unui indicator în fața unei scări gradate. Transformarea energiei are loc în conformitate cu fenomenul fizic care stă la baza construcției și funcționării instrumentului de măsurat.

Instrumentele de măsurat ale aparatelor indicatoare au în construcția lor o parte fixă și o parte mobilă (echipaj mobil).

● Partea mobilă, pe care este fixat și indicatorul, se deplasează sub acțiunea unui cuplu de forțe, denumit **cuplu activ**, M_a , care apare ca urmare a interacțiunii dintre mărimile fizice (dintre care, de obicei, una este mărimea de măsurat sau semnalul electric intermediar) existente în cele două părți ale instrumentului. Cuplul activ depinde de valoarea mărimii de măsurat X , fiecărei valori a mărimii de măsurat corespunzându-i o valoare bine determinată a cuplului activ, adică :

$$M_a = f(X) \quad (2.1)$$

● Dacă asupra echipajului mobil ar acționa numai cuplul activ, acesta s-ar deplasa pînă la limita extremă, indiferent de valoarea mărimii de măsurat. Pentru ca fiecărei valori a mărimii de măsurat să-i corespundă o anumită deplasare a echipajului mobil, cuplul activ este echilibrat cu un cuplu de sens contrar proporțional cu deplasarea α a echipajului mobil, denumit **cuplu rezistent**, M_r ,

$$M_r = D\alpha, \quad (2.2)$$

unde D este o constantă constructivă denumită *cuplu specific*.

● **Caracteristica statică de funcționare.** Echipajul mobil se rotește sub acțiunea simultană a celor două cupluri, pînă cînd cuplul rezistent,

crescînd cu unghiul de rotire, devine egal cu cuplul activ. *Poziția de echilibru se caracterizează deci prin aceea că suma cuplurilor care acționează asupra echipajului mobil este zero.* Dacă se neglijează cuplul de frecări, această condiție se scrie :

$$M_a - M_r = 0 \quad (2.3)$$

Înlocuindu-se în această relație cele două cupluri cu expresiile lor (relațiile 2.1 și 2.2) se obține :

$$f(X) - D\alpha = 0,$$

de unde :

$$\alpha = \frac{1}{D} f(X) = F(X),$$

deci

$$\alpha = F(X), \quad (2.4)$$

unde $F(X)$ este o funcție caracteristică decărui tip de aparat de măsurat.

Relația (2.4) exprimă dependența dintre deviația α a echipajului mobil și mărimea de măsurat și reprezintă caracteristica statică de funcționare a aparatelor de măsurat indicatoare.

2. CLASIFICAREA APARATELOR DE MĂSURAT INDICATOARE

Aparatele de măsurat se construiesc într-o mare varietate și de aceea este necesară o clasificare a lor. Clasificarea se poate face după mai multe criterii.

● După mărimea măsurată, aparatele pot fi : *ampermetre, ohmmetre, voltmetre* etc.

● După precizie, aparatele de măsurat pot fi incluse în una dintre următoarele clase : 0,05—0,1—0,2—0,5—1—1,5—2,5—5.

● După utilizare, pot fi :

— aparate de tablou (clasele 0,5 . . . 5);

— aparate de laborator (clasele 0,005 . . . 0,5);

— aparate tehnice (clasele 1 . . . 5).

● După natura fenomenelor pe care se bazează funcționarea lor, se deosebesc :

— aparate *magneto-electrice*, care folosesc interacțiunea dintre cîmpul unui magnet permanent și o bobină parcursă de curentul de măsurat; în funcție de elementul care este mobil, aceste aparate se împart în aparate *cu bobină mobilă* și aparate *cu magnet mobil*;

— aparate *feromagnetice* (cu fier mobil), care conțin o piesă mobilă din material feromagnetic supusă acțiunii cîmpului creat de o bobină fixă parcursă de curentul de măsurat;

— aparate *electrodinamice*, care folosesc acțiunile forțelor electrodinamice ce se exercită între bobinele fixe și mobile parcurse de curenți;

— *aparate ferodinamice*, în care forțele electrodinamice sînt sprijinite de piese feromagnetice așezate în calea liniilor de cîmp magnetic;

— *aparate de inducție*, care folosesc acțiunea cîmpului magnetic variabil al unor circuite inductoare fixe asupra unor piese conductoare mobile în care induce curenți;

— *aparate termice cu fir cald*, în care echipajul mobil se deplasează ca urmare a dilatării firelor încălzite direct sau indirect de curentul de măsurat;

— *aparate bimetalice*, în care deformarea unei lamele din bimetal datorită încălzirii sale directe sau indirecte de către curentul de măsurat este transmisă echipajului mobil;

— *aparate cu termocuplu*, în care mărimea electrică de măsurat produce încălzirea unui termocuplu a cărui tensiune electromotoare este măsurată cu ajutorul unui aparat magnetoelectric;

— *aparate cu redresor*, formate dintr-un aparat magnetoelectric asociat cu un dispozitiv redresor, cu care se măsoară curenți sau tensiuni alternative;

— *aparate electrostatice*, care funcționează sub influența forțelor electrostatice ce se exercită între piese metalice fixe și mobile între care există o diferență de potențial electric;

— *aparate cu lame vibrante*, în care lamele metalice, fiecare dintre ele avînd o frecvență proprie de rezonanță, vibrează sub acțiunea cîmpului creat de un curent alternativ care parcurge bobine fixe;

— *logometre*, aparate cu două circuite de măsurare, destinate să măsoare raportul a două mărimi electrice; ele pot fi: magnetoelectrice, ferodinamice, electrodinamice, feromagnetice și de inducție;

— *aparate electronice*, care au în construcția lor componente electronice.

3. MARCAREA APARATELOR DE MĂSURAT ELECTRICE

În conformitate cu STAS 4640/4-74, pe cadranul fiecărui aparat de măsurat se înscriu următoarele date:

- numele sau marca producătorului;
- unitatea de măsură, indicată prin simbolul său;
- numărul seriei și anul fabricației;
- clasa de precizie;
- natura curentului (continuu sau alternativ);
- tensiunea de încercare a rigidității dielectrice;
- simbolul care indică fenomenele ce stau la baza funcționării aparatului (principiul de funcționare);
- tipul aparatului;
- simbolul poziției normale de funcționare.

Simbolurile utilizate pentru aceste inscripții sînt arătate în tabelul 2.

I. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE		II. NATURA CURENTULUI	
<i>Felul aparatului</i>	<i>Simbolul</i>	<i>Felul curentului</i>	<i>Simbolul</i>
Magnetoelectric (cu cadru mobil)		Curent continuu	
Magnetoelectric (cu magnet mobil)		Curent alternativ	
Logometru magnetoelectric		Curent continuu și alternativ monofazat	
Feromagnetic		III. CLASA DE PRECIZIE	
Logometru feromagnetic		<i>Erorile (exprimate în procente) raportate la:</i>	<i>Simbol</i>
Electrodinamic		Valoarea maximă a domeniului de măsurare	0,5
Logometru electrodinamic		Lungimea scării gradate	
Ferodinamic		Valoarea exactă	
Logometru ferodinamic		IV. POZIȚIA NORMALĂ DE FUNCȚIONARE	
De inducție		<i>Poziția cadranelui</i>	<i>Simbol</i>
Electrostatic		Verticală	
Termic cu fir cald		Orizontală	
Bimetalic		Înclinată față de orizontală (ex. 60°)	
Magnetoelectric cu termocuplu		V. TENSIUNEA DE ÎNCERCARE DIELECTRICĂ	
Magnetoelectric cu redresor		<i>Valoarea tensiunii</i>	<i>Simbol</i>
Cu lame vibrante		500 V	
		Peste 500 V (de ex. 2 kV)	
		Fără încercare dielectrică	

4. PĂRȚILE COMPONENTE ALE APARATELOR DE MĂSURAT

Deși sînt de o mare diversitate din punctul de vedere al construcției și principiului de funcționare, aparatele de măsurat electrice sînt alcătuite dintr-o serie de elemente componente comune în ceea ce privește funcția îndeplinită în aparat. Dintre acestea fac parte:

- dispozitivul pentru producerea cuplului activ;
- dispozitivul pentru producerea cuplului rezistent;
- dispozitivul de citire;
- corectorul de zero;
- amortizorul.

○ Trebuie precizat că s-a avut în vedere cazul cel mai simplu și anume acela cînd aparatul de măsurat se reduce la instrumentul de măsurat.

a. Dispozitivul pentru producerea cuplului activ

Conform principiului de funcționare a aparatelor de măsurat indicatoare, acestea trebuie să conțină un dispozitiv pentru producerea cuplului activ. De obicei, el este format dintr-o parte fixă și o parte mobilă (echipaj mobil), care interacționînd, dau naștere cuplului activ. În funcție de fenomenele fizice care stau la baza principiului de funcționare al diferitelor aparate, elementele care alcătuiesc dispozitivul pentru producerea cuplului activ sînt realizate în diferite forme constructive.

● Partea fixă poate fi alcătuită din magneți permanenți (la aparatele magneto-electrice), din bobine (la aparatele feromagnetice, electrodinamice și ferodinamice), din electromagneți (la aparatele de inducție) etc.

● Echipajul mobil poate fi construit din bobine mobile (la aparatele magneto-electrice, electrodinamice și ferodinamice), din plăci metalice (la aparatele feromagnetice și electrostatice), din discuri nemagnetice (la aparatele de inducție) etc.

Echipajul mobil este fixat pe un ax care se sprijină în lagăre sau este suspendat pe benzi de torsionare sau pe fire de torsionare.

b. Dispozitivul pentru producerea cuplului rezistent

Cuplul rezistent, care se opune cuplului activ, este creat în majoritatea aparatelor de măsurat de arcuri spirale sau de firele sau benzile de care este suspendat echipajul mobil. Pentru realizarea acestor elemente se folosesc benzi sau fire din diferite materiale elastice și

nemagnetice (de obicei bronz fosforos sau bronz cu cadmiu). Cuplul rezistent specific depinde de dimensiunile firelor sau benzilor și de calitățile elastice ale materialelor folosite.

c. Dispozitivul de citire

În timpul măsurării, echipajul mobil se deplasează sub acțiunea celor două cupluri. Cînd suma acestora este nulă, echipajul mobil rămîne într-o poziție de echilibru. Echilibrul cuplurilor este indicat prin poziția unui indicator, solidar legat cu echipajul mobil, în fața unei scări gradate. Deci dispozitivul de citire este compus din indicator și din scara gradată.

● La cele mai multe aparate de măsurat electrice analogice, indicatorul este un ac rigid fixat pe axul sistemului mobil și echilibrat de două contragreutăți plasate în partea opusă, astfel încît centrul de greutate al sistemului să rezulte în axa de rotație. Acele indicatoare se execută din duraluminu sau din sticlă și au diferite forme. La aparatele de tablou, vîrfurile acului are formă de săgeată sau de bacă, iar la aparatele de precizie, formă de lamă de cuțit sau de fir, așa cum sînt prezentate în figura 2.2.

La aparatele de mare sensibilitate indicatorul este un spot luminos: o rază de lumină produsă de o sursă se reflectă pe o oglindă fixată pe axul echipajului mobil și formează o pată luminoasă (spot) pe

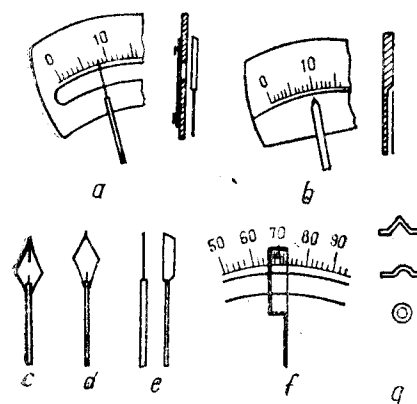


Fig. 2.2. Ace indicatoare.

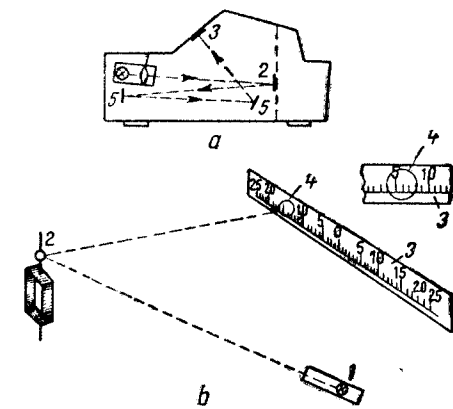


Fig. 2.3. Indicator cu spot luminos:
a - în interiorul aparatului; b - indicator exterior;
1 - sursă de lumină; 2 - oglindă; 3 - scară gradată; 4 - spot; 5 - oglinzi reflectoare.

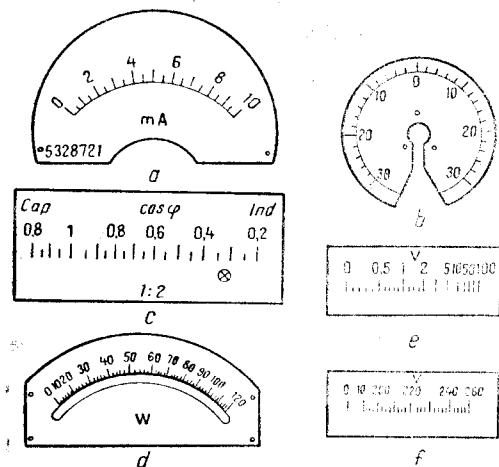


Fig. 2.4. Scări gradate.

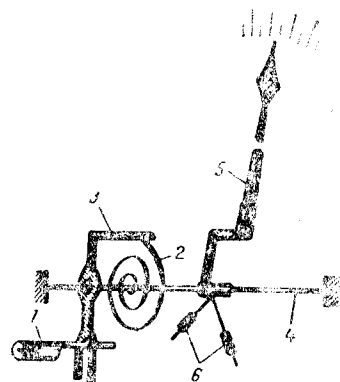


Fig. 2.5. Corectorul de zero:
 1 - buton crestat; 2 - arc spiral;
 3 - pîrghie; 4 - axul sistemului mobil;
 5 - ac indicator; 6 - contragreută.

scara gradată a aparatului. Scara gradată și sursa de lumină pot fi în interiorul aparatului (fig. 2.3, a) sau în exterior (fig. 2.3, b).

● **Scara gradată** este o succesiune de repere trasate pe cadranul aparatului corespunzător unui șir de valori ale mărimii de măsurat. În figura 2.4 sînt reprezentate diferite tipuri de scări gradate.

d. Corectorul de zero]

Dacă la intrarea în aparat nu se aplică nici un semnal, echipajul mobil este adus la zero de arcurile spirale sau de benzile de suspensie. Deoarece, din diferite cauze, poziția indicatorului se poate abate de la reperul zero, aparatele de măsurat electrice sînt prevăzute cu un dispozitiv care permite aducerea indicatorului la poziția corectă. Corectorul de zero, reprezentat în figura 2.5, conține un buton crestat 1 accesibil din exteriorul aparatului, care se prelungește cu o tijă așezată excentric față de axa de rotație. Această tijă acționează pîrghia 3 de care este fixat un capăt al unui arc spiral 2. Celălalt capăt al arcului fiind fixat pe axul sistemului mobil, cînd se rotește butonul crestat de pe carcasa aparatului, pîrghia 3 acționează asupra arcului spiral 2 și produce deplasarea întregului sistem mobil. Astfel, indicatorul poate fi adus în dreptul reperului zero al scării gradate.

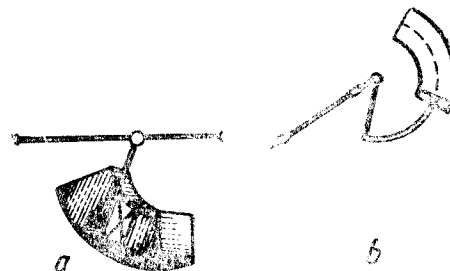


Fig. 2.6. Amortizoare pneumatice:
 a - cu piston; b - cu paletă.

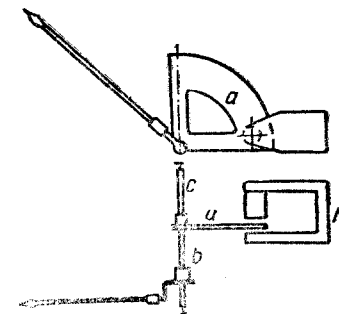


Fig. 2.7. Amortizor electromagnetic.

e. Amortizorul

Amortizorul servește la amortizarea oscilațiilor indicatorului în jurul poziției de echilibru. Fără acest dispozitiv, citirea indicațiilor ar fi mult îngreuiată. Amortizoarele sînt, în general, de două feluri:

- amortizoare pneumatice;
- amortizoare electromagnetice.

● **Amortizoarele pneumatice** conțin o paletă (fig. 2.6, b) sau un piston (fig. 2.6, a), solidat legate cu axul echipajului mobil și care se deplasează în interiorul unor camere închise. Cînd echipajul mobil tinde să oscileze, paleta sau pistonul comprimă aerul din camera închisă și acesta se opune oscilațiilor.

● **Amortizoarele electromagnetice**, reprezentate în figura 2.7, constau dintr-o piesă metalică nemagnetică a fixată pe axul echipajului mobil și introdusă în cîmpul magnetic al unui magnet permanent M. Cînd echipajul mobil tinde să oscileze, în piesa metalică apar curenți induși, al căror efect este de a se opune cauzei ce i-a produs, amortizînd în acest mod mișcarea.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce se înțelege prin aparat de măsurat?
2. În afară de aparatele de măsurat indicatoare, ce alte tipuri de aparate de măsurat mai există?
3. La aparatele indicatoare, cum se obține energia necesară deplasării indicatorului?
4. Ce se întîmplă la un aparat dacă dispozitivul pentru producerea cuplului rezistent nu mai funcționează?
5. Ce se întîmplă la un aparat de măsurat dacă amortizorul nu mai funcționează?
6. Cum se poate regla, din exteriorul aparatului, poziția indicatorului?

MĂSURĂRI ÎN CURENT CONTINUU

A. APARATE MAGNETOELECTRICE (CU BOBINĂ MOBILĂ)

1. PRINCIPUL DE FUNCȚIONARE

Funcționarea aparatelor magnetoelectrice se bazează pe interacțiunea dintre câmpul magnetic al unui magnet permanent și o bobină mobilă parcursă de curentul de măsurat (curent continuu). În urma acestei interacțiuni apare un cuplu activ care pune în mișcare bobina mobilă împreună cu întregul echipaj mobil.

2. DESCRIEREA APARATULUI

Din principiul de funcționare, se observă că elementele de bază ale aparatelor magnetoelectrice sînt: magnetul permanent și bobina mobilă. Ele fac parte din dispozitivul pentru producerea cuplului activ. Partea fixă a acestui dispozitiv este alcătuită, așa cum se vede și în figura 3.1, din magnetul permanent, piesele polare și miezul cilindric. Piesele polare și miezul sînt executate din fier moale și au suprafețele cilindrice, centrate pe axul aparatului astfel ca în întrefierul foarte

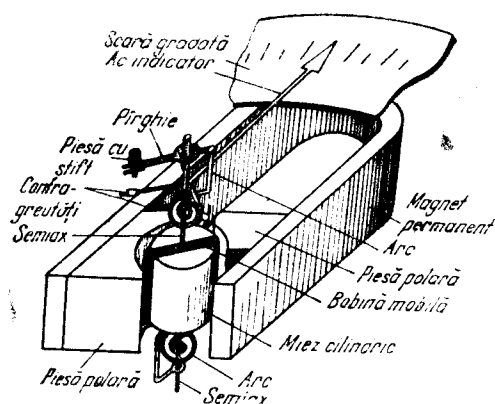


Fig. 3.1. Aparat magnetoelectric.

îngust care se formează, câmpul magnetic creat de magnetul permanent să aibă un spectru radial și uniform. Această distribuție a câmpului în întrefier asigură obținerea unei scări liniare pentru aparatele magnetoelectrice. Partea mobilă este realizată dintr-o bobină, așezată în întrefierul circuitului magnetic și montată pe două semiaxe ale căror capete se reazemă în lagăre.

De semiaxe sînt prinse două arcuri spirale care cre-

ează cuplul rezistent și, în același timp servesc la aducerea eurentului la bobina mobilă. Capătul fix al unuia dintre arcuri este prins la șasiul aparatului, iar al celuilalt — la pîrghia corectorului de zero.

Pe una dintre semiaxe este fixat acul indicator care, împreună cu scara gradată, formează dispozitivul de citire.

Acul indicator este echilibrat de contragreutăți. Amortizorul este electromagnet și este format din carcasa bobinei, care se realizează din aluminiu, sau din câteva spire în scurtcircuit prevăzute în acest scop pe bobină. La mișcarea bobinei în câmpul magnetic al magnetului permanent, în carcasa din aluminiu sau în spirele în scurtcircuit se induce curenți, a căror acțiune tinde să se opună mișcării amortizînd în acest fel oscilațiile echipajului mobil.

În construcțiile moderne ale aparatelor magnetoelectrice, magnetul permanent nu mai este sub formă de potcoavă alungită. Folosindu-se materiale magnetice cu calități superioare, dimensiunile acestui magnet s-au micșorat foarte mult, realizîndu-se astfel importante economii de materiale.

3. FUNCȚIONAREA

La trecerea unui curent continuu I prin bobină, ca urmare a interacțiunii curentului cu câmpul magnetic al magnetului permanent, asupra părților active ale spirelor bobinei acționează forțele F care dau naștere cuplului activ M_a ce rotește bobina (fig. 3.2). După cum se știe din fizică, forța F ce se exercită asupra unui conductor de lungime l , parcurs de un curent de intensitate I și aflat într-un câmp de inducție magnetică B este:

$$F = IBl.$$

Avînd în vedere că distanța între punctele de aplicație ale celor două forțe este b (lățimea unei spire) și că lungimea conductorului supus unei forțe F este egală cu înălțimea unei spire, l , înmulțită cu numărul de spire N ale bobinei, se poate deduce:

$$\begin{aligned} M_a &= Fb = IBNlb = \\ &= BNAI \end{aligned} \quad (3.1)$$

unde $A = lb$ este aria unei spire.

Bobina mobilă se rotește pînă cînd cuplul rezistent produs de arcurile spirale ($M_r = D\alpha$), crescînd cu unghiul de rotire, egalează

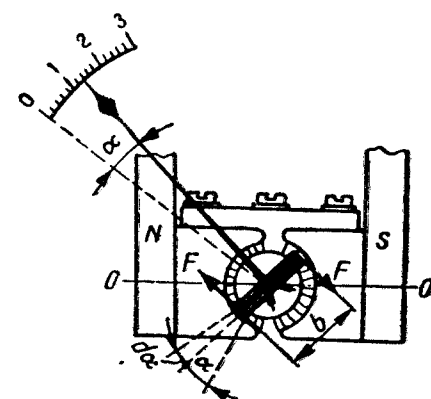


Fig. 3.2. Schema aparatului megnetoelectric.

cuplul activ ($M_r = M_a$). Înlocuind în această egalitate expresiile celor două cupluri, se obține:

$$BNAI = D\alpha,$$

de unde:

$$\alpha = \frac{BNA}{D} I. \quad (3.2)$$

Având în vedere că, prin construcția specială a circuitului magnetic, se obține în întregul o inducție constantă, se poate nota:

$$\frac{BAN}{D} = S$$

și rezultă

$$\alpha = S \cdot I \quad (3.3)$$

Relația (3.3) reprezintă *caracteristica statică de funcționare a aparatelor magnetoelectrice*.

4. PROPRIETĂȚI

După cum reiese din expresia matematică a caracteristicii statice de funcționare, la aparatele magnetoelectrice indicația este proporțională cu intensitatea curentului ce se măsoară și deci aparatele magnetoelectrice au *scară uniformă*.

Sensibilitatea acestor aparate este foarte mare, realizându-se aparate care măsoară intensități ale curentului începând de la microamperi și, în unele construcții speciale (galvanometre), chiar de ordinul nanoamperilor.

Precizia este foarte bună, putându-se ajunge la clase de precizie de 0,05–0,1.

Consumul propriu de putere este foarte mic, de obicei sub 1 mW.

Sînt puțin influențate de câmpurile magnetice exterioare, întrucît câmpul propriu, fiind concentrat în circuitul magnetic, este mult mai intens decît câmpurile perturbatoare.

O proprietate deosebită a aparatelor magnetoelectrice este faptul că funcționează numai în curentul continuu. În curent alternativ, cuplul activ, care este proporțional cu curentul, devine și el alternativ, iar echipajul mobil, neputînd urmări variațiile acestuia, rămîne pe loc sau vibrează puțin în jurul poziției de zero. Datorită faptului că

aparatură nu indică valoarea intensității curentului ce trece prin bobina mobilă, există pericolul ca, la depășirea curentului nominal, aparatul să se deterioreze.

Aparatele magnetoelectrice sînt sensibile la supraîncălziri.

5. UTILIZĂRI

Aparatele magnetoelectrice se folosesc ca ampermetre și voltmetre de curent continuu. Fiind cele mai bune aparate de măsurat electrice, ele se folosesc, de asemenea, ca instrumente indicatoare în foarte multe tipuri de aparate.

În țara noastră se construiesc diferite tipuri de aparate magnetoelectrice la „Întreprinderea de Aparatură Electrică de Măsurat” din Timișoara.

6. PREVENIREA DEFECTIUNILOR ȘI REMEDIERI

● **La începutul unor măsurări** este necesar să se verifice dacă aparatul de măsurat indică zero cînd nu este parcurs de curent electric. Dacă aparatul nu indică zero, se va regla din corectorul de zero.

● Este necesar ca **pentru fiecare măsurare** să fie ales un aparat corespunzător în așa fel încît prin acesta să nu treacă curenți cu intensități mai mari decît intensitatea maximă pentru care a fost construit aparatul (intensitatea curentului nominal):

În cazul în care se depășește intensitatea curentului nominal, este posibil să apară următoarele *defecțiuni*:

- îndoirea sau ruperea indicatorului;
- întreruperea unui arc spiral;
- întreruperea bobinei mobile.

○ **Menționăm că** reparațiile aparatelor de măsurat se fac de obicei în laboratoare specializate și că în urma reparației aparatul trebuie supus verificărilor metrologice.

B. MĂSURAREA INTENSITĂȚII CURENTULUI. AMPERMETRE

Intensitatea curentului electric este definită drept cantitatea de electricitate ce trece în unitatea de timp printr-o secțiune a unui circuit. Unitatea de măsură, amperul, este o unitate fundamentală a sistemului SI. În general, intensitatea curentului electric se măsoară prin *metode cu citire directă*, cu aparate indicatoare ce se numesc *ampermetre*.

Ampermetrele sînt aparate de m\u01easurat a c\u0103ror indica\u021bie depinde de intensitatea curentului electric ce trece prin ele:

$$\alpha = f(I). \quad (3.4)$$

Din caracteristica static\u0103 de func\u021bionare a aparatelor magneto-electrice,

$$\alpha = S \cdot I,$$

se observ\u0103 c\u0103 aceste aparate pot fi folosite ca ampermetre. Ampermetrele magneto-electrice vor fi numai de curent continuu, deoarece aparatele magneto-electrice func\u021bioneaz\u0103 numai \u00een curent continuu.

1. MONTAREA AMPERMETRELOR \u00cdN CIRCUIT

Deoarece la ampermetre indica\u021bia depinde de intensitatea curentului ce le str\u0103bate, pentru a m\u01easura intensitatea curentului \u00eentr-un circuit este necesar ca ampermetrul s\u0103 fie montat \u00een serie \u00een circuitul respectiv, pentru ca astfel curentul de m\u01easurat s\u0103 treac\u0103 prin aparat.

Orice circuit \u00een care se m\u01easoar\u0103 intensitatea curentului poate fi redus la o schem\u0103 echivalent\u0103 care con\u021bine o surs\u0103 de tensiune E \u0219i o rezisten\u021b\u0103 R (fig. 3.3, a). \u00cdn acest caz, intensitatea curentului va fi

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

Dup\u0103 montarea ampermetrului, \u00een circuit intervine \u00een serie \u0219i rezisten\u021ba sa proprie r_a (fig. 3.3, b), iar intensitatea curentului va deveni:

$$I_1 = \frac{E}{R + r_a}.$$

Ca urmare, m\u01easurarea va fi afectat\u0103 de o eroare sistematic\u0103 de metod\u0103.

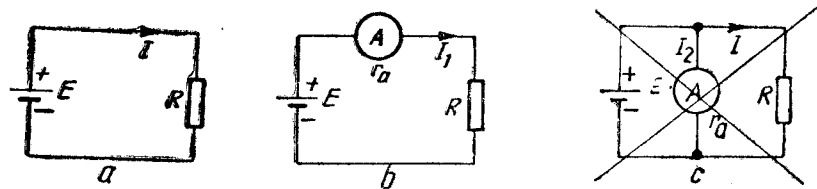


Fig. 3.3. Montarea ampermetrului \u00een circuitul de m\u01easurare:

a - circuitul f\u0103r\u0103 ampermetru; b - circuitul cu ampermetru montat corect; c - circuit cu ampermetru montat gre\u0219it.

Pentru ca la montarea ampermetrului \u00eentr-un circuit func\u021bionarea circuitului s\u0103 se modifice c\u00et mai pu\u021bin ($I_1 \cong I$), este necesar ca rezisten\u021ba proprie a ampermetrului s\u0103 fie mult mai mic\u0103 dec\u00et rezisten\u021ba circuitului, adic\u0103

$$r_a \ll R.$$

Exemplu. \u00cdntr-un circuit alimentat la o surs\u0103 de tensiune $E = 3$ V \u0219i care con\u021bine o rezisten\u021b\u0103 $R = 6 \Omega$ se monteaz\u0103 un ampermetru care are $r_a = 1 \Omega$.

\u00cdnainte de montarea ampermetrului:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{3}{6} = 0,5 \text{ A.}$$

Dup\u0103 montarea ampermetrului:

$$I_1 = \frac{E}{R + r_a} = \frac{3}{6 + 1} = 0,43 \text{ A.}$$

Prin montarea ampermetrului se introduce deci o eroare de m\u01easurare

$$\varepsilon = I_1 - I = 0,43 - 0,5 = -0,07 \text{ A.}$$

Eroarea relativ\u0103, care arat\u0103 calitatea m\u01easur\u0103rii, va fi:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{I} = \frac{0,07}{0,5} = 0,14 = 14\%.$$

Dac\u0103 rezisten\u021ba ampermetrului ar fi $r_a = 0,1 \Omega$, atunci:

$$I_1 = \frac{E}{R + r_a} = \frac{3}{6 + 0,1} = 0,492 \text{ A.}$$

Eroarea de m\u01easurare, \u00een acest caz, ar fi mai mic\u0103 ($\varepsilon = 0,008$ A), iar eroarea relativ\u0103 ar fi numai 1,6%.

○ **Concluzie.** Cu c\u00et rezisten\u021ba ampermetrului este mai mic\u0103 fa\u021b\u0103 de rezisten\u021ba circuitului, cu at\u00et erorile datorate acestei rezisten\u021be s\u00e2nt mai mici, deci calitatea m\u01easur\u0103rii este mai bun\u0103.

○ **Important!** La montarea gre\u0219it\u0103 a ampermetrului, \u00een paralel pe circuit (fig. 3.3, c), datorit\u0103 rezisten\u021bei foarte mici a acestuia, prin aparat va trece un curent cu o intensitate foarte mare:

$$I_2 = \frac{E}{r_a}.$$

Deoarece $r_a \ll R$, rezult\u0103 $I_2 \gg I$, ceea ce duce la deteriorarea ampermetrului.

Dac\u0103 se p\u0103streaz\u0103 datele din exemplul precedent \u0219i se calculeaz\u0103 I_2 , se ob\u021bine:

$$I_2 = \frac{E}{r_a} = \frac{3}{0,1} = 30 \text{ A,}$$

\u00cdn acest caz, prin aparatur\u0103 destinat\u0103 s\u0103 m\u01easore 0,5 A va trece un curent de 30 A \u0219i bobinajul ampermetrului se va arde.

Deoarece montarea \u00een paralel a ampermetrului duce la defectarea lui, aceasta se consider\u0103 o gre\u0219eal\u0103 foarte grav\u0103 \u00een tehnic\u0103 m\u01easur\u0103rilor.

2. EXTINDEREA DOMENIULUI DE MĂSURARE LA AMPERMETRE

Orice aparat magnetoelectric este construit pentru un anumit domeniu de măsurare, caracterizat prin valoarea intensității curentului nominal I_a (valoarea de la capătul scării), și are o rezistență proprie r_a . Dacă este necesar să se măsoare un curent cu o intensitate $I > I_a$, se poate extinde domeniul de măsurare cu ajutorul unor dispozitive auxiliare numite *șunturi*.

Șuntul este o rezistență electrică, de obicei de valoare mică, care se montează în paralel pe aparatul de măsurat și prin care trece o parte din curentul de măsurat.

• Pentru dimensionarea șunturilor se consideră circuitul din figura 3.4. Notînd cu I intensitatea curentului de măsurat, cu I_s și r_s intensitatea curentului ce trece prin șunt și, respectiv, rezistența șuntului, I_a și r_a intensitatea curentului ce trece prin aparat și, respectiv rezistența aparatului, tensiunea între punctele a , b , va fi:

$$U_{ab} = I_a \cdot r_a = I_s \cdot r_s = I \cdot \frac{r_a \cdot r_s}{r_a + r_s}. \quad (3.6)$$

Aplicînd prima lege a lui Kirchhoff în punctul a , se poate scrie:

$$I = I_a + I_s. \quad (3.7)$$

Din relațiile (3.6) și (3.7) se poate deduce:

$$\begin{aligned} r_s &= \frac{I_a \cdot r_a}{I_s}; \\ I_s &= I - I_a. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Relațiile (3.8) permit dimensionarea șuntului atunci cînd se cunosc caracteristicile aparatului magnetoelectric (I_a și r_a) și intensitatea I a curentului de măsurat.

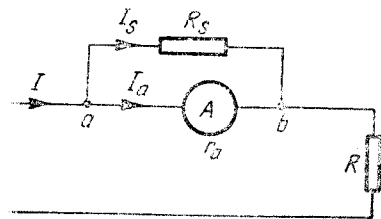


Fig. 3.4. Ampermetru cu șunt.

Din relația (3.6) se mai pot deduce și alte formule pentru dimensionarea șunturilor. Astfel, se poate scrie:

$$\frac{I}{I_a} = \frac{r_s + r_a}{r_s} = 1 + \frac{r_a}{r_s} = n,$$

în care n indică de cîte ori este mai mare curentul de măsurat decît cu-

rentul nominal și se numește *coeficient de multiplicare* sau *factor de șuntare*.

Din relația:

$$n = 1 + \frac{r_a}{r_s}$$

se obține

$$\boxed{r_s = \frac{n - 1}{r_a}} \quad (3.9)$$

Relația (3.9) arată că, pentru a extinde de n ori limita de măsurare a unui ampermetru, este necesar un șunt cu rezistența $n - 1$ ori mai mică decît rezistența aparatului.

Exemplu. Să se determine rezistența unui șunt pentru un aparat magnetoelectric care are $I = 1$ mA și $r_a = 75 \Omega$, pentru a putea măsura un curent cu intensitatea $I = 10$ mA.

$$n = \frac{I}{I_a} = \frac{10}{1} = 10;$$

$$r_s = \frac{r_a}{n - 1} = \frac{75}{10 - 1} = 8,33 \Omega.$$

• **Tipuri de șunturi.** Șunturile pot fi *interioare* (montate în aceeași cutie cu aparatul magnetoelectric) sau *exterioare*.

Șunturile exterioare pot fi *individuale*, adică pot fi folosite numai împreună cu aparatul cu care au fost etalonate (au marcată pe ele seria aparatului cu care trebuie să fie utilizate) sau *calibrate* (interschimbabile), care pot fi utilizate la orice aparat cu o anumită limită de măsurare. Pe aceste șunturi se marchează curentul nominal și căderea de tensiune nominală.

3. AMPERMETRE CU MAI MULTE DOMENII DE MĂSURARE

În multe aplicații practice este necesar să se măsoare atît intensități mici ale curentului, cît și intensități mari. În acest caz se folosesc aparate cu șunturi pentru mai multe domenii de măsurare, care se schimbă cu ajutorul unui comutator.

Aparatele cu mai multe domenii de măsurare se pot realiza cu mai multe șunturi, cîte unul pentru fiecare domeniu de măsurare, sau cu șunt universal.

• **Șuntul universal.** Șuntul universal, reprezentat în figura 3.5, este un ansamblu de rezistențe conectate între ele în serie și care se

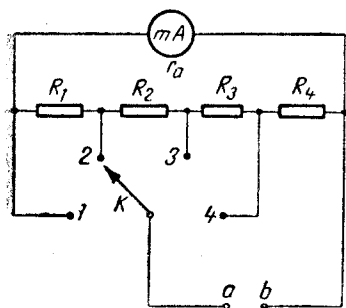


Fig. 3.5. Ampermetru cu șunt universal.

distribuie fie în serie, fie în paralel cu aparatul de măsurat, în funcție de un comutator care schimbă domeniile de măsurare.

Astfel, pe poziția 1 a comutatorului, întregul șunt cu rezistența totală $R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$ este în paralel cu aparatul; pe poziția 2 rezistența R_1 este în serie cu aparatul, rămânând în paralel $R_2 + R_3 + R_4$; pe poziția 3, R_1 și R_2 sînt în serie cu aparatul, iar în paralel rămîn numai R_3 și R_4 , iar pe poziția 4 rămîne în paralel numai R_4 .

Rezistențele R_1, R_2, \dots, R_n se pot dimensiona ușor. Pornind de la formula

generală a șunturilor, $r_s = \frac{r}{n-1}$, notînd pe fiecare poziție de ordin

k coeficientul de multiplicare cu n_k și rezistențele care rămîn în paralel cu instrumentul indicator cu R_{jk} și observînd că o parte dintre rezistențele ($R_t - R_{jk}$) sînt în serie cu instrumentul indicator, deci trebuie însumate cu r_a , se poate scrie:

$$R_{jk} = \frac{r_a + (R_t - R_{jk})}{n_k - 1};$$

$$R_{jk}(n_k - 1) = r_a + R_t - R_{jk},$$

de unde se deduce:

$$\boxed{R_{jk} = \frac{r_a + R_t}{n_k}} \quad (3.10)$$

Aplicînd această relație pentru diferite poziții ale comutatorului, se pot calcula valorile rezistențelor ce formează șuntul:

$$R_1 = R_t - \frac{r_a + R_t}{n_2};$$

$$R_2 = R_t - R_1 - \frac{r_a + R_t}{n_3}.$$

Rezistența de ordin k va fi:

$$R_k = R_t - R_1 - R_2 - \dots - R_{k-1} - \frac{r_a + R_t}{n_{k+1}}. \quad (3.11)$$

Valoarea rezistenței R_t se poate determina aplicînd relația (3.10) pentru poziția 1 a comutatorului:

$$R_{s1} = R_t = \frac{r_a + R_t}{n_1},$$

de unde se deduce:

$$R_t = \frac{r_a}{n_1 - 1}.$$

În cazul particular $n_1 = 1$ se observă că $R_t = \infty$. În practică, se alege pentru R_t o valoare mult mai mare decît r_a , de exemplu $R_t = 50 r_a$.

Din relațiile (3.11) se observă că, dacă rezistența totală a șuntului este mult mai mare decît rezistența aparatului, aceasta din urmă se poate neglija. În acest caz, relațiile nu mai depind de aparat și șuntul o dată calculat poate fi folosit la diferite aparate. Din acest motiv, acest tip de șunt se numește șunt universal.

C. MĂSURAREA TENSIUNILOR. VOLTMETRE

Tensiunea electrică este definită ca diferența de potențial electric dintre două puncte. Unitatea de măsură pentru tensiuni în sistemul SI este voltul, avînd ca simbol V.

În general, tensiunile electrice se măsoară prin metode de citire directă, cu aparate gradate în volți, numite *voltmetre*. În măsurările de mare precizie se utilizează metode de compensație.

În capitolul 2 s-a arătat că aparatele magneto-electrice au caracteristica statică de funcționare dependentă de intensitatea curentului ce trece prin ele, $\alpha = K \cdot I$ și că fiecare aparat se caracterizează printr-un curent nominal I_a și o rezistență proprie r_a .

La trecerea curentului electric printr-un aparat conform legii lui Ohm, la bornele acestuia apare o cădere de tensiune:

$$U = I \cdot r_a. \quad (3.12)$$

Din relația (3.12) se deduce:

$$I = \frac{U}{r_a}. \quad (3.13)$$

Dacă în caracteristica statică de funcționare se exprimă I prin $\frac{U}{r_a}$, se obține:

$$\alpha = f\left(\frac{U}{r_a}\right) = f_1(U). \quad (3.14)$$

Din această relație se observă că indicația α este funcție și de tensiunea de la bornele aparatului, deci acesta poate funcționa și ca voltmetru.

Dacă prin aparat trece un curent egal cu curentul său nominal, atunci indicația sa va fi maximă și tensiunea de la bornele sale va reprezenta tensiunea nominală a aparatului:

$$U_a = I_a \cdot r_a \quad (3.15)$$

Deci, orice aparat de măsurat se caracterizează, pe lângă curentul său nominal I_a și rezistența sa proprie r_a , și prin tensiunea sa nominală U_a .

1. MONTAREA VOLTMETRELOR ÎN CIRCUIT

Pentru ca un voltmetru să măsoare tensiunea electrică între două puncte ale unui circuit, el trebuie montat în paralel pe circuit între cele două puncte, astfel încât tensiunea de măsurat să fie egală cu tensiunea de la bornele sale.

Ca și în cazul ampermetrelor, la montarea voltmetrului în circuit este necesar ca funcționarea circuitului să se modifice cât mai puțin. În circuitul din figura 3.6, a, înainte de montarea voltmetrului, tensiunea între punctele a, b este:

$$U = \frac{RE}{R + r_i} = \frac{1}{1 + \frac{r_i}{R}} E.$$

După montarea voltmetrului (fig. 3.6, b), tensiunea între punctele a, b devine:

$$U_m = \frac{\frac{Rr_v}{R + r_v}}{r_i + \frac{Rr_v}{R + r_v}} E = \frac{E}{1 + \frac{r_i}{R} \cdot \frac{R + r_v}{r_v}}.$$

Pentru ca $U \cong U_m$ este necesar ca raportul $\frac{R + r_v}{r_v}$ să fie aproximativ egal cu 1. Acest lucru este posibil numai dacă $r_v \gg R$ (în suma $R + r_v$, R să poată fi neglijat față de r_v).

○ **Concluzie.** Pentru ca la montarea voltmetrului în circuit funcționarea acestuia din urmă să se modifice cât mai puțin, este necesar ca rezistența voltmetrului să fie mult mai mare decât rezistența în paralel pe care se montează.

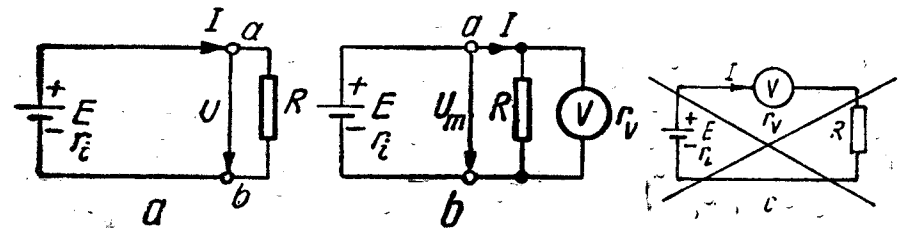


Fig. 3.6. Montarea voltmetrului în circuit:

a - circuitul fără voltmetru; b - circuitul cu voltmetrul montat corect; c - circuitul cu voltmetrul montat greșit.

○ **Important!** La montarea greșită a voltmetrului, în serie cu circuitul (fig. 3.6, c), datorită rezistenței foarte mari a acestuia curentul în circuit scade foarte mult.

2. EXTINDEREA DOMENIULUI DE MĂSURARE

De obicei, căderea de tensiune nominală la bornele aparatelor magneto-electrice este foarte mică, sub un volt. Când tensiunea de măsurat U este mai mare decât tensiunea nominală a aparatului, se poate extinde domeniul de măsurare cu ajutorul unor dispozitive numite rezistențe adiționale.

Rezistența adițională este o rezistență de valoare mare, care se montează în serie cu aparatul magneto-electric și pe care cade o parte din tensiunea de măsurat.

● Pentru dimensionarea rezistențelor adiționale se consideră circuitul din figura 3.7. Se observă că atât prin instrumentul de măsurat, cât și prin rezistența adițională, trece același curent, I_a :

$$I_a = \frac{U_a}{r_a} = \frac{U}{r_a + r_{ad}} \quad (3.16)$$

Din această relație se poate deduce:

$$\frac{U}{U_a} = \frac{r_a + r_{ad}}{r_a} = 1 + \frac{r_{ad}}{r_a} = n, \quad (3.17)$$

în care n indică de câte ori tensiunea de măsurat este mai mare decât tensiunea nominală și se numește coeficient de multiplicare.

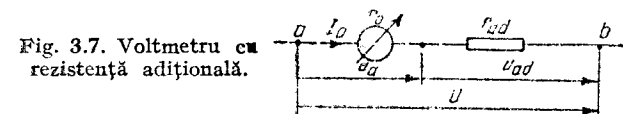


Fig. 3.7. Voltmetru cu rezistență adițională.

Din relația :

$$n = 1 + \frac{r_{ad}}{r_a}$$

se obține :

$$r_{ad} = r_a(n - 1) \quad (3.18)$$

Deci, pentru a extinde de n ori intervalul de măsurare al unui voltmetru, este necesară o rezistență adițională de $n - 1$ ori mai mare decât rezistența aparatului magnetoelectric.

Exemplu. Un aparat magnetoelectric are $I_a = 1 \text{ mA}$ și $r_a = 100 \Omega$. Să se determine rezistența adițională necesară pentru a putea măsura o tensiune $U = 10 \text{ V}$.

$$U_a = I_a \cdot r_a = 0,001 \cdot 100 = 0,1 \text{ V};$$

$$n = \frac{U}{U_a} = \frac{10}{0,1} = 100;$$

$$r_{ad} = r_a(n - 1) = 100(100 - 1) = 9\,900 \Omega.$$

Rezistența totală a voltmetrului este :

$$r_v = r_a + r_{ad} = 100 + 9\,900 = 10\,000 \Omega.$$

După cum se vede în exemplul de mai sus, rezistența adițională este mult mai mare decât rezistența aparatului. De aceea, în relația $U = I_a(r_a + r_{ad})$ se poate neglija r_a și se obține :

$$U = I_a \cdot r_{ad}$$

$$r_{ad} = \frac{U}{I_a}.$$

Relația (3.19) arată că rezistența adițională este proporțională cu tensiunea de măsurat și valoarea ei depinde de curentul nominal al aparatului magnetoelectric.

● **Rezistența în ohmi pe volt.** Aparatele utilizate ca voltmetre sînt caracterizate adesea prin rezistența necesară pentru a extinde domeniul de măsurare cu un volt, cunoscută sub denumirea de „rezistență în Ω/V ”.

În relația (3.19), dacă se consideră $U = 1 \text{ V}$, se obține :

$$R[\Omega/\text{V}] = \frac{1}{I_a}. \quad (3.20)$$

Relația (3.20) arată că rezistența în ohmi pe volt ce caracterizează un aparat este inversul curentului său nominal.

Exemplu. Un aparat avînd $I = 1 \text{ mA}$, are $1\,000 \Omega/\text{V}$.

Un voltmetru care are $50\,000 \Omega/\text{V}$ folosește un instrument de măsurat avînd curentul nominal $I_a = 20 \mu\text{A}$.

Rezistența adițională pentru un anumit domeniu de măsurare se va obține înmulțind rezistența în ohmi pe volt cu tensiunea corespunzătoare intervalului respectiv :

$$r_{ad} = U \frac{1}{I_a} = \frac{U}{I_a}. \quad (3.21)$$

Exemplu. Un aparat de $10\,000 \Omega/\text{V}$, pentru un interval de măsurare de 10 V , are nevoie de o rezistență adițională de $100\,000 \Omega$.

Avînd în vedere că voltmetrele trebuie să îndeplinească condiția $r_v \gg R$, cu cît voltmetrul are rezistența în ohmi pe volt mai mare, cu atît el este mai bun. Cele mai bune voltmetre care se construiesc în prezent folosesc aparate magnetoelectrice avînd curentul nominal de $10 \mu\text{A}$, adică o rezistență de $100\,000 \Omega/\text{V}$.

3. VOLTMETRE CU MAI MULTE DOMENII DE MĂSURARE

Unele voltmetre portative sînt prevăzute cu rezistențe adiționale pentru mai multe domenii de măsurare, ce se schimbă cu ajutorul unui comutator. Rezistențele adiționale pot fi realizate separat, cîte una pentru fiecare interval de măsurare, sau pot fi formate din mai multe rezistențe legate în serie (fig. 3.8, a și 3.8, b). Pentru cel de-al doilea caz :

$$\begin{aligned} r_{ad1} &= R_1; \\ r_{ad2} &= R_1 + R_2; \\ &\dots \dots \dots \\ r_{adh} &= R_1 + R_2 + \dots + R_h. \end{aligned} \quad (3.22)$$

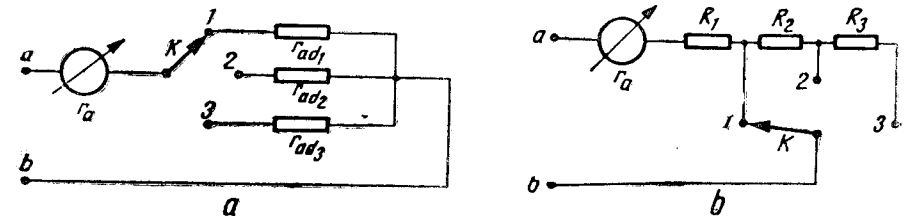


Fig. 3.8. Voltmetru cu mai multe intervale de măsurare : a — cu cîte o rezistență adițională pentru fiecare interval; b — cu rezistență în serie.

D. MĂSURAREA REZISTENȚELOR ELECTRICE

Rezistența electrică este o mărime egală cu raportul între tensiunea electrică aplicată între capetele unui conductor și intensitatea curentului produs de această tensiune în conductorul respectiv.

Unitatea de măsură pentru rezistența electrică în sistemul SI este ohmul, avînd ca simbol Ω :

$$1 \Omega = \frac{1V}{1A}. \quad (3.23)$$

În circuitele electrice folosite în practică se întîlnesc rezistențe electrice cu o gamă largă de valori, ceea ce a condus la un mare număr de metode de măsurat. Dintre acestea, cele mai folosite sînt:

- metoda indirectă a ampermetrului și voltmetrului, cu variantele amonte și aval;
- metodele de comparație, dintre care:
 - metoda substituției;
 - metoda comparării tensiunilor;
 - metoda reducerii tensiunii la jumătate;
 - metode de punte.
- metode cu citire directă, folosind ohmmetre și megohmmetre.

1. METODA AMPERMETRULUI ȘI VOLTMETRULUI

Metoda ampermetrului și voltmetrului este o metodă indirectă; se măsoară tensiunea la bornele rezistenței cu voltmetrul și intensitatea curentului ce trece prin rezistență, cu ampermetrul; valoarea rezistenței de măsurat se obține aplicînd legea lui Ohm:

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

Deoarece se folosesc două aparate de măsurat, se pune problema poziționării lor reciproce. Este posibil să se realizeze două variante (fig. 3.9), care diferă între ele prin poziția voltmetrului față de amper-

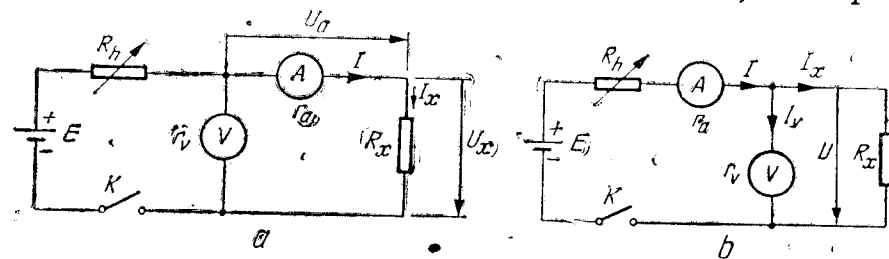


Fig. 3.9. Măsurarea rezistențelor prin metoda ampermetrului și voltmetrului:
a - varianta amonte; b - varianta aval.

metru. Împrumutînd termenii din navigația fluvială, se spune că în figura 3.9, a voltmetrul este în amonte față de ampermetru, iar în figura 3.9, b voltmetrul este în aval față de ampermetru. Oricare variantă se alege, se constată că se introduc erori sistematice de metodă. Important este să se știe în ce condiții aceste erori sînt minime. Pentru aceasta se vor analiza cele două variante pe rînd.

• **Varianta amonte** (fig. 3.9, a). Cu montajul din figura 3.9, a trebuie să se măsoare valoarea rezistenței R_x :

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}.$$

Ampermetrul măsoară $I = I_x$.

Voltmetrul măsoară $U = U_a + U_x$ unde $U_a = I \cdot r_a$, r_a fiind rezistența ampermetrului.

Cu datele obținute, aplicînd legea lui Ohm, se calculează:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_a + U_x}{I} = r_a + R_x.$$

Se observă, că, în această variantă, se introduce eroare sistematică de metodă

$$\epsilon = R - R_x = r_a.$$

Eroarea relativă, care indică precizia măsurării, va fi:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{R_x} = \frac{r_a}{R_x}.$$

Pentru a obține o precizie cît mai mare, este necesar ca eroarea relativă să fie cît mai mică, deci

$$r_a \ll R_x.$$

○ **Concluzie.** Varianta amonte se va folosi numai pentru măsurarea rezistențelor mari, mult mai mari decît rezistența ampermetrului.

• **Varianta aval** (fig. 3.9, b). Cu montajul din figura 3.9, b trebuie să se măsoare valoarea rezistenței R_x .

Ampermetrul măsoară $I = I_x + I_v$, unde I_v este curentul prin voltmetru ($I_v = \frac{U}{r_v}$), r_v fiind rezistența voltmetrului.

Voltmetrul măsoară $U = U_x$.

Cu datele obținute, aplicând legea lui Ohm, se calculează:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_x + I_v} = \frac{\frac{U}{I_x}}{1 + \frac{I_v}{I_x}} = \frac{R_x}{1 + \frac{I_v}{I_x} \cdot \frac{U}{U}} = \frac{R_x}{1 + \frac{R_x}{r_v}}$$

Și în acest caz se introduce o eroare sistematică de metodă:

$$\varepsilon = R - R_x = \frac{R_x}{1 + \frac{R_x}{r_v}} - R_x = R_x \left(\frac{1}{1 + \frac{R_x}{r_v}} - 1 \right)$$

Eroarea relativă va fi:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{R_x} = \frac{1}{1 + \frac{R_x}{r_v}} - 1$$

Pentru a obține o precizie cât mai mare, eroarea relativă trebuie să fie mai mică, deci $r_v \gg R_x$.

○ **Concluzie.** Varianta aval se va folosi numai pentru măsurarea rezistențelor mici, mult mai mici decât rezistența voltmetrului.

Metoda ampermetrului și voltmetrului are avantajul că permite măsurarea rezistențelor sub curentul lor nominal, care se poate regla cu rezistența variabilă R_h .

2. METODE DE COMPARATIE

În metodele de comparație, valoarea rezistenței de măsurat se compară cu valoarea unor rezistențe cunoscute. Dintre metodele de comparație se vor studia: metoda substituției, metoda comparării tensiunilor, metoda reducerii tensiunii la jumătate și metoda de punte.

a. Metoda substituției

La măsurarea rezistențelor prin metoda substituției se folosește montajul din figura 3.10, în care:

- E este o sursă de curent continuu cu rezistență internă neglijabilă;
- R_0 — rezistență variabilă etalonată;
- K — comutator cu două poziții;
- A — ampermetru cu mai multe limite de măsurare.

Modul de lucru:

— se închide comutatorul K pe poziția 1 și se măsoară:

$$I_1 = \frac{E}{R_x}$$

— se trece comutatorul K pe poziția 2 și se măsoară:

$$I_2 = \frac{E}{R_0}$$

— se variază R_0 pînă cînd $I_2 = I_1$:

$$\frac{E}{R_x} = \frac{E}{R_0}$$

rezultă:

$$R_x = R_0$$

○ **Concluzii.** Metoda substituției este simplă și rapidă. Se pot măsura atât rezistențe mari cât și rezistențe mici, comparabile cu R_0 . Necesită însă o rezistență variabilă etalonată. Precizia metodei depinde de precizia rezistenței variabile și de precizia ampermetrului utilizat.

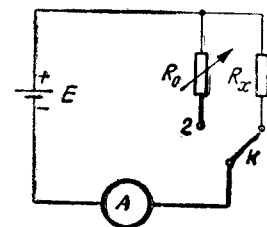


Fig. 3.10. Măsurarea rezistențelor prin metoda substituției.

b. Metoda comparării tensiunilor

În metoda comparării tensiunilor, rezistența de măsurat R_x se compară cu o rezistență fixă R_0 . Se folosește montajul din figura 3.11, în care:

E este o sursă de curent continuu de rezistență internă neglijabilă;

R_0 — rezistență fizică de valoare cunoscută;

K_1 — întrerupător;

K_2 — comutator cu două poziții;

V — voltmetru cu rezistență de intrare mare;

R_h — rezistență variabilă pentru reglarea intensității curentului.

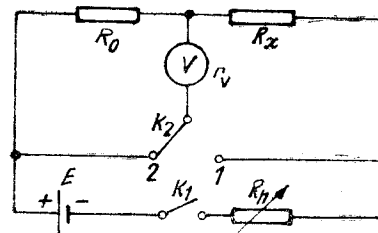


Fig. 3.11. Măsurarea rezistențelor prin metoda comparației.

Modul de lucru:

— se închide comutatorul K_1 ;

— se așează comutatorul K_1 pe poziția 1 și se măsoară

$$U_1 = I \cdot R_x;$$

— se trece comutatorul K_2 pe poziția 2 și se măsoară

$$U_2 = I \cdot R_0.$$

Împărțind aceste relații între ele, se obține

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_x}{R_0} \text{ și rezultă } R_x = \frac{U_1}{U_2} R_0.$$

○ **Concluzii.** Metoda se folosește pentru a măsura rezistențe mici în comparație cu rezistența voltmetrului. În acest caz, cele două rezistențe R_0 și R_x , se pot considera în serie și deci sînt străbătute de același curent.

c. Metoda reducerii tensiunii la jumătate

Metoda reducerii tensiunii la jumătate este o metodă simplă și rapidă, mult utilizată în practică. Se folosește montajul din figura 3.12, în care:

E este o sursă de curent continuu de rezistență internă neglijabilă;

R_0 — rezistență variabilă etalonată;

V — voltmetru cu rezistență de intrare mare față de R_x ;

K — întrerupător.

Modul de lucru:

— se închide întrerupătorul K și se măsoară tensiunea U_1 la bornele rezistenței R_x . În acest caz, $U_1 = E$;

— se deschide întrerupătorul K , introducîndu-se în circuit și rezistența R_0 . Se măsoară din nou tensiunea pe rezistența R_x . De această dată, curentul prin circuit va fi:

$$I = \frac{E}{R_x + R_0},$$

iar tensiunea U_2 la bornele rezistenței R_x va fi:

$$U_2 = IR_x = \frac{ER_x}{R_x + R_0}.$$

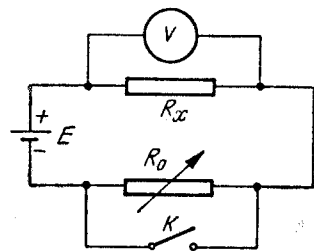


Fig. 3.12. Măsurarea rezistențelor prin metoda reducerii tensiunii la jumătate.

Făcînd raportul între cele două tensiuni, se obține:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_x + R_0}{R_x}.$$

Dacă se variază R_0 pînă cînd $U_2 = \frac{U_1}{2}$,

$$\frac{R_x + R_0}{R_x} = 2; R_x + R_0 = 2R_x \text{ și rezultă } R_x = R_0.$$

Deci, cînd tensiunea scade la jumătate, rezistența de măsurat este egală cu rezistența variabilă R_0 .

d. Metode de punte

Puntea este un circuit tipic care conține patru elemente (brațe) dispuse într-o schemă sub forma unui patrulater (fig. 3.13). Circuitul se alimentează pe una dintre diagonalele patrulaterului, iar în cealaltă diagonală se montează un aparat indicator de nul. Cînd indicatorul de nul arată zero, între cele patru elemente ce formează puntea există o relație bine determinată, din care, cunoscînd valorile a trei elemente ale punții, se deduce valoarea celui de-al patrulea.

Măsurarea rezistențelor cu metode de punte prezintă următoarele *avantaje*:

- sensibilitate mare;
- precizie mare;
- domeniu larg de utilizare;
- manevrare ușoară.

Există diferite tipuri de punți de măsurare. Cea mai răspîdită este puntea simplă, cunoscută sub numele de *punte Wheatstone*.

● **Schema de principiu a punților Wheatstone** este reprezentată în figura 3.13, în care:

R_x este rezistența de măsurat;

R_3 — o rezistență variabilă în decade;

R_1, R_2 sînt rezistențele „de raport”, cunoscute;

E — sursă de curent continuu;

K_1, K_2 sînt întrerupătoare;

G — un galvanometru (aparat magnetoelectric de mare sensibilitate cu zero la mijloc).

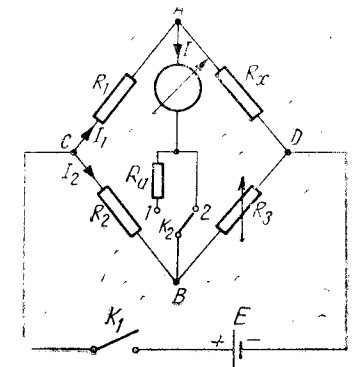


Fig. 3.13. Puntea Wheatstone.

• **Funcționarea.** Rezistența de măsurat R_x se montează la bornele de măsurare ale punții și se închid întrerupătoarele K_1 și K_2 .

Se variază rezistența R_3 pînă cînd galvanometrul indică zero. În acest caz, punctele A și B vor fi la același potențial. Acest lucru este posibil numai dacă:

$$\begin{aligned} U_{CA} &= U_{CB}; \\ U_{DA} &= U_{DB}. \end{aligned} \quad (3.24)$$

Aplicînd legea lui Ohm pe cele patru brațe și observînd că prin R_1 și R_x trece același curent I_1 (prin diagonala în care este montat galvanometrul nu se ramifică curent), iar prin R_2 și R_3 trece același curent I_2 , se poate scrie:

$$\begin{aligned} I_1 R_1 &= I_2 R_2; \\ I_1 R_x &= I_2 R_3. \end{aligned} \quad (3.25)$$

Împărțind cele două relații între ele, se obține:

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}, \text{ sau } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3}, \text{ sau } R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x. \quad (3.26)$$

Aceste relații, care leagă între ele cele patru elemente ale unei punți cînd prin diagonala în care se află galvanometrul curentul este zero, reprezintă *condiția de echilibru a punții*. Aceasta se poate exprima astfel:

La o punte în echilibru produsele brațelor opuse sînt egale.

sau:

La o punte în echilibru rapoartele brațelor alăturate sînt egale.

Din condiția de echilibru, cunoscînd trei elemente ale punții se deduce al patrulea:

$$R_x = R_3 \frac{R_2}{R_1}. \quad (3.27)$$

Deci R_x se compară cu rezistențele R_1 , R_2 , R_3 de valori cunoscute.

De obicei, rezistențele R_1 și R_2 pot lua valori de 10 Ω , 100 Ω sau 1 000 Ω , astfel încît raportul R_2/R_1 să reprezinte un factor de multiplicare pentru rezistența R_3 . Precizia maximă se obține pentru raportul $R_2/R_1 = 1$.

• **Protecția galvanometrului.** Deoarece la începutul măsurării puntea poate să fie mult dezechilibrată, trebuie să se micșoreze sensibilitatea galvanometrului pentru a nu fi deteriorat la trecerea unui curent prea mare prin el. În acest scop, galvanometrul se protejează cu o rezistență care se poate introduce în serie prin intermediul comutatorului K_2 .

La începutul măsurării, comutatorul K_2 este pe poziția 1 și introduce în serie cu galvanometrul rezistența de protecție R_a , ceea ce duce la scăderea sensibilității. Cînd echilibrul punții a fost aproximativ atins, se trece comutatorul K_2 pe poziția 2 și se continuă echilibrarea cu o sensibilitate sporită.

Metodele de punte sînt cele mai sensibile și mai precise metode folosite la măsurarea rezistențelor electrice. La noi în țară se construiesc punți Wheatstone la Institutul Național de Metrologie din București.

3. OHMETRE ȘI MEGOHMETRE

Ohmmetrele sînt aparate cu citire directă folosite la măsurarea rezistențelor electrice. Funcționarea lor se bazează pe legea lui Ohm. Există o mare varietate de scheme constructive, dar în general ele se pot reduce la două variante:

- ohmmetre serie;
- ohmmetre derivați.

a. Ohmmetrul serie

Ohmmetrul serie se caracterizează prin faptul că toate elementele sale sînt conectate în serie.

• **Schema** unui astfel de aparat este reprezentată în figura 3.14, în care:

- E — este o baterie de curent continuu (1,5 ... 18) V, cu rezistența r_i ;
- R — rezistență fixă, pentru limitarea curentului;
- R_1 — rezistență variabilă;
- mA — miliampermetru magnetoelectric, cu rezistența r_a ;
- A, B sînt bornele la care se montează rezistența de măsurat R_x .

• **Funcționarea.** La montarea unei rezistențe R_x între bornele A, B , intensitatea curentului în circuitul ohmmetrului va fi:

$$I = \frac{E}{r_i + r_a + R_1 + R + R_x}. \quad (3.28)$$

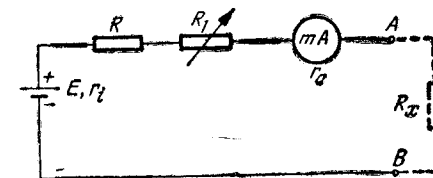


Fig. 3.14. Ohmmetru serie.

Valorile extreme se vor obține pentru $R_x = 0$ și $R_x = \infty$.
În cazul $R_x = 0$ (bornele A, B în scurtcircuit):

$$I = \frac{E}{r_i + r_a + R_1 + R}$$

Aceasta este cea mai mare valoare pe care o poate avea intensitatea curentului. Pentru a folosi întreaga scară a miliampermetrului, se reglează R_1 astfel încât $I = I_{max}$ (indicația să fie la capătul scării).
În cazul $R_x = \infty$ (bornele A, B în gol):

$$I = \frac{E}{\infty} = 0.$$

Pentru valori ale lui R_x cuprinse între 0 și ∞ , intensitatea curentului va varia între I_{max} și 0, conform relației (3.28).

Dacă se trasează pe cadranul miliampermetrului reperele corespunzătoare diferitelor valori ale lui R_x , se constată că *scara gradată a ohmmetrului este inversă și foarte neuniformă* (fig. 3.15).

Ohmmetrul serie se folosește pentru *măsurarea rezistențelor mari*, comparabile cu suma $R + R_1$, obținându-se o precizie bună în domeniul $0,1 (R + R_1) < R_x < 10 (R + R_1)$.

Schimbând rezistențele R și R_1 și, corespunzător, șunturile miliampermetrului, se pot realiza ohmmetre serie cu mai multe domenii de măsurare ($\times 1$; $\times 10$; $\times 100$).

● **Reglarea ohmetrelor serie.** O problemă deosebită pe care o prezintă ohmmetrele este determinată de alimentarea lor de la baterii chimice. Acestea cu timpul îmbătrânesc (și măresc rezistența internă) ceea ce duce la indicații eronate. Pentru a evita înrăutățirea preciziei măsurării, înainte de utilizare este necesar să se regleze indicația corespunzătoare pentru $R_x = 0$, făcînd scurtcircuit între bornele A, B . Dacă acul indicator nu indică 0Ω , se va regla rezistența pînă cînd se obține indicația corectă (variația rezistenței r_i).

Indicația corespunzătoare valorii $R_x = \infty$ (bornele A, B în gol) se reglează cu ajutorul corectorului de zero al aparatului magnetoelectric.

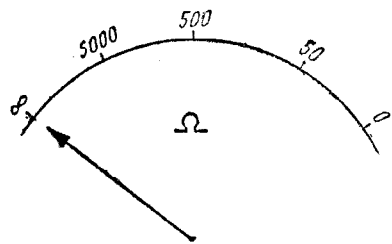


Fig. 3.15. Scara gradată a unui ohmmetru serie.

b. Ohmmetrul derivație

Ohmmetrul derivație se caracterizează prin faptul că miliampermetrul este montat în derivație cu porțiunea de circuit A, B supusă măsurării.

● **Schema** unui astfel de aparat este reprezentată în figura 3.16, în care:

E este o baterie de curent continuu (1,5 ... 18) V cu rezistența r_i ;

R — rezistență fixă pentru limitarea intensității curentului;

R_1 — rezistență variabilă;

mA — miliampermetru magnetoelectric cu rezistența r_a ;

A, B sînt bornele la care se montează rezistența de măsurat R_x ;
 K este întrerupător, pentru întreruperea circuitului cînd ohmmetrul nu funcționează.

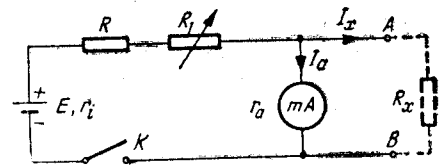


Fig. 3.16. Ohmmetru derivație.

● **Funcționarea.** După închiderea întrerupătorului K , la montarea unei rezistențe la bornele A, B , curentul debitat de sursa E se distribuie prin miliampermetru și prin R_x , cu valori invers proporționale cu rezistențele r_a și R_x :

$$\frac{I_a}{I_x} = \frac{R_x}{r_a} \quad (3.29)$$

Intensitatea curentului prin miliampermetru, I_a , va fi:

— pentru $R_x = 0$ (bornele A, B în scurtcircuit):

$$I_a = 0 \text{ (curentul va prefera calea prin } R_x = 0 \text{);}$$

— pentru $R_x = \infty$ (bornele A, B în gol):

$$I_a = \frac{E}{r_i + r_a + R + R_1}$$

■ Aceasta este cea mai mare valoare pe care o poate lua intensitatea curentului prin miliampermetru. Pentru a folosi întreaga scară a miliampermetrului, se reglează R_1 astfel încît $I_a = I_{max}$.

Pentru valori ale lui R_x cuprinse între 0 și ∞ , intensitatea curentului va varia între zero și I_{max} , conform relației (3.29).

■ Dacă se trasează pe cadranul miliampermetrului reperele corespunzătoare diferitelor valori ale lui R_x , se constată că de această dată *scara nu mai este inversă, dar rămîne foarte neuniformă* (fig. 3.17).

Ohmmetrul derivație *măsoară valori mici ale rezistențelor*, comparabile cu r_a , obținându-se o precizie bună în domeniul

$$0,1 r_a < R_x < 10 r_a.$$

● **Reglarea ohmmetrului derivație.** Și la ohmmetrele derivație

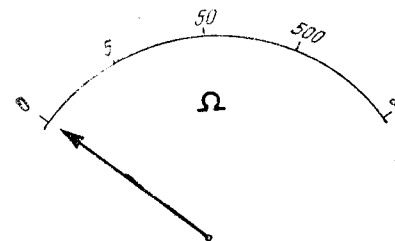


Fig. 3.17. Scara gradată a unui ohmmetru derivație.

intervine aceeași problemă a îmbătrînirii bateriilor chimice. De aceea, înainte de folosire, este necesară reglarea ohmmetrului. Reglarea se face pentru $R_x = \infty$ (lăsînd bornele A , B în gol), variînd rezistența R_1 pînă se obține indicația corectă. Indicația corespunzătoare valorii $R_x = 0$ se reglează din corectorul de zero al aparatului magnetoelectric.

○ **Atenție!** După efectuarea măsurărilor este necesar să se deschidă întrerupătorul K . În caz contrar, circuitul rămîne alimentat și bateria se consumă inutil.

c. Megohmmetre

Megohmmetrele sînt aparate cu citire directă destinate să măsoare rezistențe foarte mari, de ordinul megaohmilor. Ele funcționează pe același principiu ca ohmmetrele, cu deosebirea că sînt alimentate de tensiuni mult mai mari, de ordinul sutelor sau miilor de volți.

● **Sursele de alimentare** cele mai frecvent folosite sînt magnetoul și alimentatorul cu convertizor tranzistorizat.

Magnetoul este un mic generator de curent continuu, alcătuit dintr-un magnet permanent și o bobină care se rotește între poli ai acestuia, acționată de o manivelă.

Alimentatorul cu convertor tranzistorizat este un dispozitiv alimentat la o tensiune continuă de cîțiva volți, obținută de la baterii chimice și care dă la ieșirea sa o tensiune continuă de sute sau mii de volți necesară alimentării megohmmetrului. El funcționează astfel: tensiunea mică de la bateriile chimice alimentează un oscilator tranzistorizat care transformă tensiunea continuă în tensiune alternativă. Valoarea acesteia se poate mări cu ajutorul unui transformator pînă la valoarea dorită, după care se redresează, obținîndu-se tensiune continuă de valoare mare.

● **Ca instrument indicator** la megohmmetre se folosesc aparate magnetoelectrice sau logometre magnetoelectrice.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce se întîmplă dacă se montează un aparat magnetoelectric într-un circuit străbătut de curent alternativ?
2. Cum trebuie montat ampermetrul în circuit? Dar voltmetrul? Ce se întîmplă la montarea lor greșită?
3. Ce metode se folosesc la măsurarea rezistențelor mici? Dar la măsurarea rezistențelor mari?
4. De ce trebuie protejat galvanometrul la punțile de măsurat?
5. De ce este necesară reglarea ohmmetrelor înainte de utilizare? În cazul unor indicații incorecte, cum se realizează reglajele necesare?

APARATE DE MĂSURAT PENTRU CURENT ALTERNATIV DE JOASĂ FRECVENȚĂ

A. APARATE FEROMAGNETICE

Aparatele feromagnetice mai sînt cunoscute și sub denumirea de *aparate electromagnetice* sau *aparate cu fier mobil*.

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Aparatele feromagnetice funcționează pe baza acțiunii cîmpului magnetic al unei bobine fixe parcurse de curentul de măsurat, asupra unor plăcuțe din material feromagnetic, care sînt atrase sau respinse în interiorul bobinei.

2. DESCRIEREA APARATULUI

Așa cum s-a menționat în principiul de funcționare, pot exista două variante constructive: *cu atracție* și *cu respingere*.

● **Aparatul feromagnetic cu atracție** (fig. 4.1) are dispozitivul pentru producerea cuplului activ compus dintr-o bobină fixă 1, plată, în interiorul căreia, la trecerea curentului prin bobină, este atrasă o piesă 2 din material feromagnetic, așezată excentric pe axul 3 al echipajului mobil. *Cuplul rezistent* este produs de un singur arc spiral 6, care are un capăt fixat pe axul echipajului mobil, iar pe celălalt — la corectorul de zero, 7. O dată cu echipajul mobil se deplasează și acul indicator 4 care, împreună cu scara gradată, formează dispozitivul de citire. Amortizorul 8 este pneumatic cu paletă.

● **Aparatul feromagnetic cu respingere** (fig. 4.2) are dispozitivul pentru producerea cuplului activ compus dintr-o bobină fixă 1 de formă cilindrică, și din două plăcuțe din material feromagnetic dintre care o plăcuță (2) este fixată pe bobină, iar cealaltă (3) este fixată pe axul 4 al echipajului mobil. La trecerea curentului prin bobină, cele două plăcuțe se magnetizează și se resping între ele, dînd naștere cuplului activ care pune în mișcare echipajul mobil. *Cuplul rezistent* este produs de arcul spiral 7, care are un capăt montat la corectorul de zero. Acul indicator 5, fixat pe axul echipajului mobil, împreună cu scara gradată formează dispozitivul de citire. Amortizorul 6 este cu paletă.

4. PROPRIETĂȚI

După cum arată ecuația caracteristicii statice de funcționare, aparatele feromagnetice *nu au scară uniformă*. Dacă K ar fi independent de α , s-ar obține o scară pătratică. În practică însă, prin soluții constructive convenabile (alegând adecvat dimensiunile și forma pieselor componente) se poate face ca factorul K să scadă când α crește, compensând în acest mod neliniaritatea scării. Se realizează o scară aproape uniformă, cu excepția primelor repere.

Sensibilitatea este mică, putându-se măsura intensități ale curentului începând de la zeci de miliamperi.

Precizia aparatelor feromagnetice este mică. De obicei ele sînt de clasa 1,5—2,5. Folosirea aliajelor magnetice speciale, de exemplu permaloy, permite obținerea unor clase de precizie superioare (începînd cu clasa 0,5).

Consumul propriu de putere este mare (0,5—7,5 VA).

Aparatele feromagnetice funcționează atât în curent continuu, cât și în curent alternativ. În curent alternativ, o dată cu schimbarea sensului curentului schimbîndu-se atât direcția fluxului magnetic, cât și polaritatea magnetizării pieselor feromagnetice, cuplul activ acționează tot timpul în același sens.

Indicațiile sînt influențate de fenomenul de histerezis și de curenții turbionari. În curent continuu, datorită fenomenului de histerezis, aparatele dau indicații diferite pentru aceleași valori crescătoare și descrescătoare ale intensității curentului. În curent alternativ, datorită curenților turbionari ce se induc în piesele feromagnetice, care au o acțiune demagnetizantă, indicațiile sînt mai mici decît în curent continuu cu 1—2%. Întrucît erorile cresc cu frecvența, aceste aparate nu se folosesc decît pînă la cîteva sute de herți.

Aparatele feromagnetice sînt influențate de cîmpurile magnetice exterioare, deoarece cîmpul magnetic propriu este relativ redus. Pentru a înlătura acest dezavantaj, aparatele se ecranează sau se construiesc aparate astatice. Un aparat feromagnetic astatic este format din două bobine conectate în serie, ale căror cîmpuri magnetice sînt egale, dar de sens contrar. Cîmpurile exterioare întăresc cîmpul unei bobine și slăbesc cîmpul celeilalte, obținîndu-se un efect total nul.

○ **Concluzie.** Aparatele feromagnetice au performanțe relativ slabe. În schimb sînt robuste, simple și au cost redus. De aceea sînt cele mai răspîndite aparate pentru măsurări industriale.

5. UTILIZĂRI

Aparatele feromagnetice se utilizează ca *ampermetre și voltmetre de curent alternativ*, de tablou sau portative.

● **Ampermetrele feromagnetice** nu se folosesc de obicei cu șunturi datorită posibilității de a confecționa bobine pentru curenți mari.

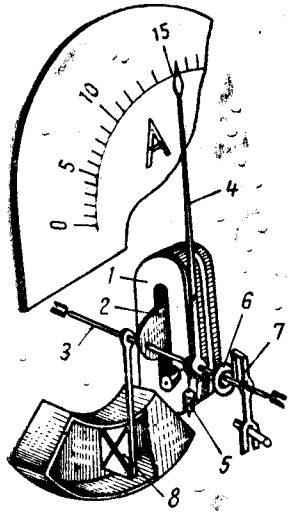


Fig. 4.1. Aparat feromagnetic cu atracție.

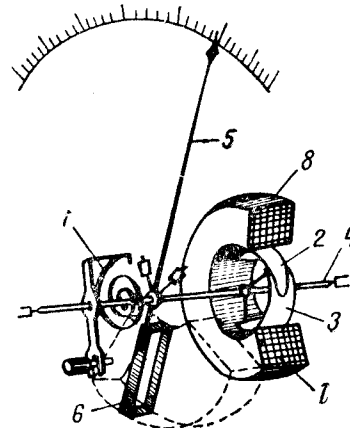


Fig. 4.2. Aparat feromagnetic cu respingere.

3. FUNCȚIONAREA

La trecerea curentului electric prin bobină, piesele din material feromagnetic se magnetizează și sînt atrase sau respinse în interiorul bobinei.

● **Cuplul activ**, care ia naștere și care pune în mișcare echipajul mobil, este proporțional cu pătratul intensității curentului ce trece prin bobină:

$$M_a = kI^2. \quad (4.1)$$

● **Cuplul rezistent** creat de arc spiral crește proporțional cu unghiul de deviație, α ($M_r = D\alpha$).

● La un moment dat, cuplul rezistent devine egal cu cuplul activ, obținîndu-se starea de echilibru ($M_a = M_r$). Înlocuind în ecuația de echilibru expresiile celor două cupluri, rezultă:

$$kI^2 = D\alpha;$$

$$\alpha = \frac{k}{D} I^2.$$

Notînd $\frac{k}{D} = K$, se obține **caracteristica statică de funcționare** a aparatelor feromagnetice:

$$\alpha = KI^2 \quad (4.2)$$

Se pot realiza astfel aparate care pot măsura direct pînă la sute de amperi. De obicei însă se realizează ampermetre de 1A sau 5A, iar pentru măsurarea curenților de intensități mai mari se folosesc transformatoare de curent.

● În cazul folosirii ca voltmetre, se realizează aparate feromagnetice cu un curent nominal de 70–30 mA, ceea ce înseamnă o rezistență adițională de 30–700 Ω/V. Căderea de tensiune la bornele aparatelor feromagnetice este de circa 1 V, Pentru extinderea domeniului de măsurare pînă la cîteva sute de volți, se folosesc rezistențe adiționale. Pentru măsurarea tensiunilor mai mari, se folosesc transformatoarele de tensiune.

B. APARATE ELECTRODINAMICE

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Funcționarea aparatelor electrodinamice se bazează pe acțiunea forțelor electrodinamice ce se exercită între bobine fixe și mobile parcurse de curenți. Din această interacțiune ia naștere cuplul activ care tinde să rotească bobina mobilă.

2. DESCRIEREA APARATULUI

Aparatul electrodinamic este reprezentat în figura 4.3. Dispozitivul pentru producerea cuplului activ este realizat din două bobine fixe 1, legate în serie sau în paralel, printre care trece axul 3 al echipajului mobil pe care este fixată bobina mobilă 2. Cuplul rezistent este creat de două arcuri spirale 8, care servesc și la aducerea curentului la bobina mobilă. Unul dintre arcuri are un capăt fixat la corectorul de zero 5. Pe ax este montat și acul indicator 4, care împreună cu scara gradată formează dispozitivul de citire. Amortizorul este pneumatic, cu paletă sau cu piston (6, 7).

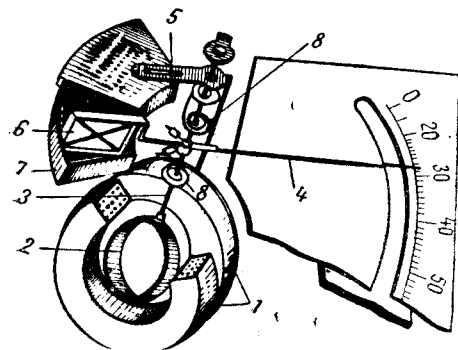


Fig. 4.3. Aparat electrodinamic.

3. FUNCȚIONAREA

● **Cuplul activ.** Aparatele electrodinamice avînd două circuite (bobinele fixe și bobina mobilă), pot fi parcurse de doi

curenți, I_1 prin bobinele fixe și I_2 prin bobina mobilă. Din interacțiunea cîmpurilor create de cei doi curenți, apar forțele electrodinamice care acționează asupra bobinei mobile. Cuplul activ depinde de produsul celor doi curenți.

În curent continuu, cuplul activ va fi:

$$M_a = kI_1I_2. \quad (4.3)$$

În curent alternativ, cuplul activ depinde de produsul valorilor instantanee ale intensităților celor doi curenți:

$$m_a = ki_1i_2. \quad (4.4)$$

În cazul curenților sinusoidali:

$$i_1 = I_1 \sqrt{2} \sin \omega t;$$

$$i_2 = I_2 \sqrt{2} \sin (\omega t + \varphi),$$

unde φ este defazajul dintre cei doi curenți. În acest caz, cuplul activ va fi:

$$\begin{aligned} m &= kI_1 \sqrt{2} \sin \omega t \cdot I_2 \sqrt{2} \sin (\omega t + \varphi) = \\ &= kI_1I_2 [\cos \varphi + \cos (2\omega t + \varphi)] = \\ &= kI_1I_2 \cos \varphi + kI_1I_2 \cos (2\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (4.5)$$

După cum reiese din relația (4.5), cuplul activ are două componente. Cea de-a doua, variînd cosinusoidal în timp, are valoarea medie zero. Rezultă că valoarea medie a cuplului activ este:

$$M_{a \text{ med}} = kI_1I_2 \cos \varphi. \quad (4.6)$$

● Echipajul mobil nu va putea urmări variațiile cuplului activ, ci se va deplasa sub acțiunea cuplului activ mediu, pînă cînd cuplul rezistent devine egal cu cuplul activ.

● Din relația de echilibru $M_a = M_r$, rezultă caracteristica statică de funcționare a aparatelor electrodinamice.

În curent continuu.

$$\alpha = KI_1I_2. \quad (4.7)$$

În curent alternativ.

$$\alpha = KI_1I_2 \cos \varphi. \quad (4.8)$$

4. UTILIZĂRI

Aparatele electrodinamice se pot folosi ca ampermetre, voltmetre sau wattmetre.

● **Ampermetre electrodinamice.** Pentru curenți mici, sub 0,5 A, bobinele fixe și bobina mobilă se leagă în serie (fig. 4.4, a). În acest

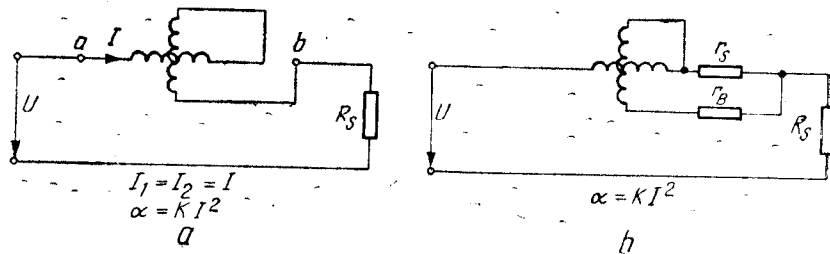


Fig. 4.4. Ampermetru electrodinamic:
a - pentru curenți mici; b - pentru curenți mari.

caz, $I_1 = I_2 = I$ și relațiile (4.7) și (4.8) devin:

$$\alpha = KI^2. \quad (4.9)$$

Relația (4.9) indică o scară pătratică pentru ampermetrele electrodinamice când K este independent de α . În practică, prin soluții constructive adecvate se obține un factor K scăzător cu α , astfel încât scara aparatului se uniformizează (cu excepția primelor repere).

Pentru curenți mai mari se folosește de obicei schema din figura 4.4, b, în care bobina mobilă este legată în serie cu bobina fixă și este montată în paralel cu șuntul r_s . Astfel, prin bobina mobilă trece numai o parte din curentul care străbate bobinele fixe. Rezistența r_B , în serie cu bobina mobilă, are rolul de a evita erorile suplimentare date de variația temperaturii sau de variația frecvenței (rezistența r_B , confecționată din manganină, nu variază cu frecvența, pe când bobina mobilă are înfășurarea din cupru, a cărui rezistență variază cu aproximativ $0,4\%/K$; de asemenea, bobina mobilă prezintă o reactanță inductivă ce variază cu frecvența).

• **Voltmetre electrodinamice.** Voltmetrele electrodinamice se realizează dintr-un miliampermetru electrodinamic în serie cu o rezistență adițională (fig. 4.5). Curentul $I = I_1 = I_2$ ce trece prin bobinele aparatului legate în serie va fi:

$$I = \frac{U}{r_a + r_{ad}}, \quad (4.10)$$

unde:

U este tensiunea de măsurat;

r_a - rezistența bobinelor aparatului legate în serie;

r_{ad} - rezistența adițională.

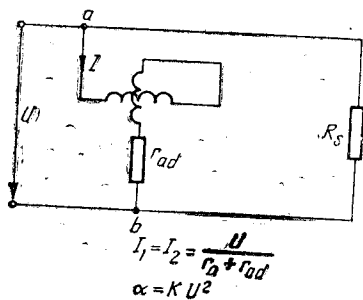


Fig. 4.5. Voltmetru electrodinamic.

Ținând seama de relația (4.10), relațiile (4.7) și (4.8) devin:

$$\alpha = K \left(\frac{U}{r_a + r_{ad}} \right)^2 = K_1 U^2. \quad (4.11)$$

Relația (4.11) indică o scară pătratică când K este independent de α . Și în acest caz, ca și la ampermetre, prin soluții constructive convenabile se poate obține un factor K scăzător cu α , astfel încât scara aparatului să se uniformizeze.

• **Wattmetre electrodinamice.** Cel mai frecvent, aparatele electrodinamice sînt utilizate ca wattmetru. În acest caz, bobina mobilă și bobinele fixe nu se leagă între ele, ci formează circuite independente (fig. 4.6). Bobinele fixe, numite bobine de curent, se leagă în serie în circuit, prin ele trecînd același curent ca și prin sarcină ($I_1 = I$). Bobina mobilă, numită bobină de tensiune, se leagă împreună cu o rezistență adițională în paralel pe circuit astfel încît curentul ce o parcurge este $I_2 = \frac{U}{r + r_{ad}}$, unde r este rezistența bobinei mobile.

În acest caz, relația (4.7) devine:

$$\alpha = KI \frac{U}{r + r_{ad}} = K_1 IU = K_1 P, \quad (4.12)$$

iar relația (4.8) devine:

$$\alpha = KI \frac{U}{r + r_{ad}} \cos \varphi = K_1 IU \cos \varphi = K_1 P. \quad (4.13)$$

În cazul wattmetrelor se poate realiza o scară uniformă, obținînd prin construcție un factor K independent de α .

De obicei, în schemele electrice wattmetrele se figurează printr-un cerc intersectat de o linie orizontală, care reprezintă bobinele fixe, și o linie verticală care reprezintă bobina mobilă (ca în fig. 4.6, b).

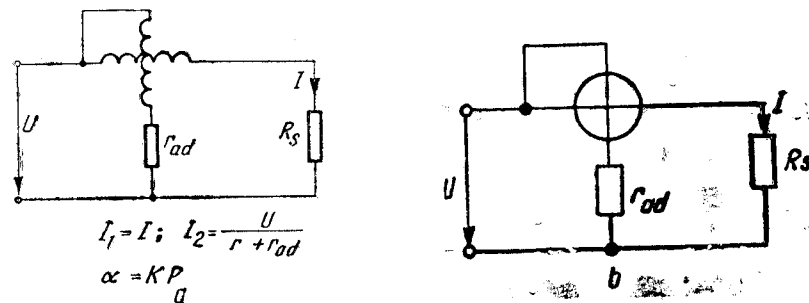


Fig. 4.6. Wattmetru electrodinamic.

5. PROPRIETĂȚI

Aparatele electrodinamice, când sînt folosite ca *wattmetre*, au scară uniformă. Ca *ampermetre* și *voltmetre* au scară neuniformă dar prin soluții constructive convenabile se poate realiza o uniformizare a scării gradate.

Sensibilitatea aparatelor electrodinamice este bună, putîndu-se măsura intensități ale curentului începînd cu ordinul miliamperilor.

Precizia este foarte bună, ele fiind cele mai precise aparate de curent alternativ (începînd cu clasa 0,1). Din acest motiv sînt folosite ca ampermetre și voltmetre etalon și de laborator pentru c.a.

Consumul propriu de putere este foarte mare (2–10 W).

Aparatele electrodinamice funcționează atât în curent continuu, cît și în curent alternativ. În curent alternativ, curentul își schimbă sensul în ambele bobine simultan, astfel încît cuplul activ are mereu același sens.

Indicațiile sînt influențate de frecvența curentului, ceea ce face ca aceste aparate să fie utilizate doar pînă la circa 1 500 Hz.

Aparatele electrodinamice sînt puternic influențate de cîmpurile magnetice exterioare, deoarece cîmpul lor propriu, închizîndu-se prin aer, este slab. Din acest motiv aparatele se ecranează sau se construiesc astatice.

Deoarece curentul este adus la bobina mobilă prin arcurile spirale, aparatele electrodinamice sînt sensibile la suprasarcini.

Datorită construcției complicate, au cost ridicat.

6. PREVENIREA DEFECTIUNILOR ȘI REMEDIERI

- Aparatele electrodinamice sînt sensibile la suprasarcini. De aceea este necesar să se aleagă cu atenție aparatele și demeniile lor de funcționare, corespunzător tensiunilor și intensităților curenților care intervin în timpul măsurărilor.

- La montarea unui *wattmetru* în circuit, bobina de curent trebuie montată în serie, iar bobina de tensiune — în paralel.

- Se reamintește că în cazul în care apar defecțiuni la aparatele de măsurat, se recomandă repararea acestora în laboratoare specializate, și că în urma reparațiilor aparatele trebuie supuse verificărilor metrologice.

C. APARATE FERODINAMICE

Aparatele ferodinamice au același principiu de funcționare ca și aparatele electrodinamice, cu deosebirea că bobinele au miezuri feromagnetice. Datorită acestui fapt, cîmpul magnetic este mai intens,

forțele electrodinamice sporesc, ceea ce face ca sensibilitatea aparatelor să fie mai mare. În schimb, precizia scade datorită pierderilor în fier, a fenomenului de histeresis și a curenților turbionari ce iau naștere în miezul magnetic.

Cîmpul propriu fiind mai puternic, aparatele ferodinamice sînt mai puțin influențate de cîmpurile exterioare.

Aparatele ferodinamice sînt foarte răspîndite și se folosesc, de obicei, ca *wattmetre* sau *varmetre*.

D. APARATE CU REDRESOR ȘI APARATE UNIVERSALE

Aparatul cu redresor este alcătuit dintr-un aparat magnetoelectric și un redresor.

Dintre toate tipurile de aparate de măsurat electrice, aparatul magnetoelectric prezintă proprietățile cele mai avantajoase, dar funcționează numai în curent continuu. Asociindu-se un aparat magnetoelectric cu un redresor, se obține un aparat care păstrează calitățile aparatului magnetoelectric (sensibilitatea mare, consum de putere redus, puțin influențat de cîmpurile exterioare), dar care funcționează în curent alternativ.

- Redresorul este un dispozitiv care lasă să treacă curentul într-un singur sens, transformînd în acest mod curentul alternativ în curent continuu pulsatoriu. Caracteristica curent-tensiune a unui element redresor este reprezentată în figura 4.7, în care se vede că la aplicarea unor tensiuni pozitive elementul redresor lasă să treacă curentul electric, în timp ce la aplicarea unor tensiuni negative intensitatea curentului este mult mai mică, practic neglijabilă (pentru valorile negative intensitatea curentului este de ordinul microamperilor).

Ca elemente redresoare se folosesc redresoare cu cuproxid sau diode semiconductoră.

- Elementele redresoare se asociază cu aparatul magnetoelectric în diferite scheme de redresare. Astfel se întîlnesc:

- scheme cu redresarea unei singure alternanțe:

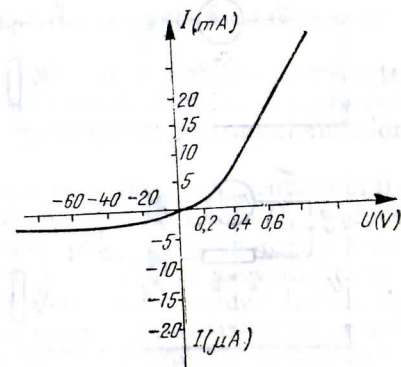


Fig. 4.7. Caracteristica curent-tensiune a unui element redresor.

- fără transformator;
- cu transformator;
- scheme cu redresarea ambelor alternanțe:
- cu transformator cu priză mediană;
- în punte.

1. APARATE CU REDRESOR CU REDRESAREA UNEI SINGURE ALTERNANȚE

În figura 4.8 sînt reprezentate scheme ale aparatelor care folosesc redresarea unei singure alternanțe.

Cea mai simplă, cea din figura 4.8, a, constă dintr-un redresor R în serie cu un aparat magnetoelectric. La aplicarea unei tensiuni alternative la bornele acestui circuit, redresorul permite trecerea curentului într-un singur sens (numai în cursul unei alternanțe). În cealaltă alternanță, redresorul prezintă o rezistență foarte mare, ceea ce face ca aproape toată tensiunea să se regăsească la bornele sale. Această situație ar putea duce la străpungerea redresorului. De asemenea, în timpul alternanței în care redresorul nu conduce, curentul în circuit se întrerupe.

Pentru a evita aceste fenomene, în practică se utilizează schema din figura 4.8, b. În această schemă se conectează, în paralel cu redresorul R_1 și cu aparatul magnetoelectric, încă un redresor, R_2 , cu polaritate inversă, în serie cu o rezistență r_0 egală cu rezistența r_a a aparatului magnetoelectric.

În figura 4.8, c este reprezentată schema cu transformator.

În toate cele trei scheme menționate, la aplicarea unei tensiuni sinusoidale curentul trece prin aparatul magnetoelectric numai în timpul unei singure alternanțe, deci are o formă pulsatorie. Cuplul

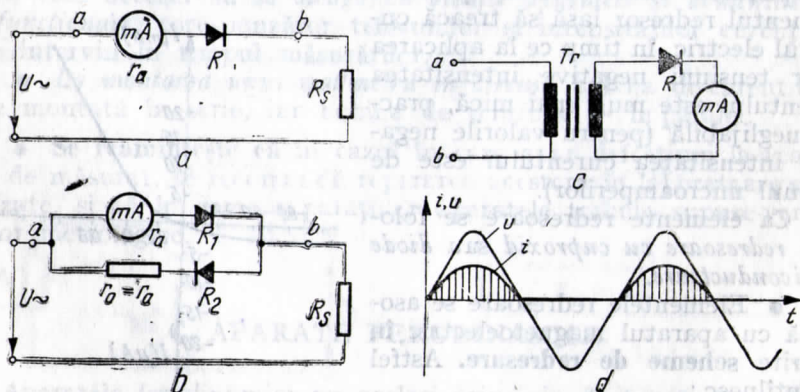


Fig. 4.8. Aparate cu redresor cu redresarea unei singure alternanțe:

a - cu o diodă; b - cu două diode; c - cu transformator; d - diagramele curentului și tensiunii în cazul redresării unei singure alternanțe.

activ, care este proporțional cu intensitatea curentului, are aceeași formă de variație în timp. Inerția echipajului mobil nu permite urmărirea acestor variații, ci doar a valorii medii. Cuplul activ mediu este proporțional cu valoarea medie a curentului și, ca urmare, indicația aparatului va fi:

$$\alpha = KI_{med} \quad (4.14)$$

Deci, *aparatele cu redresor au indicațiile proporționale cu valoarea medie a intensității curentului electric.*

În practică însă, de cele mai multe ori, este necesar să se măsoare valoarea eficace a intensității curentului. În acest scop, scara gradată a aparatelor cu redresor se transcrie în valori eficace, folosind un factor de proporționalitate care depinde de forma curentului.

Astfel, în curentul alternativ sinusoidal

$$I_{med} = \frac{I_{max}}{\pi} \text{ și } I_{max} = \sqrt{2} I_{ef}, \text{ deci } I_{med} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{ef}.$$

Înlocuind în expresia (4.14) valoarea I_{med} , se obține:

$$\alpha = K \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{ef} = K_1 I_{ef} \quad (4.15)$$

Pe baza relației (4.15), aparatele cu redresor se pot etalona în valori eficace.

○ **Atenție!** Această etalonare este valabilă numai pentru curenți de formă sinusoidală.

2. APARATE CU REDRESOR CU REDRESAREA AMBELOR ALTERNANȚE

Aparatele care folosesc scheme cu redresarea ambelor alternanțe se caracterizează printr-o sensibilitate mai bună, întrucît la aplicarea unei tensiuni alternative curentul trece prin aparat în timpul ambelor alternanțe în același sens (fig. 4.9).

În *schema cu transformator cu priză mediană*, reprezentată în figura 4.9, a, dioda D_1 conduce într-o alternanță, iar dioda D_2 conduce în cealaltă. De fiecare dată curentul trece prin aparat în același sens.

În *schema în punte* din figura 4.9, b, în timpul unei alternanțe conduc diodele D_1 și D_3 , iar în timpul celeilalte conduc diodele D_2 și D_4 . Schema din figura 4.9, c este mai economică deoarece utilizează doar două diode, însă are o sensibilitate mai redusă, curentul derivîndu-se și prin rezistențele R montate în punte.

După cum se vede în figura 4.9, d, într-o perioadă prin aparat trec două impulsuri de curent. Dacă s-a notat cu I_{med} valoarea medie

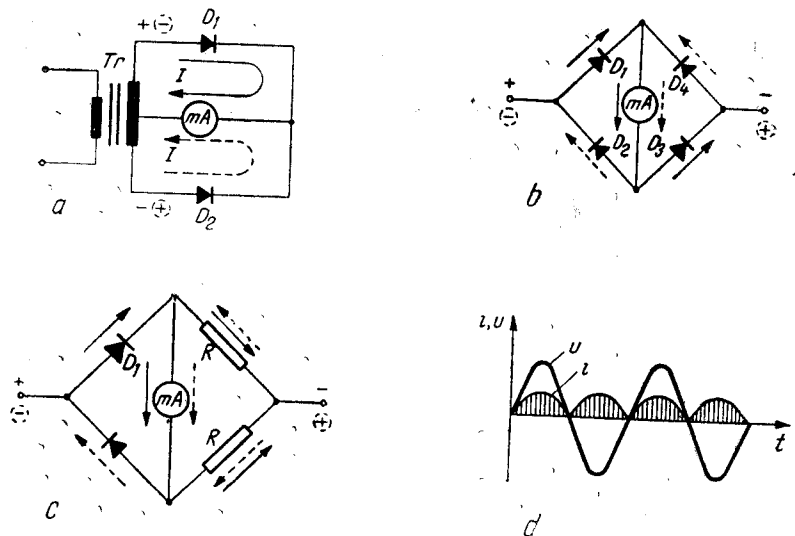


Fig. 4.9. Apparate cu redresor cu redresarea ambelor alternanțe:

a - cu transformator cu priză mediană; b - în punte cu patru diode; c - în punte cu două diode; d - diagramele curentului și tensiunii în cazul redresării ambelor alternanțe.

corespunzătoare unei alternanțe, în cazul aparatelor cu redresarea ambelor alternanțe $\alpha = 2K \cdot I_{med}$, deci la aceeași valoare a curentului de măsurat indicația este de două ori mai mare și ca urmare sensibilitatea este dublă.

3. APARATE UNIVERSALE (MULTIMETRE)

Aparatele universale, care se numesc și *multimetre*, sînt aparate destinate să măsoare diferite mărimi electrice. Ele folosesc ca instrument indicator un aparat magnetoelectric însoțit de un redresor. Aparatele universale se realizează într-o mare varietate de tipuri constructive, care pot fi clasificate după posibilitățile de măsurare în: *voltampermetre*, *avometre* și *aparate universale complexe*.

a. Voltampermetre

Voltampermetrele sînt cele mai simple aparate universale. După cum le spune și numele, ele măsoară tensiuni electrice și intensități ale curentului electric. Folosind diferite rezistențe adiționale și diferite șunturi (de obicei șunt universal), ele funcționează cu mai multe intervale de măsurare. Se pot utiliza atît în curent continuu, folosind aparatul magnetoelectric fără redresor, cît și în curent alterna-

tiv cînd, prin intermediul unui comutator, se introduce redresorul. Un exemplu de voltampermetru este reprezentat în figura 4.10.

b. Avometre

Avometrele (amper-volt-ohm-metre) îndeplinesc toate funcțiile voltampermetrelor și în plus pot funcționa ca ohmmetre cu una sau mai multe limite de măsurare. În acest scop, ele sînt dotate cu o baterie chimică pentru alimentarea circuitului de ohmmetru și cu o rezistență variabilă pentru reglarea aparatului înainte de utilizare.

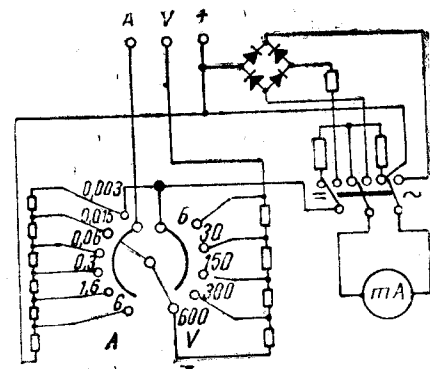


Fig. 4.10. Voltampermetru pentru c.c. și c.a.

c. Aparate universale complexe

În prezent se construiesc aparate universale complexe care, în afara măsurărilor posibile cu avometrul, mai permit și alte măsurări cum ar fi: măsurarea capacităților, măsurări în decibeli, măsurarea tranzistoarelor etc.

Aparatele universale se caracterizează prin numărul de mărimi ce pot fi măsurate, prin limitele de măsurare corespunzătoare diferitelor mărimi, prin precizia și sensibilitatea lor.

Calitatea aparatelor universale se apreciază prin cea mai mică limită de măsurare pentru intensitatea curentului continuu ($10 \mu A$, $20 \mu A$, $50 \mu A \dots$) sau prin rezistența adițională exprimată în Ω/V .

Aparatele universale de bună calitate au valori ale rezistenței adiționale între $10\ 000 \Omega/V$ și $100\ 000 \Omega/V$.

În țara noastră se construiesc diferite aparate universale (multimetre) la *Întreprinderea de Aparate Electrice de Măsurat (I.A.E.M.)* din Timișoara. Un exemplu este multimetrul tip MAVO-1 care permite:

- măsurarea intensității curentului continuu;
- măsurarea tensiunii continue;
- măsurarea tensiunii alternative;
- măsurarea rezistențelor.

Cînd este folosit ca voltmetru, aparatul prezintă o rezistență de $20\ 000 \Omega/V$ în c.c. și de $5\ 000 \Omega/V$ în c.a.

⚠ **Atenție!** Multimetrele fiind de obicei aparate portabile, pentru prevenirea accidentelor trebuie acordată o deosebită atenție manevrării lor.

1) La multimetrele industriale, izolația dintre partea de circuite și carcasa este încercată în fabrică la o tensiune de ordinul kilovolților, astfel că aparatele prezintă garanție în funcționare, nefiind pericol de electrocutare la atingerea carcasei. Este însă interzis a se atinge părți neizolate ale aparatelor (borne, capetele libere ale cordoanelor), în timp ce acestea se află sub tensiune.

2) La utilizarea aparatelor, o atenție deosebită se va acorda cordoanelor de măsurare, ce leagă aparatul de circuitul de măsurat. De obicei, multimetrele se livrează cu cordoane speciale de măsurare. Acestea trebuie verificate înaintea fiecărei măsurări, iar cele găsite defecte trebuie reparate. Este interzisă folosirea cordoanelor defecte sau a unor cordoane improvizate.

3) Pentru măsurare se vor monta întâi cordoanele în multimetru și numai după aceea ansamblul se va conecta în circuitul de măsurat. La deconectare ordinea va fi inversă; întâi se va deconecta din circuitul de măsurat ansamblul cordoane-multimetru și numai după aceea se vor putea demonta cordoanele de la multimetru.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. De ce aparatele feromagnetice sînt foarte răsbindite?
2. De ce aparatele electrodinamice se folosesc ca ampermetre și voltmetre etalon și de laborator?
3. Care dintre aparatele studiate se pot folosi ca wattmetre și de ce?
4. Ce motive au dus la asocierea aparatului megnetoelectric cu un redresor?
5. Dacă un aparat cu redresor are scara gradată în valori eficiente, poate fi folosit a măsurarea unor curenți de formă dreptunghiulară? Dar dacă scara este gradată în valori medii?
6. Prin ce se caracterizează un multimetru? Dar calitatea lui prin ce se apreciază?
7. Care este deosebirea dintre voltampermetru și un avometru?

MĂSURAREA PUTERII ELECTRICE

A. NOȚIUNI GENERALE

Puterea reprezintă energia consumată în unitatea de timp:

$$P = \frac{W}{t} \quad (5.1)$$

Unitatea de măsură pentru putere în Sistemul Internațional (SI) este *wattul*, avînd ca simbol *W*.

În c.c. întreaga energie absorbită de un consumator de la o sursă se consumă, în sensul că se transformă în alte forme de energie (calorică, mecanică, luminoasă etc.).

În c.a. nu întotdeauna întreaga energie absorbită de la sursă se consumă. În cazul circuitelor ce conțin componentele reactive (bobine sau condensatoare) o parte din energie se înmagazinează sub formă de energie reactivă. Avînd în vedere acest lucru, în c.a. se deosebesc următoarele tipuri de puteri electrice:

- putere aparentă;
- putere activă;
- putere reactivă.

Puterea aparentă este egală cu produsul dintre valoarea eficientă a tensiunii la care se alimentează consumatorul și valoarea eficientă a intensității curentului ce trece prin consumator:

$$S = UI \quad (5.2)$$

Unitatea de măsură pentru puterea aparentă este *voltamperul* [VA].

Puterea activă reprezintă puterea consumată (transformată în alte forme de energie) și este egală cu produsul dintre valoarea eficientă a tensiunii, valoarea eficientă a intensității curentului și cosinusul unghiului φ , de defazaj dintre tensiune și curent:

$$P = UI \cos \varphi \quad (5.3)$$

Unitatea de măsură pentru puterea activă este *wattul* [W].

Puterea reactivă reprezintă energia care circulă între generator și receptor în unitatea de timp, fără a se transforma în alte forme de ener-

gie. Această energie este înmagazinată de componentele reactive sub formă de câmp electric în cazul condensatoarelor sau de câmp electromagnetic în cazul bobinelor. Puterea reactivă este egală cu produsul dintre valoarea eficace a tensiunii, valoarea eficace a intensității curentului și sinusul unghiului φ , de defazaj între tensiune și curent:

$$Q = UI \sin \varphi. \quad (5.4)$$

Unitatea de măsură pentru puterea reactivă este *varul* [var]. Între puterile aparentă, activă și reactivă există relația:

$$S^2 = P^2 + Q^2. \quad (5.5)$$

B. MĂSURAREA PUTERII ELECTRICE ÎN C.C.

1. METODA AMPERMETRULUI ȘI VOLTMETRULUI

În c.c. puterea se poate calcula cu relația:

$$P = U \cdot I. \quad (5.6)$$

Pornind de la această relație, se poate deduce că puterea consumată în c.c. de un receptor având rezistența electrică R se poate măsura cu un voltmetru și un ampermetru folosind un montaj ca în figura 5.1. Voltmetrul se va monta fie *în amonte* (comutatorul K pe poziția a), fie *în aval* (comutatorul K pe poziția b), în funcție de mărimea rezistenței R . Când $R \gg r_a$ (r_a fiind rezistența ampermetrului) se va folosi varianta amonte. Când $R \ll r_v$ (r_v fiind rezistența voltmetrului) se va folosi varianta aval.

● În varianta amonte, voltmetrul va indica $U = U_R + U_a$, iar ampermetrul va indica $I = I_R$. Citind indicațiile voltmetrului și ampermetrului și aplicând relația (5.6), se obține:

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I = (U_R + U_a)I = \\ &= U_R I + U_a I = I^2 R + \\ &+ I^2 r_a = P_R + P_a, \end{aligned}$$

unde P_R este puterea consumată de receptorul R , iar P_a este puterea consumată de ampermetru. Dacă $R \gg r_a$, atunci $P_a \gg P_R$ și se poate considera cu o eroare acceptabilă $P \cong P_R$.

● În varianta aval, ampermetrul măsoară $I = I_R +$

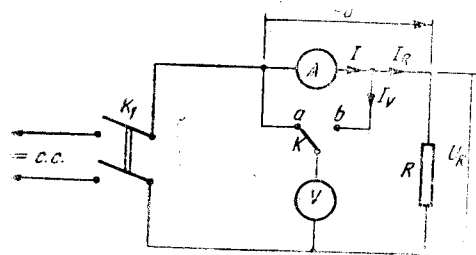


Fig. 5.1. Măsurarea puterii în c.c. cu ampermetrul și voltmetrul.

+ I_v , iar voltmetrul $U = U_R$. Citind indicațiile ampermetrului și voltmetrului și aplicând relația (5.6), se obține:

$$P = U \cdot I = U(I_R + I_v) = U \cdot I_R + U \cdot I_v = \frac{U^2}{R} + \frac{U^2}{r_v} = P_R + P_v,$$

unde P_R este puterea consumată de receptorul R , iar P_v este puterea consumată de voltmetru. Dacă $R \ll r_v$, atunci $P_v \ll P_R$ și se poate considera cu o eroare acceptabilă $P \cong P_R$.

2. MĂSURAREA CU WATTMETRUL ELECTRODINAMIC SAU FERODINAMIC

După cum se știe din capitolul IV, indicația aparatelor electrodinamice și ferodinamice în c.c. este proporțională cu produsul intensităților curenților ce străbat bobinele fixe și mobile ale aparatelor:

$$\alpha = K \cdot I_1 \cdot I_2. \quad (5.7)$$

Dacă bobinele fixe, numite și bobine de curent, se montează în serie cu consumatorul, $I_1 = I$ și dacă bobina mobilă, numită și bobină de tensiune, împreună cu o rezistență adițională, r_{ad} , se montează în paralel cu consumatorul, atunci $I_2 = U/r_{ad}$ și relația (5.7) devine:

$$\alpha = KI \frac{U}{r_{ad}} = K_1 I U = K_1 P. \quad (5.8)$$

Relația (5.8) arată că indicația aparatelor electrodinamice și ferodinamice este proporțională cu puterea electrică și ca urmare ele se pot grada direct în wați, obținându-se o *scară uniformă*.

○ Montajul utilizat pentru măsurarea puterii electrice cu wattmetrul electrodinamic sau ferodinamic este cel din figura 5.2.

○ Observație. Deoarece la wattmetre există pericolul de supraîncărcare chiar dacă indicația aparatului este sub limita de măsurare (valorile lui I sau U pot depăși valorile nominale chiar dacă produsul IU este în limite normale), la utilizarea wattmetrului este necesar să se monteze un ampermetru în serie și un voltmetru în paralel cu ajutorul cărora să se poată urmări încărcarea wattmetrului.

Se observă că și în cazul montajului din figura 5.2 se poate alege varianta amonte (K pe poziția a) sau aval (K pe

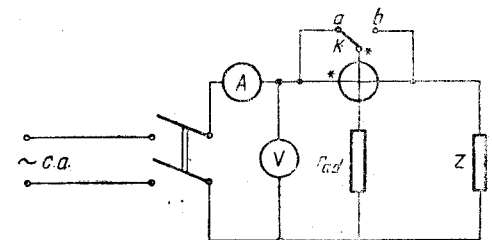


Fig. 5.2. Măsurarea puterii în c.c. cu wattmetrul electrodinamic.

poziția b) după aceleași criterii ca și la metoda ampermetrului și voltmetrului.

● **Montarea wattmetrului în circuit.** Pentru a obține o indicație corectă în sensul că acul indicator să se deplaseze de la stînga la dreapta, este necesar să se respecte o anumită ordine de legare a celor două bobine. În acest scop, wattmetrele sînt prevăzute cu cîte o bornă marcată printr-un semn distinctiv atît la bobina de curent, cît și la bobina de tensiune. Bornele marcate se vor lega întotdeauna spre sursă, ca în figura 5.2.

● **Wattmetre cu mai multe domenii de măsurare.** Wattmetrele cu mai multe domenii de măsurare sînt prevăzute cu mai multe domenii pentru intensitatea curentului electric și mai multe domenii pentru tensiune (de exemplu: $I_1 = 0,5 \text{ A}$; $I_2 = 1 \text{ A}$; $U_1 = 150 \text{ V}$; $U_2 = 300 \text{ V}$).

Pentru a putea determina puterea măsurată de wattmetru, este necesar să se cunoască constanta K_W a wattmetrului, corespunzătoare domeniilor alese pentru intensitatea curentului și pentru tensiune. Constanta K_W reprezintă puterea corespunzătoare unei diviziuni a scării gradate. Dacă wattmetrul are α_{max} diviziuni, de exemplu $\alpha_{max} = 150 \text{ div}$, constanta K_W se calculează cu relația:

$$K_W = \frac{I_n \cdot U_n}{\alpha_{max}} \left[\frac{\text{W}}{\text{div}} \right], \quad (5.9)$$

unde:

I_n este domeniul de măsurare ales pentru intensitatea curentului;

U_n — domeniul de măsurare ales pentru tensiune;

α_{max} — numărul maxim de diviziuni ale scării gradate.

Puterea măsurată de wattmetru, în cazul în care acul indicator arată α diviziuni, va fi:

$$P = K_W \cdot \alpha. \quad (5.10)$$

C. MĂSURAREA PUTERII ELECTRICE ÎN CIRCUITE DE C.A. MONOFAZAT

1. MĂSURAREA PUTERII APARENTE

Avînd în vedere că puterea aparentă este egală cu produsul dintre intensitatea curentului absorbit de un consumator și tensiunea la care se alimentează consumatorul, se poate deduce că măsurarea acesteia se poate realiza cu un voltmetru și un ampermetru. Montajul folosit este reprezentat în figura 5.3. După cum se observă, și în cazul

acestui montaj ca și în cel reprezentat în figura 5.1, se poate alege *varianta amonte* sau *varianta aval*, în funcție de impedanța consumatorului Z . Citind indicațiile ampermetrului și voltmetrului și neglijînd puterile absorbite

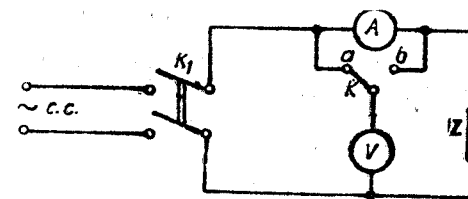


Fig. 5.3. Măsurare puterii aparente.

de cele două aparate (în cazul alegerii corecte a variantei aval sau amonte), puterea aparentă se poate calcula cu relația:

$$S = U \cdot I.$$

2. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE

Puterea activă se poate măsura cu *wattmetrul electrodinamic* sau *ferodinamic*. În c.a., după cum s-a arătat în capitolul IV, indicația aparatelor electrodinamice și ferodinamice este:

$$\alpha = K \cdot I_1 \cdot I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}). \quad (5.11)$$

Dacă, la fel ca în c.a., se va monta un astfel de aparat cu bobinele fixe în serie cu consumatorul, iar bobina mobilă împreună cu o rezistență adițională se va monta în paralel cu consumatorul, atunci

$$I_1 = I, \quad I_2 = \frac{U}{r_{ad}} \text{ și relația (5.11) devine:}$$

$$\alpha = K \cdot I \cdot \frac{U}{r_{ad}} \cos(\widehat{IU}) = K_1 \cdot IU \cos\varphi = K_1 P. \quad (5.12)$$

Relația (5.12) arată că în c.a. indicația aparatelor electrodinamice și ferodinamice este proporțională cu puterea activă și, ca urmare, ele pot fi folosite ca wattmetre.

Montarea wattmetrelor în circuit se va face ca în figura 5.4, alegînd *varianta amonte* sau *aval*, în funcție de mărirea consumatorului Z , avînd grijă ca bornele marcate să fie legate spre sursă.

Cînd wattmetrele au mai multe domenii de măsurare, se va proceda ca și în cazul măsurării puterii în c.c.

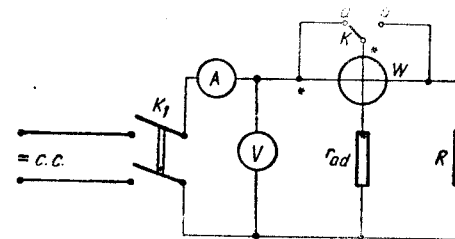


Fig. 5.4. Măsurarea puterii active cu wattmetrul electrodinamic.

3. MĂSURAREA PUTERII REACTIVE

Puterea reactivă se poate măsura fie *indirect*, fie *direct* cu aparate a căror scară este gradată în vari, numite varmetre.

● **Metoda indirectă.** Cunoscând relația (5.5) care leagă între ele puterile aparente, activă și reactivă, puterea reactivă se poate determina măsurând puterea aparentă prin metoda ampermetrului și voltmetrului, puterea activă cu wattmetrul electrodinamic sau ferodinamic și aplicând relația:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

Metoda indirectă se folosește mai rar, deoarece nu dă rezultate precise din cauza numărului mare de aparate întrebuițate și a consumului acestora.

● **Măsurarea puterii reactive cu varmetrul.** Puterea reactivă se poate măsura direct cu aparate numite *varmetre*. Varmetrele sînt realizate tot cu aparate electrodinamice sau ferodinamice, dar, spre deosebire de wattmetre, varmetrele au în serie cu bobina mobilă în loc de rezistență adițională o bobină sau un condensator, care introduc un defazaj suplimentar de 90° .

După cum se știe, puterea reactivă este dată de relația:

$$Q = KI \sin \varphi,$$

iar indicația aparatelor electrodinamice și ferodinamice este:

$$\alpha = KI_1 I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}).$$

unde I_1 este intensitatea curentului care trece prin bobina fixă, iar I_2 este intensitatea curentului care trece prin bobina mobilă. Dacă un aparat electrodinamic sau ferodinamic se montează cu bobina fixă în serie cu consumatorul, iar bobina mobilă împreună cu o bobină adițională de inducție mare se montează în paralel cu consumatorul

(fig. 5.5, a), atunci $I_1 = I$, $I_2 = \frac{U}{L\omega}$, iar unghiul de defazaj între

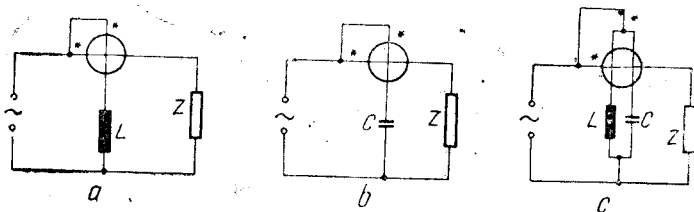


Fig. 5.5. Varmetre electrodinamice:

a - cu bobină adițională; b - cu condensator adițional; c - compensat.

I_1 și I_2 devine $90^\circ - \varphi$, deoarece bobina adițională defazează curentul în urma tensiunii, cu 90° . În acest caz indicația devine:

$$\alpha = KI \frac{U}{L\omega} \cos(90^\circ - \varphi) = K \frac{1}{L\omega} IU \sin \varphi = \frac{K}{L\omega} Q. \quad (5.13)$$

Relația (5.13) arată că în cazul în care în locul rezistenței adiționale se montează o bobină adițională, indicația aparatelor electrodinamice și ferodinamice este proporțională cu puterea reactivă, deci ele funcționează ca varmetre.

Dacă în serie cu bobina mobilă se montează un condensator de capacitate C (fig. 5.5. b), indicația devine:

$$\alpha = KIUC\omega \cos(90^\circ + \varphi) = KIUC\omega \sin \varphi = KC\omega Q. \quad (3.14)$$

După cum se observă, și în cazul bobinei adiționale și în cazul condensatorului adițional, indicația depinde de frecvență. Pentru a se micșora influența frecvenței asupra indicațiilor, se construiesc *varmetre compensate*, cu două bobine de tensiune cuplate pe același ax, una dintre ele în serie cu o bobină, iar cealaltă în serie cu un condensator (fig. 5.5, c). În acest caz se obține:

$$\alpha = K \left(\frac{1}{L\omega} + C\omega \right) Q.$$

La varmetrele compensate, în jurul frecvenței pentru care este îndeplinită condiția $LC\omega^2 = 1$ indicațiile sînt foarte puțin influențate de frecvență.

Montarea varmetrelor în circuit este asemănătoare cu montarea wattmetrelor, fiind necesară montarea bornelor marcate spre sursă. La o montare corectă varmetrul va indica în sensul normal dacă defazajul dintre U și I este inductiv și în sens contrar dacă defazajul este capacitiv. În acest ultim caz, se vor inversa bornele uneia dintre bobine.

MĂSURAREA ENERGIEI ELECTRICE ÎN CIRCUITE DE C.A. MONOFAZAT

A. NOȚIUNI GENERALE

În capitolul precedent s-a definit puterea prin energia consumată în unitatea de timp. Dacă puterea rămâne constantă într-un anumit interval de timp $t_2 - t_1$, se poate considera energia consumată în intervalul respectiv de timp ca fiind:

$$W = P(t_2 - t_1).$$

În general însă, în practică puterea nu rămâne constantă. În acest caz, se poate împărți intervalul de timp $t_1 - t_2$ în intervale mici de timp Δt , în care să se considere că puterea rămâne constantă. În această ipoteză, energia activă consumată în intervalul de timp $t_2 - t_1$ se poate considera a fi egală cu suma energiilor active elementare consumate în intervalele Δt . Deci:

$$W = \sum_{k=1}^n P_k \Delta t_k \quad (6.1)$$

unde:

$$\sum_{k=1}^n \Delta t_k = t_2 - t_1.$$

În mod analog se poate defini *energia reactivă* ca fiind:

$$W_r = \sum_{k=1}^n Q_k \Delta t_k \quad (6.2)$$

Unitatea de măsură pentru energia activă este *wattsecunda*, iar pentru energia reactivă este *varsecunda*. În practică se folosesc multiplii wattoră și kilowattoră și respectiv: varoră și kilovaroră.

Energia electrică se măsoară cu aparate numite *contoare*. Contoarele sînt alcătuite dintr-un *dispozitiv wattmetric* al cărui cuplu activ este proporțional cu puterea și un *mecanism integrator* care însumează energiile elementare într-un anumit interval de timp.

În funcție de mărimea măsurată, contoarele pot fi *de energie activă sau de energie reactivă*.

În funcție de principiul de funcționare, contoarele pot fi electrodinamice sau de inducție. Cel mai răspîndit contor este contorul de inducție. El funcționează însă numai în c.a. Pentru măsurarea energiei în c.c. se folosesc contoare electrodinamice.

B. CONTORUL DE INDUCȚIE

Contorul de inducție, reprezentat în figura 6.1, se compune dintr-un dispozitiv de inducție și un mecanism integrator.

1. DISPOZITIVUL DE INDUCȚIE

● **Principiul de funcționare** a dispozitivului de inducție constă în acțiunea cîmpurilor magnetice create de circuite inductoare fixe, asupra curenților pe care aceste circuite îi induc în piese conductoare mobile. Din interacțiunea dintre cîmpurile magnetice și curenții induși, apare un cuplu activ care pune în mișcare piesa mobilă.

● Dispozitivul de inducție folosit în contoarele de c.a. este realizat dintr-un disc de aluminiu ce se poate roti în jurul unui ax vertical și doi electromagneți (un electromagnet de curent I și un electromagnet de tensiune U).

● **Funcționarea.** Electromagnetul de curent se montează în serie cu consumatorul deci este parcurs de curentul I din circuit. El produce un flux Φ_I , care străbate de două ori discul în sensuri contrare. Electromagnetul de tensiune este montat în paralel cu consumatorul, deci este alimentat cu tensiunea de la bornele consumatorului. El crează un flux Φ_U , care străbate discul o singură dată. Fluxurile Φ_U și Φ_I induc curenții în disc.

Datorită interacțiunii dintre curenții induși și fluxuri, ia naștere un cuplu activ care

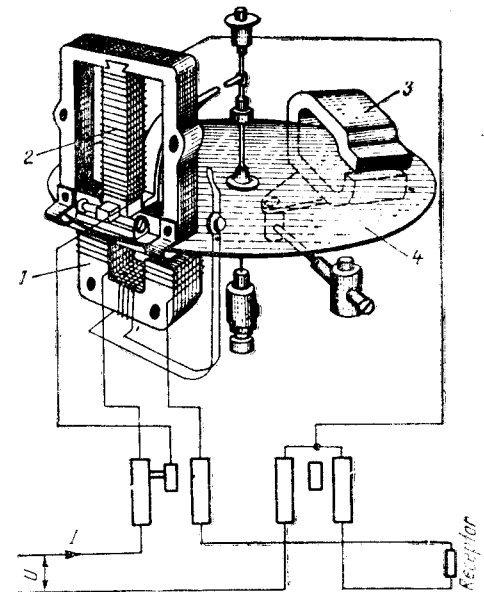


Fig. 6.1. Contor de inducție monofazat.

pune în mișcare discul. Se poate demonstra că acest cuplu activ este proporțional cu cele două fluxuri și cu sinusul unghiului α de defazaj între ele:

$$M_U = K\Phi_I\Phi_U \sin \alpha.$$

Pentru ca să se obțină un cuplu activ proporțional cu puterea activă, $P = UI \cos \varphi$, unde φ este defazajul dintre tensiune și curent, dispozitivul de inducție se realizează astfel încît fluxul Φ_I să fie proporțional cu I și aproximativ în fază cu I , iar fluxul Φ_U să fie proporțional cu U și defazat cu aproximativ $\frac{\pi}{2}$ față de U . În acest scop

bobina electromagnetului de tensiune se realizează cu inductanță mare.

Ținînd seama că între I și U există defazajul φ și că între Φ_U și U s-a creat un defazaj de $\frac{\pi}{2}$ unghiul dintre cele două fluxuri devine:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi.$$

Avînd în vedere cele de mai sus, se poate scrie:

$$M_a = K\Phi_U\Phi_I \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = K_1UI \cos \varphi = K_1P. \quad (6.3)$$

Rezultă deci că se obține un cuplu activ proporțional cu puterea activă din circuit.

Cuplului activ i se opune un cuplu de frînare, realizat cu un magnet permanent 3. Cînd discul se rotește cu o viteză de rotație n , intersectează liniile de cîmp ale magnetului permanent și iau naștere în disc curenți induși proporțional cu viteza de rotație n . Din interacțiunea acestor curenți cu fluxul creat de magnetul permanent, se obține un cuplu de frînare proporțional și el cu viteza de rotație a discului:

$$M_f = K_2n. \quad (6.4)$$

Cînd cuplul de frînare devine egal cu cuplul activ, discul se rotește cu viteză constantă. În acest caz:

$$M_a = M_f,$$

adică:

$$K_1P = K_2n, \quad (6.5)$$

de unde:

$$n = \frac{K_1}{K_2} P = K_3P.$$

Relația (6.5) arată că viteza de rotație a discului este proporțională cu puterea activă.

Numărul total de rotații $N = n(t_2 - t_1)$ pe care le face discul într-un interval de timp este proporțional cu suma energiilor elemen-

tare consumate în intervalul de timp respectiv, adică:

$$N = n(t_2 - t_1) = K_3P(t_2 - t_1) = K_3W;$$

$$W = \frac{1}{K_3} N = CN.$$

Constanta C se numește *constanta reală a contorului*. În practică se folosește frecvent inversul acestei constante:

$$C_n = \frac{1}{C} = \frac{N}{W} \left[\frac{\text{rot}}{\text{kWh}} \right].$$

C_n se numește constanta nominală a contorului și reprezintă numărul de rotații pe care le face discul pentru un consum de energie egal cu 1 kWh. De obicei această constantă este înscrisă pe carcasa contorului. De exemplu: $C_n = 480 \text{ rot/kWh}$.

2. MECANISMUL INTEGRATOR

Mecanismul integrator realizat cu roți dințate conține un sistem de transmisie și un dispozitiv de înregistrare. Sistemul de transmisie este astfel alcătuit încît la un număr de rotații ale discului egal cu constanta nominală, să se transmită primei roți a dispozitivului de înregistrare o mișcare egală cu o zecime de rotație. Cînd această roată, care indică unitățile, face o rotație completă, a doua roată dințată care indică zecile se va roti cu o zecime de rotație ș.a.m.d.

3. CONECTAREA CONTOARELOR ÎN CIRCUIT

Conectarea contoarelor în circuit se face conform aceluiași scheme ca și în cazul wattmetrelor.

Pentru măsurarea energiilor reactive se folosesc contoare de energie reactivă, la care cuplul activ este proporțional cu puterea reactivă.

Contoarele de energie uzuale sînt de clasa de precizie 2. Există și contoare de clasa 1 sau 0,5 folosite ca etaloane sau în scopuri speciale.

Tensiunea nominală a contoarelor monofazate este de 220 V, iar curenții nominali sînt de 10 A sau de 5 A.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. La măsurarea puterilor electrice, cînd se va alege varianta amonte? dar varianta aval?
2. Ce se întîmplă cînd bornele marcate ale wattmetrului nu sînt legate corect în circuit?
3. De ce la utilizarea wattmetrelor electrodinamice se recomandă să se folosească în montaj și un ampermetru și un voltmetru?
4. La măsurarea puterii active cu un wattmetru care are scara gradată cu 100 diviziuni, se alege $I_n = 0,5 \text{ A}$ și $U_n = 300 \text{ V}$. Ce putere se va măsura cînd acul indicator arată 40 diviziuni? Dar cînd arată 74 diviziuni?
5. Ce deosebiri pot exista între un wattmetru electrodinamic și un varmetru electrodinamic?
6. Un contor are constanta nominală $C_n = 480 \text{ rot/kWh}$. Cîte rotații a făcut discul de aluminiu, dacă se înregistrează un consum de energie egal cu 275 kWh?

TRANSFORMATOARE DE MĂSURAT

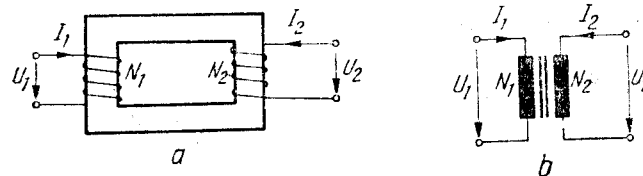


Fig. 7.1. Transformatorul:
— principiu; b — reprezentare.

Transformatoarele de măsurat sînt transformatoare electrice speciale, larg utilizate în tehnica măsurărilor datorită următoarelor avantaje:

- permit extinderea intervalelor de măsurare ale aparatelor de măsurat utilizate în curent alternativ (ampermetre, voltmetre, wattmetre, varmetre, contoare etc.);
- asigură protecția personalului de deservire, prin izolarea aparatelor de măsurat față de circuitele de înaltă tensiune;
- permit standardizarea aparatelor de măsurat pentru anumite valori adoptate la fabricarea în serie a acestora: 5 A sau 1 A pentru ampermetre și 100 V sau 110 V pentru voltmetre.

După mărimea pe care o reduc, transformatoarele de măsurat se împart în *transformatoare de curent* și *transformatoare de tensiune*.

Uneori ele sînt numite „reducătoare” de curent sau de tensiune.

Principiul de funcționare al acestor transformatoare este asemănător cu cel al transformatoarelor de forță și constă în transferul de energie electromagnetică de la o înfășurare primară la o înfășurare secundară, prin fenomenul de inducție electromagnetică.

Construcția. Un transformator este un ansamblu de bobine (înfășurări) cuplate magnetic. Pentru a se realiza un cuplaj magnetic strîns, cele două înfășurări sînt așezate pe un miez magnetic comun, astfel încît aproape tot fluxul magnetic creat de o înfășurare să treacă și prin cealaltă. În figura 7.1 este reprezentat schematic un transformator. Pe miezul magnetic sînt înfășurate N_1 spire reprezentînd înfășurarea primară și N_2 spire reprezentînd înfășurarea secundară. La bornele înfășurării primare se aplică o tensiune U_1 , iar la bornele înfășurării secundare se obține o tensiune U_2 . Prin înfășurarea primară trece un curent de intensitate I_1 , iar prin înfășurarea secundară — un curent de intensitate I_2 . Rolul transformatorului este de a transmite energia electromagnetică din circuitul primar în circuitul secundar, modificînd parametrii care caracterizează această energie (tensiunea și intensitatea curentului de la ieșire au valori diferite de cele ale tensiunii și ale intensității curentului de la intrare).

În cazul unui transformator ideal, la care se neglijează pierderile, notînd cu P_1 puterea în circuitul primar și cu P_2 puterea în circuitul secundar, se poate scrie:

$$P_1 = P_2 \tag{7.1}$$

sau

$$I_1 U_1 = I_2 U_2, \tag{7.2}$$

de unde:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}. \tag{7.3}$$

Știînd că ambele înfășurări sînt străbătute de același flux magnetic și considerînd lungimea tuturor spirelor egală, se poate afirma că în fiecare spirală se induce aceeași tensiune U_{sp} . Înfășurarea primară, care are N_1 spire, va avea la bornele sale o tensiune $U_1 = N_1 U_{sp}$, iar înfășurarea secundară, care are N_2 spire, va avea la bornele sale o tensiune $U_2 = N_2 U_{sp}$. Reluînd relația (7.3), se poate scrie:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2 U_{sp}}{N_1 U_{sp}} = \frac{N_2}{N_1}. \tag{7.4}$$

De aici rezultă că raportul intensităților curenților este invers proporțional cu raportul tensiunilor și că raportul tensiunilor este proporțional cu raportul numărului de spire.

La un transformator real aceste proprietăți se păstrează, cu o anumită aproximație, datorită unor fenomene care vor fi arătate în continuare.

A. TRANSFORMATOARE DE CURENT

La măsurarea intensităților unor curenți alternativi care depășesc 50 A, ajungînd pînă la zeci de mii de amperi, se folosesc ampermetre de 5 A sau de 1 A împreună cu transformatoare de curent (fig. 7.2).

1. FUNCȚIONARE

În secundarul transformatorului de curent se montează ampermetre de 5 A sau de 1 A, sau circuite de curent ale altor aparate; toate acestea au o impedanță foarte mică. Din acest motiv, regimul normal de funcționare al transformatorului de curent este asemănător cu regimul de scurt-circuit al transformatoarelor de forță.

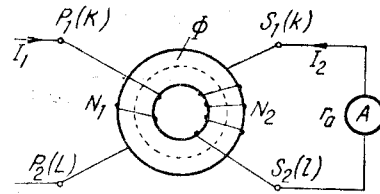


Fig. 7.2. Transformator de curent

Fluxul magnetic al transformatorului este creat de curenții care trec prin cele două înfășurări. Fluxul magnetic creat de înfășurarea primară este proporțional cu intensitatea curentului \$I_1\$ și cu numărul de spire \$N_1\$. Fluxul magnetic creat de înfășurarea secundară este proporțional cu intensitatea curentului \$I_2\$ și cu numărul de spire \$N_2\$. Din însumarea celor două fluxuri, se obține un flux rezultatant \$\Phi\$.

La transformatoarele de curent, în funcție de valorile impedanței secundare \$Z_s\$ și ale intensității curentului primar \$I_1\$, se disting următoarele regimuri de funcționare: *regim normal* și *regim de avarie*.

• **Regim normal:** \$Z_s \leq Z_{sn}\$ (\$\cos \varphi \geq 0,8\$) și \$I_1 = (0,1 \dots 1,2)I_{1n}\$, \$Z_{sn}\$ și \$I_{1n}\$ fiind valorile nominale ale impedanței secundare și respectiv ale intensității curentului din primar. În aceste condiții, atât fluxul creat de înfășurarea primară, cât și fluxul creat de înfășurarea secundară, sînt mari, dar fiind de sens contrar ele se compensează astfel încît fluxul rezultatant \$\Phi\$ este mic. În acest caz, transformatorul funcționează normal.

Fluxul primar și fluxul secundar fiind aproximativ egale, se poate scrie:

$$N_1 I_1 \cong N_2 I_2,$$

de unde:

$$\frac{I_1}{I_2} \cong \frac{N_2}{N_1}.$$

De obicei, \$I_1 > I_2\$ și ca urmare \$N_1 < N_2\$. În cazul intensităților curenților \$I_1\$ foarte mari, \$N_1\$ se poate reduce la o singură spirală

• **Regim de avarie:** \$I_1 \neq 0\$ și \$Z_s = \infty\$. Această situație poate să apară cînd secundarul rămîne deschis. Astfel \$I_2 = 0\$ și fluxul rezultatant crește foarte mult, devenind egal cu fluxul creat de înfășurarea primară (avînd în vedere valoarea mare a intensității curentului \$I_1\$, acest flux este foarte mare). O dată cu creșterea fluxului re-

zultant, cresc foarte mult pierderile în fier, ceea ce face ca miezul magnetic să se încălzească, iar tensiunea la bornele înfășurării secundare crește și ea foarte mult, putînd deveni periculoasă pentru personalul de deservire. Pentru a evita regimul de avarie, este necesar ca transformatoarele de curent să aibă montate în secundar impedențe mici (ampermetre sau circuite de curent ale altor aparate de măsurat ca: wattmetre, varmetre, contoare), iar în cazul în care acestea lipsesc, bornele înfășurării secundare să fie legate în scurt-circuit.

2. MARCAREA BORNELOR ȘI MONTAREA ÎN CIRCUIT

Pentru conectarea corectă a transformatorului de curent în circuitul de măsurare, bornele sale sînt marcate de regulă cu literele \$P_1, P_2\$ (sau \$K, L\$) pentru înfășurarea primară și \$S_1, S_2\$ (sau \$k, l\$) pentru înfășurarea secundară (v. fig. 7.2). La montare, borna \$P_1\$ (sau \$K\$) se leagă spre sursă, iar \$S_1\$ (sau \$k\$) — la bornele polarizate ale aparatelor de măsurat (în cazul wattmetrelor, contoarelor etc.).

În figurile 7.3, a și 7.3, b este reprezentată conectarea transformatoarelor de curent în circuit.

3. ERORI, CLASE DE PRECIZIE

La utilizarea transformatoarelor de curent în măsurări, intervin unele erori specifice, cunoscute sub numele de *eroare de curent* și *eroare de unghi*.

• **Eroarea de curent** intervine ca urmare a diferențelor ce apar între valoarea intensității curentului \$I_1\$ măsurată prin intermediul transformatorului și valoarea reală a intensității aceluiași curent.

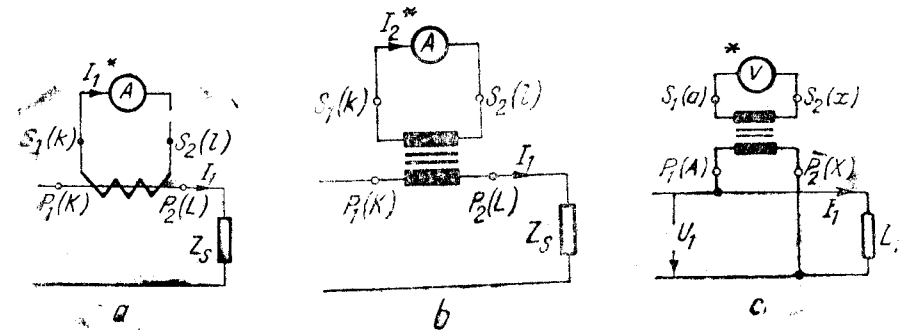


Fig. 7.3. Montarea transformatoarelor de măsurat: a, b — transformatoare de curent; c — transformator de tensiune.

Pentru determinarea valorii intensității curentului măsurat prin intermediul unui transformator de curent, se utilizează *raportul nominal de transformare* între valorile nominale ale intensităților curenților I_{1n} și I_{2n} :

$$K_{1n} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}} \quad (7.5)$$

Raportul nominal este determinat prin construcție și este înscris pe carcasa transformatorului.

Valoarea intensității curentului măsurat se va calcula cu relația:

$$I_{1m} = I_2 \cdot K_{1n} \quad (7.6)$$

unde I_2 este intensitatea curentului citită la ampermetrul montat în secundarul transformatorului.

Trebuie definit însă și *raportul real de transformare*, adică raportul valorilor efective ale intensităților curenților I_1 și I_2 din primarul și respectiv secundarul transformatorului de curent. El se notează cu K_I :

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} \quad (7.7)$$

Acest raport nu este constant, el putând fi influențat de valoarea intensității curentului I_1 și de condițiile de funcționare a transformatorului.

Eroarea de curent este rezultatul inegalității raportului de transformare nominal cu raportul de transformare real. Ea reprezintă eroarea relativă cu care se măsoară intensitatea curentului din primarul transformatorului:

$$\epsilon_I = \frac{I_{1n} - I_1}{I_1} = \frac{K_{1n}I_2 - K_I I_2}{K_I I_2} = \frac{K_{1n} - K_I}{K_I} \quad (7.8)$$

• **Eroarea de unghi δ_I** se definește ca fiind egală cu unghiul de defazaj între curentul I_1 și curentul I_2 , luat cu semn schimbat (fig. 7.4, a). Prezența erorii de unghi arată că în cazurile reale defazajul între curenții I_1 și I_2 nu este de 180° , ca în cazul ideal.

Eroarea de unghi nu afectează indicațiile ampermetrelor, dar introduce erori în indicațiile wattmetrelor, contoarelor și ale altor aparate, la care indicația depinde de defazajul curenților din circuitele lor.

• **Clase de precizie.** În funcție de erorile de curent și de unghi se definesc clase de precizie ale transformatoarelor de curent, con-

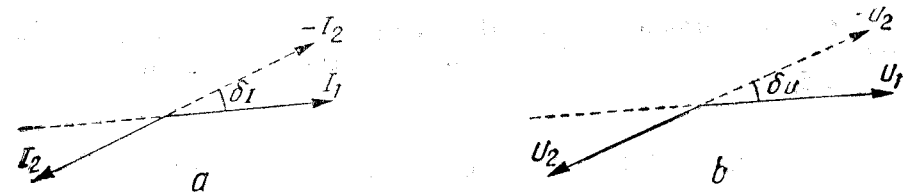


Fig. 7.4. Erori de unghi:
a - la transformatoare de curent; b - la transformatoare de tensiune.

form STAS 4324-70. Se construiesc *transformatoare de curent industriale*, având clasele de precizie 0,2; 0,5; 1 și 3 și *transformatoare de laborator*, având clasele de precizie 0,1; 0,05; 0,02 și 0,01.

4. TIPURI CONSTRUCTIVE

Există un număr foarte mare de tipuri și forme constructive de transformatoare de curent. Ele se construiesc fie ca transformatoare industriale, fie ca transformatoare de laborator.

În țara noastră, la uzina Electroputere din Craiova, se construiesc transformatoare de curent pentru tensiuni de la 0,5 la 400 kV și pentru intensități ale curenților primari nominali de la 5 la 5 000 A.

• **Transformatoarele industriale** se realizează ca transformatoare portative de *tip clește* (fig. 7.5, c) sau ca transformatoare fixe *tip suport* (fig. 7.5, a) când se montează pe console, și de *tip bară* (numite și transformatoare de trecere — fig. 7.5, b) când înfășurarea primară este realizată chiar de bara prin care trece curentul de măsurat. Transformatoarele destinate funcționării la tensiuni de peste 10 kV au de regulă două sau trei înfășurări secundare, una de măsurare iar celelalte pentru protecție.

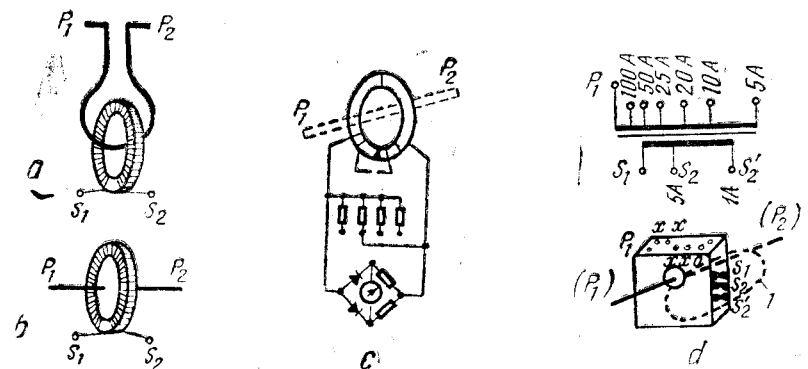


Fig. 7.5. Tipuri constructive de transformatoare de curent:
a - tip suport; b - tip bară; c - tip clește; d - de laborator.

• **Transformatoarele de laborator** au de obicei mai multe intervale de măsurare, obținute prin modificarea numărului de spire (fig. 7.5, d).

B. TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE

Pentru măsurarea tensiunilor alternative ce depășesc 100 V, ajungând la 400 kV, se folosesc voltmetre de 100 V sau 110 V împreună cu transformatoare de tensiune.

1. FUNCȚIONARE

În cazul transformatoarelor de tensiune (fig. 7.6) $U_1 > U_2$ și, conform relației (7.4), $N_1 > N_2$. De această dată, înfășurarea primară are un număr mare de spire.

În secundarul transformatorului de tensiune se conectează voltmetre de 100 V sau de 110 V, sau circuite de tensiune ale altor aparate (wattmetre, contoare etc.). Toate acestea prezintă o impedanță foarte mare, deci regimul de funcționare al transformatoarelor de tensiune este asemănător cu regimul de mers în gol al transformatoarelor de forță.

În cazul când circuitul secundar este deschis (în gol), intensitatea curentului absorbit de primar este I_{10} , necesară producerii fluxului magnetic Φ_0 . Dacă în circuitul secundar se conectează o impedanță mare, cum sînt impedanțele circuitelor de tensiune ale aparatelor de măsurat, curentul secundar I_2 , deși mic ca valoare, produce un flux de semn contrar fluxului creat de primar și fluxul total tinde să scadă. În acest caz, intensitatea curentului din primar va crește pînă la valcarea I_1 , care restabilește echilibrul, astfel încît fluxul în miezul magnetic rămîne aproape constant ($\Phi \cong \Phi_0$).

În cazul transformatorului de tensiune, intensitățile curenților fiind mici și producînd căderi de tensiune neglijabile în înfășurări, se menține cu o bună aproximație relația de proporționalitate între tensiuni și numerele corespunzătoare de spire:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

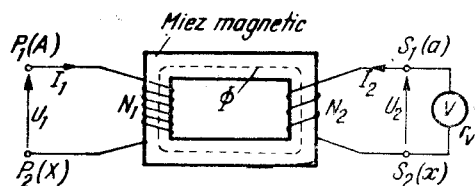


Fig. 7.6. Transformator de tensiune.

2. MARCAREA BORNELOR ȘI MONTAREA ÎN CIRCUIT

Pentru conectarea corectă a transformatoarelor de tensiune în circuitele de măsurare, bornele sînt marcate de regulă cu P_1, P_2 (sau A, X) pentru înfășurarea primară și

cu S_1, S_2 (sau a, x) pentru înfășurarea secundară. În cazul transformatoarelor trifazate, bornele primare se notează cu A, B, C pentru începuturile înfășurărilor și cu X, Y, Z pentru sfîrșiturile înfășurărilor, iar pentru bornele secundare se notează cu a, b, c începuturile înfășurărilor și cu x, y, z sfîrșiturile înfășurărilor; punctul neutru se notează cu N în primar și cu n în secundar.

La conectarea transformatoarelor de tensiune în circuit, bornele P_1 (sau A, B, C) se leagă spre sursă, iar bornele S_1 (sau a, b, c) se leagă la bornele polarizate ale aparatelor de măsurat (în cazul wattmetrelor, contoarelor etc.), așa cum arată și figura 7.3, c.

3. ERORI, CLASE DE PRECIZIE

Ca și la utilizarea transformatoarelor de curent, și la utilizarea transformatoarelor de tensiune intervin erori specifice, cunoscute sub numele de *eroare de tensiune* și *eroare de unghi*.

• **Eroarea de tensiune** intervine datorită faptului că valoarea tensiunii măsurate prin intermediul transformatorului, U_{1m} , poate fi diferită de valoarea reală U_1 a tensiunii.

Pentru determinarea valorii tensiunii măsurate prin intermediul transformatorului se utilizează *raportul nominal de transformare*, între valorile nominale ale tensiunilor U_{1n} și U_{2n} :

$$K_{Un} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} \quad (7.9)$$

Raportul nominal de transformare este determinat prin construcție și este înscris pe transformator.

Valoarea tensiunii măsurate se calculează cu relația:

$$U_{1m} = U_2 K_{Un} \quad (7.10)$$

unde U_2 este tensiunea citită la voltmetrul montat în secundarul transformatorului.

Raportul valorilor efective ale tensiunilor U_1 și U_2 , din primarul și respectiv secundarul transformatorului de tensiune, se numește *coeficient real de transformare* și se notează cu K_U :

$$K_U = \frac{U_1}{U_2} \quad (7.11)$$

Acest raport nu este constant, el putînd fi influențat de condițiile de funcționare a transformatorului.

Neegalitatea raportului de transformare nominal cu raportul de transformare real conduce la apariția de erori. Eroarea relativă care se măsoară din primarul transformatorului se numește eroare de tensiune și este dată de relația:

$$\varepsilon_U = \frac{U_{1m} - U_1}{U_1} = \frac{K_{U_n} U_2 - K_U U_2}{K_U U_2} = \frac{K_{U_n} - K_U}{K_U} \quad (7.12)$$

• **Eroarea de unghi** este egală cu unghiul de defazaj între tensiunea U_1 și tensiunea U_2 luată cu semn schimbat (fig. 7.4, b). Eroarea de unghi indică faptul că în cazurile reale defazajul dintre tensiunile U_1 și U_2 nu este de 180° , ca în cazul ideal. Eroarea de unghi nu afectează indicațiile voltmetrelor, dar introduce erori în indicațiile wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc.

• **Clase de precizie.** În funcție de erorile de tensiune și de unghi se definesc clasele de precizie ale transformatoarelor de tensiune, conform STAS 4323-70. Se construiesc transformatoare de tensiune industriale, avînd clasele 0,2; 0,5; 1 și 3, și transformatoare de laborator avînd clasele 0,1; 0,05; 0,02 și 0,01.

4. TIPURI CONSTRUCTIVE

Transformatoarele de tensiune se realizează ca transformatoare industriale sau de laborator.

În țara noastră, la uzina Electroputere din Craiova, se construiesc transformatoare de tensiune cu tensiuni nominale pînă la 400 kV.

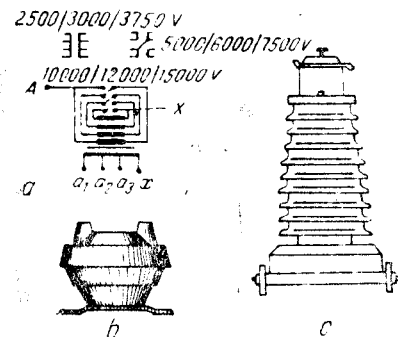


Fig. 7.7. Transformatoare de tensiune: a - schema unui transformator de laborator; b - transformator izolat în rășini; c - transformator izolat în porțelan.

• **Tipurile industriale de transformatoare de tensiune** pot fi de interior sau de exterior, monofazate sau trifazate, cu izolație de ulei, porțelan, rășini sau aer (fig. 7.7). Se construiesc de obicei cu două sau trei înfășurări secundare, una de măsurare și celelalte de protecție.

• **Transformatoarele de laborator** au mai multe intervale de măsurare, care se comută prin modificarea conexiunilor unor prize din primar sau secundar.

1. Care sînt avantajele utilizării transformatoarelor de măsurat?
2. Cît este numărul de spire din primarul unui transformator de tip bară?
3. Care sînt pericolele ce pot interveni în cazul unui transformator de curent care rămîne cu secundarul deschis?
4. La măsurarea intensității unui curent prin intermediul unui transformator de curent, ampermetrul din secundar indică 2,75 A, iar $K_{I_n} = 80$. Cît este intensitatea curentului măsurat?
5. La măsurarea unei tensiuni prin intermediul unui transformator de tensiune voltmetrul din secundar indică 75 V, iar $K_U = 100$. Cît este valoarea tensiunii măsurate?
6. La măsurarea unei puteri prin intermediul unor transformatoare de tensiune și de curent (fig. 7.3, c), wattmetrul montat în cele două secundare indică 200 W. Dacă $K_U = 100$ și $K_{I_n} = 80$, cît este puterea măsurată?
7. De ce eroarea de unghi nu afectează indicațiile ampermetrelor și voltmetrelor?

MĂSURAREA PUTERII ȘI ENERGIEI ELECTRICE ÎN CIRCUITE DE CURENT ALTERNATIV TRIFAZATE

Pentru transmiterea de puteri mari în curent alternativ, se folosesc exclusiv circuite trifazate. Un circuit trifazat poate fi considerat ca suprapunerea a trei circuite monofazate (fig. 8.1) la care cele trei conductoare de întoarcere au fost înlocuite cu unul singur (*circuit trifazat cu conductor neutru*) sau au fost suprimate (*circuit trifazat fără conductor neutru*). Suprimarea conductorului de întoarcere este posibilă deoarece suma valorilor instantanee ale intensităților celor trei curenți (în regim simetric echilibrat) este nulă.

Un circuit trifazat (fig. 8.2) este caracterizat de:

- intensitățile curenților de linie I_1, I_2, I_3 care circulă prin cele trei conductoare ale liniei;
- tensiunile de linie U_{12}, U_{23}, U_{31} , între câte două dintre cele trei conductoare ale liniei;

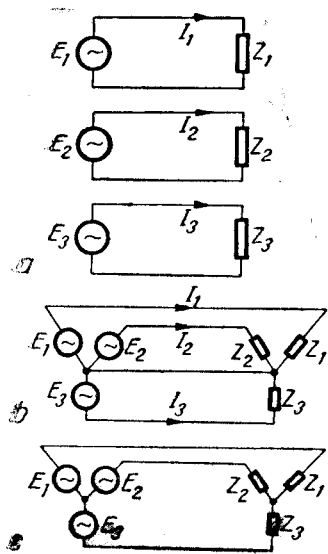


Fig. 8.1. Principiul transmiterii energiei: a - circuite monofazate separate; b - circuite trifazate.

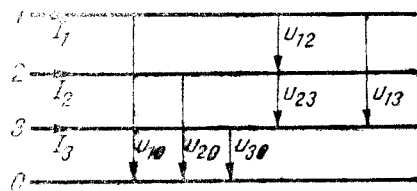


Fig. 8.2. Tensiunile și curenții într-un circuit trifazat.

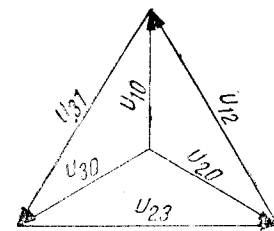


Fig. 8.3. Diagrama fazorială a tensiunilor de linie și de fază.

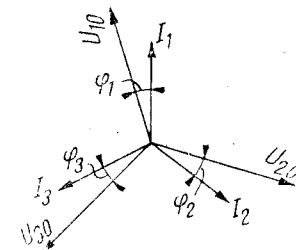


Fig. 8.4. Diagrama fazorială a curenților și tensiunilor într-un circuit trifazat.

- tensiunile de fază U_{10}, U_{20}, U_{30} , între fiecare dintre cele trei conductoare și conductorul neutru.

În cazul unui circuit trifazat simetric, tensiunile sînt egale și defazate între ele cu cîte 120° . Din diagrama fazorială a tensiunilor (fig. 8.3), se poate deduce că la un circuit trifazat simetric tensiunile de linie sînt de $\sqrt{3}$ ori mai mari decît tensiunile de fază.

Un circuit trifazat simetric este și echilibrat dacă, pe lîngă egalitatea tensiunilor, sînt egale și cele trei intensități ale curenților I_1, I_2, I_3 și, de asemenea, și cele trei defazaaje $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ (fig. 8.4).

A. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE

Puterea activă transmisă pe o linie trifazată se poate considera ca fiind egală cu suma puterilor active pe cele trei faze, deci se poate scrie:

$$P_s = P_1 + P_2 + P_3 \quad (8.1)$$

sau

$$P = U_{10} I_1 \cos \widehat{U_{10} I_1} + U_{20} I_2 \cos \widehat{U_{20} I_2} + U_{30} I_3 \cos \widehat{U_{30} I_3}. \quad (8.2)$$

Pentru măsurarea puterii active se folosesc wattmetre electro-dinamice sau ferodinamice, în diferite montaje.

1. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE CU CONDUCTOR NEUTRU

• În cazul general, al circuitelor trifazate nesimetrice și neechilibrate, cu conductor neutru, puterea activă se măsoară cu trei wattmetre, montate cu bobinele de curent pe fiecare fază și cu bobinele

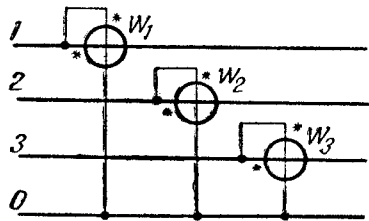


Fig. 8.5. Măsurarea puterii active în circuite trifazate cu conductor neutru.

Conform relațiilor (8.3), fiecare dintre cele trei wattmetre măsoară puterea activă consumată pe faza respectivă. Puterea activă totală va fi egală cu suma puterilor indicate de cele trei wattmetre:

$$P = P_{W_1} + P_{W_2} + P_{W_3} = P_1 + P_2 + P_3. \quad (8.4)$$

○ **Observație.** Pentru măsurarea directă a puterii trifazate se pot folosi și *wattmetre trifazate*, cu trei dispozitive de măsurat, la care cele trei bobine de tensiune sînt fixate pe același ax, asupra căruia acționează toate cele trei cupluri: aceste cupluri se însumează, astfel că indicațiile sînt proporționale cu puterea trifazată.

● În circuitele simetrice și echilibrate $U_{10} = U_{20} = U_{30}$, $I_1 = I_2 = I_3$, $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$ și ca urmare $P_1 = P_2 = P_3$. În acest caz puterea activă se poate măsura cu un singur wattmetru montat cu bobina de curent pe una dintre faze și cu bobina de tensiune între faza respectivă și conductorul neutru. Puterea activă trifazată va fi:

$$P = 3P_W = 3P_f, \quad (8.4')$$

unde P_W este puterea indicată de wattmetru, iar P_f — puterea activă pe o fază.

2. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE FĂRĂ CONDUCTOR NEUTRU

a. Măsurarea puterii active trifazate cu trei wattmetre

● În cazul în care circuitul trifazat este fără conductor neutru, dar punctul neutru al consumatorului este accesibil, măsurarea puterii active se poate face cu trei wattmetre conectate fiecare cu bobina de curent pe câte o fază și cu bobina de tensiune între faza respectivă

de tensiune legate între câte o fază și conductorul neutru (fig. 8.5). Cele trei wattmetre, W_1 , W_2 și W_3 vor indica:

$$P_{W_1} = U_{10} I_1 \cos \widehat{U_{10} I_1} = P_1;$$

$$P_{W_2} = U_{20} I_2 \cos \widehat{U_{20} I_2} = P_2; \quad (8.3)$$

$$P_{W_3} = U_{30} I_3 \cos \widehat{U_{30} I_3} = P_3.$$

și punctul neutru al consumatorului (fig. 8.6). Situația este asemănătoare cu cea din cazul rețelelor cu conductor neutru, și fiecare wattmetru măsoară puterea activă pe câte o fază. Puterea activă trifazată va fi egală cu suma puterilor indicate de cele trei wattmetre:

$$P = P_{W_1} + P_{W_2} + P_{W_3} = P_1 + P_2 + P_3.$$

● Dacă punctul neutru al consumatorului nu este accesibil, bobinele de tensiune se pot conecta la un punct comun N al cărui potențial poate fi oarecare (fig. 8.7). În această situație puterile P_{W_1} , P_{W_2} , P_{W_3} indicate de cele trei wattmetre nu mai sînt egale cu puterile P_1 , P_2 și P_3 de pe cele trei faze, dar se poate demonstra că suma algebrică a puterilor indicate de cele trei wattmetre este egală cu puterea activă trifazată, adică:

$$P_{W_1} + P_{W_2} + P_{W_3} = P_1 + P_2 + P_3 = P. \quad (8.5)$$

Demonstrarea acestei proprietăți se bazează pe faptul că în orice moment $I_1 + I_2 + I_3 = 0$, deci o tensiune comună ΔU adăugată prin schimbarea potențialului punctului comun N rezultă ca factor comun, de forma $\Delta U(I_1 + I_2 + I_3) = 0$. În consecință, puterea totală nu se schimbă.

În funcție de caracterul consumatorului, unul dintre wattmetre poate să dea indicații negative dacă unghiul dintre tensiunea aplicată bobinei de tensiune și curentul ce trece prin bobina de curent este mai mare de 90° . În acest caz, dacă wattmetrul nu este prevăzut cu un comutator special pentru inversarea sensului curentului prin bobina de tensiune, se inversează legăturile la bornele acestei bobine și în calculul puterii trifazate indicația wattmetrului respectiv se ia cu semnul minus.

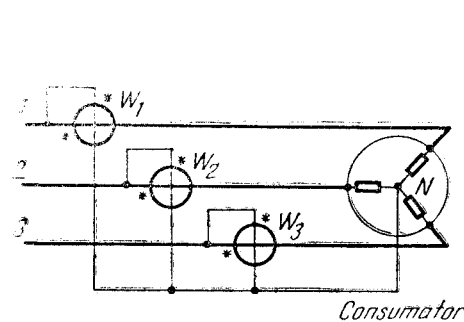


Fig. 8.6. Măsurarea puterii active în circuite trifazate fără conductor neutru, cu punctul neutru al consumatorului accesibil.

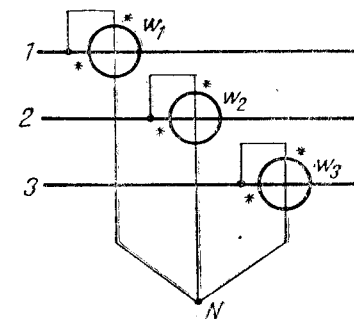


Fig. 8.7. Măsurarea puterii active în circuite trifazate fără conductor neutru, cu trei wattmetre.

b. Măsurarea puterii active trifazate cu două wattmetre

Așa cum s-a arătat, în cazul în care circuitul trifazat este fără conductor neutru bobinele de tensiune se pot lega la un punct comun N oarecare. Dacă punctul comun se plasează pe una dintre cele trei faze, devenită în acest caz fază de referință, wattmetrul de pe faza respectivă va avea indicația nulă, deoarece bobinei sale de tensiune nu i se aplică nici o diferență de potențial. În acest caz, suma algebrică a indicațiilor celorlalte două wattmetre va fi egală cu puterea activă trifazată. Rezultă că se poate renunța la un wattmetru și puterea activă a unui circuit trifazat se poate măsura numai cu două wattmetre, având fiecare bobina de curent montată pe câte o fază, iar bobina de tensiune — montată între faza respectivă și faza de referință.

În funcție de faza de referință aleasă, există trei modalități de montare a celor două wattmetre:

— dacă faza 3 este aleasă ca fază de referință (fig. 8.8, a), se obține:

$$P = P_{W1} + P_{W2} = U_{13}I_1 \cos \widehat{U_{13}I_1} + U_{23}I_2 \cos \widehat{U_{23}I_2}; \quad (8.6)$$

— dacă faza 2 este aleasă ca fază de referință (fig. 8.8, b), se obține:

$$P = P_{W1} + P_{W3} = U_{12}I_1 \cos \widehat{U_{12}I_1} + U_{32}I_3 \cos \widehat{U_{32}I_3}; \quad (8.7)$$

— dacă faza 1 este aleasă ca fază de referință (fig. 8.8, c), se obține:

$$P = P_{W2} + P_{W3} = U_{21}I_2 \cos \widehat{U_{21}I_2} + U_{31}I_3 \cos \widehat{U_{31}I_3}. \quad (8.8)$$

În expresiile de mai sus s-au notat cu P_{W1} , P_{W2} , P_{W3} indicațiile wattmetrelor W_1 , W_2 , W_3 .

În cazul particular al măsurării puterii active cu două wattmetre în circuite simetrice și echilibrate, în care $U_{12} = U_{13} = U_{23} = U$;

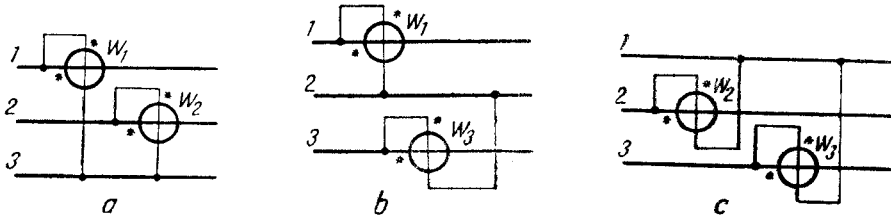


Fig. 8.8. Măsurarea puterii active în circuite trifazate cu două wattmetre: a - faza 3 ca referință; b - faza 2 ca referință; c - faza 1 ca referință.

$I_1 = I_2 = I_3 = I$; $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$ (fig. 8.9), dacă se consideră faza 3 ca fază de referință, unghiurile dintre tensiunile aplicate bobinelor de tensiune și curenții prin bobinele de

curent sînt: $\widehat{U_{13}I_1} = 30^\circ - \varphi$ și $\widehat{U_{23}I_2} = 30^\circ + \varphi$. Înlocuindu-se aceste valori în expresia (8.6), se obține:

$$P = UI \cos (30^\circ - \varphi) + UI \cos (30^\circ + \varphi) =$$

$$= UI \cdot 2 \cos 30^\circ \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi, \quad (8.9)$$

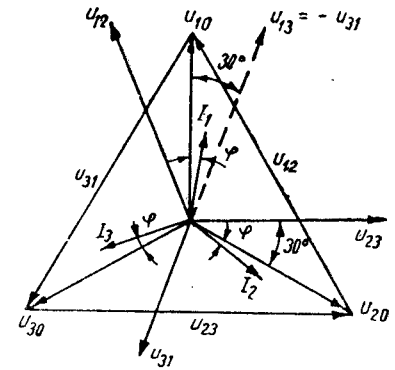


Fig. 8.9. Diagrama tensiunilor și curenților într-un circuit trifazat simetric și echilibrat.

adică tocmai puterea activă trifazată ($\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ și tensiunea de linie este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît tensiunea de fază).

Măsurarea puterii active trifazate cu schema celor două wattmetre se poate realiza și cu un singur wattmetru conectat succesiv, fără a întrerupe circuitul, pe două dintre fazele circuitului trifazat, cu ajutorul unui comutator wattmetric special.

○ **Observație.** Pentru o măsurare mai comodă se construiesc wattmetre trifazate, care constau din două dispozitive de măsurat montate conform schemei celor două wattmetre. Bobinele de tensiune ale celor două dispozitive de măsurat sînt fixate pe același ax, astfel încît cuplurile lor active se însumează.

Schema de măsurare cu două wattmetre este cea mai utilizată pentru măsurarea puterii active trifazate în circuite fără conductor neutru, deoarece prezintă avantajul că poate fi utilizată și în circuite nesimetrice și neechilibrate și necesită numai două aparate de măsurat.

c. Măsurarea puterii active trifazate cu un wattmetru

Pentru măsurarea puterii active trifazate în circuite simetrice și echilibrate fără conductor neutru, se poate folosi un singur wattmetru montat cu bobina de curent pe una dintre faze și cu bobina de tensiune între faza respectivă și un punct neutru N creat artificial cu ajutorul a două rezistențe adiționale R_2 și R_3 egale cu rezistența cir-

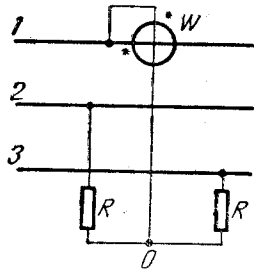


Fig. 8.10. Măsurarea puterii active în circuite trifazate fără conductor neutru, cu un wattmetru.

cuitului de tensiune al wattmetrului (fig. 8.10). Valoarea puterii active trifazate P se obține înmulțind cu 3 indicația P_W wattmetrului ($P = 3P_W$). Dacă wattmetrul este destinat să funcționeze permanent în circuite trifazate echilibrate, scara sa se poate grada direct în valori ale puterii active trifazate.

3. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE TRIFAZATE PRIN INTERMEDIUL TRANSFORMATOARELOR DE MĂSURAT

În circuitele trifazate în care tensiunile și curenții depășesc valorile nominale ale wattmetrelor, măsurarea puterii se efectuează prin intermediul transformatoarelor de măsurat. În figura 8.11 este reprezentată schema de montare a trei wattmetre prin intermediul transformatoarelor de măsurat, pentru un circuit trifazat cu conductor neutru.

Pentru protecția wattmetrelor și a operatorilor, câte un capăt al tuturor înfășurărilor secundare (atât la transformatoarele de tensiune, cât și la cele de curent) se leagă la pământ.

Wattmetrele conectate prin intermediul transformatoarelor de măsurat în instalațiile fixe sînt gradate direct în puterea de măsurat, ținînd seama de rapoartele de transformare respective, deci valoarea citită nu mai trebuie înmulțită cu K_{Un} și K_{In} . Se întîlnesc frecvent wattmetre gradate în kilowați sau megawați, purtînd denumirea de kilowattmetre sau megawattmetre.

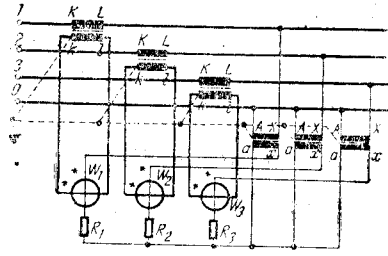


Fig. 8.11. Măsurarea puterii active în circuite trifazate cu conductor neutru prin intermediul transformatoarelor de măsurat.

B. MĂSURAREA PUTERII REACTIVE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE

Puterea reactivă este dată de relația:

$$Q = UI \sin \varphi. \quad (8.10)$$

În circuite trifazate, puterea reactivă totală (trifazată) este egală cu suma puterilor reactive de pe cele trei faze:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = U_{10} I_1 \sin \widehat{U_{10} I_1} + U_{20} I_2 \sin \widehat{U_{20} I_2} + U_{30} I_3 \sin \widehat{U_{30} I_3}. \quad (8.11)$$

Măsurarea puterii reactive trifazate se poate face direct cu varmetre sau cu wattmetre.

1. MĂSURAREA PUTERII REACTIVE TRIFAZATE CU VARMETRE

Varmetrele sînt aparate electrodinamice sau ferodinamice în care se creează un defazaj de 90° între curentul prin bobina mobilă și tensiunea aplicată acesteia, montîndu-i în serie o bobină sau un condensator în loc de rezistență adițională. În acest caz, aparatele vor indica direct puterea reactivă.

Măsurarea puterii reactive cu varmetre se realizează cu aceleași montaje ca în cazul măsurării puterii active cu wattmetre. Ele se folosesc mai des în circuite monofazate și mai rar în cele trifazate.

2. MĂSURAREA PUTERII REACTIVE TRIFAZATE CU WATTMETRE

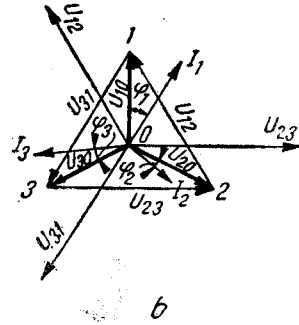
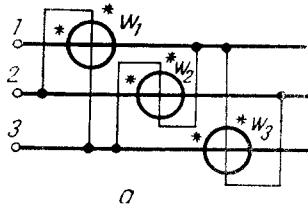
Puterea reactivă se poate măsura direct și cu wattmetre, dacă prin bobina de curent trece curentul I , iar bobinei de tensiune se aplică o tensiune auxiliară U' , proporțională și de aceeași frecvență cu tensiunea U de măsurat, dar defazată cu 90° în urma acesteia. În acest caz, între curentul I și tensiunea auxiliară U' există un defazaj de $90^\circ - \varphi$ și indicația P_W a wattmetrului va fi:

$$P_W = U' I \cos (90^\circ - \varphi) = U' I \sin \varphi = \frac{U'}{U} UI \sin \varphi = \frac{U'}{U} Q. \quad (8.12)$$

de unde:

$$Q = \frac{U}{U'} P_W. \quad (8.13)$$

Fig. 8.12. Măsurarea puterii reactive în circuite trifazate, cu trei wattmetre.



În circuitele trifazate simetrice se poate aplica această metodă, deoarece tensiunea dintre două faze este defazată cu 90° în urma tensiunii de pe cealaltă fază (fig. 8.12, b). Astfel, tensiunea U_{23} este defazată cu 90° în urma tensiunii U_{10} , tensiunea U_{31} este defazată cu 90° în urma tensiunii U_{20} și tensiunea U_{12} este defazată cu 90° în urma tensiunii U_{30} .

● Folosind tensiunile între faze ca tensiuni auxiliare, se poate măsura puterea reactivă trifazată **cu trei wattmetre** montate cu bobinele de curent pe câte o fază și bobinele de tensiune legate între celelalte două faze (fig. 8.12, a). Având în vedere că raportul între tensiunea auxiliară (tensiunea între faze) și tensiunea de fază este $U'/U = \sqrt{3}$, cele trei wattmetre, W_1, W_2, W_3 vor indica:

$$P_{W1} = U_{23}I_1 \cos \widehat{U_{23}I_1} = \frac{U_{23}}{U_{10}} U_{10}I_1 \sin \widehat{U_{10}I_1} = \sqrt{3}Q_1; \quad (8.14)$$

$$P_{W2} = U_{31}I_2 \cos \widehat{U_{31}I_2} = \frac{U_{31}}{U_{20}} U_{20}I_2 \sin \widehat{U_{20}I_2} = \sqrt{3}Q_2; \quad (8.15)$$

$$P_{W3} = U_{12}I_3 \cos \widehat{U_{12}I_3} = \frac{U_{12}}{U_{30}} U_{30}I_3 \sin \widehat{U_{30}I_3} = \sqrt{3}Q_3. \quad (8.16)$$

Suma puterilor măsurate de cele trei wattmetre va fi:

$$P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = \sqrt{3}(Q_1 + Q_2 + Q_3) = \sqrt{3}Q, \quad (8.17)$$

de unde:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}}(P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}). \quad (8.18)$$

● În circuite trifazate simetrice puterea reactivă se poate măsura și numai **cu două wattmetre**, la fel ca în cazul puterii active. Luând faza a treia ca fază de referință, se poate scrie:

$$Q = U_{13}I_1 \sin \widehat{U_{13}I_1} + U_{23}I_2 \sin \widehat{U_{23}I_2}. \quad (8.19)$$

Tensiunile auxiliare defazate cu 90° în urma tensiunilor U_{13} și U_{23} sînt U_{20} și, respectiv, $-U_{10}$ (fig. 8.13, b). Montînd cele două wattmetre cu bobinele de curent pe fazele 1 și 2 și aplicînd bobinelor de tensiune ale wattmetrelor tensiunile U_{20} și $-U_{10}$ (fig. 8.13, a), acestea vor indica:

$$P_{W1} = U_{20}I_1 \cos \widehat{U_{20}I_1} = \frac{U_{20}}{U_{13}} U_{13}I_1 \sin \widehat{U_{13}I_1}; \quad (8.20)$$

$$P_{W2} = U_{10}I_2 \cos (-\widehat{U_{10}I_2}) = \frac{U_{10}}{U_{23}} U_{23}I_2 \sin \widehat{U_{23}I_2}. \quad (8.21)$$

Știind că raportul între tensiunea de fază și tensiunea dintre faze este $\frac{1}{\sqrt{3}}$, suma puterilor indicate de cele două wattmetre va fi:

$$P_{W1} + P_{W2} = \frac{1}{\sqrt{3}}Q, \quad (8.22)$$

de unde:

$$Q = \sqrt{3}(P_{W1} + P_{W2}). \quad (8.23)$$

Pentru a putea aplica bobinelor de tensiune ale wattmetrelor tensiunile de fază U_{10} și $-U_{10}$, se creează un punct neutru artificial O cu ajutorul unei rezistențe R_3 de valoare egală cu rezistența circuitelor de tensiune ale celor două wattmetre.

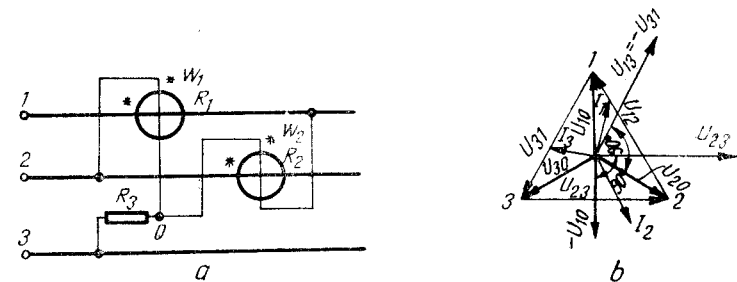


Fig. 8.13. Măsurarea puterii reactive în circuite trifazate cu două wattmetre.

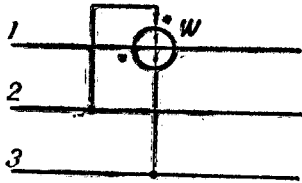


Fig. 8.14. Măsurarea puterii reactive în circuite trifazate, cu un wattmetru.

● Dacă circuitul trifazat simetric este și echilibrat, puterea reactivă se poate măsura și numai cu un **singur wattmetru** (fig. 8.14). Dacă indicația wattmetrului este P_w , puterea reactivă trifazată va fi:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} 3P_w = \sqrt{3}P_w. \quad (8.24)$$

G. MĂSURAREA ENERGIEI ELECTRICE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE

1. MĂSURAREA ENERGIEI ACTIVE

Măsurarea energiei active în circuitele trifazate se poate efectua cu *contoare de inducție monofazate sau trifazate*. În primul caz, utilizat mai rar, se folosesc două sau trei contoare monofazate montate după schema celor două wattmetre sau după schema celor trei wattmetre de la măsurarea puterii active. Energia totală se obține prin însumarea energiilor înregistrate de fiecare contor separat.

Contoarele trifazate conțin în același aparat două sau trei sisteme active, având fiecare câte un electromagnet de curent și câte unul de tensiune, ale căror cupluri active acționează asupra aceluiași ax, astfel încât cîmpul activ total este proporțional cu puterea activă trifazată, iar contorul înregistrează energia activă totală, trifazată.

În circuitele trifazate fără conductor neutru se utilizează contoare cu două sisteme active, montate după metoda celor două wattmetre, iar în circuitele cu conductor neutru se utilizează de obicei contoare trifazate cu trei sisteme active montate după schema celor trei wattmetre.

2. MĂSURAREA ENERGIEI REACTIVE

Pentru măsurarea energiei reactive se utilizează contoare de energie reactivă funcționînd, ca și varmetrele trifazate, cu ajutorul unor tensiuni auxiliare.

În cazul cînd curentul sau tensiunea de utilizare depășesc valorile nominale pentru care sînt construite contoarele, acestea se montează în circuitele secundare ale transformatoarelor de măsurat.

În țara noastră se construiesc contoare de inducție monofazate și trifazate la „Întreprinderea de Aparate Electrice de Măsurat” din Timișoara.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Care este cel mai avantajos montaj pentru măsurarea puterii active trifazate într-un circuit simetric și echilibrat? Dar într-un circuit neechilibrat?
2. Cu care dintre montajele studiate se pot determina puterile active pe fiecare fază în parte?
3. Într-un circuit trifazat fără conductor neutru este posibil să se cunoască puterile active pe fiecare fază?
4. Într-un circuit trifazat simetric și echilibrat, un wattmetru montat cu bobina de curent pe faza 1 și cu bobina de tensiune între fazele 2 și 3 indică o putere de 700 W. Cît este puterea reactivă trifazată?
5. Ce măsură de protecție se prevede la măsurarea puterilor prin intermediul transformatoarelor de măsurat?

MĂSURAREA PUTERII ELECTRICE ACTIVE ÎN CIRCUITE ELECTRONICE

Măsurarea puterii active în circuite electronice prezintă unele particularități, cum ar fi:

— funcționarea circuitelor electronice într-o bandă largă de frecvențe (0 — gigaherți);

— sarcina în care se consumă puterea electrică este de obicei o impedanță, ea prezentând pe lângă rezistență și o reactanță;

— puterile ce urmează să se măsoare au o gamă largă de valori (de la microwați la kilowați).

Aparatele și metodele utilizate la măsurarea puterilor în circuitele electrice nu mai sînt suficiente. După cum se știe, wattmetrele electro-dinamice și ferodinamice nu funcționează corect decît pînă la cîteva sute de herți, iar sensibilitatea lor nu permite măsurarea puterilor foarte mici. Din aceste motive, la măsurarea puterii în circuitele electronice se folosesc alte tipuri de aparate și metode de măsurare, cum sînt:

— măsurarea tensiunii sau intensității curentului pe o rezistență de valoare cunoscută (*metoda sarcinii artificiale, wattmetrul de ieșire*)

— transformarea energiei electromagnetice în alte forme de energie măsurabilă (*metoda fotometrică, metode calorimetrice*).

A. DETERMINAREA PUTERII PRIN MĂSURAREA TENSIUNII SAU INTENSITĂȚII CURENTULUI PE O REZISTENȚĂ DE VALOARE CUNOSCUTĂ

1. METODA SARCINII ARTIFICIALE

Metoda sarcinii artificiale este o *metodă indirectă* și se bazează pe relațiile ce definesc puterea electrică consumată de o rezistență:

$$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}. \quad (9.1)$$

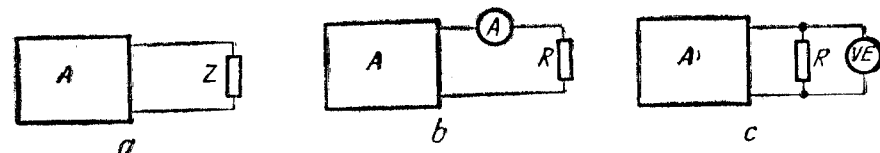


Fig. 9.1. Măsurarea puterii la ieșirea unui amplificator prin metoda sarcinii artificiale

Deoarece sarcinile în care se consumă puterea au de obicei și un caracter reactiv, la măsurarea puterii prin această metodă se înlocuiește sarcina reală (fig. 9.1, a) cu o sarcină artificială rezistivă, care are aceeași valoare ca și partea reală a impedanței de sarcină. În aceste condiții, se poate măsura intensitatea curentului ce trece prin sarcina artificială cu un ampermetru cu termocuplu, care funcționează pînă la sute de megaherți (fig. 9.1, b) sau căderea de tensiune la bornele sarcinii artificiale — cu un voltmetru electronic (fig. 9.1, c), pentru ca apoi să se calculeze puterea cu una dintre relațiile (9.1).

Metoda sarcinii artificiale se utilizează la măsurarea puterii de ieșire a amplificatoarelor de putere, la măsurarea puterii de ieșire a radio-receptoarelor sau televizoarelor, la măsurarea puterii debitate de emițătoare în antene etc.

2. WATTMETRUL DE IEȘIRE

Așa cum s-a arătat, puterea se poate determina indirect măsurînd cu un voltmetru tensiunea la bornele unei rezistențe de valoare cunoscută și aplicînd relația:

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

Dacă rezistența R este constantă, atunci voltmetrul poate fi etalonat direct în wați, obținîndu-se un aparat care măsoară direct puterea, deci un wattmetru. Acest aparat este foarte simplu, dar are următoarele dezavantaje:

— prezintă o singură impedanță de intrare, deci nu poate fi utilizat pentru orice sarcină;

— prezintă o singură sensibilitate, deci nu poate măsura puteri de diferite valori.

Se pot realiza însă și aparate mai complexe, cunoscute sub denumirea de *wattmetre de ieșire*, care pot avea mai multe intervale de măsurare și pot prezenta diferite impedanțe de intrare.

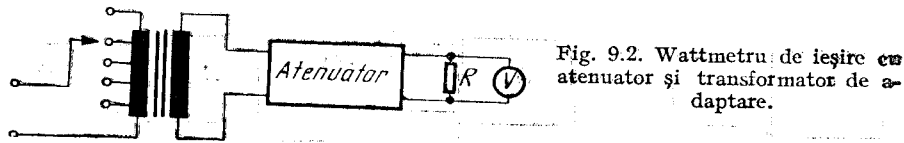


Fig. 9.2. Wattmetru de ieșire cu atenuator și transformator de adaptare.

● Un wattmetru de ieșire cu mai multe intervale de măsurare se poate realiza introducându-se înaintea ansamblului rezistență-voltmetru un atenuator în trepte (fig. 9.2). Dacă atenuatorul este bine calculat, impedanța de intrare rămâne mereu aceeași.

● Pentru a se obține diferite impedanțe de intrare, se pot folosi fie transformatoare, fie cuadripoli de adaptare rezistivi.

La wattmetrele de ieșire cu transformator (fig. 9.2), dacă se notează cu Z_1 impedanța de intrare ($Z_1 = \frac{U_1}{I_1}$), cu Z_2 impedanța de sarcină ($Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$) și cu n raportul de transformare ($n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$), în cazul unui transformator ideal se poate scrie:

$$Z_1 = n^2 Z_2. \quad (9.2)$$

Relația (9.2) arată că dacă se variază raportul de transformare (alegând diferite prize pe înfășurarea primară) se pot obține diferite impedanțe de intrare.

În cazul wattmetrelor de ieșire cu cuadripoli rezistivi de adaptare se pot folosi scheme ca cele prezentate în figura 9.3. Dacă rezistențele care formează cuadripolul se aleg în mod convenabil, rezistența de intrare R_i poate lua diferite valori, în timp ce la ieșirea cuadripolului rezistența rămâne constantă. În acest mod, se poate realiza un wattmetru cu mai multe rezistențe de intrare utilizând o serie de cuadripoli convena-

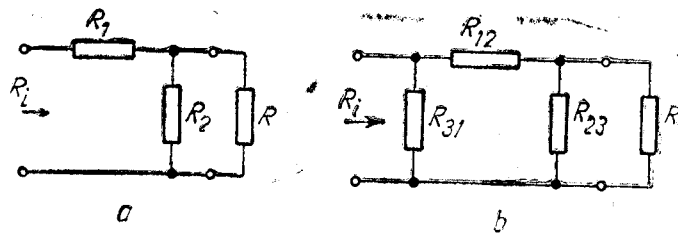


Fig. 9.3. Cuadripoli rezistivi de adaptare:

a - cuadripol în Γ ; b - cuadripol în π .

bil calculați. Acest tip de wattmetru, folosind numai rezistoare, poate lucra într-o bandă mai largă de frecvențe decât cel cu transformator.

Wattmetrul de ieșire se conectează în locul impedanței de sarcină, impedanța lui de intrare îndeplinind rolul unei sarcini artificiale.

Un exemplu de wattmetru de ieșire este aparatul tip N 300 C care are impedanța de intrare variabilă între 2,5 Ω și 20 k Ω în 44 de trepte, funcționează în banda de frecvență de la 20 Hz la 15 kHz și măsoară puteri între 15 mW și 15 W.

B. DETERMINAREA PUTERII PRIN TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTROMAGNETICE ÎN ALTE FORME DE ENERGIE

1. METODA CALORIMETRICĂ

Metoda calorimetrică se bazează pe măsurarea efectului caloric pe care semnalul a cărui putere se măsoară îl dezvoltă într-o sarcină rezistivă. Pe baza acestei metode au fost realizate diferite aparate, dintre care calorimetrul cu substituție este reprezentat în figura 9.4. Calorimetrul cu substituție constă dintr-o sarcină rezistivă scufundată într-un lichid a cărui creștere de temperatură se poate măsura. Se alimentează sarcina R în înaltă frecvență și se notează creșterea temperaturii. Apoi se înlocuiește sursa de înaltă frecvență cu o sursă de joasă frecvență sau de curent continuu a cărei putere se reglează pînă cînd se obține aceeași creștere de temperatură. Puterea de joasă frecvență sau de curent continuu se măsoară cu wattmetrul electro-dinamic sau cu ampermetrul și voltmetrul. Întrucît cele două surse au produs același efect termic, rezultă că puterea de înaltă frecvență are aceeași valoare cu cea de joasă frecvență sau de curent continuu.

Metoda calorimetrică este utilizată în special pentru măsurarea puterilor în foarte înaltă frecvență.

2. METODA FOTOMETRICĂ

Metoda fotometrică este tot o metodă de substituție, utilizată în special în domeniul frecvențelor înalte. Instalația pentru măsurarea puterii prin metoda fotometrică este reprezentată în figura 9.5 și conține un bec L care este alimentat succesiv de

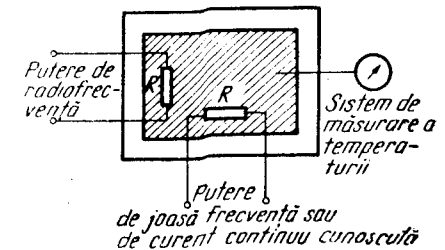


Fig. 9.4. Calorimetrul cu substituție.

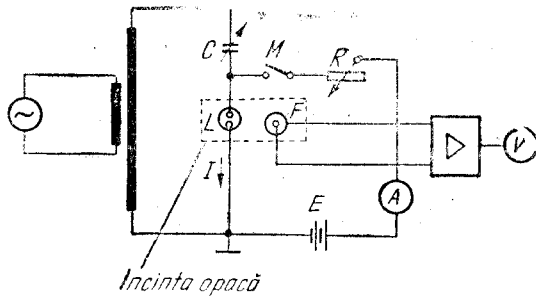


Fig. 9.5. Măsurarea puterii prin metoda fotometrică.

La o sursă de înaltă frecvență și de la o sursă de curent continuu. Modul de lucru presupune două etape:

— în prima etapă întrerupătorul M este deschis și becul L se alimentează de la sursa de înaltă frecvență a cărei putere se măsoară. Filamentul becului devine incandescent și cu ajutorul unei fotocelule F se determină fluxul luminos emis sub un anumit unghi solid. La voltmetrul V se va citi în acest caz tensiunea U_0 ;

— în cea de-a doua etapă, se întrerupe sursa de înaltă frecvență și se închide întrerupătorul M , astfel încît becul L este alimentat în curent continuu. Se reglează rezistența R pînă cînd voltmetrul V indică din nou tensiunea U_0 . Aceasta înseamnă că cele două surse au debitat puteri egale.

Citind indicația ampermetrului A și cunoscînd valoarea rezistenței R_L a becului, se poate calcula puterea de curent continuu $P_{cc} = I^2 R_L$ care este egală cu puterea de înaltă frecvență.

Metoda descrisă poate introduce erori la frecvențe mari, datorită variației rezistenței becului în funcție de frecvență. Pentru puteri mici și frecvențe pînă la 5 MHz erorile nu depășesc 10%. Pentru frecvențe mai mari, se pot face corecții în funcție de frecvență.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. De ce la măsurarea puterii în circuitele electronice wattmetrele electrodinamice și ferodinamice nu mai sînt suficiente?
2. Ce metode sînt specifice pentru măsurarea puterii în circuitele electronice?
3. De ce la metoda sarcinii artificiale sarcina reală se înlocuiește cu o rezistență?
4. Cum se pot realiza diferite impedanțe de intrare la wattmetrele de ieșire?
5. Ce metodă se folosește la măsurarea puterii la frecvențe foarte înalte?

APARATE ȘI METODE PENTRU MĂSURAREA IMPEDANTELOR

A. GENERALITĂȚI

● **Impedanța** este o mărime care caracterizează funcționarea elementelor de circuit în curent alternativ. Ea se definește cu ajutorul legii lui Ohm aplicate în curent alternativ. În curent continuu, conform legii lui Ohm:

$$\frac{U}{I} = R. \tag{10.1}$$

În curent alternativ, legea lui Ohm devine:

$$\frac{U}{I} = Z. \tag{10.2}$$

Avînd aceeași relație de definiție, rezistența și impedanța vor avea aceeași unitate de măsură, *ohmul* ($1\Omega = \frac{1V}{1A}$).

Față de rezistență, impedanța are un caracter mai complex, deoarece în curent alternativ elementele de circuit prezintă, pe lîngă proprietatea de rezistență, și proprietățile de inductanță (L) și capacitate (C).

● **Inductanța** este proprietatea elementelor de circuit de a se opune variațiilor de curent. Inductanța se poate defini ca raportul între fluxul magnetic ce trece printr-un element de circuit și intensitatea curentului care a generat acel flux: $L = \frac{\Phi}{I}$ Unitatea de măsură

pentru inductanță este *henry* ($1H = \frac{1Wb}{1A}$). În practică se utilizează frecvent submultiplii mH și μH .

Inductanța este o proprietate specifică bobinelor (*inductanță proprie* — a unei bobine, sau *inductanță mutuală* — între două bobine, atunci cînd fluxul creat de o bobină trece și prin spirele celeilalte bobine).

● **Capacitatea** este proprietatea elementelor de circuit de a acumula sarcini electrice și se poate defini ca raportul între cantitatea de electricitate ce se acumulează într-un element de circuit și tensiunea la care este alimentat elementul respectiv: $C = \frac{Q}{U}$. Unitatea

de măsură pentru capacitate este *faradul* ($1F = \frac{1C}{1V}$). În practică se utilizează submultiplii pF, nF și μF.

● **Reactanța.** Valorile inductanțelor și capacităților depind de datele constructive ale elementelor de circuit (dimensiuni, materiale). În circuit, ele se manifestă prin „reactanțele” corespunzătoare, care depind de frecvență. În curent alternativ sinusoidal reactanța inductivă este $X_L = \omega L$, iar reactanța capacitivă este $X_C = \frac{1}{\omega C}$, unde $\omega = 2\pi f$ reprezintă pulsația.

● **Diagrame fazoriale.** Impedanțele prezintă următoarele componente:

- R — rezistență;
- X_L — reactanță inductivă;
- X_C — reactanță capacitivă.

Cele trei componente ale impedanței nu se pot însuma algebric, ci numai fazorial, deoarece inductanțele defaziază tensiunea înaintea curentului cu $\frac{\pi}{2}$ rad, capacitățile defaziază tensiunea în urma curentului cu $\frac{\pi}{2}$ rad, iar rezistențele nu introduc nici un defazaj.

În figurile 10.1, c și 10.1, d s-au reprezentat diagramele fazoriale corespunzătoare tensiunilor ce intervin în cazul impedanțelor din figurile 10.1, a și 10.1, b. Dacă în diagramele fazoriale din figurile 10.1, c și 10.1, d se simplifică toate tensiunile cu I , se obțin diagramele din figurile 10.1, e și 10.1, f reprezentând diagramele fazoriale ale impedanțelor Z . Din aceste diagrame se pot calcula modulul impedanței Z și tangenta unghiului de defazaj φ dintre tensiune și curent:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}; \quad \text{tg } \varphi = \frac{X}{R} \quad (10.3)$$

● **Exprimarea impedanțelor în numere complexe.** Asimilînd diagramele fazoriale din figura 10.1 unui plan complex (axa orizontală —

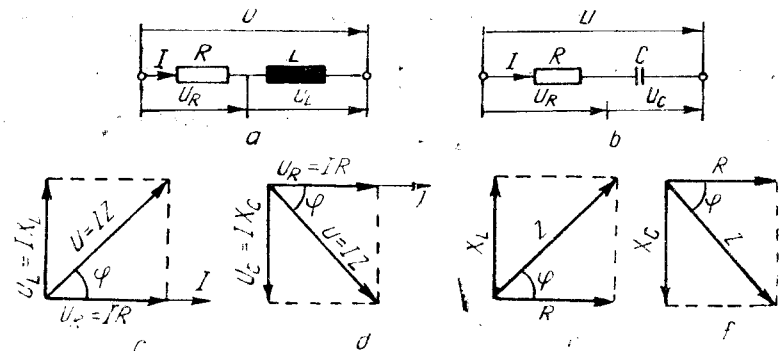


Fig. 10.1. Impedanțe și diagramele lor fazoriale.

numere reale, axa verticală — numere imaginare), impedanțele se pot exprima sub forma unor numere complexe. Pe diagrame se observă că reactanțele inductive defaziază tensiunea înaintea curentului cu $\frac{\pi}{2}$ rad, deci în plan complex X_L devine $jX_L = j\omega L$, iar reactanțele capacitivă defaziază tensiunea în urma curentului cu $\frac{\pi}{2}$ rad, deci în plan complex X_C devine $-jX_C = -j\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{j\omega C}$.

Ținînd seama de aceste observații, se poate scrie:

$$Z = R + jX = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (10.4)$$

○ **Notă.** În aceste expresii s-a folosit $j = \sqrt{-1}$ în loc de $i = \sqrt{-1}$, pentru a nu se crea confuzii cu intensitatea instantanee a curentului electric, care se notează cu i .

● **Factorul de calitate.** Elementele reactive de circuit (bobinele și condensatoarele) prezintă, pe lângă reactanță, și o rezistență în care se consumă energie. Cu cât pierderile de energie sînt mai mici, cu atît calitatea elementelor reactive este mai bună. *Factorul de calitate*, care se notează cu Q , se definește prin raportul între reactanța și rezistența unui element de circuit sau ale unui circuit:

$$Q = \frac{X}{R} \quad (10.5)$$

Pentru o bobină care are rezistența R_L , $Q_L = \frac{\omega L}{R}$; pentru un condensator cu rezistența [de pierderi R_c (considerată în serie), $Q_c = \frac{1}{\omega C R_c}$, iar pentru un circuit în care pe lângă rezistența bobinei mai intervin și alte rezistențe R' , $Q = \frac{\omega L}{R_L + R'}$.

B. METODELE PENTRU MĂSURAREA IMPEDANTELOR

Deoarece, așa cum s-a arătat, rezistența în curent continuu și impedanța în curent alternativ au aceeași relație de definiție, metodele utilizate pentru măsurarea rezistențelor în curent continuu se pot adapta și la măsurarea impedanțelor în curent alternativ, cu următoarele observații:

- circuitele de măsurare vor fi alimentate în curent alternativ de la o sursă de frecvență f ;
- aparatele de măsurat folosite trebuie să fie astfel alese încât să funcționeze la frecvența f a sursei de alimentare;
- elementele de circuit, fiind alimentate în curent alternativ, se vor comporta ca impedanțe.

Pornind de la aceste considerente, s-a realizat o gamă variată de aparate pentru măsurarea impedanțelor și a componentelor lor, utilizându-se numeroase metode de măsurare. În continuare se vor analiza câteva dintre acestea.

1. MĂSURAREA IMPEDANTELOR PRIN METODA SUBSTITUȚIEI

● Metoda substituției este cea mai simplă metodă. Ea folosește montajul din figura 10.2, în care:

G este un generator de c.a. de tensiune U și frecvență f ;

A — ampermetru de curent alternativ, capabil să funcționeze la frecvența f ;

R_e — rezistența variabilă, etalonată (cutie de rezistențe);

K — comutator cu două poziții.

● Modul de lucru. Același ca în curent continuu, are două etape:

I — se închide comutatorul K pe poziția 1 și se citește pe ampermetrul A intensitatea I_1 a curentului electric ($I_1 = \frac{U}{Z_x}$);

II — se trece comutatorul K pe poziția 2 și se reglează rezistența variabilă R_e pînă cînd ampermetrul va indica un curent $I_2 = I_1$.

În acest caz $I_2 = \frac{U}{R_e}$. Deoarece $I_2 = I_1$, rezultă că $Z_x = R_e$.

După cum se observă, această metodă permite numai măsurarea globală a impedanțelor nu și a componentelor lor (R, L, C).

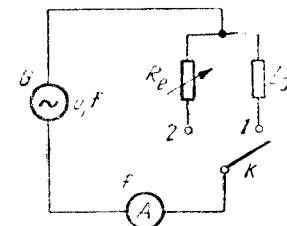


Fig. 10.2. Măsurarea impedanțelor prin metoda substituției.

2. MĂSURAREA INDUCTANTELOR PRIN METODA AMPERMETRULUI ȘI VOLTMETRULUI

a. MĂSURAREA INDUCTANTELOR PROPRII

Măsurarea inductanțelor proprii ale bobinelor folosind metoda ampermetrului și voltmetrului se bazează pe comportarea diferită a bobinelor în curent continuu și în curent alternativ. Întrucît bobinele au de obicei impedanțe mult mai mici decît rezistența voltmetrului, se folosește varianta aval.

● Montajul folosit este reprezentat în figura 10.3. Comutatorul K , cu două poziții permite alimentarea succesivă a circuitului în curent continuu și în curent alternativ.

● Modul de lucru. Măsurarea se desfășoară pe trei etape:

I — se închide comutatorul K pe poziția 1 și montajul se alimentează în curent continuu. Se măsoară intensitatea curentului I cu ampermetrul, tensiunea U cu voltmetrul și, aplicînd legea lui Ohm, se calculează R_x ;

II — se trece comutatorul K pe poziția 2 și montajul se alimentează în curent alternativ. Se măsoară din nou inten-

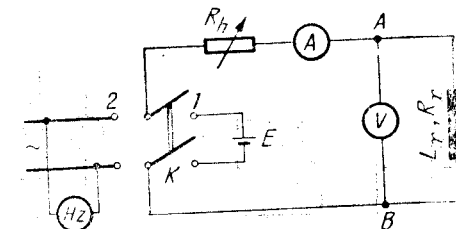


Fig. 10.3. Măsurarea inductanțelor proprii prin metoda ampermetrului și voltmetrului.

sitatea curentului și tensiunea și de această dată, aplicînd legea lui Ohm, se va calcula Z ;

III — cunoscînd valorile R_x și Z și cunoscînd sau măsurînd frecvența, se poate deduce valoarea inductanței:

$$Z = \sqrt{R_x^2 + \omega^2 L_x^2},$$

de unde:

$$L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z^2 - R_x^2}. \quad (10.6)$$

b. MĂSURAREA INDUCTANTELOR MUTUALE

Măsurarea inductanței mutuale prin metoda ampermetrului și voltmetrului se bazează pe măsurarea inductanței totale a două bobine legate în serie, în două variante: o dată astfel încît fluxurile care le străbat să se însumeze, iar altă dată legate astfel încît fluxurile să se scadă (să fie de sens contrar). Cum sensul fluxului depinde de sensul curentului prin bobine, este necesar ca în varianta a doua să se inverseze sensul curentului într-o bobină, inversînd legarea capetelor ei în circuit.

● Măsurarea inductanței totale a celor două bobine se realizează cu același **montaj** și aceeași metodă ca și în cazul inductanțelor proprii numai că între punctele A , B se leagă cele două bobine în serie.

● **Modul de lucru.** Se procedează astfel:

I — cele două bobine se leagă în serie așa încît fluxurile lor să se însumeze (fig. 10.4, *a*). În acest caz inductanța mutuală L_{12} este pozitivă. Se măsoară inductanța totală L_I :

$$L_I = L_1 + L_2 + 2L_{12}; \quad (10.7)$$

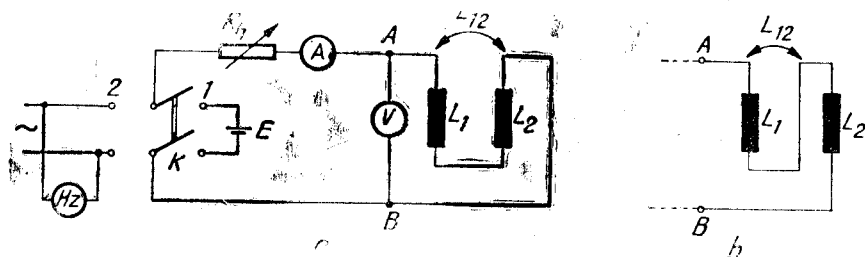


Fig. 10.4. Măsurarea inductanțelor mutuale.

II — cele două bobine se leagă în serie așa încît fluxurile lor să se scadă (fig. 10.4, *b*). În acest caz inductanța mutuală este negativă. Se măsoară inductanța totală L_{II} , care va fi:

$$L_{II} = L_1 + L_2 - 2L_{12}. \quad (10.8)$$

Făcînd diferența $L_I - L_{II}$, se obține:

$$L_I - L_{II} = 4L_{12},$$

de unde:

$$L_{12} = \frac{L_I - L_{II}}{4}. \quad (10.9)$$

3. PUNȚI DE CURENT ALTERNATIV

Punțile de curent alternativ, utilizate la măsurarea impedanțelor, au aceeași schemă de principiu și același mod de funcționare ca și punțile de curent continuu. Pentru comparație, în figura 10.5 sînt reprezentate o punte de curent continuu și o punte de curent alternativ.

Puntea de curent alternativ este alimentată de la o sursă de frecvență f , elementele din brațele sale se comportă ca impedanțe, iar instrumentul indicator de nul trebuie să funcționeze la frecvența f a sursei.

● **Condițiile de echilibru.** Ca și la punțile de curent continuu, cînd prin diagonala în care este montat instrumentul indicator curentul este zero, între cele patru brațe ale punții există o relație bine determinată, cunoscută sub numele de *condiția de echilibru*, și care este aceeași ca și la punțile de curent continuu (produsul a două brațe opuse este egal cu produsul celorlalte două brațe opuse, sau raportul a două brațe alăturate este egal cu raportul celorlalte două brațe alăturate).

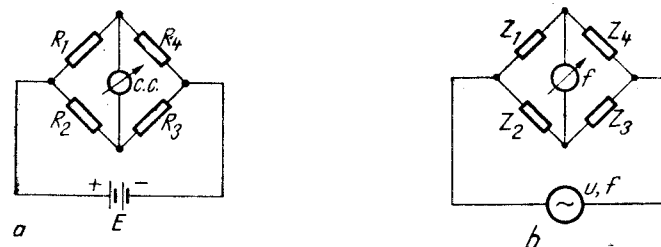


Fig. 10.5. Punți electrice de măsurat:

a — punte de c.c.; b — punte de c.a.

În curent alternativ, această condiție devine:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \text{ sau } \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_4}{Z_3}. \quad (10.10)$$

Fiecare impedanță poate fi exprimată prin modulul său $|Z|$ și prin defazajul φ pe care îl introduce: $Z = |Z|e^{j\varphi}$. Ca urmare, condiția de echilibru se poate scrie și sub forma:

$$|Z_1|e^{j\varphi_1}|Z_3|e^{j\varphi_3} = |Z_2|e^{j\varphi_2}|Z_4|e^{j\varphi_4},$$

ceea ce este echivalent cu două relații, una referitoare la module și cealaltă la faze:

$$\boxed{|Z_1||Z_3| = |Z_2||Z_4|} \text{ și } \boxed{\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4} \quad (10.11)$$

Cea de-a doua relație arată că punțile de curent alternativ nu pot avea orice configurație.

Dacă în două brațe ale unei punți sînt numai rezistențe, în celelalte două brațe opuse trebuie să fie reactanțe de semn contrare (într-un braț inductanță, în brațul opus capacitate).

De exemplu, dacă $Z_1 = R_1$ și $Z_3 = R_3$, atunci $\varphi_1 = \varphi_3 = 0$, și $\varphi_2 + \varphi_4 = 0$. Rezultă că defazajele φ_2 și φ_4 trebuie să fie de semn contrare, deci impedanțele Z_2 și Z_4 să conțină reactanțe diferite.

Din această categorie fac parte punțile Maxwell și Hay.

Dacă în două brațe alăturate ale unei punți sînt numai rezistențe, de exemplu $Z_1 = R_1$ și $Z_2 = R_2$, în celelalte două brațe alăturate trebuie să fie reactanțe de același fel ($\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ și $\varphi_3 = \varphi_4$, deci φ_3 și φ_4 trebuie să aibă același semn). Din această categorie fac parte punțile Sauty și Nernst.

Ca și la punțile de curent continuu, dacă se cunosc elementele din trei brațe, se pot deduce cele din al patrulea braț. Pentru calcule se utilizează de obicei exprimarea impedanțelor sub forma numerelor complexe. În cazul cel mai general, fiecare impedanță poate fi de forma $Z = R + jX$ și condiția de echilibru devine:

$$(R_1 + jX_1)(R_3 + jX_3) = (R_2 + jX_2)(R_4 + jX_4). \quad (10.12)$$

Desfăcînd parantezele și separînd partea reală de partea imaginară se obțin două relații care exprimă împreună condiția de echilibru:

$$\begin{cases} R_1 R_3 - X_1 X_3 = R_2 R_4 - X_2 X_4; \\ R_1 X_3 + R_3 X_1 = R_2 X_4 + R_4 X_2 \end{cases} \quad (10.13)$$

● **Echilibrarea punții.** Pentru satisfacerea celor două relații de echilibru, la punțile de curent alternativ sînt necesare două elemente

de reglaj. Acestea pot fi rezistoare, bobine sau condensatoare variabile. Deoarece bobinele variabile de inductanțe cunoscute se realizează mai greu în practică, pentru echilibrarea punților de curent alternativ se preferă rezistoare și condensatoare variabile.

Există o mare varietate de punți de curent alternativ. Ele poartă de obicei numele savanților care le-au propus. Se vor analiza în continuare cîteva dintre cele mai răspîndite punți.

a. PUNȚI PENTRU MĂSURAREA CAPACITĂȚII

● **Puntea Sauty** (fig. 10.6, b) este folosită pentru măsurarea condensatoarelor de bună calitate, cu pierderi mici, a căror schemă echivalentă se reprezintă de obicei ca în figura 10.6, a. Rezistența R_x figurată în serie cu capacitatea C_x reprezintă rezistența armăturilor condensatorului și a terminalelor și este de valoare mică.

● **Modul de lucru.** Se montează condensatorul de măsurat la bornele special prevăzute în construcția punții și se reglează elementele variabile pînă cînd instrumentul indicator arată zero. În acest moment, condiția de echilibru este satisfăcută și se poate scrie:

$$R_1 \left(R_3 + \frac{1}{j\omega C_3} \right) = R_2 \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right). \quad (10.14)$$

Separînd părțile imaginare de cele reale, rezultă:

$$R_1 R_3 = R_2 R_x \text{ de unde: } \boxed{R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3} \quad (10.15)$$

$$\frac{R_1}{\omega C_3} = \frac{R_2}{\omega C_x} \text{ de unde: } \boxed{C_x = \frac{R_2}{R_1} C_3} \quad (10.16)$$

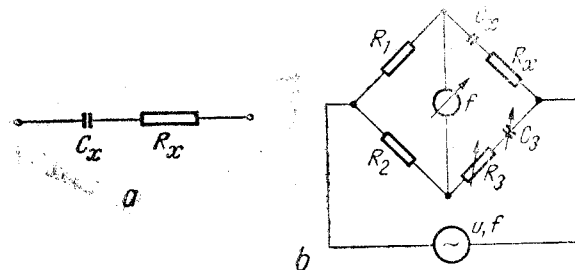


Fig. 10.6. Schema echivalentă a unui condensator cu pierderi mici (a); puntea Sauty (b).

După cum se observă, R_x este proporțional cu R_3 , iar C_x — cu C_3 . Această proporționalitate permite să se gradeze R_3 în valori ale lui R_x și C_3 în valori ale lui C_x . Raportul $\frac{R_1}{R_2}$ devine factor de multiplicare.

● **Puntea Nernst** (fig. 10.7, b) se folosește pentru măsurarea condensatoarelor cu pierderi mari, a căror schemă echivalentă se reprezintă de obicei ca în figura 10.7, a. Rezistența R_x figurată în paralel cu capacitatea C_x este în acest caz de valoare mare și reprezintă rezistența în curent alternativ a dielectricului dintre armăturile condensatorului. Brațul în care se află elementele de reglaj are o schemă asemănătoare cu schema echivalentă a condensatorului de măsurat.

Modul de lucru. Se montează condensatorul de măsurat la bornele prevăzute în acest scop și se reglează pe rînd elementele variabile până se aduce puntea la echilibru, cînd se poate scrie:

$$R_1 \frac{1}{\frac{1}{R_3} + j\omega C_3} = R_2 \frac{1}{\frac{1}{R_x} + j\omega C_x} \quad (10.17)$$

Aducînd la același numitor și separînd părțile reale de cele imaginare, se obține:

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3} \text{ de unde } R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 \quad (10.18)$$

și

$$R_1 \omega C_x = R_2 \omega C_3 \text{ de unde: } C_x = \frac{R_2}{R_1} C_3 \quad (10.19)$$

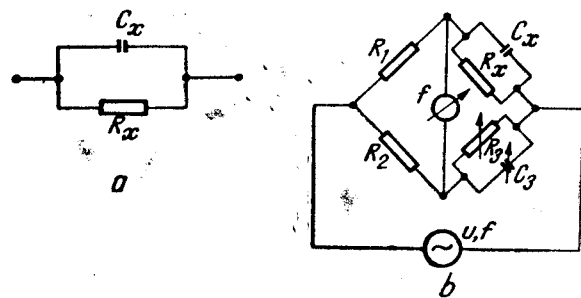


Fig. 10.7. Schema echivalentă a unui condensator cu pierderi mari (a); puntea Nernst (b).

Ca și la puntea Sauty, și la puntea Nernst se pot gradea R_3 în valori ale lui R_x , și C_3 în valori ale lui C_x . Raportul $\frac{R_1}{R_2}$ devine factor de multiplicare.

● **Puntea Schering** este una dintre cele mai răspândite punți. Este folosită atât la tensiuni joase, cât și la tensiuni înalte. De asemenea, se folosește atât în joasă frecvență, cât și la frecvențe înalte.

Puntea Schering reprezentată în figura 10.8 se utilizează pentru măsurarea condensatoarelor sub înaltă tensiune. Montajul este astfel realizat încît aproape toată tensiunea să se regăsească la bornele condensatoarelor C_x și C_1 ; pe elementele de reglaj nu se aplică decît o mică parte din tensiunea de alimentare a punții, astfel încît să fie respectate normele de tehnica securității muncii. Pentru a înlătura pericolul apariției unor tensiuni mari pe elementele reglabile ale punții, punctele A și B se conectează la masă prin siguranțele de protecție S. În cazul ridicării tensiunii peste o anumită valoare, siguranțele S se străpung și brațele reglabile ale punții sînt legate la pămînt.

● **Modul de lucru** este același ca la celelalte punți. Din condiția de echilibru:

$$R_3 \frac{1}{j\omega C_1} = \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2} \quad (10.20)$$

se poate deduce:

$$R_x = \frac{C_2^2}{C_1} R_3 \text{ și } C_x = \frac{R_2}{R_3} C_1 \quad (10.21)$$

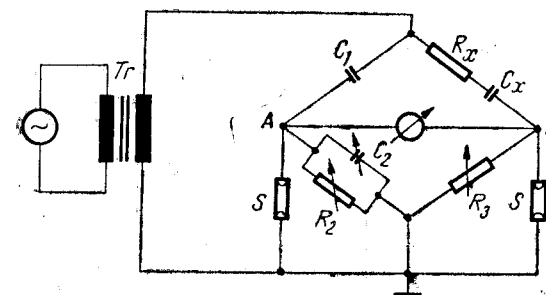


Fig. 10.8. Puntea Schering pentru măsurarea condensatoarelor sub înaltă tensiune.

b. PUNȚI PENTRU MĂSURAREA INDUCTANȚEI

● **Puntea Maxwell** (fig. 10.9) este cea mai utilizată punte pentru măsurarea bobinelor. În construcția sa, în două brațe opuse se folosesc rezistoare, iar la brațul opus bobinei ce se măsoară se află un condensator în paralel cu un rezistor.

Modul de lucru. Se aduce puntea în echilibru prin reglarea pe rând a elementelor variabile. La echilibru se poate scrie:

$$R_1 R_3 = (R_x + j\omega L_x) \left(\frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2} \right). \quad (10.22)$$

Din relația (10.22) se poate deduce:

$$\boxed{R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}} \quad \text{și} \quad \boxed{L_x = R_1 R_3 C_2} \quad (10.23)$$

Puntea Maxwell este destinată măsurării bobinelor cu factor de calitate $\left(Q = \frac{\omega L_x}{R_x}\right)$ mic. La bobinele cu Q mare, R_x este foarte mic și după cum rezultă din relația (10.23) ar fi necesar ca R_2 să fie de valoare foarte mare. Acest lucru este mai dificil de realizat în practică.

● **Puntea Hay** (fig. 10.10) se folosește pentru măsurarea bobinelor cu factor de calitate mare. Spre deosebire de puntea Maxwell, în construcția punții Hay elementele de reglaj din brațul opus bobinei sînt montate în serie.

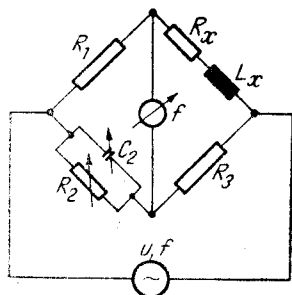


Fig. 10.9. Puntea Maxwell.

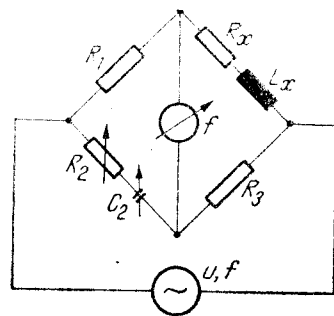


Fig. 10.10. Puntea Hay.

Modul de lucru. Reglînd elementele variabile pe rînd, se aduce puntea la echilibru, cînd este satisfăcută relația:

$$R_1 R_3 = (R_x + j\omega L_x) \left(R_2 - \frac{1}{j\omega C_2} \right). \quad (10.24)$$

Separînd părțile reale de cele imaginare, se obține:

$$R_1 R_3 = R_2 R_x + \frac{L_x}{C_2} \quad \text{și} \quad \frac{R_x}{\omega C_2} = R_2 \omega L_x. \quad (10.25)$$

Încă în ultima relație se împart ambii termeni cu R_x și R_2 , se observă că $\frac{1}{\omega R_2 C_2} = \frac{\omega L_x}{R_x} = Q$. Rezolvînd sistemul format din relațiile (10.25) și ținînd seama că $Q \gg 1$, rezultă:

$$\boxed{R_x = R_1 R_2 R_3 \omega^2 C_2^2} \quad \text{și} \quad \boxed{L_x = R_1 R_3 C_2} \quad (10.26)$$

După cum se observă din expresia lui R_x , echilibrul acestei punți depinde de frecvență: ca urmare, tensiunea cu care se alimentează puntea trebuie să fie sinusoidală, de frecvență constantă și cunoscută.

c. PUNȚI RLC. PUNȚI RC

În practică se întîlnesc frecvent punți care permit măsurarea rezistențelor, inductanțelor și capacităților, cunoscute sub numele de *punți universale* sau *punți RLC*. Unele variante constructive permit numai măsurarea rezistențelor și capacităților, fiind deci punți RC.

Aceste aparate au în componența lor diferite elemente, care prin intermediul comutatoarelor se pot distribui astfel încît să formeze o punte de tip Wheatstone în cazul măsurării rezistențelor, de tip Sauty în cazul măsurării condensatoarelor și de tip Maxwell cînd se măsoară bobine.

d. PUNȚI ELECTRONICE

În construcția punților moderne, intervin blocuri funcționale realizate cu componente electrice. Astfel, instrumentul indicator de nul este un voltmetru electronic, pentru alimentarea în curent continuu punțile sînt prevăzute cu un redresor, iar pentru măsurarea în curent alternativ, la o frecvență diferită de 50 Hz, punțile sînt prevăzute cu generatoare care lucrează pe o anumită frecvență (de obicei 1 000 Hz în joasă frecvență și 1 MHz în înaltă frecvență).

În țara noastră se produc punți RLC la I.E.M.I. în București. De exemplu, puntea RLC tip E 0704 are următoarele posibilități de măsurare:

- măsurări de rezistențe de la 0,5 Ω la 105 MΩ;
- măsurări de capacități de la 1 pF la 1 050 μF;
- măsurări de inductanțe de la 50 μH la 105 H;
- măsurări procentuale între -20% și +20%.

Puntea tip E 0704 poate funcționa în curent continuu și în curent alternativ cu frecvența de 50 Hz sau 1 000 Hz.

4. MĂSURĂRI CU Q-METRUL

Q-metrul este un aparat industrial destinat să măsoare factorul de calitate Q . El este un aparat foarte mult folosit deoarece permite și alte măsurări, cum ar fi: măsurarea inductanțelor, măsurarea rezistențelor în înaltă frecvență, măsurarea capacităților etc.

Funcționarea Q-metrului se bazează pe proprietatea circuitelor LC serie de a prezenta la rezonanță, la bornele elementelor lor, o tensiune de Q ori mai mare decât tensiunea cu care au fost alimentate în serie.

● **Schema de principiu** a unui Q-metru este reprezentată în figura 10.11. Condensatorul variabil C împreună cu bobina ce se montează la bornele A, B formează un circuit LC care este alimentat în serie de la un generator G de frecvență variabilă prin intermediul unui cuplaj care trebuie să prezinte o rezistență neglijabilă. Voltmetrul electronic VE_1 măsoară tensiunea cu care este alimentat circuitul LC, iar voltmetrul electronic VE_2 măsoară tensiunea la bornele condensatorului C .

● **Modul de lucru.** Dacă circuitului LC i se aplică în serie o tensiune U_1 , intensitatea curentului prin acest circuit va fi:

$$I = \frac{U_1}{R_L + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad (10.27)$$

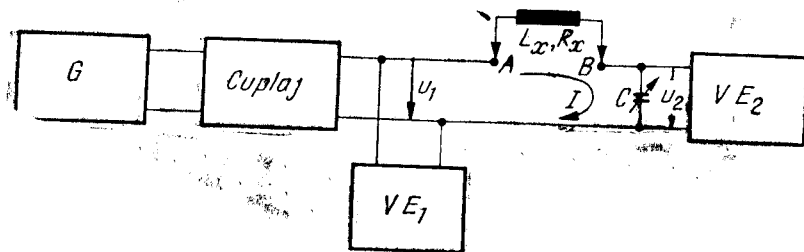


Fig. 10.11. Q-metrul.

Variind capacitatea condensatorului C sau frecvența generatorului se aduce circuitul LC la rezonanță. În acest caz, $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ și intensitatea curentului devine maximă:

$$I = I_{max} = \frac{U_1}{R_L} \quad (10.28)$$

Rezonanța este pusă în evidență de voltmetrul VE_2 care măsoară la rezonanță la bornele condensatorului tot o tensiune maximă:

$$U_{2max} = I_{max} X_C = \frac{U_1}{R_L} \cdot \frac{1}{\omega_0 C} \quad (10.29)$$

Înlocuind $\frac{1}{\omega_0 C}$ cu $\omega_0 L$ se obține:

$$U_{2max} = U_1 \frac{\omega_0 L}{R_L} = U_1 Q \quad (10.30)$$

Conform relației (10.30), tensiunea la bornele condensatorului C , la rezonanță, este de Q ori mai mare decât tensiunea U_1 cu care s-a alimentat circuitul.

Dacă se menține U_1 constant, $U_2 = KQ$. Această relație permite transcrierea scării gradate a voltmetrului VE_2 în valori ale lui Q , obținându-se astfel un aparat cu citire directă pentru măsurarea factorului de calitate. Punându-se condiția $U_1 = K$, rezultă că scara gradată în valori ale lui Q este valabilă numai pentru o anumită valoare a tensiunii U_1 . Pentru a se respecta această condiție, pe scara gradată a voltmetrului VE_1 este trasat un reper, iar tensiunea U_1 se reglează astfel încât indicația voltmetrului VE_1 să fie totdeauna la reperul respectiv.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Adaptați metoda comparării tensiunilor, studiată în c.c. pentru măsurarea rezistențelor, la măsurarea impedanțelor!
2. De ce la punțile de c.a. sînt necesare cel puțin două elemente de reglaj?
3. Comparați punțile Sauty și Nernst!
4. Comparați punțile Maxwell și Hay!
5. Cum se va modifica scara gradată a unui Q-metru, dacă tensiunea măsurată de voltmetrul VE_1 este jumătate din cea corespunzătoare reperului de pe scara gradată?

MĂSURAREA FRECVENȚELOR

Frecvența caracterizează mărimile periodice și reprezintă numărul de perioade în unitatea de timp. Unitatea de măsură pentru frecvențe în sistemul SI este herțul, având ca simbol Hz.

În practică se întâlnesc frecvențe de la fracțiuni de herț pînă la zeci de gigaherți. Un domeniu atît de larg de frecvențe a generat și o mare varietate de metode și aparate de măsurat. Metodele cele mai folosite sînt:

- metode de comparație:
 - } cu osciloscopul catodic;
 - } cu heterodinare;
- metode de rezonanță;
- metode directe;
- metode numerice.

Metodele care folosesc osciloscopul catodic vor fi studiate la capitolul destinat osciloscopului, iar metodele numerice — la capitolul care tratează aparatele de măsurat digitale.

A. METODE DE COMPARAȚIE

La metodele de comparație, frecvența de măsurat se compară cu frecvența unui generator de frecvență variabilă și cunoscută.

Dintre metodele de comparație face parte și metoda heterodinării, folosită atît în joasă, cît și în înaltă frecvență.

METODA HETERODINĂRII

Măsurarea frecvențelor cu metoda heterodinării se bazează pe principiul heterodinării, conform căruia dacă la intrarea unui element de circuit nelinier se aplică simultan două semnale de frecvențe diferite f_1 și f_2 , la ieșirea lui, pe lîngă semnalele aplicate la intrare, datorită neliniarității, apar și semnale care au frecvențe egale cu suma frecvențelor de la intrare ($f_1 + f_2$) sau cu diferența lor ($f_1 - f_2$). Semnalul avînd frecvența egală cu $f_1 - f_2$ se poate separa cu un filtru trece-jos și măsura.

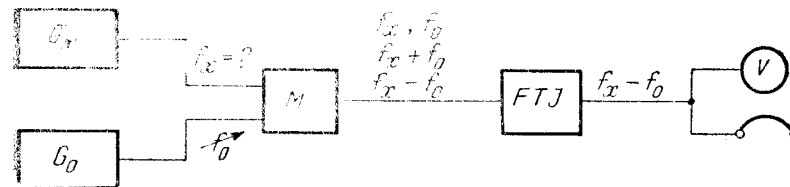


Fig. 11.1. Măsurarea frecvențelor cu metoda heterodinării.

● **Montajul** folosit la măsurarea frecvențelor prin metoda heterodinării este reprezentat în figura 11.1, în care G_x este generatorul frecvenței f_x ce urmează să se măsoare, iar G_0 este un generator de frecvență f_0 variabilă și cunoscută. Semnalele date de cele două generatoare se aplică elementului nelinier M . La ieșirea acestuia apar și semnale avînd frecvențe $f_x + f_0$ și $f_x - f_0$. Semnalul cu frecvența $f_x - f_0$ se selectează cu filtrul trece-jos (FTJ) și se urmărește într-o cască telefonică conectată în paralel cu un voltmetru de c.a.

● **Modul de lucru.** Se realizează montajul din figura 11.1 și se variază frecvența f_0 a generatorului G_0 , urmărind ca în cască să se audă tonuri din ce în ce mai joase. Cînd în cască nu se mai aude nimic, se continuă variația frecvenței f_0 în același sens, pînă cînd voltmetrul V indică zero. În acest caz nu mai există componente de curent alternativ, deci $f_x - f_0 = 0$. Din această egalitate se obține:

$$f_x = f_0, \quad (11.1)$$

ceea ce înseamnă că în momentul în care voltmetrul indică zero, frecvența de măsurat este egală cu frecvența generatorului G_0 .

B. METODE DE REZONANȚĂ

Metodele de rezonanță se bazează pe proprietățile selective ale circuitelor LC . După cum se știe, circuitele LC prezintă fenomenul de rezonanță pentru o frecvență dependentă de valorile inductanței L și capacității C ($f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$).

Pentru frecvența de rezonanță la circuitul LC serie intensitatea curentului este maximă, iar la circuitul LC derivație tensiunea este maximă. Curbele de rezonanță, reprezentînd variația intensității curentului în funcție de frecvență $I = F(f)$ la circuitul LC serie, respectiv variația tensiunii în funcție de frecvență la circuitul LC derivație, sînt arătate în figura 11.2.

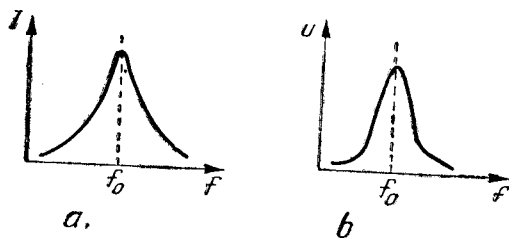


Fig. 11.2. Curbele de rezonanță ale circuitelor LC:
a - circuitul LC serie; b - circuitul LC derivație.

FRECVENȚMETRUL DE REZONANȚĂ

● **Montajul.** Frecvențimetrul de rezonanță se folosește la măsurarea frecvențelor înalte (radiofrecvențe). El este format dintr-un circuit LC alcătuit dintr-o bobină fixă L și un condensator variabil C și un aparat cu care se poate pune în evidență fenomenul de rezonanță. În acest scop se poate folosi în serie cu circuitul un ampermetru cu termocuplu (fig. 11.3, a), sau în paralel pe circuit — un voltmetru electronic (fig. 11.3, b).

● **Modul de lucru.** Pentru măsurarea frecvenței f_x a unui semnal, se apropie frecvențimetrul la câțiva centimetri de sursa de semnal, realizându-se în acest mod un cuplaj inductiv. Se variază condensatorul C pînă cînd ampermetrul A sau voltmetrul V indică un maxim. În acest moment, frecvențimetrul este la rezonanță pe frecvența sursei:

$$f_x = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (11.2)$$

Deoarece inductanța L are o valoare constantă, se poate scrie:

$$f = K \frac{1}{\sqrt{C}}. \quad (11.3)$$

Pe baza acestei relații, se poate transcrie scara gradată a condensatorului C în valori ale frecvenței, obținându-se un aparat cu citire directă.

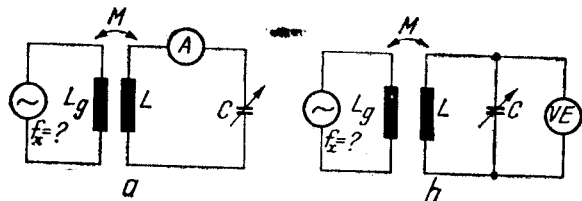


Fig. 11.3. Măsurarea frecvenței cu frecvențimetre de rezonanță:
a - cu ampermetru cu termocuplu; b - cu voltmetru electronic.

Frecvențimetrele de rezonanță se pot etalona și în lungimi de undă corespunzătoare frecvențelor ce se măsoară, pe baza relației:

$$\lambda = c \cdot T, \quad (11.4)$$

unde λ este lungimea de undă, c — viteza de propagare a undelor electromagnetice, egală cu viteza luminii ($3 \cdot 10^{10}$ cm/s), iar T — perioada semnalului ce se măsoară. Deoarece $T = \frac{1}{f}$,

$$\lambda = \frac{c}{f}. \quad (11.5)$$

Această relație permite transcrierea scărilor gradate ale frecvențimetrele în lungimi de undă, obținându-se aparate ce poartă numele de *undametre*. Undametrele sînt foarte mult utilizate în radiocomunicații.

C. METODELE DIRECTE

Frecvențimetrele cu citire directă sînt aparate indicatoare cu scara gradată în herți și care nu necesită reglaje sau operații suplimentare în timpul măsurării.

1. FRECVENȚMETRUL CU LAME VIBRANTE

Frecvențimetrele cu lame vibrante se folosesc pentru frecvențe joase, de obicei pentru frecvența rețelei.

Aparatul, reprezentat schematic în figura 11.4, conține mai multe lame metalice avînd frecvențe de rezonanță mecanică diferite. În apropierea lamelor, se află o bobină parcursă de curentul a cărui frecvență se măsoară. Sub influența bobinei, lama care are frecvența de rezonanță egală cu frecvența curentului începe să vibreze, indicînd în acest mod frecvența.

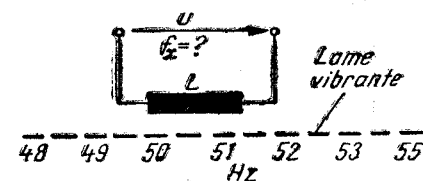


Fig. 11.4. Reprezentarea schematică a unui frecvențimetru cu lame vibrante.

2. FRECVENȚMETRU CU LOGOMETRU

Frecvențmetrele cu logometru funcționează de asemenea la frecvențe joase (până la câteva mii de herți). Ele folosesc ca instrumente indicatoare logometre feromagnetice, electrodinamice sau ferodinamice.

Un logometru este un aparat cu două circuite de măsurare, parcurse de doi curenți I_1 și I_2 , și a cărui indicație este funcție de raportul intensităților celor doi curenți:

$$\alpha = K \frac{I_2}{I_1} \quad (11.6)$$

În figura 11.5, a este prezentată schema unui frecvențmetru cu logometru feromagnetic. În serie cu fiecare bobină a logometrului este conectat câte un circuit LC, acordat pe frecvențele f_{01} și respectiv f_{02} . Variația curenților I_1 și I_2 în funcție de frecvență este reprezentată în figura 11.5, b. Indicația aparatului fiind proporțională cu raportul celor doi curenți, va fi la rândul său funcție de frecvență, iar scara se poate grada direct în frecvențe.

Frecvențmetrele cu logometru se construiesc pentru intervale reduse de frecvențe, cuprinse între cele două frecvențe de rezonanță (de exemplu 45—55 Hz; 410—450 Hz; 1 450—1 550 Hz).

3. FRECVENȚMETRE CU CONDENSATOR

Frecvențmetrele cu condensator funcționează într-o bandă largă de frecvențe, începând de la fracțiuni de herț până la circa 100 kHz. Funcționarea lor se bazează pe proporționalitatea între intensitatea curentului într-un circuit care are ca sarcină un condensator și frecvență. Schema principală a unui frecvențmetru cu condensator este reprezentată în figura 11.6. Aplicând legea lui Ohm, se obține:

$$I = \frac{U}{X_C} = U \cdot C \cdot 2\pi f_x \quad (11.7)$$

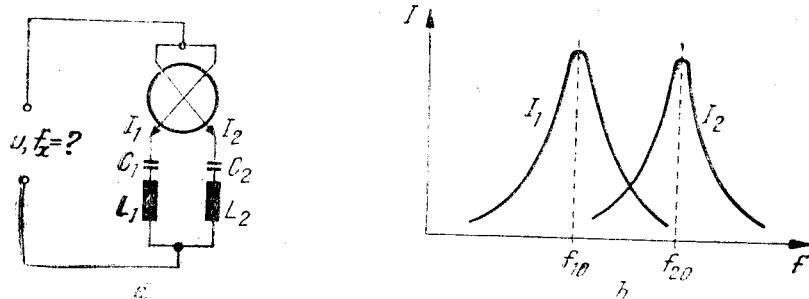


Fig. 11.5. Frecvențmetrul cu logometru.

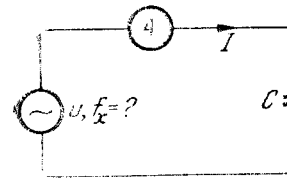


Fig. 11.6. Schema principală a unui frecvențmetru cu condensator.

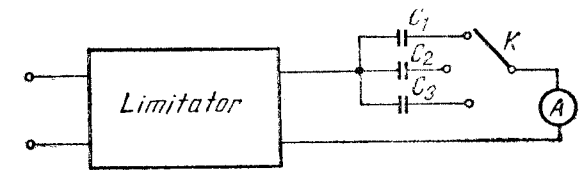


Fig. 11.7. Schema bloc a unui frecvențmetru cu condensator.

Dacă circuitul se alimentează de la tensiune constantă, se poate nota $UC2\pi = K$ și se obține:

$$I = Kf \quad (11.8)$$

Această relație între intensitatea curentului și frecvență permite transcrierea scării gradate a ampermetrului în valori ale frecvenței, obținându-se un frecvențmetru cu citire directă.

La realizarea practică a frecvențmetrelor cu condensator apar două probleme:

- tensiunea ce alimentează circuitul cu condensator trebuie să fie constantă;
- ampermetrul trebuie să funcționeze într-o bandă largă de frecvențe.

Pentru menținerea tensiunii constante în circuitul cu condensator, indiferent de amplitudinea tensiunii aplicate la intrarea aparatului, frecvențmetrele sînt prevăzute cu un limitator. Limitatorul este un circuit care menține tensiunea la ieșirea sa constantă dacă tensiunea de la intrare depășește o anumită valoare, numită prag de limitare.

Pentru obținerea unui ampermetru care să funcționeze într-o bandă largă de frecvențe, se folosește un aparat magnetoelectric împreună cu un detector.

Schema bloc a unui frecvențmetru cu condensator este reprezentată în figura 11.7. Comutatorul K permite schimbarea condensatorului, pentru a obține mai multe intervale de măsurare ($\times 1$; $\times 10$; $\times 100 \dots$).

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce s-ar întâmpla dacă folosind metoda heterodinării pentru controlul la ieșire ar fi prevăzută numai casca telefonică? Dar dacă ar fi numai voltmetrul?
2. În figura 11.3, se observă că frecvențmetrul de rezonanță nu are borne de legătură cu circuitul de măsurat. Cum se realizează în acest caz cuplajul?

OSCILOSCOPUL

A. GENERALITĂȚI

Osciloscopul este un aparat care permite vizualizarea pe ecranul unui tub catodic a curbelor ce reprezintă variația în timp a diferitelor mărimi sau a curbelor ce reprezintă dependența între două mărimi. Imaginile obținute pe ecran se numesc oscilograme.

1. UTILIZĂRI

Osciloscopul este unul dintre cele mai răspândite aparate electronice, și are o largă utilizare, fie ca aparat de sine stătător, fie ca parte componentă a altor aparate electronice.

Ca aparat de sine stătător, el se utilizează la:

- vizualizarea și studierea curbelor de variație în timp a diferitelor semnale electrice, (curenți, tensiuni);
- compararea diferitelor semnale electrice;
- măsurarea unor mărimi electrice (tensiuni, intensități ale curentului, frecvențe, defazaje, grad de modulație, distorsiuni etc.);
- măsurarea valorilor instantanee a unor semnale (tensiuni curenți);
- măsurarea intervalelor de timp;
- vizualizarea caracteristicilor componentelor electronice (tuburi electronice, tranzistoare), a curbelor de histerzis ale materialelor magnetice etc.

Uneori osciloscopul face parte din sisteme de măsurare și control sau din aparate mai complexe, cum ar fi: caracterograful (aparat pentru vizualizarea caracteristicilor tranzistoarelor), vobuloscopul (aparat pentru vizualizarea caracteristicilor de frecvență ale amplificatoarelor), selectograful (aparat pentru vizualizarea curbelor de selectivitate) etc.

Împreună cu diferite traductoare, osciloscopul poate fi folosit și la studierea și măsurarea unor mărimi neelectrice, cum ar fi în medicină, fizică nucleară, geofizică etc.

Osciloscopul se realizează într-o mare varietate de tipuri constructive. În țara noastră se construiesc diferite tipuri de osciloscops la I.E.M.I. — București.

2. PROPRIETĂȚI

Ca aparat de măsurat și control, osciloscopul prezintă unele avantaje ca:

- impedanță de intrare mare, de ordinul megohmilor;
- consum de putere foarte mic de la circuitul de măsurat;
- sensibilitate mare (la unele tipuri constructive constanta fiind de fracțiuni de mV/cm);
- bandă de frecvențe foarte largă, pînă la sute de megaherți și în construcții speciale (cu eșantionare), pînă la zeci de gigaherți;
- comoditate în exploatare.

3. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Elementul principal al unui osciloscop este tubul catodic. Pentru a putea afișa pe ecranul tubului catodic curba ce reprezintă dependența între două mărimi, $A = f(B)$, este necesar:

- să se obțină pe un ecran un punct luminos (spot);
- să se poată deplasa acest punct după două direcții, orizontală (x) și verticală (y), pentru a descrie pe un ecran curba dorită. Realizarea acestor deziderate este posibilă avînd în vedere:
- proprietatea unui fascicul de electroni de a produce în punctul de impact (de ciocnire) iluminarea unui ecran tratat cu substanțe luminofoare;
- proprietatea unui fascicul de electroni de a fi deviat sub acțiunea unui cîmp electric sau magnetic.

Fasciculul de electroni este produs, focalizat și accelerat în tubul catodic și lovește ecranul acestuia producînd un punct luminos (spot). Deplasarea spotului pe ecran se realizează prin devierea fasciculului de electroni cu ajutorul unor cîmpuri electrice create de două perechi de plăci de deflexie din interiorul tubului catodic, la aplicarea unor tensiuni U_y la plăcile de deflexie pe direcția y și U_x la plăcile de deflexie pe direcția x .

Pentru ca pe ecran să apară curba $A = f(B)$, celor două perechi de plăci de deflexie li se aplică tensiuni U_y și U_x proporționale cu mărimile A și respectiv B . Ca urmare, spotul se va deplasa după direcțiile y și x în același ritm în care variază mărimile A și B .

Dacă mărimile A și B sînt periodice, pentru ca pe ecran să apară o imagine stabilă este necesar ca între frecvențele celor două mărimi să existe relația:

$$f_A = n \cdot f_B, \quad (12.1)$$

unde n este un număr întreg.

B. CONSTRUCȚIE ȘI FUNCȚIONARE

1. ELEMENTE COMPONENTE. SCHEMA BLOC

Deoarece toate osciloscopia construite în prezent sînt prevăzute cu posibilitatea funcționării generatorului bază de timp și în regim declanșat, denumirea de *sincroscoap* folosită pentru osciloscopia cu bază de timp declanșată nu mai este practic utilizată.

Osciloscopia moderne sînt alcătuite din mai multe elemente componente, conectate între ele după o schemă bloc ca cea reprezentată în figura 12.1, care conține: tubul catodic, amplificatoarele A_y și A_x , atenuatoarele At_y și At_x , generatorul bazei de timp, circuitul de sincronizare (de declanșare), circuitul pentru controlul intensității spotului, circuitul de întârziere și blocul de alimentare.

○ **Notă.** În afara blocurilor componente reprezentate în figura 12.1, care sînt comune tuturor osciloscopia moderne, la unele oscilo-

scoape se mai întîlnesc și alte circuite, cu destinații diferite în funcție de tipul și complexitatea aparatului.

● **Tubul catodic** este elementul principal al osciloscopia. În interiorul lui se generează fasciculul de electroni care — deviat sub acțiunea cîmpurilor produse de semnalele de studiat, ciocnesc ecranul, descriind pe acesta curbele dorite.

● **Amplificatoarele A_y și A_x** amplifică semnalele de studiat prea mici, înainte de a fi aplicate plăcilor de deflexie.

● **Atenuatoarele At_y și At_x** micșorează semnalele prea mari înainte de a fi aplicate amplificatoarelor A_y și A_x . La osciloscopia moderne, atenuatoarele sînt calibrate în V/cm sau mV/cm reprezentînd tensiunea necesară la intrarea atenuatorului pentru a produce o deplasare a spotului pe ecran de 1 cm. Această calibrare este valabilă numai dacă reglajul amplificării amplificatorului respectiv este la maxim.

● **Generatorul bazei de timp.** În cazul vizualizării curbelor ce reprezintă variația în timp a unor mărimi [$A = f(t)$], la plăcile de deflexie X trebuie să se aplice o tensiune proporțională cu timpul:

$$U_x = K_x t. \quad (12.2)$$

Tensiunea U_x trebuie deci să fie o tensiune liniar-variabilă în timp adică de forma dinților de ferăstrău. Această tensiune este generată în osciloscop de generatorul bazei de timp.

● **Circuitul de sincronizare (de declanșare).** Pentru ca imaginea de pe ecran să fie stabilă, conform relației (12.1) este necesar ca frecvența semnalului de vizualizat să fie un multiplu întreg al frecvenței bazei de timp:

$$f_A = n \cdot f_{BT}. \quad (12.3)$$

Pentru realizarea acestei condiții, generatorul bazei de timp are frecvența variabilă și, în plus, există posibilitatea sincronizării ei prin circuitul de sincronizare, fie cu semnalul de vizualizat, fie cu un alt semnal exterior.

Funcționare cu bază de timp declanșată

Pentru a se putea vizualiza și semnale neperiodice, la osciloscopia moderne generatorul bazei de timp poate funcționa la alegere, fie continuu (*relaxat*), generînd un semnal periodic chiar și în absența semnalului de vizualizat, fie *declanșat*.

Spre deosebire de funcționarea periodică, funcționarea declanșată este comandată chiar de semnalul de vizualizat. În lipsa semnalului, baza de timp nu funcționează. La apariția unui semnal la intrare, baza de timp se declanșează, generează un singur dinte de ferăstrău și

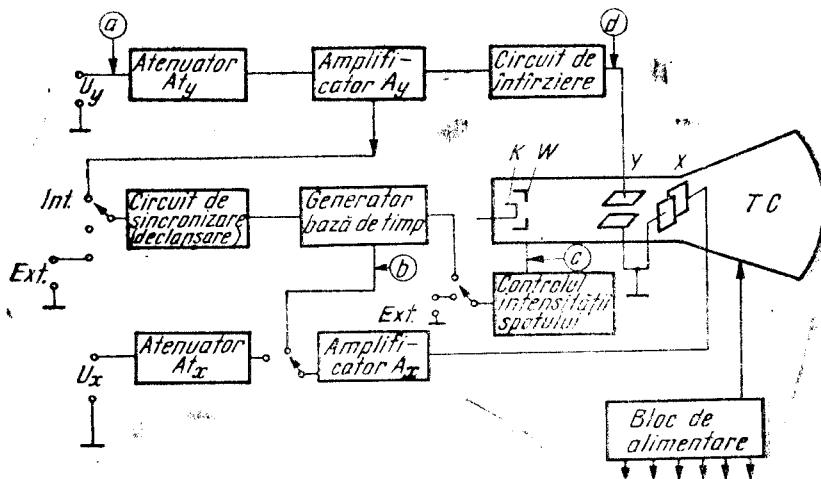


Fig. 12.1. Schema bloc a unui osciloscop catodic.

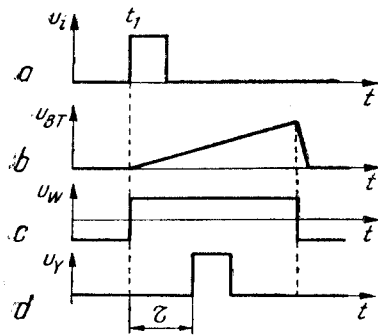


Fig. 12.2. Diagrammele tensiunilor în diferite puncte ale schemei osciloscopului:

a - tensiunea la intrare; b - tensiunea generată de baza de timp; c - tensiunea pe cilindrul Wehnelt; d - tensiunea după circuitul de întârziere.

apoi se blochează din nou în așteptarea unui alt semnal. În cazul în care la intrare se aplică un semnal periodic, baza de timp urmărind semnalul de la intrare devine periodică.

În figura 12.2. sînt reprezentate diagramele tensiunilor în diferite puncte ale schemei unui osciloscop funcționînd cu bază de timp declanșată. În figura 12.2, a este reprezentat semnalul aplicat la intrare în momentul $t = t_1$. Pînă la apariția semnalului, baza de timp este blocată. La $t = t_1$, baza de timp se declanșează, generează un dinte de ferăstrău și apoi se blochează din nou (fig. 12.2, b).

În cazul funcționării cu bază de timp declanșată, mai sînt necesare următoarele circuite:

- circuitul pentru controlul intensității spotului;
- circuitul de întârziere.

● **Circuitul pentru controlul intensității spotului.** În cazul funcționării cu bază de timp declanșată, în lipsa semnalului la intrare, baza de timp fiind blocată, atît plăcilor de deflexie Y cît și plăcilor de deflexie X nu li se aplică nici un semnal. În această situație fasciculul de electroni ar bombarda ecranul într-un singur punct, în centru, ceea ce ar duce la distrugerea luminoforului în punctul respectiv. Pentru a proteja ecranul, osciloscopul este prevăzut cu un circuit pentru controlul intensității spotului. Acesta furnizează o tensiune negativă care se aplică pe cilindrul Wehnelt pentru stingerea spotului cînd baza de timp este blocată (fig.12.2,c).

În concluzie, cînd generatorul funcționează cu bază de timp declanșată și la intrare nu se aplică semnal, spotul nu se vede deoarece este stins!

Circuitul pentru controlul intensității spotului mai este folosit și la stingerea spotului pe durata cursei de întoarcere și uneori la modularea intensității spotului cu un semnal exterior.

● **Circuitul de întârziere** are rolul de a întîrzi semnalul astfel încît acesta să se aplice plăcilor Y după ce baza de timp a început să

funcționeze. În figura 12.2, d este reprezentată diagrama tensiunii u_Y întîrziată față de tensiunea de la intrare, u_i , cu timpul τ . Dacă nu s-ar folosi circuitul de întîrziere, semnalul s-ar aplica plăcilor Y cînd spotul este stins și baza de timp blocată, ceea ce ar face ca începutul semnalului să nu apară pe ecran (fig. 12.3, a). Cu circuitul de întîrziere, semnalul se vizualizează corect (fig. 12.3, b).

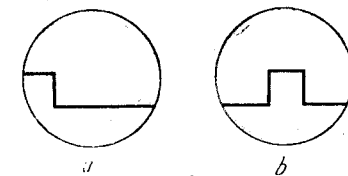


Fig. 12.3. Efectul circuitului de întârziere:

a - oscilogramă fără circuit de întârziere; a - oscilogramă cu circuit de întârziere.

● **Blocul de alimentare** conține surse stabilizate de înaltă și joasă tensiune și asigură alimentarea celorlalte blocuri, inclusiv a tubului catodic.

2. TUBUL CATODIC

Așa cum s-a arătat, tubul catodic este elementul principal al osciloscopului. El este un tub cu vid, care are o parte cilindrică și o parte tronconică (fig. 12.4).

● În interiorul tubului în partea cilindrică, se află un dispozitiv de emisie și focalizare, numit *tun electronic*, care emite, focalizează și accelerează fasciculul de electroni, și un sistem de deflexie pentru devierea acestui fascicul.

● În partea frontală, tubul catodic are un ecran, acoperit spre interior cu substanțe luminofore. El devine luminos în punctul în care este lovit de fasciculul de electroni.

● În interiorul tubului pe partea tronconică, este depus un strat bun conducător de electricitate, care are rolul de ecranare și de colectare a electronilor, după ce aceștia au lovit ecranul.

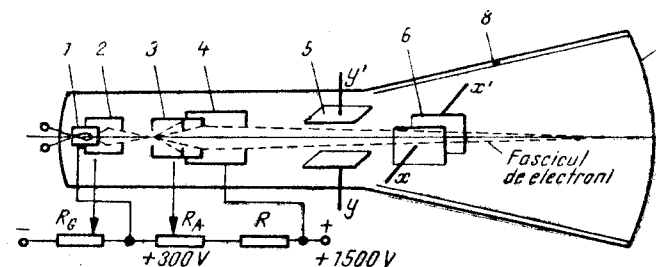


Fig. 12.4. Tubul catodic.

a. DISPOZITIVUL DE EMISIE ȘI FOCALIZARE
(TUNUL DE ELECTRONI)

Tunul de electroni este format de obicei dintr-un *catod*, un *electrod de comandă* și doi *anozi*; de focalizare și de accelerare.

● **Catodul 1** este un cilindru metalic cu suprafața frontală acoperită cu un strat de oxizi de bariu și stronțiu, ce pot emite ușor electroni. Catodul este încălzit de un filament, care se află în interior.

● **Electrodul de comandă 2**, numit și *cilindru Wehnelt*, este un electrod cilindric ce înconjoară catodul și care este prevăzut în partea frontală cu un mic orificiu prin care trec electronii.

Electrodul de comandă se află la un potențial negativ față de catod, frînând în acest mod deplasarea electronilor. Potențialul electrodului de comandă se poate varia cu potențiometrul R_C . Cu cât electrodul de comandă va fi mai negativ față de catod, cu atât mai puțini electroni vor reuși să treacă de el. În acest mod, reglînd negativarea cilindrului Wehnelt se poate controla numărul electronilor din fasciculul ce se îndreaptă spre ecran și, ca urmare, se poate regla luminozitatea spotului de pe ecran.

După trecerea prin electrodul de comandă, fasciculul de electroni este focalizat pe ecranul tubului catodic cu o lentilă electronică formată din cei doi anozi, de focalizare și de accelerare.

● **Anodul de focalizare 3** este un cilindru care are un potențial pozitiv față de catod (cîteva sute de volți), reglabil cu potențiometrul R_A . Variînd acest potențial se reglează distanța focală a lentilei electronice, astfel încît focarul ei să cadă pe ecran. Cînd reglajul este corect, imaginea de pe ecran are claritatea maximă.

● **Anodul de accelerare 4** este tot de formă cilindrică și are un potențial fix, pozitiv față de catod, de ordinul miilor de volți. El are rolul de a accelera mișcarea electronilor, determinînd viteza v_0 cu care aceștia se îndreaptă spre ecran.

b. DISPOZITIVUL DE DEFLEXIE

Deviația fasciculului de electroni se poate realiza cu cîmpuri electrostatice sau magnetice. La tuburile catodice folosite în osciloscop se utilizează deviația cu cîmpuri electrostatice; dispozitivul de deflexie este format din două perechi de plăci de deflexie dispuse perpendicular una pe alta, pentru devierea fasciculului de electroni după cele două direcții, x și y .

Cînd plăcile sînt la același potențial, fasciculul de electroni trece printre ele fără a fi deviat și lovește ecranul în centru.

Dacă se aplică plăcilor de deflexie o tensiune U_y (fig. 12.5), între ele apare un cîmp electric acestui cîmp, electronii vor fi atrași de placa mai pozitivă și respinși de placa mai negativă cu o forță $F_y = e \cdot E_y$, care va imprima electronilor o accelerație a_y după direcția y . Ca urmare, în spațiul dintre plăci electronii vor avea atît o mișcare uniformă cu viteza v_0 în lungul tubului, cît și o mișcare uniform accelerată pe direcția y . În urma combinării celor două mișcări, rezultă o traiectorie parabolică.

Cînd electronii ies dintre plăci, acțiunea cîmpului E_y încetează și ei își continuă mișcarea după o direcție tangentă la traiectoria parabolică, lovind ecranul la o distanță D_y față de centru. Deviația spotului pe ecran D_y este cu atît mai mare cu cît tensiunea U_y aplicată plăcilor y este mai mare.

Analog, dacă se aplică plăcilor o diferență de potențial, între ele apare un cîmp electric care deviază fasciculul de electroni pe direcția orizontală.

Cînd pe ambele perechi de plăci se aplică simultan cîte o diferență de potențial, fasciculul de electroni va fi deviat după o direcție rezultantă a acțiunii celor două cîmpuri.

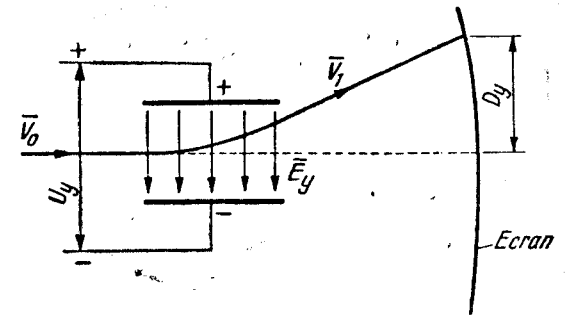


Fig. 12.5. Deviația fasciculului de electroni.

c. ECRANUL

După ce au trecut prin sistemul de deflexie, electronii ajung pe ecran (7) producînd spotul luminos. Rolul ecranului este de a transforma o parte cît mai mare din energia cinetică a electronilor în energie luminoasă. În acest scop, pe suprafața interioară a ecranului, este depusă o substanță fluorescentă numită luminofor, care devine luminoasă cînd este bombardată de electroni. Pentru a i se mări eficacitatea, se adaugă diferite substanțe activante.

Culoarea spotului luminos depinde de compoziția substanței fluorescente. Pentru observări vizuale se folosesc ecrane cu fluorescență

galben-verzuie, deoarece sensibilitatea ochiului este maximă în acest domeniu. Materialul folosit pentru aceste ecrane este wilemitul (ortosilicat de zinc) activat cu magneziu.

După încetarea bombardării cu electroni, ecranul continuă să emită lumină un timp oarecare. Persistența luminii depinde de materialul luminoforului, ea putînd varia între milisecunde și cîteva secunde.

După ce au lovit ecranul, electronii sînt colectați de electrodul de ecranare δ , depus pe suprafața interioară a părții troconice a tubului catodic. Pe această cale, electronii se întorc la sursa de alimentare.

3. GENERATORUL BAZĂ DE TIMP

Generatorul bază de timp este blocul funcțional al osciloscopului catodic în care se generează tensiunea de forma dinților de ferăstrău ce se aplică plăcilor X în cazul vizualizării curbelor ce reprezintă variația în timp a diferitelor mărimi.

● **Condiții impuse tensiunii bază de timp.** Deoarece timpul se scurge uniform, este necesar ca tensiunea aplicată plăcilor X să crească liniar, deplasînd spotul cu viteză uniformă de la stînga la dreapta, iar apoi să scadă brusc, pentru a reîncepe o nouă variație. În intervalul de timp $t_1 - t_0$ cînd tensiunea u_x crește, spotul se deplasează de la stînga la dreapta, descriînd pe ecran curba dorită. Forma ideală a tensiunii u_x este cea desenată cu linie plină în figura 12.6, *a*. În practică, însă, nu se poate obține o astfel de variație. Semnalele obținute cu circuitele reale nu sînt perfect liniare și anularea lor nu se face instantaneu, ci într-un interval de timp finit $t_2 - t_1$ (fig. 12.6, *a* — linie punctată).

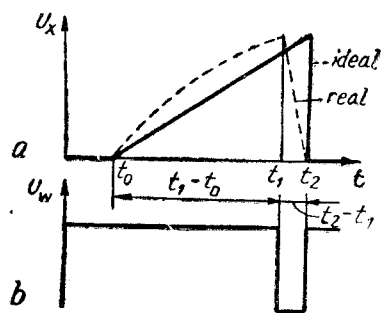


Fig. 12.6. Forma reală și forma ideală a tensiunii $u_x(a)$; tensiunea care trebuie aplicată cilindrii Wehnelt $U_w(b)$.

Datorită acestor diferențe între forma reală și forma ideală a tensiunii u_x , apar unele neajunsuri, care trebuie să fie minimizate:

— din cauza neliniarității, spotul nu se deplasează pe ecran cu viteză constantă și, ca urmare, curba ce apare pe ecran este deformată față de curba reală;

— deoarece tensiunea u_x nu scade instantaneu, în intervalul de timp $t_2 - t_1$, cînd tensiunea scade, spotul se întoarce de la dreapta la stînga descriînd pe ecran o linie de întoarcere care nu face parte

din semnal. Pentru a evita apariția liniei de întoarcere, în intervalul de timp $t_2 - t_1$ se aplică cilindrii Wehnelt un impuls negativ (fig. 12.6, *b*) care blochează fasciculul de electroni și spotul se stinge. În acest mod, pe ecran nu se mai vede linia de întoarcere, dar, în același timp, nu se mai vede nici partea finală a oscilogramei. Pentru ca partea care se pierde din oscilogramă să fie mai mică, este necesar ca intervalul de timp $t_2 - t_1$ în care tensiunea u_x scade să fie mult mai mic decît intervalul de timp $t_1 - t_0$.

O altă condiție pe care trebuie să o îndeplinească baza de timp, pentru ca imaginea să fie stabilă pe ecran, este ca frecvența sa să fie un submultiplu întreg al frecvenței semnalului de vizualizat:

$$f_{BT} = \frac{1}{n} f_s; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (12.4)$$

● **Schema de principiu pentru generarea tensiunii bază de timp.** Ținînd seama de condițiile impuse tensiunii u_x , s-au realizat diferite construcții de generatoare bază de timp. În principiu însă, toate schemele adoptate se bazează pe încărcarea și descărcarea unui condensator.

Modelul cel mai simplu al generatorului bazei de timp este reprezentat în figura 12.7. La închiderea întreruptorului K_1 , la momentul $t = t_0$, condensatorul C se încarcă de la sursa E prin rezistența R , după o lege exponențială (fig. 12.8):

$$U_C = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right). \quad (12.5)$$

Încărcarea este cu atît mai lentă cu cît constanta de timp $\tau_1 = RC$ este mai mare.

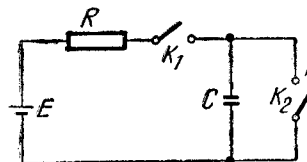


Fig. 12.7. Modelul unui generator bază de timp.

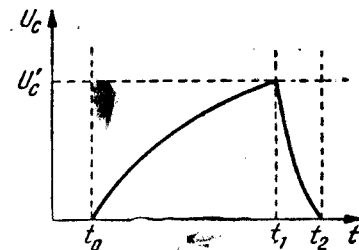


Fig. 12.8. Variația tensiunii la bornele condensatorului C .

La momentul $t = t_1$, cînd tensiunea pe condensator are valoarea U'_c , se închide întrerupătorul K_2 , ce prezintă o rezistență de contact r de valoare mică. Începînd din acest moment, condensatorul C se descarcă pe rezistența de contact r , de valoare mică, conform relației:

$$U_c = U'_c e^{-\frac{t}{rC}}. \quad (12.6)$$

Descărcarea va fi cu atît mai rapidă cu cît constanta de timp $\tau_2 = rC$ este mai mică. Pentru satisfacerea condiției $(t_2 - t_1) \ll (t_1 - t_0)$, este necesar ca $r \ll R$.

În cazul în care generatorul bază de timp funcționează periodic, această variație a tensiunii pe condensatorul C trebuie să se repete periodic, adică comutatorul K_2 să se închidă și să se deschidă periodic, cu o frecvență care să satisfacă relația (12.4). În practică, comutatorul K_2 este realizat cu diferite dispozitive electronice.

● **Reglarea vitezei de deplasare a spotului (reglarea frecvenței bazei de timp).** Durata unui dinte de ferăstrău corespunde intervalului de timp $t_1 - t_0$ în care tensiunea pe condensator crește pînă la valoarea U'_c necesară devierii fascicului de electroni, astfel încît spotul să se deplaseze pe tot ecranul de la stînga la dreapta. Ea depinde de constanta de timp $\tau_1 = RC$. Dacă se variază valorile lui R și C , se pot obține durate diferite pentru dinții de ferăstrău (fig. 12.9). De obicei, această durată se variază în trepte cu un comutator ce introduce în circuit condensatoare de diferite valori și fin prin variația continuă a rezistenței R . Comutatorul este calibrat în ms/cm sau μ s/cm, corespunzător timpului necesar ca spotul să se deplaseze pe direcția orizontală cu 1 cm. Această calibrare este valabilă numai dacă reglajul fin este la maxim.

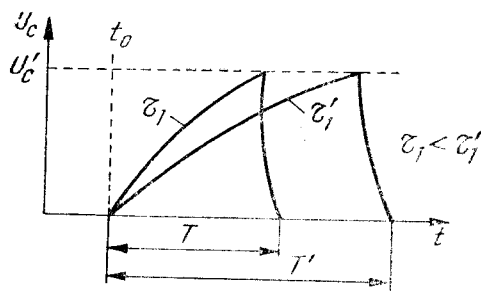


Fig. 12.9. Variația duratei dinților de ferăstrău în funcție de valoarea constantei de timp $\tau = RC$

În cazul funcționării periodice, se poate considera că durata unui dinte de ferăstrău corespunde unei perioade a semnalului generat de baza de timp, deci variînd durata dinților de ferăstrău se variază frecvența bazei de timp.

● **Liniarizarea tensiunii generate de baza de timp.** După cum reiese din relația (12.5) în cazul încărcării unui

condensator de la o sursă de tensiune constantă E , tensiunea la bornele condensatorului variază după o lege exponențială, deci prezintă o variație neliniară. Pentru a se evita acest neajuns, este necesar ca încărcarea condensatorului C să se facă sub curent constant.

Exprimînd tensiunea pe condensator prin raportul între cantitatea de sarcină electrică Q ce se acumulează pe condensator și capacitatea C , se obține:

$$U_c = \frac{Q}{C}. \quad (12.7)$$

În cazul încărcării sub curent constant, $Q = It$ și ținînd seama că I și C sînt constante, se poate scrie:

$$U_c = \frac{It}{C} = Kt. \quad (12.8)$$

Relația (12.8) arată că în cazul încărcării sub curent constant variația tensiunii pe condensator în funcție de timp este liniară.

În osciloscopel moderne, încărcarea condensatorului sub curent constant se realizează fie folosind amplificatoare operaționale integrate, fie folosind generatoare de curent constant cu tranzistoare.

4. OSCILATOARE CU DOUĂ SPOTURI SAU CU DOUĂ CANALE

Pentru vizualizarea simultană a două semnale, se construiesc osciloscopel cu două spoturi sau osciloscopel cu două canale.

● **Osciloscopel cu două spoturi** utilizează tuburi catodice speciale, care conțin în același balon două sisteme electronoptice, adică sînt prevăzute cu două tunuri de electroni și cu cite două dispozitive de deflexie pentru X și Y . Cele două sisteme electronoptice sînt comandate independent, prin circuite asemănătoare cu cele ale unui osciloscop obișnuit, cu excepția generatorului bază de timp care este comun.

● **Osciloscopel cu două canale** folosesc pentru vizualizarea simultană a două semnale o metodă mai simplă și mai elegantă. Ele sînt prevăzute cu un tub catodic obișnuit și cu un comutator electronic (fig. 12.10).

Comutatorul electronic este un circuit electronic care primește la două intrări distincte două semnale diferite pe care le comută succesiv pe plăcile de deflexie verticală ale unui tub catodic. Pe ecranul tubului, datorită persistenței luminoforului, apar simultan oscilogramel celor două semnale. Comutarea se face fie cu frecvența bazei de timp (în timpul unui dinte de ferăstrău se vizualizează un semnal, iar în timpul următorului dinte de ferăstrău — celălalt semnal), fie cu o frecvență mult mai mare.

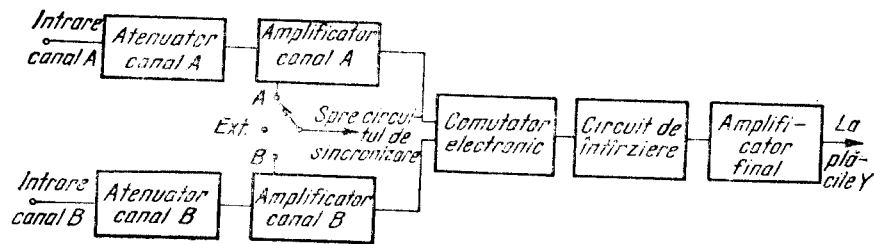


Fig. 12.10. Circuitele sistemului de deviație pe verticală la un osciloscop cu două canale.

C. MĂSURĂRI CU AJUTORUL OSCILOSCOPULUI

În afară de vizualizarea formei semnalelor, osciloscopul catodic mai are numeroase utilizări în tehnica măsurărilor electrice, electronice și magnetice.

1. MĂSURAREA TENSIUNILOR

Măsurarea tensiunilor cu osciloscopul catodic se bazează pe faptul că deviația spotului este proporțională cu amplitudinea tensiunii aplicate plăcilor de deflexie. Se pot utiliza diferite metode de măsurare.

a. METODA DIRECTĂ

Metoda directă se utilizează în cazul osciloscopelor moderne, prevăzute cu ecran caroiat (împărțite în pătrate cu latura de obicei de 1 cm) și care au atenuatorul A_y etalonat în mV/cm sau V/cm .

Înainte de utilizare, se recomandă să se verifice calibrarea atenuatorului frontal, de o tensiune de calibrare. Cu ajutorul unei sonde cordon de legătură), se aplică tensiunea de calibrare la intrarea osciloscopului A_y . În acest scop, osciloscourile dispun, la o bornă de pe osciloscopul i se verifică dacă deviația obținută pe ecran corespunde indicației atenuatorului.

De exemplu, la osciloscopul tip E 0101 fabricat la I.E.M.I. București tensiunea de calibrare este de 2V. Se aplică această tensiune la intrarea a osciloscopului și se așază atenuatorul pe poziția 2V/cm. În acest caz, dacă reglajul amplificării este la maxim, pe ecran trebuie să apară o oscilogramă având înălțimea de 1 cm.

Modul de lucru. Se aplică semnalul de măsurat la intrarea Y, a osciloscopului, se controlează dacă deglajul amplificării este la maxim

și se reglează atenuatorul A, și baza de timp astfel încât să se obțină o oscilogramă corect încadrată în ecran (fig. 12.11). Se măsoară cu ajutorul caroiajului de pe ecran înălțimea oscilogramei în centimetri și se înmulțește cu indicația atenuatorului, obținându-se astfel valoarea tensiunii măsurate.

De exemplu, în cazul oscilogramei din figura 12.11, dacă atenuatorul este pus pe poziția 0,5 V/cm, valoarea tensiunii este $U = 0,5 \times 2,4 = 1,2 \text{ V}$.

b. METODA COMPARAȚIEI

Cînd osciloscopul nu are atenuatorul calibrat sau calibrarea nu mai este corectă, se poate folosi metoda comparației. La această metodă, tensiunea de măsurat, de o formă oarecare, se compară cu o tensiune sinusoidală de joasă frecvență, care poate fi măsurată cu un voltmetru obișnuit.

Modul de lucru. Se realizează montajul din figura 12.12. Cu comutatorul K pe poziția 1 se aplică la intrarea Y a osciloscopului tensiunea U_x de măsurat. Se reglează amplificarea și baza de timp pînă se obține o oscilogramă corect încadrată în ecran și se măsoară înălțimea l a oscilogramei.

Fără a interveni la reglajul amplificării, se trece comutatorul K pe poziția 2, aplicîndu-se la intrarea Y a osciloscopului o tensiune sinusoidală de joasă frecvență. Aceasta se reglează pînă cînd oscilograma obținută pe ecran are aceeași înălțime l ca și în cazul vizualizării tensiunii U_x .

Cele două oscilogramе avînd aceeași înălțime, înseamnă că amplitudinea tensiunii U_x este egală cu amplitudinea vîrf la vîrf a tensiunii sinusoidale.

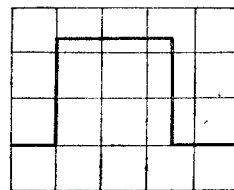


Fig. 12.11. Măsurarea directă a tensiunii cu osciloscopul catodic.

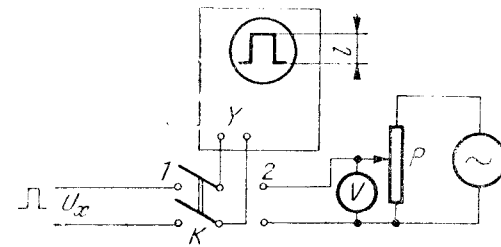


Fig. 12.12. Măsurarea tensiunii prin metoda comparației.

Tensiunea sinusoidală se măsoară cu voltmetrul V , care de obicei este etalonat în valori eficace. Dacă U este tensiunea citită pe voltmetru, atunci:

$$U_x = U_{vv} = 2U_{max} = 2\sqrt{2}U.$$

2. MĂSURAREA INTENSITĂȚII CURENTULUI ELECTRIC

Întrucît osciloscopul catodic funcționează cu deflexie electrostatică, semnalele ce se aplică la intrarea lui sînt de natura unor tensiuni.

Pentru măsurarea intensității curentului cu osciloscopul catodic, se trece curentul de măsurat printr-o rezistență de valoare cunoscută și se măsoară cu una dintre metodele studiate în paragraful precedent căderea de tensiune la bornele rezistenței. Apoi, aplicînd legea lui Ohm, se calculează valoarea intensității curentului de măsurat.

3. MĂSURAREA INTERVALELOR DE TIMP

Măsurarea intervalelor de timp se poate realiza cunoscînd viteza de deplasare a spotului și măsurînd pe ecran lungimea segmentului care corespunde intervalului de timp considerat.

Osciloscopia moderne au baza de timp calibrată în ms/cm sau $\mu\text{s/cm}$, adică se indică pentru fiecare poziție a comutatorului ce reglează în trepte frecvența bazei de timp, timpul necesar pentru ca spotul să se deplaseze pe direcție orizontală cu un centimetru. Această calibrare este corectă numai dacă reglajul fin al bazei de timp este la maxim.

a. MĂSURAREA DURATEI UNUI SEMNAL

Pentru măsurarea duratei unui semnal, acesta se aplică la intrarea Y a osciloscopului și se reglează amplificarea și baza de timp pînă cînd se obține o oscilogramă corect încadrată în ecran.

Se verifică dacă reglajul fin al bazei de timp este la maxim. Apoi se măsoară lățimea semnalului pe ecran, în centimetri, și se înmulțește cu indicația reglajului în trepte al bazei de timp, obținîndu-se astfel durata semnalului de măsurat.

De exemplu, în cazul oscilogramei din figura 12.11, dacă reglajul în trepte al bazei de timp este pe poziția 1 ms/cm și lățimea impulsului este de 2,5 cm, durata impulsului va fi $\tau = 2,5 \times 1 = 2,5$ ms.

În mod analog se poate măsura și durata unei părți din semnal, cum ar fi durata timpului de creștere a unui impuls (timpul în care semnalul crește de la 10% la 90% din amplitudinea sa).

b. MĂSURAREA PERIOADEI UNUI SEMNAL

Pentru măsurarea perioadei, este necesar ca baza de timp să fie astfel reglată încît oscilograma să conțină cel puțin două perioade succesive ale semnalului. În acest caz, dacă reglajul fin al bazei de timp este la maxim, se măsoară pe ecran în centimetri distanța între două treceri succesive ale semnalului prin aceeași valoare și cu același sens de variație și se înmulțește cu indicația reglajului în trepte al bazei de timp. În acest fel, se obține direct perioada semnalului.

4. MĂSURAREA FRECVENȚELOR

Frecvența se poate măsura cu osciloscopul catodic, măsurînd perioada semnalului ca la punctul precedent și apoi calculînd frecvența cu relația bine cunoscută: $f = \frac{1}{T}$. Această metodă nu asigură însă o precizie bună.

Măsurări mai precise se pot obține folosind unele metode de comparație, cum ar fi: metoda figurilor lui Lissajous, metoda modulării intensității spotului, metoda oscilogramelor duble etc.

a. METODA FIGURILOR LUI LISSAJOUS

Dintre metodele de comparație, metoda figurilor lui Lissajous este cea mai frecvent folosită.

Lissajous, fizician francez (1822—1880), a studiat compunerea a două oscilații sinusoidale ale căror direcții de oscilație sînt perpendiculare. El a constatat că dacă raportul frecvențelor celor două oscilații este un număr rațional ($\frac{f_x}{f_y} = \frac{m}{n}$, m și n fiind numere întregi), se obțin figuri a căror formă depinde de raportul frecvențelor celor două oscilații și de defazajul dintre ele (fig. 12.13).

Figurile lui Lissajous se pot obține pe ecranul osciloscopului catodic dacă se aplică ambelor perechi de plăci de deflexie tensiuni sinusoidale.

Modul de lucru. Pentru măsurarea frecvenței f_x a unui semnal, acesta se aplică unei perechi de plăci de deflexie a osciloscopului, iar la cealaltă pereche de plăci de deflexie se aplică un semnal de la un generator de frecvență variabilă și cunoscută, f_0 (fig. 12.14, a). Se variază frecvența f_0 pînă cînd pe ecran se obține una dintre figurile lui Lissajous. Pentru a determina raportul corespunzător figurii obținute pe ecran, se intersectează figura cu două drepte, una orizontală (x) și una verticală (y) și se numără punctele de intersecție ale figurii cu cele două drepte (fig. 12.14, b) Pentru orice figură a lui Lissajous raportul între numărul de intersecții n_x cu dreapta orizontală și numărul de intersecții n_y cu dreapta verticală este egal cu raportul între frecvența semnalului aplicat plăcilor Y și frecvența semnalului aplicat plăcilor X :

$$\frac{n_x}{n_y} = \frac{f_y}{f_x} \quad (12.7)$$

Cunoscînd raportul corespunzător figurii obținute pe ecran și frecvența f_0 , se poate determina frecvența f_x folosind relația (12.7).

○ **Observație.** De obicei, se variază f_0 pînă cînd se obțin figurile corespunzătoare egalității celor două frecvențe ($\frac{f_x}{f_y} = 1$).

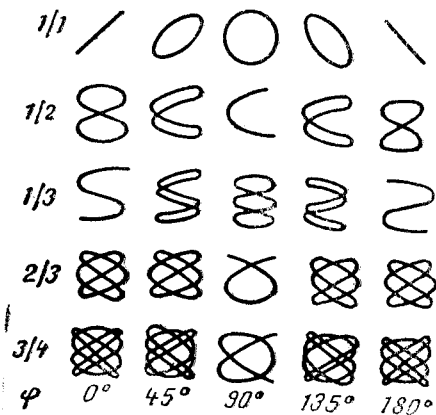


Fig. 12.13. Figurile lui Lissajous.

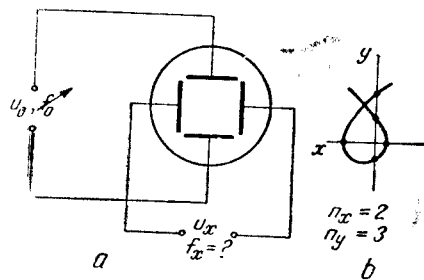


Fig. 12.14. Măsurarea frecvențelor cu figurile lui Lissajous.

5. MĂSURAREA DEFAZAJELOR

În paragraful precedent s-a arătat că figurile lui Lissajous depind de raportul frecvențelor a două oscilații dar și de defazajul dintre ele.

Pentru determinarea defazajului dintre două semnale de aceeași frecvență, acestea se aplică celor două perechi de plăci de deflexie ale osciloscopului. În acest caz:

$$u_x = U_{x \max} \sin \omega t; \quad (12.8)$$

$$u_y = U_{y \max} \sin (\omega t + \varphi).$$

Deviațiile obținute pe ecran fiind în fiecare moment proporționale cu tensiunile aplicate, vor varia după expresiile:

$$x = X \sin \omega t; \quad (12.9)$$

$$y = \omega \sin (\omega t + \varphi),$$

unde X și ω sînt deviațiile maxime. Pe ecran apare o figură de forma unei elipse, care pentru $\varphi = 0$ și $\varphi = \pi$ degenerază într-o linie înclinată, iar pentru $\varphi = \frac{\pi}{2}$ și $\varphi = \frac{3\pi}{2}$ devine un cerc (v. fig. 12.13).

În cazul general, dacă elipsa este bine centrată pe ecran (fig. 12.15), defazajul se poate determina prin raportul între deviația maximă pe verticală, Y , și deviația y corespunzătoare punctului în care elipsa intersectează axa verticală a ecranului. În acest punct $x = 0$, deci $\sin \omega t = 0$; $\omega t = 0$ și $y = Y \sin \varphi$. Din această relație se deduce:

$$\sin \varphi = \frac{y}{Y}. \quad (12.10)$$

○ **Observație.** În cazul în care se dispune de un osciloscop cu două canale (cu comutator electronic), măsurarea defazajului dintre două semnale se poate face mai comod vizualizînd simultan cele două semnale.

6. VIZUALIZAREA CARACTERISTICILOR

O caracteristică este reprezentarea grafică a dependenței dintre două mărimi ce caracterizează un aparat, un dispozitiv sau un material (de exemplu: caracteristica unei diode, $i = f(u)$; caracteristicile tranzistoarelor, $I_C = f(U_{CE})$; caracteristicile de magnetizare ale materialelor feromagnetice, $B = f(H)$ etc.).

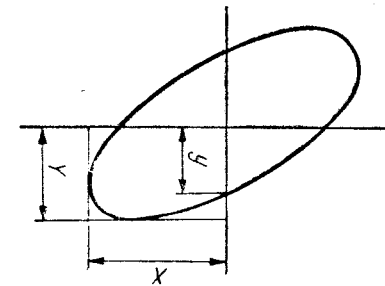


Fig. 12.15. Măsurarea defazajelor.

VOLTMETRE ELECTRONICE

A. GENERALITĂȚI

Voltmetrele electronice sînt aparate destinate să măsoare tensiuni și conțin în construcția lor componente electronice.

Voltmetrele electronice au devenit necesare deoarece — deși mai simple și mai ieftine — voltmetrele neelectronice nu mai dau satisfacție în condițiile tehnicii moderne, ele prezentînd anumite limitări în funcționare (bandă de frecvență redusă, sensibilitate relativ mică, impedanța de intrare mică și dependentă de valoarea tensiunii măsurate, consum mare de putere de la circuitul de măsurat.).

1. UTILIZĂRI

Voltmetrele electrice au apărut și s-au dezvoltat o dată cu electronica însăși, urmărind nivelul de dezvoltare al acesteia și răspunzînd nevoilor impuse de aplicațiile ei în practică. Ca urmare, ele au fost astfel realizate încît să poată fi utilizate la :

- măsurarea tensiunilor în audio- și radiofrecvență;
- măsurarea tensiunilor la bornele unor impedanțe mari;
- măsurarea tensiunilor continue și alternative foarte mici;
- măsurarea tensiunilor în circuite alimentate de la sursa de mică putere.

2. PROPRIETĂȚI

Voltmetrele electronice prezintă o serie de caracteristici tehnice care le impun în măsurările de tensiuni din circuitele electronice :

- funcționează într-o bandă largă de frecvențe, de la curent continuu pînă la gigaherți;

- sensibilitatea lor poate fi foarte mare; în prezent se construiesc voltmetre electronice care pot măsura tensiuni începînd de la

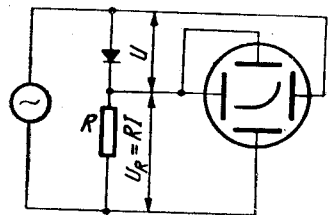


Fig. 12.16. Montajul pentru vizualizarea caracteristicii $I = f(U)$ a unei diode.

La reprezentarea grafică a caracteristicilor se folosesc două axe rectangulare. Deplasarea spotului la osciloscop se face de asemenea după două axe rectangulare, iar deviațiile sînt proporționale cu tensiunile ce se aplică celor două perechi de plăci de deflexie. Această analogie face posibilă vizualizarea pe ecranul osciloscopului catodic a oricărei curbe de tipul $A = f(B)$.

VIZUALIZAREA CARACTERISTICII UNEI DIODE

Caracteristica $I = f(U)$ a unei diode se poate vizualiza folosind montajul din figura 12.16. Plăcilor X li se aplică tensiunea U de la bornele diodei, iar plăcilor Y trebuie să li se aplice o tensiune proporțională cu curentul diodei. În acest scop, în serie cu dioda s-a montat o rezistență R la bornele căreia se culege tensiunea $U_R = RI$, care se aplică plăcilor Y.

Pentru a obține caracteristica $I = f(U)$, tensiunea U trebuie să ia diferite valori. De aceea, dioda trebuie alimentată în curent alternativ.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. De ce osciloscopul catodic este unul dintre cele mai răspîndite aparate electronice?
2. Care sînt reglajele de care depinde calitatea imaginii de pe ecran?
3. Care este principiul de funcționare al bazelor de timp?
4. Ce se întîmplă la un osciloscop, cînd se vede linia de întorcere a spotului?
5. Dacă frecvența bazei de timp este de 1000 Hz și lățimea ecranului este de 10 cm, pe ce poziție trebuie să fie comutatorul calibrat în ms/cm?
6. Dacă pe ecranul unui osciloscop apar cinci sinusoidale și frecvența semnalului de vizualizat este 1000 Hz, cit este frecvența bazei de timp?

ordinul nanovoltilor; de asemenea, există și voltmere electronice care pot măsura tensiuni foarte mari, de ordinul zecilor de kilovolți;

— impedanța de intrare este foarte mare. Ea poate fi considerată ca o rezistență de intrare de ordinul megohmilor în paralel cu o capacitate de intrare de ordinul picofarazilor. În unele variante constructive, rezistența de intrare poate atinge valori de ordinul miilor de megohmi;

— impedanța de intrare nu depinde de valoarea tensiunii măsurate, ea rămânând de obicei aceeași când se schimbă intervalul de măsurare;

De exemplu, un voltmetru cu mai multe intervale de măsurare prezintă o rezistență de intrare de $10\text{ M}\Omega$ și pe scara de 1 V , și pe scara de 300 V .

— consumul de putere de la circuitul de măsurat este foarte mic. Voltmetrele electronice prezintă și unele neajunsuri. Astfel, precizia voltmeterelor electronice, cu excepția celor numerice, nu este foarte bună datorită diferitelor influențe (variații de tensiune, de temperatură) pe care le suferă în funcționarea lor componentele electronice. În general, voltmerele electronice se încadrează în clasele de precizie 1–5. Un alt dezavantaj este faptul că voltmerele electronice necesită o sursă de alimentare.

3. CLASIFICARE

Voltmetrele electronice se realizează într-o varietate de tipuri constructive, ceea ce face utilă o clasificare a lor.

● După felul indicației, voltmerele electronice pot fi:

- voltmere analogice, la care indicația variază continuu;
- voltmere digitale, la care indicația se exprimă numeric.

● După felul curentului, se deosebesc:

- voltmere electronice de curent continuu;
- voltmere electronice de curent alternativ;
- voltmere electronice de curent continuu și alternativ.

● După componentele electronice folosite, pot fi:

- voltmere electronice cu diode;
- voltmere electronice cu tranzistoare;
- voltmere electronice cu tuburi electronice;
- voltmere electronice cu circuite integrate.

● După valoarea tensiunii măsurate, se deosebesc:

- voltmere electronice ($0, 1\text{ V}$ — zeci de kilovolți);
- milivoltmetre electronice (mV — sute de volți);
- microvoltmetre electronice (μV — sute de volți);
- nanometre electronice (nV — sute de volți).

● După relația între indicație și valoarea tensiunii măsurate, se pot întâlni:

- voltmere de valoare eficace ($\alpha = KU$);
- voltmere de valoare medie ($\alpha = KU_{\text{med}}$);
- voltmere de valoare maximă ($\alpha = KU_{\text{max}}$).

● După felul circuitului de intrare, se construiesc:

— voltmere cu intrare liberă, care măsoară și componenta de curent continuu;

— voltmere cu intrarea blocată, la care componenta de curent continuu este blocată cu un condensator montat în serie pe intrare, și ca urmare, aceste voltmere măsoară numai componentele de curent alternativ.

B. VOLTMETRE ELECTRONICE DE CURENT CONTINUU

Voltmetrele electronice de curent continuu sînt aparate destinate măsurării tensiunilor continue de la $0,1\text{ V}$ la 1 000 V . Folosind sonde de înaltă tensiune, utilizarea lor poate fi extinsă pînă la zeci de kilovolți.

● Principalele cerințe impuse acestor aparate sînt:

- impedanță de intrare mare;
- erori cît mai mici;
- stabilitate în timp cît mai bună;
- gamă de măsurare cît mai mare.

● Pentru a satisface primele trei condiții, voltmerele electronice de curent continuu se realizează dintr-un amplificator de curent continuu și un instrument magnetoelectric, conform schemei bloc din figura 13.1,a. Acest ansamblu nu poate lucra însă decît într-un interval foarte restrîns de tensiuni, de la zecimi de volt la cîțiva volți.

● Pentru a acoperi un interval mai mare de măsurare, pînă la circa 1 000 V , se realizează voltmere electronice cu mai multe scări. În acest caz, amplificatorul se calculează pentru cea mai mică scară, urmînd ca la aplicarea unei tensiuni mai mari la intrare, aceasta să fie redusă corespunzător cu ajutorul unui divizor de tensiune.

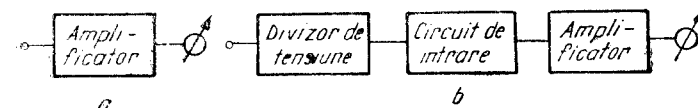


Fig. 13.1. Scheme bloc de voltmere electronice de c.c.

În scopul obținerii unei impedanțe mari de intrare, înaintea amplificatorului se prevede uneori un circuit de intrare ca în figura 13.1, b.

Voltmetrele electronice de curent continuu pot fi realizate cu tuburi electronice sau cu tranzistoare. În continuare vor fi prezentate câteva tipuri de voltmetre electronice cu tranzistoare.

1. VOLTMETRU ELECTRONIC DE C.C. CU UN TRANZISTOR

Voltmetrele fiind aparate destinate să măsoare tensiunii, indicația lor trebuie să fie proporțională cu tensiunea măsurată:

$$\alpha = KU.$$

● Cel mai simplu voltmetru electronic de curent continuu ar putea fi realizat cu un tranzistor în montaj emitor comun, ca în figura 13.2. Tensiunea U_x aplicată la intrare produce în circuitul de intrare un curent I_B ce se aplică pe baza tranzistorului T . Dacă se notează cu R_{iT} rezistența de intrare a tranzistorului, curentul I_B va fi:

$$I_B = \frac{U_x}{R_B + R_{iT}}. \quad (13.1)$$

Conform ecuației fundamentale a tranzistorului în montaj emitor comun ($I_C = \beta I_B + I_{CEO}$), curentul din colector I_C este de β ori mai mare decât curentul din bază, β fiind factorul de amplificare în curent în montaj emitor comun și având valori de ordinul zecilor sau sutelor.

Înlocuind în ecuația fundamentală expresia lui I_B din relația (13.1), se obține:

$$I_C = \beta \frac{U_x}{R_B + R_{iT}} + I_{CEO}. \quad (13.2)$$

Miliampermetrul montat în colectorul tranzistorului va avea indicația proporțională cu I_C :

$$\alpha = K_1 I_C = K_1 \beta \frac{U_x}{R_B + R_{iT}} + I_{CEO}.$$

Notînd $K_1 \beta \frac{1}{R_B + R_{iT}} = K$ și considerînd $I_{CEO} \ll I_C$, se poate scrie:

$$\alpha = KU_x.$$

Deoarece aparatul indicator montat în colectorul tranzistorului are indicații proporționale cu tensiunea de măsurat, circuitul studiat poate funcționa ca voltmetru de curent continuu.

● Voltmetrul prezentat în figura 13.2 este foarte simplu, dar prezintă o serie de neajunsuri. Astfel, în relația (13.2) se observă că în lipsa unei tensiuni aplicate la intrare, deci cînd $U_x = 0$, respectiv $I_B = 0$, curentul din colector nu este zero, miliampermetrul mA indicînd curentul rezidual I_{CEO} . Un alt dezavantaj este faptul că funcționarea tranzistorului este influențată de variațiile de temperatură și de variațiile tensiunii de alimentare. În plus, rezistența de intrare

$$R_i = \frac{U_x}{I_B} = R_B + R_{iT} \quad (13.3)$$

este mică, de ordinul sutelor de kilohmi, din cauza valorii mici a rezistenței de intrare a tranzistorului (în cazul montajului emitor comun — de ordinul kilohmilor).

Voltmetrele electronice moderne sînt realizate după scheme electrice mai complexe, în scopul eliminării dezavantajelor menționate mai sus și obținerii unor performanțe ridicate. Ele se realizează cu tranzistoare cu siliciu sau cu circuite integrate.

● Pentru obținerea unei rezistențe de intrare de valoare mare, etajul de intrare al voltmetrelor electronice este de obicei de tipul repetor pe emitor (fig. 13.3). În cazul unui astfel de etaj, rezistența de intrare este de aproximativ $(1 + \beta)$ ori mai mare decât rezistența R_E montată în emitor:

$$R_i = h_{ie} + (1 + \beta) R_E \quad (13.4)$$

unde h_{ie} este rezistența de intrare a tranzistorului în montaj emitor comun și are valori de ordinul kilohmilor. Avînd în vedere că β are valori de ordinul zecilor sau sutelor și că rezistența R_E din emitor poate fi mai mare, cel puțin de ordinul kilohmilor, se observă că rezistența de intrare a etajului repetor este mult mai mare decât rezistența de intrare a tranzistorului.

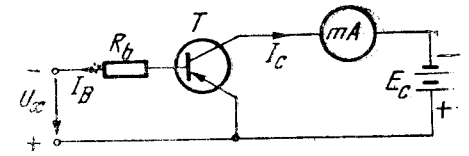


Fig. 13.2. Voltmetru electronic de c.c. cu un tranzistor.

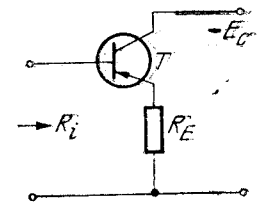


Fig. 13.3. Montajul repetor pe emitor.

○ **Notă.** În voltmetrele electronice moderne, deseori, în locul tranzistoarelor bipolare se utilizează tranzistoare cu efect de câmp, care asigură o rezistență de intrare foarte mare.

2. VOLTMETRE ELECTRONICE DE C.C. ÎN PUNTE

Pentru compensarea curentului rezidual, în construcția voltmetrelor electronice se pot folosi scheme în punte.

● În figura 13.4 este reprezentată **schema de principiu a unui voltmetru electronic în punte, cu un singur tranzistor.** Tranzistorul care are rolul de amplificator de curent continuu este montat într-unul dintre brațele punții, iar instrumentul indicator — pe una dintre diagonale.

● **Funcționarea.** În lipsa tensiunii de măsurat ($U_x = 0$), puntea se echilibrează cu ajutorul rezistenței variabile R_3 și prin instrumentul indicator nu trece nici un curent. *Aplicând la intrare o tensiune U_x diferită de zero*, se modifică curentul de colector al tranzistorului, ceea ce duce la dezechilibrarea punții și la apariția unui curent prin miliampermetrul mA , curent care depinde de tensiunea U_x aplicată la intrare.

● Voltmetrele electronice în punte, cu un singur tranzistor, nu asigură o stabilitate bună în timp, datorită influențelor variațiilor de temperatură și variațiilor tensiunii de alimentare asupra tranzistorului. Pentru înlăturarea acestui neajuns, se folosesc **montaje simetrice cu două tranzistoare** (fig. 13.5). Dacă tranzistoarele se aleg astfel încât să aibă caracteristici cât mai asemănătoare, datorită montajului simetric variațiile în funcționarea celor două tranzistoare se compensează, obținându-se astfel o bună stabilitate.

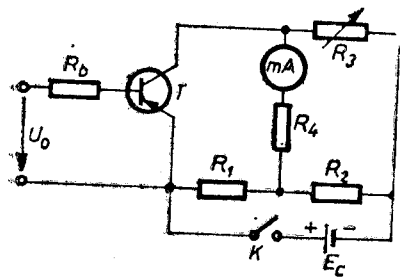


Fig. 13.4. Voltmetru electronic de c.c. în punte, cu un tranzistor.

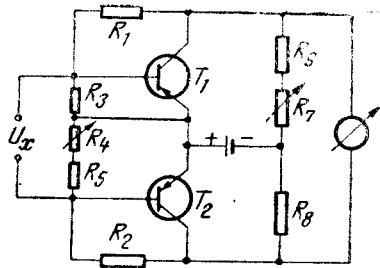


Fig. 13.5. Voltmetru electronic de c.c. în punte cu două tranzistoare.

C. VOLTMETRE ELECTRONICE DE CURENT ALTERNATIV

Voltmetrele electronice de curent alternativ sînt formate în principiu din două părți distincte: *partea de detecție*, care transformă semnalul alternativ de măsurat într-un semnal continuu proporțional cu acesta, și *partea de măsurare propriu-zisă*.

Cele mai simple voltmetre electronice de curent alternativ se pot realiza dintr-un circuit de detecție și un instrument indicator magnetoelectric, ca în figura 13.6, a.

Pentru a obține rezistențe mari de intrare, este necesar ca în circuitul de detecție să se folosească rezistențe foarte mari, de ordinul megohmilor sau zecilor de megohmi, ceea ce determină un curent foarte mic prin aparatul de măsurat, care în consecință trebuie să fie foarte sensibil. Pentru a evita folosirea unui astfel de aparat, care este foarte costisitor, voltmetrele electronice de curent alternativ sînt prevăzute de obicei și cu un *amplificator* care poate fi dispus înainte (fig. 13.6, b) sau după circuitul de detecție (fig. 13.6, c).

Pentru obținerea unor aparate cu mai multe intervale de măsurare, se folosesc divizoare de tensiune, iar pentru asigurarea unor impedanțe de intrare foarte mari, înaintea amplificatoarelor se pot folosi circuite de intrare realizate cu montaje repetor pe emitor sau cu tranzistoare cu efect de câmp.

1. VOLTMETRE ELECTRONICE DE C.A. CU DIODE FĂRĂ AMPLIFICARE

Voltmetrele electronice fără amplificare se construiesc cu diode cu vid sau semiconductoare, care realizează funcția de detecție. Aceste voltmetre se utilizează rar în practică, dar circuitele de detecție cu diode sînt folosite frecvent în voltmetrele cu amplificare.

Voltmetrele electronice cu diode pot măsura, în mod obișnuit, valori medii ale tensiunii sau valori de vîrf (maxime).

a. VOLTMETRE ELECTRONICE CU DIODE, DE VALORI MEDII

Voltmetrele de valori medii cu diode sînt formate dintr-un instrument indicator magnetoelectric, o rezistență R de valoare foarte mare și o diodă. Dioda poate fi montată în serie (fig. 13.7, a) sau în

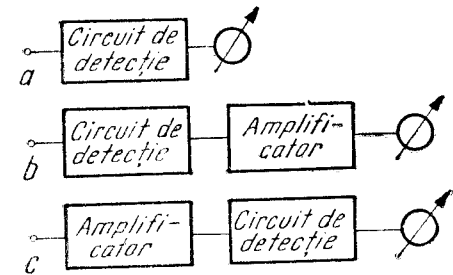


Fig. 13.6. Schema bloc de voltmetre electronice de c.a.

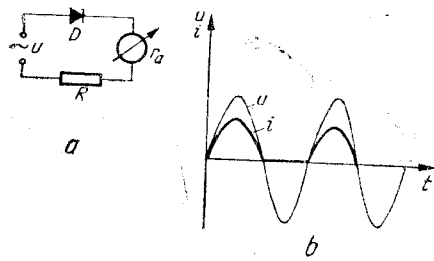


Fig. 13.7. Voltmetre de valori medii cu diode.

diodei se aplică o tensiune pozitivă, aceasta conduce și prin circuit va trece un curent a cărui intensitate i va urmări variațiile tensiunii aplicate la intrare (fig. 13.7, b):

$$i = \frac{u}{R + r_a + r_d} \cong \frac{u}{R} \quad (13.5)$$

În relația (13.5) s-a notat cu r_a rezistența instrumentului indicator iar cu r_d — rezistența diodei în stare de conducție. Ambele rezistențe fiind foarte mici, se pot neglija față de R .

Când se schimbă alternanța și pe anodul diodei se aplică o tensiune negativă, aceasta nu conduce și, în consecință, curentul prin circuit este nul. Deci, la aplicarea unei tensiuni alternative la intrarea voltmetrului, prin instrumentul indicator va trece un curent pulsatoriu. Cuplul activ care ia naștere în aparatul magnetoelectric este proporțional cu acest curent dar, datorită inerției, echipajul mobil nu poate urmări variațiile cuplului activ și va fi acționat de un cuplu mediu proporțional cu valoarea medie a intensității curentului. Ca urmare, indicația aparatului magnetoelectric este proporțională cu valoarea medie a intensității curentului din circuit, și conform relației (13.5), și cu valoarea medie a tensiunii aplicate la intrare:

$$\alpha = KI_{med} = K \frac{U_{med}}{R} \quad (13.6)$$

b. VOLTMETRE ELECTRONICE CU DIODE, DE VALORI MAXIME (DE VÎRF)

Voltmetrele de valori maxime cu diode se caracterizează prin existența unui condensator C , care se încarcă rapid prin diodă când acesta conduce și se descarcă foarte încet când dioda este blocată, menținând

paralel față de rezistența \bar{R} și de instrumentul indicator. Varianta în paralel nu se folosește în practică, întrucât în una dintre alternanțe, când dioda conduce, scurtcircuitază intrarea voltmetrului, deci micșorează foarte mult rezistența de intrare.

În cazul variantei serie, dacă se aplică la intrare o tensiune alternativă $u = f(t)$, în timpul alternanței în care pe anodul

la bornele sale o tensiune aproximativ egală cu valoarea maximă a tensiunii măsurate.

Și în acest caz se pot întâlni două variante, cu dioda în serie cu instrumentul indicator (fig. 13.8, a) sau cu dioda în paralel (fig. 13.8, b). De această dată, ambele variante se folosesc în practică.

● În cazul variantei serie, dacă se aplică o tensiune alternativă $u = f(t)$ la intrarea montajului, în timpul alternanței pozitive aplicate pe anodul diodei, dioda conduce și condensatorul C se încarcă prin rezistența de conducție a diodei care este de valoare mică. Constanta de timp de încărcare, $\tau_i = r_d C$ este mică și condensatorul se încarcă rapid, urmărind creșterea tensiunii de la intrare (fig. 13.8, c).

Când tensiunea de intrare începe să scadă, tensiunea pe condensator aplicată cu „+” pe catodul diodei, devine mai mare decât tensiunea pozitivă aplicată pe anod și, ca urmare, dioda fiind polarizată invers, se blochează (momentul $t = t_1$ pe diagrama din fig. 13.8, c). Din acest moment condensatorul C se descarcă prin instrumentul indicator și prin rezistența R . Deoarece rezistența R este de valoare foarte mare, constanta de timp de descărcare $\tau_d = RC$ este mare și condensatorul se descarcă lent, pînă cînd tensiunea aplicată la intrare devine din nou mai mare decât tensiunea U_C de pe condensator (momentul $t = t_2$). Începînd din acest moment, dioda este din nou polarizată direct și începe să conducă, condensatorului C se încarcă din nou pînă la valoarea maximă a tensiunii aplicate la intrare, apoi din nou tensiunea alternativă începe să scadă, U_C devine mai mare decât u , dioda se blochează, condensatorul se descarcă lent, și în acest fel fenomenul se repetă.

▶ Pentru o constantă de timp $RC \gg T_{max}$ (T_{max} fiind perioada corespunzătoare celor mai joase frecvențe la care se folosește voltmetrul), între două alternanțe pozitive condensatorul se descarcă foarte puțin și tensiunea la bornele lui rămîne aproximativ egală cu valoarea maximă a tensiunii de măsurat. În acest caz, intensitatea curentului prin instrumentul indicator va fi:

$$I = \frac{U_C}{r_a + R} \cong \frac{U_{max}}{R} \quad (13.7)$$

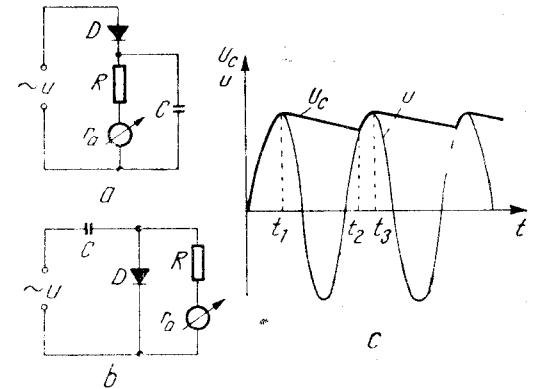


Fig. 13.8. Voltmetre de valori maxime, cu diode.

În relația (13.7) s-au făcut aproximațiile $R \gg r_a$ (r_a fiind rezistența aparatului indicator) și $U_c \cong U_{max}$.

● **Varianta constructivă cu dioda în paralel** are o funcționare asemănătoare, care conduce la aceleași concluzii ca și în cazul variantei serie.

c. VOLTMETRE ELECTRONICE DE VALORI EFECTIVE

În activitatea practică se folosesc rar voltmetrele gradate în valori medii sau în valori maxime. Cel mai frecvent se folosesc voltmetrele gradate în valori efective.

Se pot realiza și voltmetre, a căror indicație să fie proporțională cu valoarea efectivă a tensiunii, oricare ar fi forma de variație în timp a acesteia, dar schemele unor astfel de aparate sînt mai complicate decît cele ale voltmetrelor de valori medii sau de valori maxime. De aceea, în practică se folosesc voltmetrele de valori medii sau de valori maxime, care se gradează însă în valori efective.

○ **Atenție!** Această gradare nu este valabilă decît în cazul tensiunilor sinusoidale, în cazul altor forme de tensiuni ea ducînd la erori de măsurare.

În cazul unor tensiuni de formă sinusoidală, $u(t) = U_{max} \sin \omega t$, valoarea efectivă este $U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$. Valoarea medie pe o perioadă este zero, dar după detecție se obțin impulsuri corespunzătoare unei singure alternanțe. Valoarea medie pentru o alternanță este $U_{med} = \frac{U_{max}}{\pi}$. Pe baza proporționalității dintre valoarea maximă, valoarea medie și valoarea efectivă, voltmetrele de valori medii sau de valori maxime se pot grada în valori efective.

2. VOLTMETRE ELECTRONICE DE C.A. CU AMPLIFICARE

Așa cum s-a spus deja, pentru a evita utilizarea unor instrumente indicatoare foarte sensibile se construiesc voltmetre electronice care conțin un amplificator montat înaintea circuitului de detecție sau după acesta (v. fig. 13.6, b și 13.6, c).

● **Voltmetre cu circuitul de detecție la intrare.** Circuitul de detecție transformă semnalul de c.a. într-un semnal de c.c., care se măsoară apoi cu un voltmetru de c.c. realizat într-una dintre variantele studiate. De exemplu, voltmetrul electronic de c.a. reprezentat în figura 13.9 conține un circuit de detecție format din $C_1 R_1$ și dioda D și un amplificator de c.c. realizat cu tranzistorul T

repetor pe emitor, montat într-o schemă în punte. Instrumentul indicator este montat în circuitul de ieșire al amplificatorului. Între circuitul de detecție și amplificator este intercalat filtrul $C_2 R_2$.

În cazul voltmetrelor care lucrează la frecvențe mari, circuitul de detecție împreună cu filtrul se realizează sub forma unui cap de probă ce se montează într-o carcasă separată, de dimensiuni mici și bine ecranată. Capul de probă se cuplează la voltmetrul propriu-zis printr-un cordon flexibil și poate fi astfel adus în imediata apropiere a punctului de măsurare, cu conexiuni foarte scurte.

● **Voltmetrele cu amplificator de c.a. la intrare** asigură o sensibilitate mai ridicată și o impedanță de intrare mare. După amplificare, semnalul alternativ este redresat și măsurat cu un instrument indicator magnetoelectric. Astfel se realizează milivoltmetre, microvoltmetre și nanovoltmetre electronice de c.a.

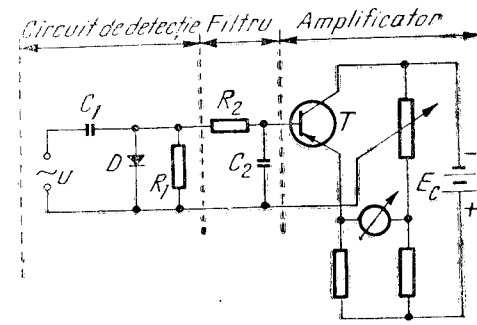


Fig.13.9 Voltmetru de c.a. cu amplificator.

D. MILIVOLTMETRE ELECTRONICE

Milivoltmetrele electronice sînt aparate destinate să măsoare tensiuni foarte mici, de ordinul milivolților. Pentru a realiza acest lucru, milivoltmetrele conțin în construcția lor un amplificator care mărește tensiunea de măsurat pînă la o valoare suficientă pentru a fi aplicată unui circuit de măsurare.

Amplificatoarele folosite în milivoltmetre trebuie să prezinte:

- impedanță de intrare mare;
- amplificare mare;
- stabilitate bună în funcționare;
- distorsiuni neliniare foarte mici;
- zgomot de fond redus;
- bandă largă de frecvențe (pentru amplificatoarele de c.a.);
- derivă de curent mică (pentru amplificatoarele de c.c.).

Toate aceste condiții se îndeplinesc alegînd scheme electrice convenabile, care folosesc de obicei reacții negative puternice.

Pentru milivoltmetrele cu mai multe scări, amplificatorul se calculează pentru scara cea mai mică; în cazul măsurării unor tensiuni mai mari, acestea se reduc corespunzător cu un divizor de tensiune. Milivoltmetrele pot fi de *curent alternativ* sau de *curent continuu*.

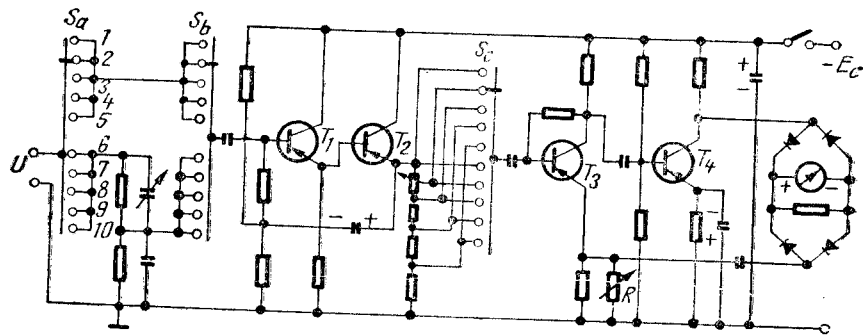


Fig. 13.10. Milivoltmetru de c.a.

1. MILIVOLTMETRE ELECTRONICE DE CURENT ALTERNATIV

Milivoltmetrele electronice de c.a. sînt în mod obișnuit de tipul amplificator-detector. Amplificatoarele de c.a. folosite în milivoltmetre nu ridică probleme speciale, realizîndu-se ușor cerințele impuse unor astfel de amplificatoare.

În figura 13.10 este prezentată *schema unui milivoltmetru de c.a. care măsoară tensiuni de la 10 mV la 300 V, în 10 game, și funcționează în banda de frecvențe de 20 Hz ... 3 MHz.* Impedanța de intrare este de 500 kΩ pentru gamele inferioare și 1 MΩ pentru gamele superioare. Pentru asigurarea unei impedanțe mari de intrare, amplificatorul are primele două etaje realizate sub forma a două repetitoare pe emitor în cascadă. Divizorul de tensiune pentru primele cinci game (10 mV ... 1 V) este amplasat înaintea tranzistorului T_3 și este comandat de comutatorul S_c . Pentru ultimele cinci game (3 V ... 300 V) se introduce o atenuare suplimentară de 300 ori cu comutatorul S_a montat la intrarea milivoltmetrului.

Deoarece primele două tranzistoare în montaj emitor comun au o amplificare de aproximativ 1, amplificarea propriu-zisă se obține cu tranzistoarele T_3 și T_4 .

Circuitul de detecție, realizat cu o punte de patru diode semiconductoră, este montat la ieșirea amplificatorului. Aparatul magnetoelectric din diagonala punții are indicațiile proporționale cu valoarea medie a tensiunii măsurate, dar este gradat în valori efective ale tensiunilor sinusoidale.

2. MILIVOLTMETRE ELECTRONICE DE CURENT CONTINUU

Milivoltmetrele electronice de c.c. necesită utilizarea unor amplificatoare de c.c. Acestea pot fi *cu cuplaj direct* sau *cu modulare-demodulare*.

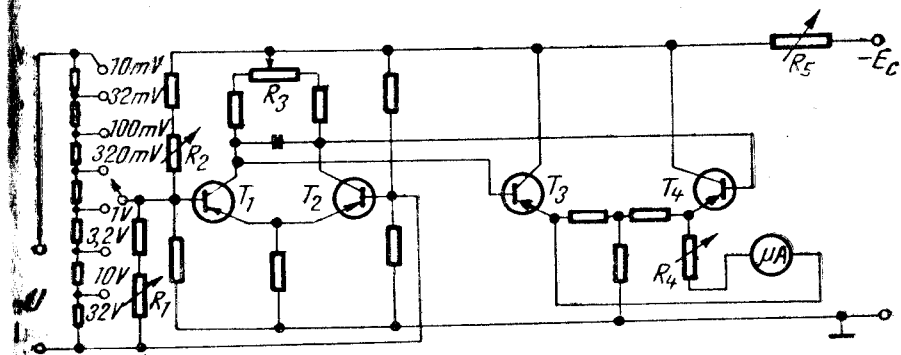


Fig. 13.11. Milivoltmetru de c.c. cu cuplaj direct.

a. MILIVOLTMETRE ELECTRONICE CU AMPLIFICATOARE CU CUPLAJ DIRECT

Amplificatoarele cu cuplaj direct au legăturile între etaje realizate direct sau prin rezistențe. O problemă deosebită a acestui tip de amplificatoare este deriva zeroului, ce se manifestă prin deviația indicației instrumentului indicator în jurul punctului de zero, în absența semnalului la intrare.

Datorită derivei, care se face simțită la variații de temperatură, milivoltmetrele cu cuplaj direct au o sensibilitate mai redusă.

Un exemplu de *milivoltmetru cu cuplaj direct* este reprezentat în figura 13.11. Aparatul are o impedanță de intrare de 1 MΩ și măsoară tensiuni între 10 mV și 32 V, în opt game comandate de divizorul de tensiune prevăzut la intrare. Amplificatorul, de tip diferențial, are două etaje realizate cu tranzistoare cu siliciu. Instrumentul indicator este montat între emitoarele celui de-al doilea etaj. Nulul se reglează cu potențiometrele R_3 (intrare în scurtcircuit) și R_2 (intrare în gol). Cu potențiometrul R_4 se calibrează capătul de scară al instrumentului indicator.

b. MILIVOLTMETRE DE C.C. CU MODULARE-DEMODULARE

Pentru a evita deriva termică, se folosesc amplificatoare de c.c. cu modulare-demodulare. Schema bloc a unui milivoltmetru realizat cu un astfel de amplificator este reprezentată în figura 13.12. Semnalul de c.c. de măsurat este transformat într-un semnal de c.a. de un modulator comandat de un oscilator. Semnalul de c.a. obținut la ieșirea modulatorului este amplificat cu un amplificator de c.a., care se realizează mult mai ușor decât un amplificator de c.c. și fără derivă

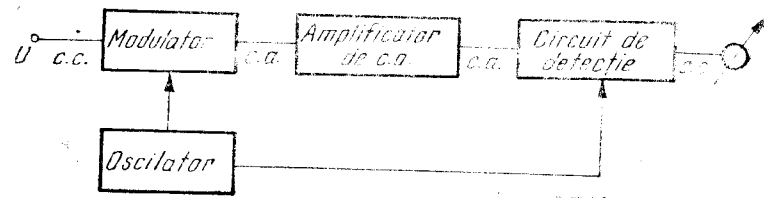


Fig. 13.12. Schema bloc a unui milivoltmetru de c.c. cu modulare-demodulare.

a zeroului. După amplificare se face o demodulare cu un circuit de detecție care transformă semnalul de c.a. amplificat într-un semnal de c.c. Circuitul de detecție funcționează sincron cu modulatorul, fiind comandat de același oscilator. Semnalul de c.c. obținut după detecție se măsoară cu un instrument indicator magnetoelectric.

E. MULTIMETRE ELECTRONICE

Multimetrele electronice sînt aparate care conțin componente electronice și permit măsurarea mai multor mărimi electrice. Ele se mai numesc și *voltmetre electronice universale*, deoarece construcția și funcționarea lor sînt, de fapt, cele ale unui voltmetru electronic.

● **Un multimetru conține** de obicei un voltmetru electronic de c.c. cu mai multe intervale de măsurare. Cu ajutorul unor circuite auxiliare, aparatul poate măsura și alte mărimi. Astfel, prin introducerea unui circuit de detecție voltmetrul poate fi folosit și la măsurarea *tensiunilor alternative*. Circuitul de detecție este introdus de un comutator care alege funcționarea în c.c. sau în c.a.

Pentru măsurarea rezistențelor se utilizează de obicei o metodă de comparație: se măsoară cu voltmetrul căderea de tensiune de la bornele rezistenței de măsurat în comparație cu căderea de tensiune de la bornele unor rezistențe etalon.

Unele aparate sînt prevăzute cu circuite auxiliare pentru măsurarea *intensității curentului*. În acest caz, se măsoară cu voltmetrul căderea de tensiune la bornele unor rezistențe cunoscute, parcurse de curentul de măsurat. Rezistențele sînt astfel dimensionate încît căderea de tensiune la bornele lor să corespundă anumitor intervale de măsurare pentru intensitatea curentului.

● **Un exemplu de multimetru** este voltmetrul electronic universal tip E-0401 produs de I.E.M.I. — București. Acest aparat permite:

— măsurarea tensiunilor continue de la 100 mV la 1 000 V, în 7 game;

— măsurarea tensiunilor alternative de la 100 mV la 300 V, în 6 game, în bandă de frecvențe 20 Hz ... 200 MHz;

— măsurarea rezistențelor de la 2 Ω la 1 000 M Ω , în 7 game.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Știind că există voltmetre neelectronice mai simple și mai ieftine, de ce se construiesc totuși voltmetrele electronice?
2. La voltmetrele electronice, consumul de putere de la circuitul de măsurat este foarte mic. De unde este luată totuși energia necesară funcționării acestor aparate?
3. Cum se poate obține o rezistență de intrare foarte mare, la voltmetrele electronice de c.c.?
4. Care dintre voltmetrele cu diode studiate are intrarea blocată?
5. Un voltmetru de valori medii etalonat în valori efective poate măsura tensiuni de formă dreptunghiulară?

APARATE DE MĂSURAT DIGITALE

A. GENERALITĂȚI

După modul în care se exprimă rezultatul măsurării, aparatele de măsurat se împart în două mari categorii:

- aparate de măsurat analogice;
- aparate de măsurat digitale (sau numerice).

● **Aparatele de măsurat analogice** se caracterizează prin faptul că:

- mărimea perceptibilă de la ieșirea lor (indicația) variază continuu în funcție de mărimea de măsurat (de exemplu, deplasarea unui indicator în fața unei scări gradate);
- măsurarea este continuă (fără întreruperi);
- rezultatul măsurării poate lua orice valoare (indicatorul poate ocupa orice poziție în fața scării gradate).

● **Aparatele de măsurat digitale** se caracterizează prin faptul că:

- rezultatul măsurării este afișat direct sub formă numerică;
- măsurarea nu este continuă, ci discretă, efectuându-se la anumite intervale de timp;
- rezultatul măsurării nu poate lua orice valoare, deoarece indicația variază în trepte (între valori succesive indicate de un aparat de măsurat digital mai pot exista și alte valori pe care aparatul nu le poate indica; de exemplu, între indicațiile 35,725 și 35,726 mai pot exista și alte valori ca: 35,7251; 35, 7257, ...).

Aparatele de măsurat digitale au apărut și s-au dezvoltat o dată cu dezvoltarea tehnicii de calcul și a dispozitivelor de automatizare. Folosind cele mai noi cuceriri ale tehnicii moderne, aceste aparate au atins în prezent performanțe deosebit de înalte și sînt în continuă perfecționare. În același timp, tehnica modernă se dezvoltă și se perfecționează folosind din ce în ce mai mult aparatură de măsurat și control digitală.

1. PROPRIETĂȚI

● Aparatele de măsurat digitale prezintă o serie de **calități** care au determinat utilizarea lor din ce în ce mai largă în toate domeniile. Aceste proprietăți sînt:

- eliminarea erorilor de citire (erori de scară, erori subiective introduse de operator, erori de calibrare sau de paralaxă);
- precizie foarte bună, dependentă de numărul cifrelor afișate. Cu cît un aparat afișează mai multe cifre, cu atît precizia lui este mai bună. Se întîlnesc precizii de 10^{-5} — 10^{-6} ;
- sensibilitate foarte bună; creșterea sensibilității este posibilă datorită **rezoluției** aparatului (rezoluția este cea mai mică variație a mărimii de măsurat pe care o poate sesiza un aparat de măsurat digital și corespunde intervalului dintre două indicații succesive);
- siguranță mare de exploatare;
- rapiditate și comoditate în efectuarea măsurărilor;
- viteză de măsurare mare, putînd realiza cîteva sute de măsurări pe secundă. Această proprietate permite ca un singur aparat să fie cuplat succesiv, prin intermediul unor selectoare, în mai multe puncte de măsurare ale unei instalații;
- posibilitatea înregistrării rapide și precise a rezultatelor;
- posibilitatea programării și automatizării procesului de măsurare;
- posibilitatea cuplării cu calculatoare sau cu alte dispozitive automate;
- posibilitatea transmiterii rezultatelor la distanță, fără introducerea unor erori suplimentare.

● Față de aparatele analogice, aparatele de măsurat digitale prezintă și unele **dezavantaje**, cum ar fi:

- complexitate mare;
- cost ridicat.

2. UTILIZĂRI

Datorită performanțelor lor, aparatele de măsurat digitale sînt utilizate la:

- măsurări de precizie în laboratoare;
- măsurări în procesele industriale automatizate;
- măsurări cu transmiterea rezultatelor la distanță;
- măsurări cu prelucrarea rezultatelor pe calculator;
- măsurări cu înregistrări numerice în procesele industriale;
- controlul și supravegherea centralizată în procesele industriale.

Opțiunea între aparatele de măsurat analogice și cele digitale se face în funcție de complexitatea procesului de măsurare; pentru procese simple, locale, cu număr redus de mărimi de măsurat și precizii reduse se aleg aparate analogice; pentru procese complexe, cu număr mare de mărimi de măsurat și precizii ridicate, se aleg aparate digitale.

3. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Principiul de funcționare al aparatelor de măsurat digitale constă în transformarea mărimii de măsurat, de obicei analogice, în semnale digitale, care se prelucreză cu circuite specifice, și afișarea rezultatului sub formă numerică.

Transformarea mărimilor analogice, cu variație continuă, în semnale digitale se realizează cu ajutorul convertoarelor analog-digitale. Acestea sînt circuite care discretizează și codifică mărimea de măsurat.

- Discretizarea se face atît în timp, cît și în nivel.

Discretizarea în timp constă în eșantionarea mărimii de măsurat, măsurarea efectuîndu-se numai la anumite intervale de timp.

Discretizarea în nivel, sau cuantificarea, constă în transformarea variației continue a mărimii de măsurat într-o variație în trepte, care reproduce cu o anumită aproximație variația continuă (fig. 14.1). Aproximația este cu atît mai bună cu cît treapta de variație este mai mică și deci numărul de trepte — mai mare. În urma discretizării în nivel, mărimea de măsurat poate căpăta numai un număr limitat de valori distincte. În fiecare moment de măsurare, mărimea care se măsoară

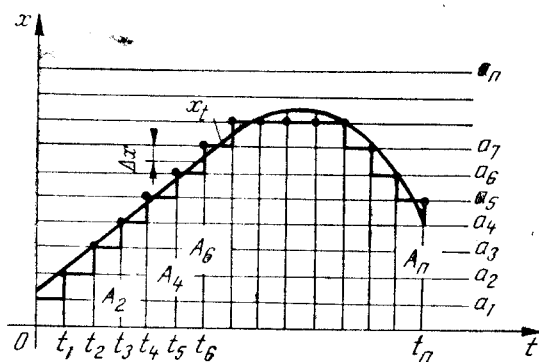


Fig. 14.1. Discretizarea mărimii continue, în timp și în nivel.

este aproximată cu valoarea celei mai apropiate trepte. De exemplu, pe diagrama din figura 14.1, la momentul t_2 , mărimea A_2 este aproximată cu treapta a_3 , la momentul t_4 mărimea A_4 — cu treapta a_5 , iar la momentul t_6 mărimea A_6 — cu treapta a_7 . Datorită acestei aproximații, există o diferență între valoarea mărimii și valoarea măsurată, care constituie eroarea

de discretizare. Această eroare nu depășește însă diferența între două trepte succesive, care reprezintă rezoluția aparatului.

Intervalul de eșantionare (timpul dintre două măsurări succesive) și treapta de nivel se aleg în funcție de cadența de măsurare dorită (numărul de măsurări pe secundă) și de eroarea maximă admisă.

- Prin **codare** se atribuie o valoare numerică treptei corespunzătoare mărimii măsurate și se exprimă această valoare într-un anumit sistem de numerație.

4. METODE DE MĂSURARE

Funcționarea și construcția aparatelor de măsurat digitale se bazează pe trei metode de măsurare: *măsurarea directă*, *măsurarea prin compensare* și *măsurarea mixtă*.

- **Măsurarea directă** constă în convertirea mărimii de măsurat direct într-un număr de impulsuri proporțional cu valoarea sa, care prin codare este evaluată numeric și afișată. Măsurarea directă se folosește pentru măsurarea numerică a timpului și frecvenței, care prin natura lor se pretează măsurării numerice. Măsurarea directă a altor mărimi analogice (tensiune, intensitate a curentului, rezistență electrică, temperatură etc.) se face transformînd (convertind) aceste mărimi în timp sau frecvență.

- **Măsurarea prin compensare** constă în compararea mărimii de măsurat cu o mărime de referință de aceeași natură, variabilă în trepte sau prin aproximații succesive. Mărimea de referință este generată în interiorul aparatului de măsurat numeric, de un convertor digital-analog, care înregistrează totodată valoarea mărimii generate. Cînd mărimea de referință devine egală cu mărimea de măsurat, valoarea ei se indică numeric.

- **Măsurarea mixtă** reprezintă o combinație între măsurarea prin compensare și cea directă, care asigură o viteză mare de măsurare și în același timp o sensibilitate și o precizie ridicată.

B. PĂRȚILE COMPONENTE ALE APARATELOR DE MĂSURAT DIGITALE

Deși sînt de o mare diversitate, aparatele de măsurat numerice sînt alcătuite dintr-o serie de blocuri funcționale comune, conectate între ele după o schemă bloc ca cea reprezentată în figura 13.2. Aceste blocuri

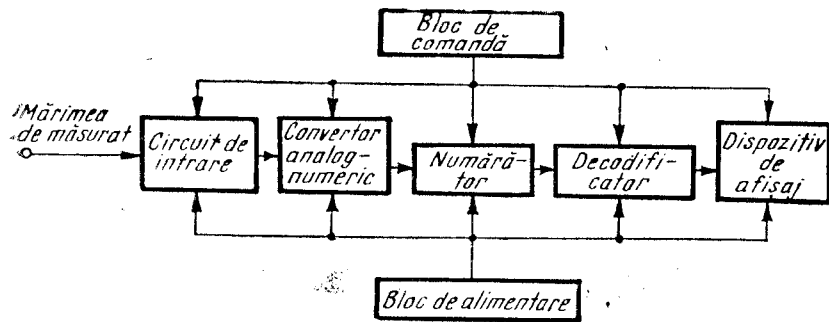


Fig. 14.2. Schema bloc a aparatelor de măsurat numerice.

funcționale sînt: *circuitul de intrare, convertorul analog-numeric, numărătorul, decodorul, dispozitivul de afișare, blocul de comandă și blocul de alimentare.*

● **Circuitul de intrare** prelucrează mărimea de măsurat pentru a obține o mărime convenabilă la intrarea convertorului. El poate fi un amplificator cînd mărimea de măsurat este prea mică, un atenuator cînd mărimea de măsurat este prea mare, un redresor cînd mărimea de măsurat este alternativă și la intrarea convertorului se cere un semnal continuu etc.

În același timp, circuitul de intrare asigură impedența necesară la intrarea aparatului de măsurat numeric.

● **Convertorul analog-digital** transformă mărimile de măsurat analogice în mărimi digitale (de obicei — o serie de impulsuri).

● **Numărătorul** numără impulsurile de la ieșirea convertorului, în sistem de numerație binar sau binar-zecimal.

● **Decodorul** transformă rezultatul măsurării din sistemul binar în sistem zecimal.

● **Dispozitivul de afișare**, după cum arată numele său, afișează sub formă numerică rezultatul măsurării.

● **Blocul de comandă** asigură comanda automată a operațiilor.

● **Blocul de alimentare** alimentează toate celelalte blocuri funcționale.

În continuare va fi prezentată funcționarea unora dintre blocurile specifice aparatelor de măsurat numerice. Conversiunile analog-numerice vor fi studiate împreună cu aparatele care le folosesc.

1. NUMĂRĂTOARE

Numărătorul este blocul care realizează funcția de numărare a impulsurilor. El este format dintr-un lanț de celule elementare de numărare care depind de sistemul de numerație folosit.

a. SISTEMUL DE NUMERAȚIE

Un sistem de numerație este un cod pentru reprezentarea unei cantități. El se compune dintr-un număr de simboluri (cifre) și un algoritm de combinare a acestor simboluri pentru reprezentarea diferitelor cantități.

Se pot folosi diferite sisteme de numerație, fiecare sistem caracterizîndu-se printr-o anumită bază, n (de exemplu, sistemul de numerație în baza 10, în baza 2, în baza 7 etc.).

● Un sistem de numerație în baza n cuprinde n simboluri (cifre) distincte, care reprezintă coeficienții puterilor succesive ale bazei n . Un număr N va fi codificat într-un sistem cu baza n astfel:

$$N_n = \sum_k C_k n^k, \quad (14.1)$$

unde C reprezintă cifrele sistemului cu baza n ($0 \leq C \leq n-1$), iar k reprezintă rangul termenului respectiv ($-\infty < k < +\infty$).

● **Sistemul zecimal.** În viața de toate zilele, oamenii folosesc sistemul de numerație zecimal. Se presupune că el a fost adoptat încă din vechime, datorită faptului că omul are zece degete care i-au servit inițial la numărare.

În sistemul zecimal $n = 10$, deci există cifre distincte (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), care multiplică puterile succesive ale lui 10. Un număr N reprezentat în sistemul zecimal va fi:

$$N_{10} = \sum_k C_k 10^k, \quad (14.2)$$

unde $0 \leq C \leq 9$, iar $-\infty < k < +\infty$.

De exemplu, $(1353.23)_{10} = 1 \cdot 10^3 + 3 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0 + 2 \cdot 10^{-1} + 3 \cdot 10^{-2}$.

Pentru simplificarea scrierii, se omit puterile bazei și semnele de adunare, numărul reprezentîndu-se prin cifrele respective așezate în ordinea corespunzătoare rangului. Virgula indică limita dintre coeficienții puterilor pozitive (inclusiv zero) și cei ai puterilor negative ale bazei.

● **Sistemul binar.** În construcția aparatelor de măsurat numerice și în tehnica modernă de calcul, se folosește sistemul de numera-

fie binar (cu baza 2), deoarece necesită numai două simboluri distincte, care pot fi ușor redată cu circuitele electrice sau electronice, ce conțin elemente (relee, diode, tranzistoare) cu două stări distincte (închis-deschis, conduce-nu conduce, nivel ridicat-nivel coborât).

Sistemul binar are numai două cifre, 0 și 1. Cifra 1 se numește *bit*, care provine de la „binary digit” (în limba engleză aceasta înseamnă cifră binară).

Un număr în sistemul binar este reprezentat de suma puterilor succesive ale lui 2, înmulțite cu coeficienții 0 sau 1. De exemplu:

$$(57)_{10} = 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = (111001).$$

Ca și în sistemul zecimal, și în sistemul binar numerele se reprezintă numai prin cifrele 0 și 1, puterile bazei și semnul „+” omițându-se.

În tabelul 14.1 se dă corespondența dintre numerele 0...10 scrise în sistemul zecimal și în sistem binar.

TABELUL 14.1

Număr zecimal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Număr binar	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010

● **Sistemul binar-zecimal.** Deși sistemul de numerație binar este foarte potrivit pentru prelucrarea semnalelor cu circuite electrice și electronice, afișarea rezultatelor în acest sistem ar fi foarte greu de interpretat de oameni, care sînt obișnuiți să gîndească și să lucreze în sistemul zecimal (să ne imaginăm că am spune 111001 în loc de 57!).

Pentru a simplifica citirea și operarea cu numere binare, au fost concepute coduri binare speciale, care să permită pe de o parte prelucrarea semnalelor în sistemul binar și, pe de altă parte, reprezentarea rezultatelor în sistemul zecimal.

Un astfel de cod, utilizat frecvent în aparatele de măsurat digitale, este codul binar-zecimal, cunoscut și sub numele de BCD (binary coded-decimal), care îmbină caracteristicile celor două sisteme.

În codul binar-zecimal numerele se reprezintă în succesiunea din sistemul zecimal, dar fiecare cifră a numărului din baza 10 se exprimă printr-un număr binar. Fiecare cifră a sistemului zecimal se exprimă prin patru cifre binare, al cărui ansamblu se numește *tetradă*.

De obicei, ponderile fiecărei cifre binare din tetradă, de la stînga la dreapta, corespund puterilor $2^3, 2^2, 2^1, 2^0$, adică 8-4-2-1. Acest cod este denumit codul BCD natural, NBCD sau codul 8421.

De exemplu, numărul zecimal 4935 în NBCD va fi:

0100	1001	0011	0101
4	9	3	5

În tabelul 14.2 este dată reprezentarea cifrelor zecimale prin tetradă în codul binar-zecimal 8421.

TABELUL 14.2

Cifră zecimală	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cod binar-zecimal	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001

În afara acestui cod mai există și alte coduri binar-zecimale, cu alte ponderi, de exemplu 2421, sau 4421, care însă se utilizează mai rar.

b. CIRCUITUL BASCULANT BISTABIL

Celula elementară de numărare în sistemul binar este un circuit basculant bistabil.

Circuitul basculant bistabil este un dispozitiv electronic, care se caracterizează prin două stări distincte, ambele stabile. El este folosit ca *element de comutație*, putînd trece brusc dintr-o stare în alta în urma aplicării unei comenzi din exterior, și ca *element de memorie*, putînd rămîne oricît într-o anumită stare, dacă nu se aplică nici o comandă externă.

● În figura 14.3, a este prezentată *schema unui circuit basculant bistabil*, realizat cu tranzistoare npn, iar în figura 14.3, b este dată reprezentarea sa convențională.

După cum se vede în figura 14.3, a, circuitul basculant bistabil este alcătuit din două etaje de amplificare, realizate cu cîte un tranzistor. Ieșirea fiecărui etaj de amplificare este conectată direct

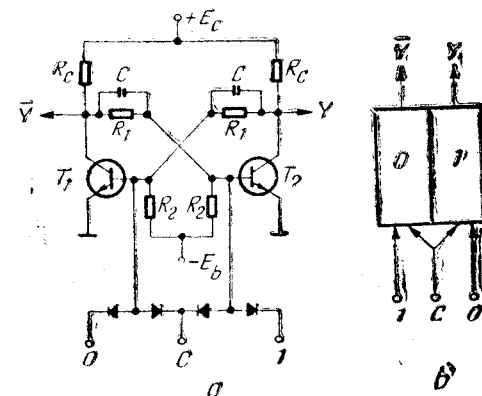


Fig. 14.3. Circuit basculant bistabil.

la intrarea celuilalt etaj prin rezistențele R_1 . În acest fel, fiecare etaj de amplificare constituie o buclă de reacție pentru celălalt (semnalul de la ieșirea tranzistorului T_1 este amplificat de tranzistorul T_2 și readus la intrarea lui T_1 ; la fel pentru T_2). Datorită acestor reacții, cele două tranzistoare nu pot conduce simultan. Când un tranzistor conduce, celălalt este blocat, și invers. Circuitul prezintă deci două stări stabile: starea 1, în care tranzistorul T_1 conduce și T_2 este blocat, și starea 0, în care T_2 conduce și T_1 este blocat.

Din colectoarele celor două tranzistoare se obțin două semnale: Y la ieșirea tranzistorului T_2 și \bar{Y} (Y negat) la ieșirea tranzistorului T_1 .

● **Funcționare.** În starea stabilă, tranzistorul care este blocat are potențialul colectorului egal cu $+E_C$, iar tranzistorul care conduce, funcționând la saturație, are tensiunea pe colectorul său aproape nulă.

Comanda de basculare se realizează prin aplicarea unui impuls negativ la intrare. Circuitul basculant bistabil reprezentat în figura 14.3 are trei intrări. Intrarea C este simetrică; fiecare impuls determină bascularea dintr-o stare în alta. Această intrare este folosită pentru numărarea impulsurilor. Intrările 0 și 1 sînt nesimetrice. Prin aplicarea unui impuls negativ de comandă la una dintre aceste intrări, bascularea nu se poate face decît într-un singur sens. De exemplu: dacă se aplică un impuls negativ la intrarea 1, bistabilul basculează în starea 1 și rămîne în această stare; pentru ca bistabilul să basculeze în starea 0, trebuie să se aplice un impuls negativ la intrarea 0. Intrările nesimetrice sînt folosite pentru aducerea bistabilului în starea 0 sau în starea 1, indiferent de starea pe care a avut-o înainte.

c. NUMĂRĂTOR BINAR

După cum s-a arătat, celula elementară de numărare în sistemul binar este circuitul bistabil.

Un circuit bistabil (o celulă binară), avînd doar două stări distincte, nu poate număra decît un singur impuls, deoarece la al doilea trece din nou în zero.

Dacă se cuplează în cascadă două circuite bistabile, se realizează un sistem care are patru stări distincte și poate număra pînă la trei.

Pentru explicarea funcționării numărătoarelor, se consideră că bistabilul este comandat simetric cu impulsuri negative și că starea 1 corespunde situației cînd tranzistorul T_1 din stînga conduce și la ieșirea Y apare o tensiune pozitivă, iar starea 0 corespunde situației cînd tranzistorul T_2 din dreapta conduce și la ieșirea Y tensiunea este aproximativ zero.

● **Sistem de numărare cu două celule binare în cascadă.** Inițial, cele două celule binare sînt în starea 0. La aplicarea primului impuls, celula B_1 trece din starea 0 în starea 1. La ieșirea sa apare un salt de tensiune pozitiv, care nu afectează celula B_2 , sensibilă doar la impulsuri negative datorită diodei din circuitul de intrare. La aplicarea celui de-al doilea impuls, celula B_1 trece din starea 1 în starea 0, iar tensiunea la ieșirea sa face un salt negativ ce se transmite celei B_2 . Aceasta basculează din starea 0 în starea 1. La aplicarea celui de-al treilea impuls, celula B_1 trece din nou în starea 1, producînd un salt de tensiune pozitiv la ieșire, care nu afectează celula B_2 . La al patrulea impuls, B_1 revine în starea 0, la ieșirea sa Y apare din nou un salt negativ de tensiune, care face ca celula B_2 să basculeze din starea 1 în starea 0, sistemul revenind astfel în starea inițială.

Se observă că sistemul de numărare cu două celule binare în cascadă poate pune în evidență $2^2 = 4$ stări distincte și poate număra trei impulsuri. La al patrulea impuls revine în starea inițială.

● **Prin legarea în cascadă a mai multor celule binare se obține un bloc de numărare.** Dacă numărătorul are n celule în cascadă, poate pune în evidență 2^n stări distincte și poate număra pînă la $2^n - 1$ impulsuri.

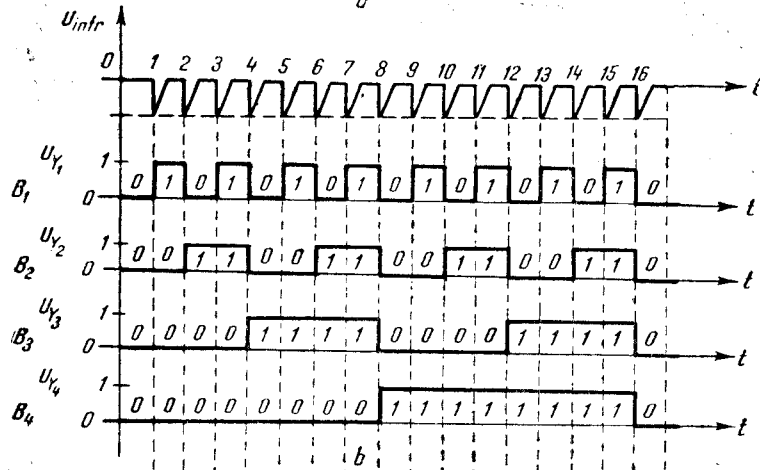
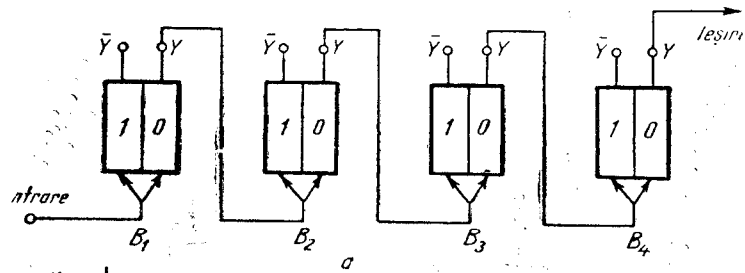
Regula generală de funcționare a unui sistem de celule binare în cascadă este următoarea: prima celulă își schimbă starea la fiecare impuls aplicat la intrare; fiecare dintre celelalte celule din lanț își schimbă starea numai cînd bistabilul precedent trece din starea 1 în starea 0.

Aplicînd această regulă, se observă că prima celulă a unui numărător binar își schimbă starea la fiecare impuls aplicat la intrare, cea de-a doua își schimbă starea din două în două impulsuri, cea de-a treia din patru în patru, cea de-a patra din opt în opt ș.a.m.d. Celulele corespund deci puterilor succesive ale lui 2, iar stările lor corespund coeficienților acestor puteri: aceasta explică funcționarea sistemului cu numărător binar.

În figura 14.4, *a* este prezentat un numărător binar cu patru celule, care poate pune în evidență $2^4 = 16$ stări distincte și poate număra pînă la 15 impulsuri. Variația tensiunilor la ieșirile Y ale celulelor binare în funcție de impulsurile aplicate la intrare este prezentată în figura 14.4, *b*, iar în figura 14.4, *c* este dată variația stărilor celulelor.

d. NUMĂRĂTOR DECADIC

Pentru a realiza o numărare în sistemul de numerație zecimal, este necesar un numărător cu zece stări distincte. Cele zece stări distincte se pot realiza cu celule binare, dar după cum s-a văzut un numărător binar revine în starea inițială după un număr de impulsuri corespunzînd puterilor numărului 2.



Numărul impulsului	Starea celule- lor binare			
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
0	0	0	0	0
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	1	1	0	0
4	0	0	1	0
5	1	0	1	0
6	0	1	1	0
7	1	1	1	0
8	0	0	0	1
9	1	0	0	1
10	0	1	0	1
11	1	1	0	1
12	0	0	1	1
13	1	0	1	1
14	0	1	1	1
15	1	1	1	1
16	0	0	0	0

Fig. 14.4. Numărător binar cu patru celule.

• Pentru obținerea unui numărător cu zece stări stabile, se poate transforma un numărător binar cu patru celule, suprimând șase dintre cele 16 stări posibile, prin introducerea unor reacții. Se pot face diverse legături de reacție; în figura 14.5, a este prezentată schema unui numărător decadic cu legături de reacție între ieșirea \bar{Y} a celulei B_4 și intrările de comandă nesimetrice 1 ale celulelor B_2 și B_3 .

Funcționarea acestui numărător este identică cu a unui numărător binar până la impulsul 7, când starea este 0111. La aplicarea celui de-al optulea impuls, mai întâi sistemul trece în starea 1000, care însă nu se menține, deoarece bascularea celulei B_4 în starea 1 determină un impuls negativ pe ieșirea sa \bar{Y} ; acesta, transmitându-se la celulele B_2 și B_3 , determină trecerea lor în starea 1. Starea finală a sistemului este deci 1110; numărătorul indică numărul $(1110)_2 = 14_{10}$ în loc de $(1000)_2 = (8)_{10}$, deci a sărit șase unități. La aplicarea celui

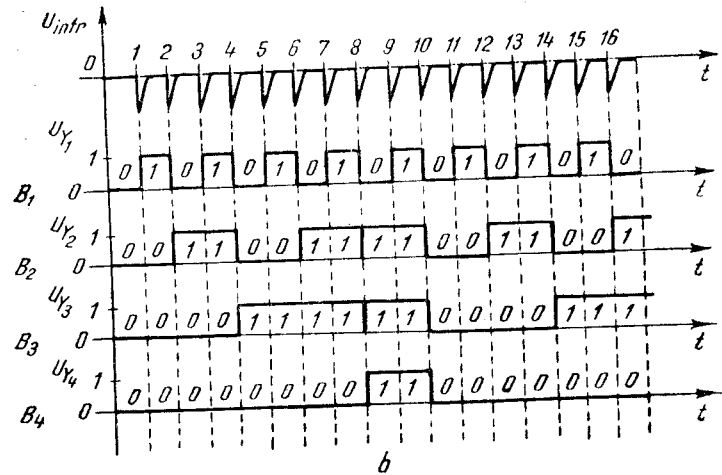
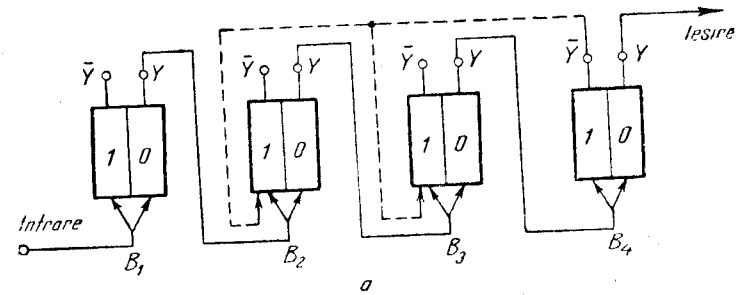


Fig. 14.5. Numărător decadic cu patru celule binare.

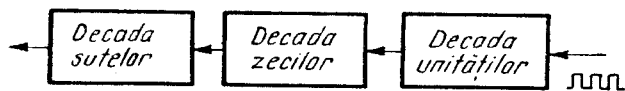


Fig. 14.6. Numărător cu decade în cascadă.

de-al nouălea impuls sistemul trece în starea $(1111)_2 = (15)_{10}$, care este și ultima, deoarece la aplicarea celui de-al zecelea impuls sistemul revine în starea zero.

Un astfel de numărător, cu zece stări distincte, numără impulsurile conform codului binar-zecimal, realizând o tetradă.

● **Legind în cascadă mai multe numărătoare decadică** se pot obține numărătoare cu decade de ordine crescătoare. Funcționarea acestora decurge, în felul următor: la aplicarea celui de-al zecelea impuls la intrare, prima decadă (a unităților) revine la zero prin trecerea ultimei celule binare în starea zero, care totodată furnizează un impuls negativ decadei următoare de numărare. Cea de-a doua decadă corespunde zecilor, deoarece este comandată din zece în zece impulsuri aplicate la intrare; tot așa, la fiecare sută de impulsuri, decada zecilor revine în starea inițială comandând decada următoare, a sutelor. În figura 14.6 este prezentat un numărător cu decade în cascadă, cu o capacitate de 999 unități.

2. DECODOARE

În aparatele de măsurat numerice, numărătoarele funcționează în sistemul binar dar, pentru a fi ușor interpretate, rezultatele trebuie afișate în sistemul zecimal.

Transformarea unei informații dintr-un sistem de numerație în altul se realizează cu circuite speciale numite decodoare.

Există diverse tipuri de decodoare. Cel mai răspândit este decodorul din NBCD în zecimal, care va fi analizat în continuare

DECODORUL DIN NBCD ÎN ZECIMAL

Pentru transformarea unui număr din sistemul binar-zecimal în sistemul zecimal, este necesar ca *pentru fiecare tetradă să existe un decodor*, care să primească semnalele de la cele patru celule binare ale unei tetrade și să aibă 10 ieșiri corespunzătoare celor 10 cifre ale sistemului zecimal.

Un astfel de decodor se poate realiza cu 10 circuite logice de tip ȘI, conectate la cele patru celule binare ale unei tetrade, conform tabelului de adevăr ce leagă între ele cele două sisteme.

Un circuit logic ȘI este un circuit care dă semnal la ieșire numai dacă pe toate intrările sale există semnal.

În figura 14.7, a este prezentată schema logică a unui decodor din sistemul binar sau NBCD (numerele de la zero la nouă se reprezintă la fel în binar și în NBCD) în sistemul zecimal, iar în figura 14.7, b este prezentat tabelul de adevăr ce leagă cele două sisteme.

După cum se vede din figura 14.7, a, fiecare circuit logic ȘI corespunde unei anumite cifre zecimale (0, 1, 2, ..., 9). Cele patru intrări ale fiecărui circuit ȘI sînt conectate la cele patru celule binare conform tabelului de adevăr, astfel încît, pentru fiecare număr, numai circuitul ȘI corespunzător aceluși număr să primească semnal pe toate intrările sale și să dea un semnal de ieșire, în timp ce toate celelalte circuite ȘI vor avea cel puțin o intrare fără semnal și, ca urmare, semnalul la ieșirea lor va fi zero.

De exemplu, circuitul ȘI corespunzător cifrei zecimale 4 (în binar 0 100) este conectat la ieșirea Y a celulei B_3 și la ieșirile \bar{Y} (ieșirile negate) ale celulelor B_1 , B_2 și B_4 . În acest fel, cînd numărătorul binar numără 0 100, circuitul ȘI corespunzător

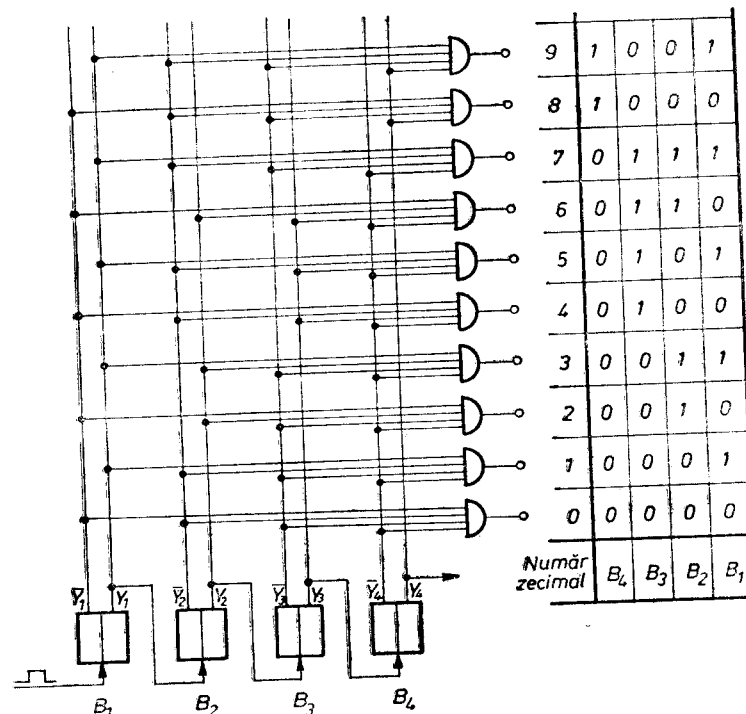


Fig. 14.7. Decodor.

cifrei zecimale 4 primește semnal 1 pe toate intrările sale și va da la ieșire un semnal care poate acționa un dispozitiv de afișare pentru a indica cifra 4. În același timp, toate celelalte circuite ȘI vor avea cel puțin o intrare fără semnal și ca urmare nu vor avea semnal de ieșire.

3. DISPOZITIVE DE AFIȘARE

Pentru reprezentarea sub formă numerică a rezultatului măsurării, aparatele de măsurat digitale sînt prevăzute cu dispozitive de afișare. Acestea sînt comandate de semnalele de la ieșirea decodurii.

Există foarte multe tipuri de dispozitive de afișare, dar în construcția aparatelor moderne cel mai frecvent sînt folosite:

- dispozitivele de afișare cu tuburi cu gaz, numite și *digitroane* sau *tuburi NIXIE*;
- dispozitivele de afișare cu diode semiconductoare electroluminescente (LED);
- dispozitivele de afișare cu cristale lichide.

a. DISPOZITIVE DE AFIȘARE CU TUBURI NIXIE

● **Construcția.** Tuburile NIXIE sînt tuburi cu gaz, care au 10 catozi și un anod. Catozii sînt confecționați din sîrmă subțire din crom-nichel și au forma cifrelor de la 0 la 9. Cînd tensiunea dintre anod și unul dintre catozi este egală cu tensiunea de aprindere, gazul din jurul catodului respectiv se ionizează și se amorsează o descărcare luminescentă a cărei culoare depinde de natura gazului (roșie, pentru tuburile cu neon). Lățimea de luminescență a catodului fiind mai mare decît grosimea sîrmei din care acesta este confecționat, cei 10 catozi pot fi așezați unul în fața celuilalt.

● **Schema de comandă a unui tub NIXIE** este reprezentată în figura 14.8. Fiecare catod al tubului NIXIE este conectat în colectorul unuia dintre tranzistoarele $T_0 \dots T_9$, iar bazele acestor tranzistoare sînt conectate la cele 10 ieșiri ale unui decodor binar-zecimal.

Cînd un tranzistor conduce la saturație, colectorul său se găsește aproximativ la potențialul zero, iar tensiunea dintre catodul tubului NIXIE conectat în colectorul său și anod este E_a . Această tensiune este mai mică decît tensiunea de aprindere și descărcare nu se amorsează.

Pentru afișarea unei anumite cifre zecimale, tranzistorul legat la ieșirea corespunzătoare a decodurii primește un semnal pozitiv

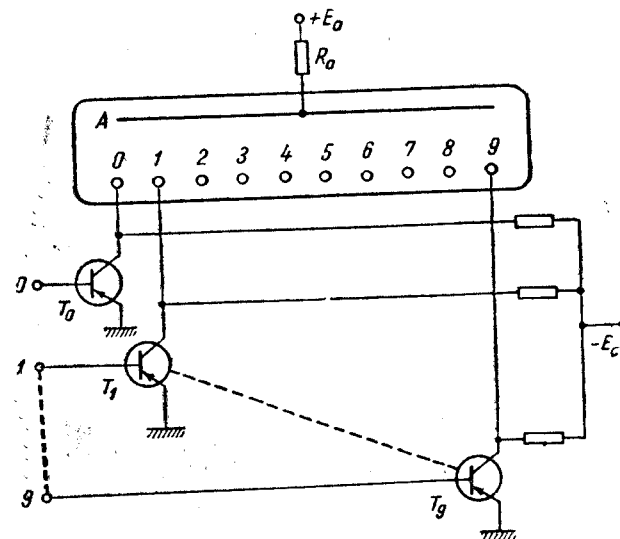


Fig. 14.8. Schema de comandă a unui tub NIXIE.

pe bază și se blochează. În acest caz, pe rezistența din colectorul său nu cade nici o tensiune, deci colectorul se află la potențialul $-E_c$. Între catodul legat în colectorul tranzistorului respectiv și anod, diferența de potențial devine $E_a + E_c$ și este suficientă pentru ca descărcarea în gaz să se amorseze. Ca urmare, gazul din jurul catodului respectiv devine luminescent, indicînd cifra dorită.

Tuburile NIXIE au dezavantajul că necesită tensiuni de aprindere mari, de circa 170 V; de aceea, ele sînt utilizate în special în aparatele echipate cu tuburi electronice. În aparatele tranzistorizate sînt folosite mai rar, în aceste aparate fiind preferate alte tipuri de indicatoare.

b. DISPOZITIVE DE AFIȘARE CU DIODE ELECTROLUMINESCENTE

Diodele electroluminescente, cunoscute și sub denumirea de LED (light emitting diodes), sînt diode semiconductoare care au proprietatea de a emite lumină cînd sînt în stare de conducție. În funcție de semiconductorul folosit, lumina emisă poate avea diferite culori (roșu, verde).

Pentru a indica cele zece cifre zecimale, se folosesc grupuri de diode care se selectează cu ajutorul unor circuite logice (codificatoare) pentru a forma cifra dorită. Cel mai frecvent se folosesc grupuri de șapte diode astfel așezate, încît atunci cînd toate sînt în stare de con-

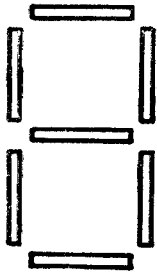


Fig. 14.9. Dispozitiv de afișare cu șapte LED-uri.

ductie, să se afișeze cifra 8 (fig. 14.9). Pentru afișarea altor cifre, o parte dintre diode rămân blocate.

De exemplu, când se afișează cifra 0, dioda din mijloc este blocată.

Dispozitivele de afișare cu diode electroluminescente sînt larg răspîndite în aparatele tranzistorizate, deoarece ele funcționează cu tensiuni foarte mici, de ordinul volților.

c. DISPOZITIVE DE AFIȘARE CU CRISTALE LICHIDE

● **Cristalele lichide** sînt substanțe aflate într-o stare intermediară, între solid și lichid. Ele curg, dar în același timp moleculele lor sînt orientate într-o anumită ordine, ceea ce dă substanței respective proprietatea de cristal. Ordinea moleculară a cristalelor lichide poate fi influențată de cîmpurile electrice sau magnetice, sub acțiunea cărora substanțele respective își schimbă transparența sau culoarea. Aceste proprietăți ale cristalelor lichide își găsesc foarte multe aplicații în practică.

Deși utilizările practice ale cristalelor lichide au început abia prin anul 1970, în prezent ele sînt frecvent folosite în dispozitivele de afișare ale ceasurilor electronice, ale calculatoarelor și ale aparatelor de măsurat numerice.

Dispozitivele de afișare cu cristale lichide sînt realizate de obicei pe principiul segmentelor luminoase, cu ajutorul cărora se pot forma cifrele de la 0 la 9.

● Un exemplu de indicator cu cristale lichide cu șapte segmente luminoase este prezentat în figura 14.10. Dispozitivul este format din

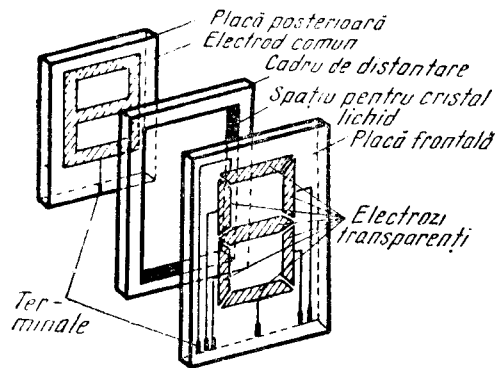


Fig. 14.10. Dispozitiv de afișare cu cristale lichide, cu șapte segmente.

două plăci de sticlă, cu rol de suport, pe care se depun electrozi peliculari transparenți; între plăci se introduce un strat subțire de cristal lichid, cu grosimea între 6 μm și 25 μm. Placa suport frontală are electrozii sub forma a șapte segmente cu terminale individuale amplasate pe o margine a plăcii. Placa suport posterioară are un singur electrod, al cărui contur corespunde cu figura formată de cele șapte segmente. Când se aplică o diferență de potențial între electrodul de pe placa posterioară și toți cei șapte electrozi de pe placa frontală, se afișează cifra 8. Pentru afișarea altei cifre, unii dintre electrozii de pe placa frontală nu primesc tensiuni.

● **Caracteristici.** Dispozitivele de afișare cu cristale lichide necesită tensiuni relativ mici și au un consum de energie foarte redus, motiv pentru care ele capătă o răspîndire din ce în ce mai largă.

C. TIPURI DE APARATE DE MĂSURAT DIGITALE

1. NUMĂRĂTORUL UNIVERSAL

Numărătorul universal este din punct de vedere cronologic primul aparat de măsurat digital. După cum îi spune și numele, acest aparat este destinat să numere o serie de impulsuri. El are însă o utilizare foarte largă. În afară de numărare de impulsuri, el poate fi folosit la măsurarea frecvențelor, a perioadelor, a intervalelor de timp sau a raportului între două frecvențe.

Prin utilizarea anumitor traductoare, numărătorul universal poate măsura viteze, turații, timpi de atragere la relee, grosimea laminatelor, sau poate face numărări cu preselecție (la ambalări, dozări etc.).

● **Schema bloc a unui numărător universal** este prezentată în figura 14.11 și conține următoarele circuite principale: oscilatoare cu cuarț, divizorul de frecvență, circuitul de intrare, circuitul poartă, numărătorul, decodificatorul și dispozitivul de afișare.

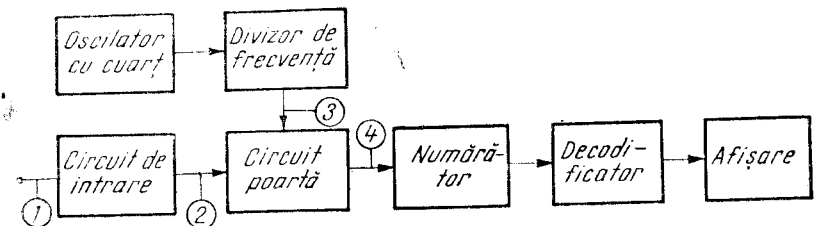


Fig. 14.11. Schema bloc a unui numărător universal.

● **Principiul de funcționare a numărătorului universal** constă în numărarea unor impulsuri într-un timp determinat. În acest scop, el conține un circuit poartă, la intrarea căruia se aplică impulsurile de numărare. Circuitul poartă este de obicei un circuit de tip *SI*. La ieșirea porții se vor regăsi impulsurile aplicate la intrare, numai pe durata coincidenței dintre cele două semnale. Impulsurile de la ieșirea porții sînt numărate de numărător în sistemul binar sau binar codificat în zecimal (BCD). Decodificatorul transformă rezultatul numărării din binar sau din BCD în sistemul zecimal, pentru a fi apoi afișat numeric de dispozitivul de afișare.

Funcționarea numărătorului universal este comandată de un oscilator cu cuarț de mare stabilitate. Deoarece oscilatorul cu cuarț funcționează pe o frecvență fixă, pentru obținerea unor semnale de frecvență diferite se folosește un divizor de frecvență, care împarte prin decade succesive $\left(1, \frac{1}{10}, \frac{1}{100}, \dots\right)$ frecvența semnalelor date de oscilatorul cu cuarț. Semnalele obținute la ieșirea divizorului de frecvență se aplică la una dintre intrările circuitului poartă, determinînd în acest mod, cu precizie foarte mare, durata unuia dintre semnalele ce se aplică porții. Oscilatorul cu cuarț împreună cu divizorul de frecvență alcătuiesc baza de timp a numărătorului universal.

Circuitul de intrare prelucrează semnalele aplicate la intrare, pentru a fi compatibile cu intrarea porții logice a numărătorului (intrarea circuitului poartă). Deoarece la intrarea porții trebuie să se aplice semnale sub forma unor impulsuri de o anumită amplitudine, circuitul de intrare are rolul de a transforma semnalele aplicate la intrare, care pot avea amplitudini și forme diferite, în impulsuri de aceeași frecvență.

2. FRECVENȚMETRE ȘI CRONOMETRE DIGITALE

După cum s-a arătat în paragraful precedent, numărătorul universal poate fi folosit la măsurarea intervalelor de timp și a frecvențelor. Aceste mărimi se pot măsura numeric prin metode directe. În cazul măsurării frecvențelor, se numără perioadele semnalului a cărui frecvență se măsoară, într-un interval de timp prestabilit, de exemplu o secundă. La măsurarea intervalelor de timp se numără impulsurile date de generatorul bază de timp, în intervalul de timp ce se măsoară. Deci, și într-un caz și în celălalt, *măsurarea constă în numărarea unor impulsuri*, numărare ce se poate realiza cu numărătorul universal.

Frecvențmetrele și cronometrele numerice moderne sînt construite sub forma unui numărător universal, adaptat pentru una dintre cele două funcționări.

● Pentru funcționarea ca **frecvențmetru**, semnalul a cărui frecvență se măsoară se aplică circuitului de intrare, care îl transformă în impulsuri avînd aceeași frecvență. Aceste impulsuri se aplică pe una dintre intrările circuitului poartă. La cea de-a doua intrare a porții, se aplică semnalul de la divizorul de frecvență, semnal ce are o durată bine determinată, de exemplu o secundă. Pe durata cît cele două semnale coincid, impulsurile trec prin poartă spre numărător. Acestea le numără, iar rezultatul numărării este decodificat și afișat numeric.

În figura 14.12 s-au reprezentat diagramele semnalelor în diferite puncte ale frecvențmetrului (1 — semnalul la intrare; 2 — semnalul la ieșirea circuitului de intrare; 3 — semnalul dat de divizorul de frecvență; 4 — semnalul la ieșirea circuitului poartă, respectiv la intrarea numărătorului).

● **Cronometrele** sînt aparate destinate să măsoare intervalele de timp. Un cronometru numeric este realizat cu un numărător universal.

La una dintre intrările circuitului poartă se aplică impulsuri generate de baza de timp, care au o anumită perioadă T_0 . La cea de-a doua intrare se aplică un semnal generat de circuitul de intrare, care are durata egală cu intervalul de timp ce se măsoară. De exemplu, la cronometrarea unei curse sportive, în momentul în care se dă startul, circuitul de intrare primește o comandă de pornire și produce un semnal care deschide circuitul poartă. În momentul cînd se trece linia de sosire, circuitul de intrare primește un nou semnal, de oprire. Din momentul respectiv circuitul poartă se blochează.

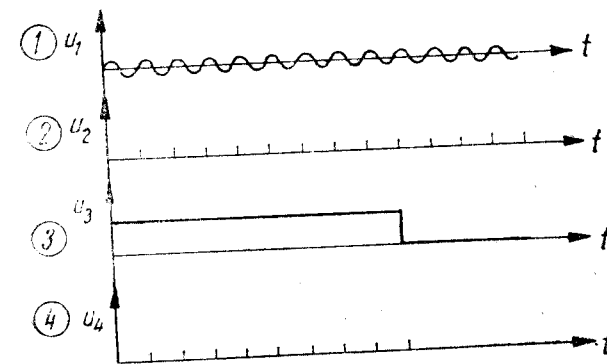


Fig. 14.12. Măsurarea numerică a frecvenței.

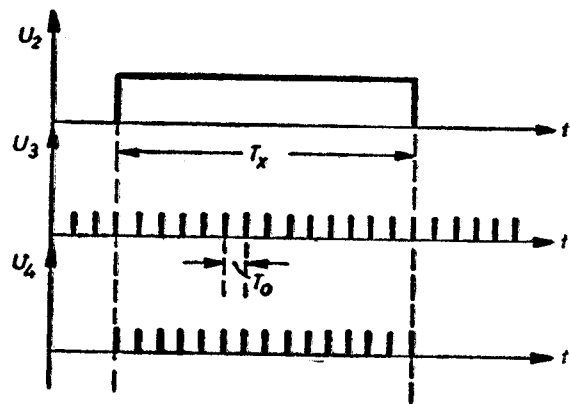


Fig. 14.13. Măsurarea numerică a intervalelor de timp.

Atît timp cît poarta este deschisă, trec spre numărător impulsurile generate de baza de timp. Aceste impulsuri se numără, se multiplică cu perioada T_0 a bazei de timp, iar rezultatul se decodifică și se afișează sub formă numerică.

În figura 14.13 s-au reprezentat diagramele semnalelor în diferite puncte ale unui cronometru.

3. VOLTMETRE DIGITALE

Voltmetrele digitale sînt aparate utilizate la măsurarea tensiunilor continue în limitele $1 \mu\text{V} - 1000 \text{ V}$, la care rezultatul măsurării este afișat sub formă numerică. Ele pot fi utilizate și pentru măsurarea tensiunilor alternative, dacă sînt prevăzute cu circuite speciale de detecție.

Voltmetrele digitale sînt foarte răspîndite și se caracterizează prin:

- precizie foarte bună, ajungînd pînă la 10^{-6} ;
- impedanță de intrare foarte mare (la unele aparate — zeci de mii de megohmi);
- viteză de măsurare mare, pînă la sute de măsurări pe secundă;
- funcționare automată (schimbarea automată a gamei de măsurare și indicarea polarității tensiunii).

Deoarece tensiunea este o mărime analogică, pentru măsurarea ei numerică este necesar să se folosească convertoare analog-digitale. Convertoarele analog-digitale utilizate în voltmetrele digitale sînt de diferite tipuri, dar funcționarea lor se bazează pe cîteva metode de conversie fundamentale:

- metoda conversiei intermediare în timp sau frecvență;
- metoda compensării;
- metode mixte.

a. VOLTMETRUL DIGITAL CU CONVERTOR TENSIUNE-TIMP

După cum s-a arătat, partea principală a unui voltmetru digital o constituie convertorul analog-digital. În cazul unui convertor tensiune-timp, funcționarea acestuia se bazează pe convertirea tensiunii continue de măsurat într-un interval de timp proporțional cu aceasta, interval de timp ce se măsoară apoi numeric ca la cronometrele digitale.

● În figura 14.14, a este prezentată schema bloc a unui voltmetru digital cu convertor tensiune-timp, iar în figura 14.14, b sînt prezentate diagramele semnalelor în diferite puncte ale aparatului.

După cum se vede din schema bloc, tensiunea de măsurat U_x se aplică la intrarea unui comparator, care o compară cu o tensiune liniar-variabilă în timp $U_e = k(t - t_0)$, primită de la un generator etalon.

● **Funcționarea.** În momentul $t = t_0$, în care începe o măsurare, tensiunea etalon este zero și se comandă deschiderea circuitului poartă prin care trec spre numărător impulsuri de frecvență f_0 generate de un oscilator cu cuarț.

La $t = t_x$, tensiunea U_x , care crește liniar în timp, devine egală cu tensiunea de măsurat U_x :

$$U_x = U_e = k(t_x - t_0). \quad (14.3)$$

Cînd cele două tensiuni sînt egale, comparatorul comandă închiderea circuitului poartă, deci circuitul poartă rămîne deschis numai în intervalul de timp $t_x - t_0$, care conform relației (14.3) este proporțional cu tensiunea U_x de măsurat. Numărul de impulsuri N care trec prin poartă spre numărător este egal cu produsul dintre frecvența f_0 a oscilatorului cu cuarț și intervalul de timp $t_x - t_0$ cît este deschisă poarta:

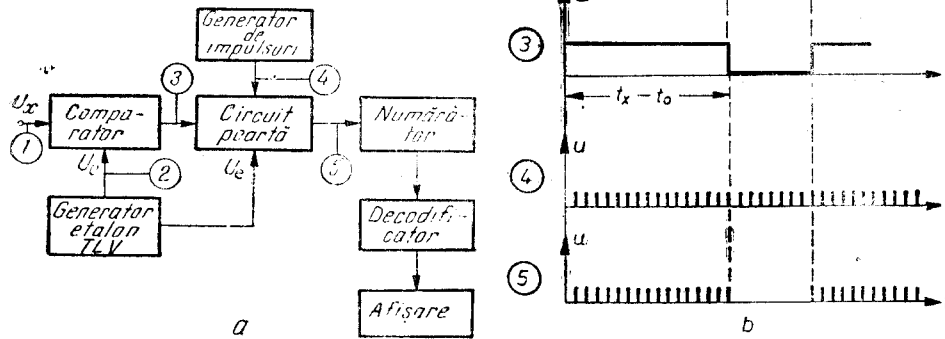
$$N = f_0(t_x - t_0). \quad (14.4)$$

Din relația (14.3) se deduce: $t_x - t_0 = \frac{1}{k} U_x$; înlocuind această expresie în relația (14.4) se obține:

$$N = \frac{f_0}{k} U_x = KU_x. \quad (14.5)$$

Fig. 14.14. Voltmetru numeric cu convertor tensiune-timp:

a - schema bloc; b - tensiunile în diferite puncte.



Relația (14.5) arată că numărul impulsurilor ce trec prin poartă în intervalul de timp $t_x - t_0$ este proporțional și cu tensiunea de măsurat.

Aceste impulsuri sînt numărate de numărător, iar rezultatul numărării este decodificat și afișat numeric.

b. VOLTMETRUL DIGITAL CU CONVERTOR TENSIUNE-FRECVENȚĂ

Funcționarea convertorului tensiune-frecvență se bazează pe transformarea tensiunii de măsurat într-o serie de impulsuri a căror frecvență este proporțională cu tensiunea U_x .

Convertorul tensiune-frecvență utilizează un circuit integrator, care asigură încărcarea unui condensator sub curent constant. În acest caz, tensiunea de la ieșirea integratorului crește liniar în timp și este proporțională cu tensiunea aplicată la intrarea sa:

$$U_2 = kU_1 t. \quad (14.6)$$

Dacă integrarea durează un interval de timp T :

$$U_2 = kU_1 T = KU_1. \quad (14.7)$$

● Voltmetrele digitale cu convertor tensiune-frecvență sînt realizate după o schemă bloc ca cea prezentată în figura 14.15, a. În figura 14.15, b sînt prezentate diagramele semnalelor în diferite puncte ale aparatului.

● Funcționarea voltmetrului este comandată de un generator bază de timp, care determină durata T a unei măsurări.

Tensiunea de măsurat U_x se aplică la intrarea integratorului, care după un interval de timp T ar trebui să dea la ieșire o tensiune:

$$U_2 = kU_x T = KU_x. \quad (14.8)$$

Ieșirea integratorului este însă legată la intrarea unui comparator, care compară tensiunea de la ieșirea integratorului cu o tensiune de referință U_0 . În momentul în care tensiunea de la ieșirea integratorului devine egală cu tensiunea de referință U_0 , comparatorul generează un impuls, care comandă prin intermediul unui circuit aducerea integratorului la zero. Tensiunea la ieșirea integratorului va crește din nou pînă la valoarea tensiunii de referință U_0 , după care integratorul este adus din nou la zero și fenomenul se repetă pe toată durata T a unei măsurări. În acest mod, la ieșirea integratorului se obține o tensiune de forma dinților de ferăstrău, iar la ieșirea comparatorului - un număr de impulsuri N proporțional cu tensiunea de măsurat U_x . Acest lucru se poate demonstra cu ajutorul diagramei prezentate în figura 14.15, b. Astfel, se observă că pe durata T a unei măsurări numărul impulsurilor de la ieșirea comparatorului

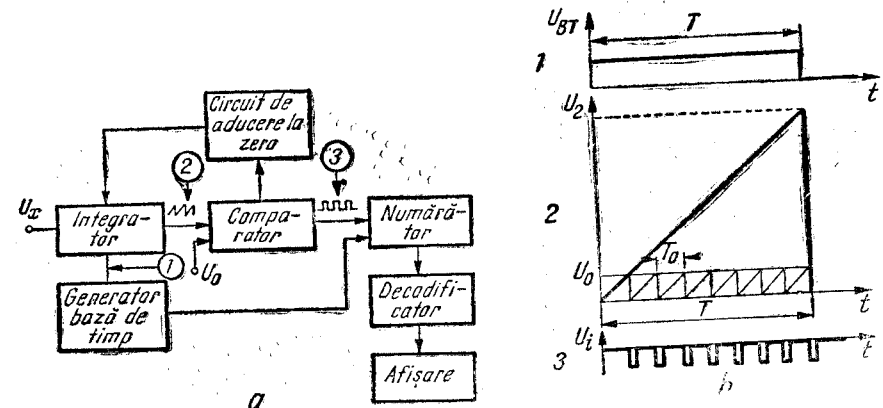


Fig 14.15. Voltmetru numeric cu convertor tensiune-frecvență.

a - schema bloc; b - semnalele în diferite puncte.

este $N = \frac{T}{T_0}$, unde T_0 este perioada dinților de ferăstrău. De asemenea, din asemănarea triunghiurilor dreptunghice ce reprezintă variația tensiunii U_2 într-un interval de timp T și variația tensiunii la ieșirea integratorului pe durata T_0 a unui dinte de ferăstrău, se deduce:

$$N = \frac{T}{T_0} = \frac{U_2}{U_0}. \quad (14.9)$$

Înlocuind în această expresie pe U_2 cu valoarea sa determinată de relația (14.8) și ținând seamă că U_0 are o valoare constantă, se obține:

$$N = \frac{KU_x}{U_0} = K_1 U_x. \quad (14.10)$$

Relația (14.10) arată că numărul impulsurilor de la ieșirea comparatorului este proporțional cu tensiunea de măsurat. Aceste impulsuri sînt aplicate la intrarea unui numărător, care le numără, iar rezultatul numărării este decodificat și afișat numeric. Întrucît fiecărui impuls i se atribuie o anumită valoare a tensiunii, rezultatul poate fi exprimat numeric în volți.

O variantă mai perfecționată și mai răspîndită este voltmetrul cu dublă integrare (cu dublă rampă).

c. VOLTMERE DIGITALE CU CONVERTOR ANALOG-DIGITAL CU COMPENSARE CU TENSIUNE CRESCĂTOARE ÎN TREPTE

Metodele de măsurare cu compensare se bazează pe compararea tensiunii de măsurat cu o tensiune de referință variabilă generată în interiorul aparatului de măsurat digital de un convertor digital-analog. Acesta primește de la un bloc numeric o serie de impulsuri și dă la ieșire o tensiune ce variază în funcție de numărul impulsurilor primite.

Tensiunea generată de convertorul digital-analog poate să varieze în trepte sau prin aproximații succesive.

● **Schema bloc** a unui voltmetru digital cu convertor analog-digital cu tensiunea crescătoare în trepte este prezentată în figura 14.16, a.

● **Funcționarea** (fig. 14.16, b). În situația inițială, circuitele bistabile $B_1 \dots B_4$ ale registrului numeric sînt în starea zero, comutatoarele de nivel sînt blocate și, ca urmare, tensiunea de referință este zero. Circuitul comparator, primind o tensiune de măsurat

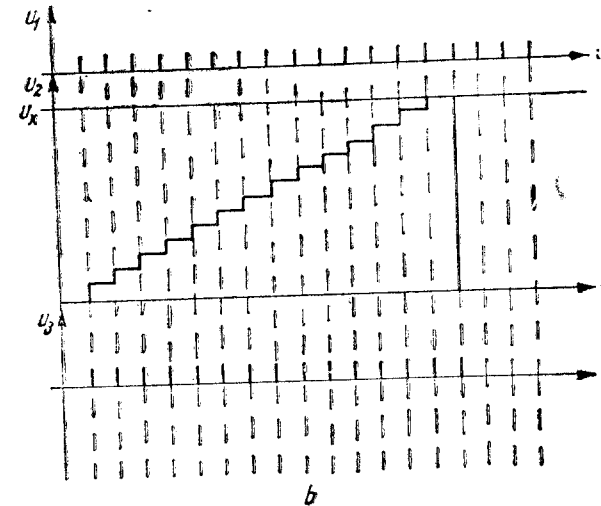
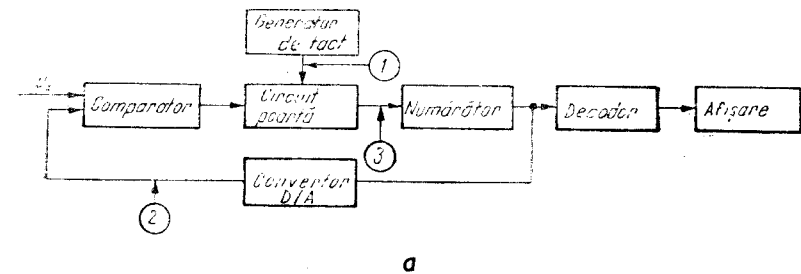


Fig. 14.16. Voltmetru digital cu compensare cu tensiune crescătoare în trepte:

a — schema bloc; b — funcționarea, tensiunile în punctele 1, 2 și 3.

$U_x > U_{ref}$, deschide poarta prin care încep să treacă spre registrul numeric impulsurile de la generatorul de tact.

Partea principală a acestui aparat o formează **convertorul analog-digital**, care conține un **comparator**, un **circuit poartă** și un **convertor digital-analog**.

Comparatorul compară tensiunea de măsurat cu tensiunea de referință variabilă în trepte, generată de convertorul digital-analog. Atît timp cît $U_x < U_{ref}$, comparatorul comandă deschiderea circuitului poartă, prin care trec impulsurile de la generatorul de tact spre numărător.

Numărătorul numără impulsurile primite și comandă convertorul digital-analog.

Cînd tensiunea de referință egalează tensiunea de măsurat, comparatorul comandă închiderea circuitului poartă. În tot timpul cît poarta a fost deschisă, au trecut spre numărător impulsuri care au fost numărate. În același timp, numărătorul a comandat și convertorul digital-analog, deci valoarea tensiunii de referință depinde de numărul impulsurilor care au trecut prin poartă. Prin urmare, rezultatul numărării indică valoarea tensiunii de referință și — totodată — pe cea a tensiunii de măsurat.

Deoarece fiecărui impuls îi corespunde o treaptă elementară de variație a tensiunii de referință, rezultatul numărării, decodificat, poate fi afișat numeric direct în volți.

d. MULTIMETRE DIGITALE

Multimetrele digitale sînt aparate destinate să măsoare diferite mărimi electrice ca: tensiuni continue și alternative, intensități ale curentului, rezistențe ș.a.

● **Principiul de funcționare.** În principiu, aceste aparate sînt alcătuite dintr-un voltmetru digital de curent continuu, prevăzut cu diferite circuite auxiliare care îi lărgesc posibilitățile de măsurare

Astfel, pentru măsurarea tensiunilor alternative, semnalul de măsurat este transformat într-un semnal continuu cu ajutorul unor circuite de detecție.

Pentru măsurarea intensității curentului electric, curentul de măsurat este trecut prin rezistențe de precizie și se măsoară căderea de tensiune la bornele acestor rezistențe.

Pentru măsurarea rezistențelor, se trec prin ele curenți continui de precizie și se măsoară tensiunea la bornele lor.

Datorită unei precizii foarte bune și a comodității în manevrare, multimetrele numerice au căpătat o largă răspîndire, atît ca aparate de laborator, cît și ca aparate portabile.

● **Un exemplu de multimetru numeric** este *multimetrul portabil tip E 0-302*, produs de I.E.M.I. — București. Acest aparat măsoară:

- tensiuni continue de la 0,1 mV la 1 000 V;
- tensiuni alternative de la 0,1 mV la 350 V;
- intensități ale curentului continuu de la 0,1 μ A la 1 A;
- intensități ale curentului alternativ de la 0,1 μ A la 0,35 A;
- rezistențe de la 0,1 Ω la 2 M Ω .

Precizia aparatului este de $0,5 \cdot 10^{-3}$. Afișarea se realizează cu diode electroluminescente.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. De ce aparatele de măsurat digitale sînt frecvent folosite în tehnica modernă?
2. Cît este rezoluția la un aparat care afișează cinci cifre, pe scara de 100 V (99,999V)?
3. Ce număr zecimal corespunde numărului binar 110 110?
4. Ce număr zecimal corespunde numărului binar zecimal 0001 1001 1000 0000?
5. Dacă un circuit bistabil ca cel din figura 14.3 este în starea 1 și i se aplică un impuls negativ pe intrarea 1, în ce stare va fi după aplicarea impulsului? Dar dacă impulsul negativ se aplică pe intrarea C, ce se va întîmpla?
6. Dacă un circuit bistabil ca cel din figura 14.3. este în starea 1, cum poate fi trecut în starea 0?
7. La un dispozitiv de afișare cu diode electroluminescente ca în figura 14.8 ce diode rămîn blocate cînd se afișează cifra 3? Dar cînd se afișează cifra 1, ce diode conduc?
8. De ce în ultimul timp dispozitivele de afișare cu cristale au căpătat o largă utilizare?
9. La un frecvențmetru digital, dacă durata măsurării este de 0,1 s și se numără 10 000 de impulsuri corespunzătoare perioadelor semnalului de măsurat, ce frecvență se măsoară?
10. În timpul măsurării unui interval de timp cu un cronometru digital avînd frecvența bazei de timp 1 000 Hz, trec spre numărător 22 500 impulsuri. Cît este valoarea intervalului de timp măsurat?

APARATE PENTRU MĂSURAREA DISPOZITIVELOR SEMICONDUCTOARE

În ultima vreme dispozitivele semiconductoare au căpătat largă utilizare în cele mai diferite domenii ale tehnicii și cunoașterea mai exactă a proprietăților acestora prin efectuarea unor măsurări a devenit din ce în ce mai necesară. Ca urmare, au fost elaborate diferite metode de măsurare și s-au construit diverse aparate pentru măsurarea și testarea dispozitivelor semiconductoare.

Pentru măsurarea tranzistoarelor, caracterizate printr-un număr mare de parametri și prin dispersia mare a acestora, au fost realizate diferite tipuri de aparate, cu diferite grade de complexitate.

A. TRANZISTORMETRE

Tranzistormetrele sînt aparate destinate să evalueze rapid principalii parametri funcționali ai tranzistoarelor.

1. BETAMETRELE

Cele mai simple tranzistormetre permit alimentarea tranzistoarelor corespunzător unui anumit punct static de funcționare și măsurarea factorului de amplificare în curent, în montaj emitor comun, cunoscut sub numele de „beta” (β) (de unde denumirea de *betametre* dată acestor aparate). Există foarte multe tipuri constructive de betametre.

Un exemplu de astfel de aparat este **tranzistormetrul tip E-0702**, construit de I.E.M.I.—București. Acesta este un aparat de laborator destinat verificării și măsurării tranzistoarelor *npn* și *pnp* de mică putere și a diodelor semiconductoare.

Tranzistormetrul tip E-0702 permite:

- determinarea dispozitivelor semiconductoare defecte;
- măsurarea diodelor;

- alimentarea tranzistorului corespunzător unui punct static de funcționare;
- măsurarea factorului de amplificare în curent, în montaj emitor comun (h_{21e});
- măsurarea curentului rezidual.

2. TRANZISTORMETRE PENTRU MĂSURAREA TUTUROR PARAMETRILOR „h”

Unele tranzistormetre sînt mai complexe, permițînd măsurarea tuturor parametrilor „h” (h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22}). Cunoașterea parametrilor hibridi („h”) ai unui tranzistor este foarte importantă, deoarece ei stau la baza principalelor formule de calcul pentru circuitele tranzistorizate. Măsurarea lor este comodă, deoarece se efectuează cu intrarea tranzistorului în gol și ieșirea în scurtcircuit, condiții care sînt ușor de realizat în practică.

○ **Notă.** Deoarece parametrii „h” caracterizează funcționarea tranzistoarelor în curent alternativ, în cele ce urmează se vor nota cu *i* și *u* componentele alternative ale curenților și tensiunilor.

Există diferite tipuri de tranzistormetre care măsoară toți parametrii „h”. În general, ele se compun din mai multe elemente care se comută între ele pentru a realiza montajele necesare măsurării fiecărui parametru „h”. Se va analiza în continuare funcționarea unui astfel de aparat.

Pentru măsurarea parametrilor „h” este necesar ca tranzistorul de măsurat să fie alimentat în curent continuu. În acest scop se folosește schema din figura 15.1, *a* pentru montajul bază comună și schema din figura 15.1, *b* pentru montajul emitor comun.

În circuitul de polarizare pentru montajul emitor comun, emitorul este pus la masă pentru curentul alternativ prin condensatorul C_2 de

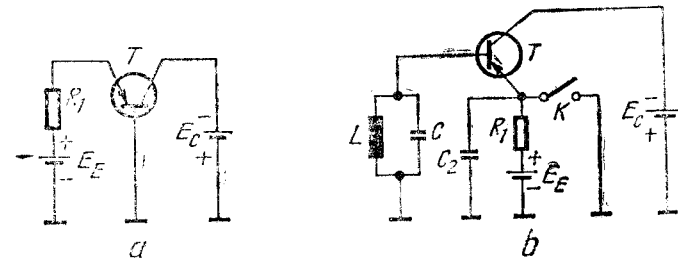


Fig. 15.1. Alimentarea în c.c. a tranzistoarelor.

reactanță foarte mică, iar baza este polarizată în curent continuu prin intermediul unui circuit LC acordat pe frecvența de lucru f_0 . În acest mod, la frecvența f_0 circuitul LC prezentînd o impedanță mare ($Z_0 = Q\omega_0 L$), izolează în c.a. baza față de masă, în timp ce în c.c. se comportă ca o rezistență mică (rezistența bobinei), asigurînd polarizarea corectă pentru bază. Comutatorul K se deschide numai cînd se fac măsurările; în restul timpului el stă închis, pentru a împiedica încărcarea condensatorului C_2 de la tensiunea E_E în cazul în care tranzistorul nu este în soclu.

● **Măsurarea parametrului h_{11}** se realizează cu montajele din figura 15.2. Parametrul h_{11} reprezintă impedanța de intrare cu ieșirea în scurtcircuit:

$$h_{11} = \left. \frac{u_1}{i_1} \right|_{u_2=0} \quad (45.1)$$

Pentru măsurarea parametrului h_{11} , peste alimentarea de curent continuu se injectează în circuitul de intrare un curent cunoscut i_1 de la un generator de curent constant (generatorul de tensiune în serie cu rezistența R_g de valoare foarte mare) și se măsoară cu voltmetrul V_1 tensiunea u_1 . Condiția de scurtcircuit la ieșire, în ceea ce privește c.a., se realizează cu ajutorul condensatorului C_1 , a cărui reactanță trebuie să fie mult mai mică decît impedanța de ieșire a tranzistorului.

● **Măsurarea parametrului h_{12}** se realizează cu montajele din figura 15.3. Parametrul h_{12} reprezintă reacția internă a tranzistorului cînd intrarea este în gol:

$$h_{12} = \left. \frac{u_1}{u_2} \right|_{i_1=0} \quad (15.2)$$

Deoarece $i_1 = 0$, semnalul alternativ se aplică în circuitul de ieșire sub forma unei tensiuni u_2 , prin intermediul unui transformator. Tensiunile u_1 și u_2 se măsoară cu voltmetrele electronice V_1 și respectiv

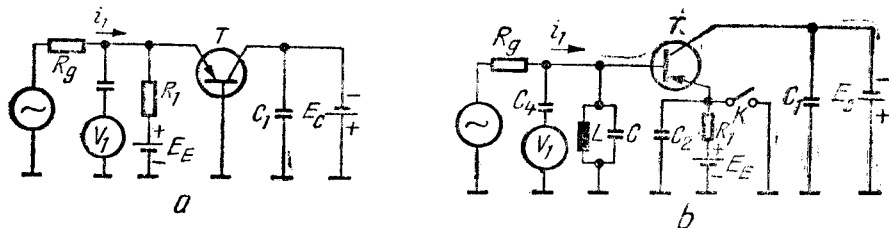


Fig. 15.2. Măsurarea parametrului h_{11} :
a - montaj bază comună; b - montaj emitor comun.

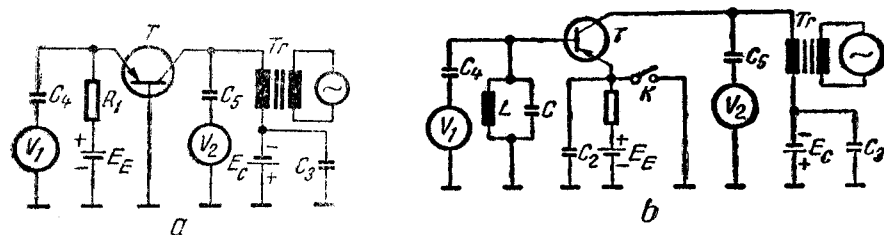


Fig. 15.3. Măsurarea parametrului h_{12} :
a - montaj bază comună; b - montaj emitor comun.

V_2 . Condiția $i_1 = 0$ este satisfăcută la montajul bază comună (fig. 15.3, a) dacă R_1 în paralel cu rezistența voltmetrului V_1 este mult mai mare decît impedanța de intrare a tranzistorului. La montajul emitor comun condiția este satisfăcută dacă rezistența voltmetrului V_1 în paralel cu impedanța Z_0 (a circuitului LC) este mult mai mare decît impedanța de intrare.

Condensatorul C_3 scurtcircuitază în c.a. sursa E_C , astfel încît componentele alternative să nu treacă prin sursă.

● **Măsurarea parametrului h_{21}** se realizează cu montajele din figura 15.4. Parametrul h_{21} reprezintă factorul de amplificare în curent cînd ieșirea este în scurtcircuit:

$$h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{u_2=0} \quad (15.3)$$

Pentru măsurare, peste alimentarea de curent continuu se injectează în circuitul de intrare un curent cunoscut i_1 de la un generator de curent constant, iar în circuitul de ieșire se măsoară căderea de tensiune de la bornele rezistenței R_s cu voltmetrul V_2 . Intensitatea curentului i_2 se calculează cu formula $i_2 = \frac{u_2}{R_s}$. Condiția $u_2 = 0$ este satisfăcută dacă R_s este mult mai mică decît impedanța de ieșire a tranzistorului. Condensatorul C_3 , care în c.a. scurtcircuitază sursa

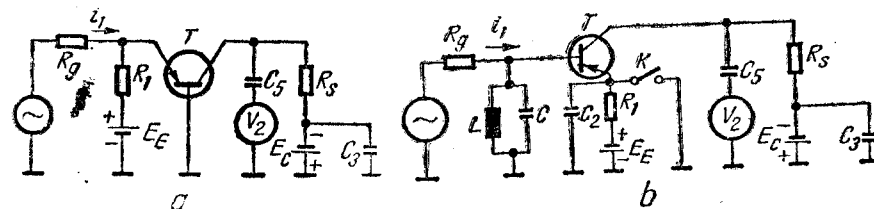


Fig. 15.4. Măsurarea parametrului h_{21} :
a - montaj bază comună; b - montaj emitor comun.

E_c , trebuie să aibă reactanța mult mai mică decât R_s , pentru ca pe C_3 căderea de tensiune alternativă să fie neglijabilă.

● **Măsurarea parametrului h_{22}** se realizează cu montajele din figura 15.5. Parametrul h_{22} reprezintă admitanța de ieșire cu intrarea în gol.

$$h_{22} = \left| \frac{u_2}{i_2} \right|_{i_1=0} \quad (15.4)$$

Semnalul alternativ se aplică pe ieșire, peste alimentarea de curent continuu, sub forma unei tensiuni u_2 , prin intermediul unui transformator. Tensiunea u_2 se măsoară cu voltmetrul V_2 , iar curentul i_2 se măsoară indirect, prin căderea de tensiune la bornele rezistenței R_s montate în bază ($i_2 = \frac{u_{R_s}}{R_s}$). Condiția $i_1 = 0$ se realizează dacă R_1 este mult mai mare decât impedanța de intrare a tranzistorului pentru montajul bază comună și dacă Z_0 este mult mai mare decât impedanța de intrare a tranzistorului pentru montajul emitor comun.

În cazul montajului bază comună ar trebui ca rezistența R_s montată în bază să fie cât mai mică. Avînd în vedere că $i_1 = 0$, $i_2 = i_b$, deci este un curent foarte mic, ceea ce face ca și u_{R_s} să fie foarte mică, și să fie nevoie de un voltmetru foarte sensibil pentru a o măsura. Pentru a putea folosi voltmetre mai puțin pretențioase, se folosește o rezistență R_s de valoare mai mare în paralel cu un circuit LC acordat pe frecvența de lucru, care în c.a. prezintă o impedanță foarte mare, neglijabilă față de R_s , iar în c.c. se comportă ca o rezistență mică (rezistența bobinei), care asigură polarizarea corectă a bazei.

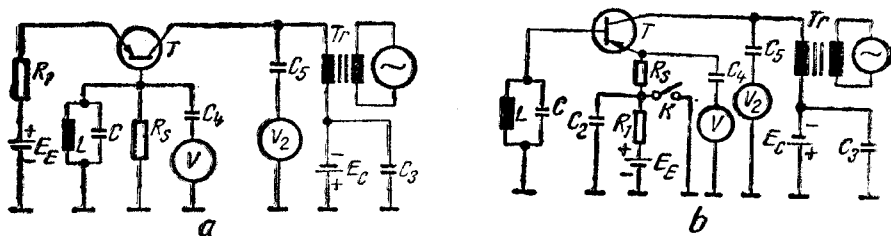


Fig. 15.5. Măsurarea parametrului h_{22} :

● - montaj bază comună; b - montaj emitor comun.

B. CARACTEROGRAFE

Caracterografele sînt aparate care permit vizualizarea caracteristicilor statice ale tranzistoarelor pe ecranul unui tub catodic. Pentru ca pe ecranul unui tub catodic să apară o caracteristică $I_C = f(U_{CE})$, este necesar ca între plăcile de deflexie pe orizontală să se aplice o tensiune proporțională cu U_{CE} , iar între plăcile de deflexie pe verticală să se aplice o tensiune proporțională cu I_C . Tensiunea U_{CE} trebuie să varieze de la zero la valoarea maximă pentru care interesează caracteristica.

Pentru a se obține o familie de caracteristici corespunzătoare la diferite valori ale intensității curentului de bază, acesta va fi variat în trepte. Dacă treptele se succed cu o frecvență suficient de mare, datorită remanenței ecranului și remanenței ochiului omenesc, pe ecran se văd toate caracteristicile simultan.

● **Schema bloc** a unui caracterograf este reprezentată în figura 15.6. Redresorul alimentează colectorul tranzistorului cu tensiune pulsatorie, asigurînd variația periodică a tensiunii U_{CE} de la zero la o valoare maximă care poate fi reglată cu un autotransformator reglabil montat pe intrarea redresorului.

Pentru ca pe ecranul tubului catodic să apară caracteristica de vizualizat, tensiunea U_{CE} se aplică în același timp și la plăcile X ale tubului catodic prin intermediul amplificatorului A_x ($U_x = KU_{CE}$), iar la plăcile Y se aplică, prin intermediul amplificatorului A_y , o tensiune proporțională cu intensitatea curentului I_C . Această tensiune se culege de la bornele rezistenței R_C montate în colectorul tranzistorului de măsurat, deci parcurse de curentul de colector al acestuia ($U_y = R_C I_C$).

Pentru obținerea mai multor caracteristici corespunzătoare la mai multe valori ale intensității curentului de bază I_B , acesta este

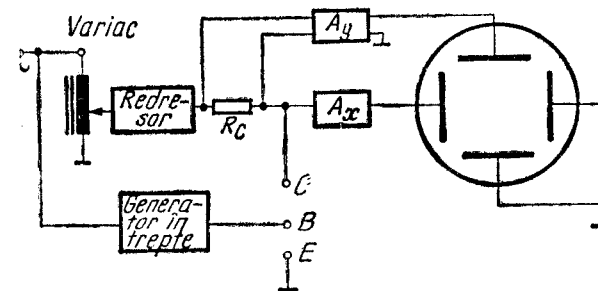


Fig. 15.6. Schema bloc simplificată a unui caracterograf.

GENERATOARE DE SEMNAL

A. GENERALITĂȚI

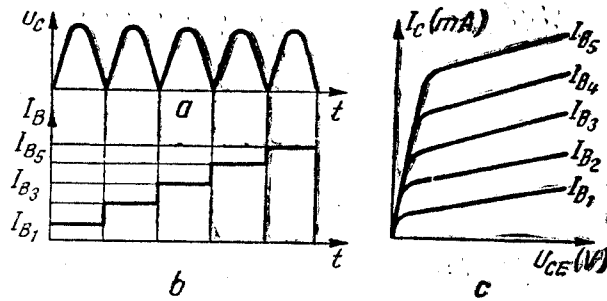


Fig. 15.7. Variația tensiunii de colector (a); variația în trepte a curentului de bază (b); caracteristicile care se vizualizează (c).

variat în trepte de generatorul în trepte, care este sincronizat cu tensiunea de colector. Fiecărei trepte îi corespunde un anumit I_B , deci o anumită caracteristică.

● **Funcționarea.** După cum arată diagramele din figura 15.7, în timpul primei variații a tensiunii de colector (în timpul primei alternanțe redresate) curentul de bază I_B are valoarea corespunzătoare primei trepte și se vizualizează prima caracteristică (cea mai de jos din figura 15.7, c). La a doua variație a tensiunii de colector (în timpul celei de-a doua alternanțe redresate) curentul I_B are o nouă valoare, corespunzătoare celei de-a doua trepte și se vizualizează cea de-a doua caracteristică ș.a.m.d. Dacă treptele se succed suficient de repede, pe ecran se văd toate caracteristicile simultan.

○ **Notă.** În afara vizualizării de caracteristici, pe caracterograf se pot determina și valorile unor parametri cum ar fi: h_{21e} , I_{CEO} etc. De asemenea, există posibilitatea selectării tranzistoarelor perechi.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. De ce sînt necesare măsurările asupra dispozitivelor semiconductoare?
2. Enumerați elementele componente ale tranzistorului pentru măsurarea tuturor parametrilor „h”!
3. Cum se realizează condiția de gol la intrare în cazul tranzistorometrului studiat? Dar condiția de scurtcircuit la ieșire?

Generatoarele de semnal sînt aparate auxiliare folosite în tehnica măsurărilor. Aceste aparate produc semnale electrice de forme și frecvențe diferite, care imită semnalele cu care lucrează în mod normal circuitele electrice și electronice. Ele se folosesc la verificarea, reglarea, depanarea și măsurarea diferitelor aparate și instalații.

De exemplu, pentru verificarea unui radioreceptor trebuie să se aplice la intrarea acestuia un semnal sinusoidal modulat în amplitudine sau în frecvență, asemănător cu semnalul captat de antena radioreceptoare în funcționarea lui normală; la măsurări asupra unui calculator trebuie să se aplice acestuia semnale sub forma unor impulsuri, asemănătoare cu cele furnizate de echipamentele periferice de intrare ale calculatoarelor etc.

1. CLASIFICARE

Generatoarele de semnal se pot clasifica după mai multe criterii.

- După forma semnalului generat, generatoarele pot fi:
 - generatoare de semnale sinusoidale, care la rîndul lor pot fi nemodulate sau modulate în amplitudine (MA) sau în frecvență (MF);
 - generatoare de impulsuri dreptunghiulare;
 - generatoare de tensiuni liniar-variabile (TLV), tensiuni care pot avea forma unor triunghiuri isoscele sau forma dinților de ferăstrău;
 - generatoare de impulsuri scurte (durata impulsurilor este mult mai mică decît perioada lor de repetiție);
 - generatoarele de funcții, care pot genera semnale de mai multe forme (sinusoidale, dreptunghiulare, tensiuni liniar-variabile, impulsuri scurte și altele).
- După frecvența semnalului generat, generatoarele pot fi:
 - generatoare de joasă frecvență, care generează semnale cu frecvențe cuprinse între fracțiuni de herți și megaherți;
 - generatoare de audiofrecvență (20 Hz—20 kHz);

- generatoare de videofrecvență (10 Hz—10⁴ kHz);
- generatoare de înaltă frecvență sau de radiofrecvență, care generează semnale cu frecvențe cuprinse între zeci de kiloherți și zeci de gigaherți.

2. CARACTERISTICI TEHNICE

La alegerea unui generator de semnale în scopul unei anumite utilizări, trebuie avute în vedere o serie de caracteristici tehnice care vor fi prezentate în continuare:

— *forma semnalului*, care poate fi sinusoidală, dreptunghiulară, liniar-variabilă, impulsuri scurte etc.;

— *intervalul de frecvență*, definit prin frecvența minimă și frecvența maximă la care poate lucra aparatul. La unele generatoare se indică și gamele de frecvență, adică intervalele în care frecvența poate fi variată continuu;

— *nivelul maxim la ieșire*. În general se indică tensiunea la ieșire, ca amplitudine la semnalele nesinusoidale sau ca valoare eficace în cazul semnalelor sinusoidale. La generatoarele de înaltă frecvență se specifică de obicei puterea maximă obținută la ieșire;

— *atenuarea maximă*, cea continuă și — dacă există — și cea în trepte, specificată de obicei în decibeli;

— *impedanța de ieșire*. De obicei generatoarele se realizează ca generatoare de tensiune constantă. În acest caz, impedanța generatorului trebuie să fie mult mai mică decât impedanța de sarcină ($Z_g \ll Z_s$). Impedanța de ieșire la generatoarele de tensiune constantă este de ordinul ohmilor sau zecilor de ohmi. Există și generatoare de curent constant, la care impedanța de ieșire trebuie să fie mult mai mare decât impedanța de sarcină ($Z_g \gg Z_s$). În acest caz, impedanța de ieșire a generatorului este de zeci sau sute de kilohmi. La nevoie, un generator de tensiune constantă se poate transforma într-un generator de curent constant, dacă i se adaugă în serie o impedanță suficient de mare. Uneori este necesar să se realizeze o adaptare între generator și impedanța de sarcină ($Z_g = Z_s$). În acest scop, unele generatoare sînt prevăzute și cu o ieșire pe o impedanță standardizată Z_0 (50 Ω, 75 Ω, 200 Ω, 600 Ω);

— *caracteristica de frecvență*, care reprezintă variația nivelului semnalului de la ieșire în funcție de frecvență. Se exprimă de obicei în decibeli;

— *stabilitatea de frecvență*, care se definește prin raportul $\frac{\Delta f}{f}$ între variația nedorită a frecvenței și frecvența de oscilație;

— *stabilitatea de amplitudine*, care se definește prin raportul $\frac{\Delta U}{U}$ între variația nedorită a amplitudinii și amplitudinea U a tensiunii la ieșire;

— *distorsiunile neliniare*, care apar datorită neliniarității unor componente electronice. În cazul semnalelor sinusoidale, distorsiunile neliniare se apreciază prin coeficientul de distorsiuni neliniare:

$$\delta = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} 100 \text{ [%]} \quad (16.1)$$

unde U_2, U_3, \dots, U_n sînt amplitudinile unor semnale nedorite de frecvențe $2f, 3f, \dots, nf$ (armonici), iar U_1 este amplitudinea semnalului sinusoidal fundamental (de frecvență dorită);

— *parametrii de modulație*. În cazul semnalelor modulate se specifică frecvența de modulație, gradul de modulație m la modulația de amplitudine sau deviația de frecvență Δf în cazul modulației de frecvență;

În cazul generatoarelor de impulsuri se indică:

— *durata impulsurilor*;

— *factorul de umplere*, definit ca raportul între durata impulsurilor și durata perioadei de repetiție;

— *durata fronturilor*, definită prin timpul în care tensiunea crește de la 10% la 90% din amplitudinea sa.

B. GENERATOARE DE SEMNALE SINUSOIDALE

Generatoarele de semnale sinusoidale sînt cele mai răspîndite. Ele se caracterizează prin faptul că semnalul generat trebuie să conțină o singură componentă sinusoidală:

$$u = U_{max} \sin 2\pi ft. \quad (16.2)$$

Generatoarele sinusoidale au de obicei o **schemă bloc** ca cea reprezentată în figura 6.1 și conțin: un *oscilator*, un *etaj separator*, un *amplificator* și un *atenuator*.

● **Oscilatorul** este circuitul în care se produc oscilațiile sinusoidale întreținute. Frecvența acestor oscilații depinde de parametrii elementelor de circuit ce compun oscilatorul (rezistențe, capacități au inductanțe) și poate fi variată în trepte sau continuu, prin modificarea parametrilor respectivi.

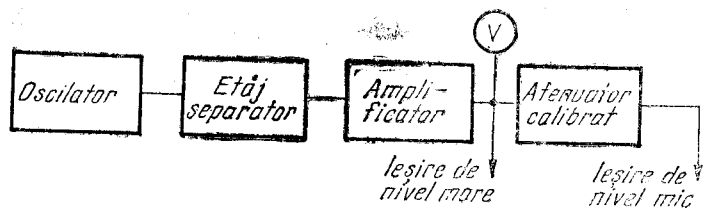


Fig. 16.1. Schema bloc a unui generator de semnale sinusoidale.

● **Etajul separator** separă oscilatorul de sarcină de la ieșirea generatorului, pentru ca regimul de funcționare al oscilatorului să nu fie influențat de variațiile impedanței de sarcină, care variază în limite largi de la o măsurare la alta.

● **Amplificatorul** amplifică semnalele generate de oscilator, asigurând nivelul maxim la ieșirea generatorului și impedanța de ieșire necesară. Ieșirea amplificatorului este și ieșirea de nivel mare a generatorului la care se obține o tensiune de ordinul volților, reglabilă continuu cu un potențiomtru montat în amplificator. Nivelul semnalului obținut la ieșirea de nivel mare este indicat de un voltmetru electronic sau este marcat pe potențiomtrul ce reglează acest nivel.

● **Atenuatorul** are rolul de a reduce semnalul de ieșire de un anumit număr de ori, fără a-l deforma. Atenuatoarele sînt de obicei calibrate, adică se indică pentru fiecare poziție atenuarea introdusă.

De exemplu, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, -10 dB, -20 dB.

După modul în care se obțin oscilațiile, generatoarele de semnale sinusoidale sînt de tip LC sau de tip RC.

1. GENERATOARE DE SEMNALE SINUSOIDALE DE TIP RC

Generatoarele RC generează semnale de la fracțiuni de herț la megaherți.

Pentru obținerea semnalelor sinusoidale, aceste generatoare folosesc oscilatoare de tip RC.

○ **Observație.** Oscilatoarele de tip RC sînt de fapt amplificatoare cu reacție pozitivă selectivă.

Reacția în amplificatoarele electronice constă în aplicarea unei părți din semnalul de la ieșirea amplificatorului la intrarea acestuia printr-un circuit de reacție (fig. 16.2, a). Dacă semnalul care se

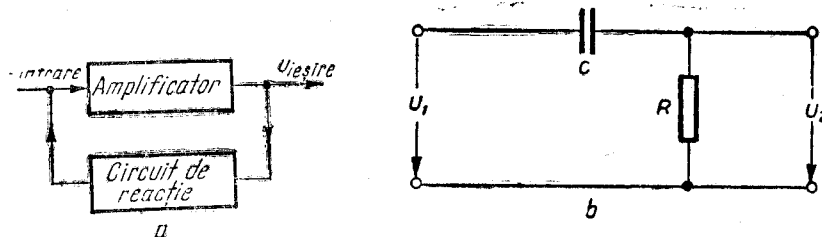


Fig. 16.2. Amplificator cu reacție (a); circuit de defazare (b).

întoarce este în fază cu semnalul de la intrare, reacția este pozitivă, iar dacă este în antifază — reacția este negativă. Reacția pozitivă selectivă este o reacție care devine pozitivă pentru o singură frecvență.

În teoria amplificatoarelor se demonstrează că:

$$A' = \frac{A}{1 - \beta A}, \quad (16.3)$$

unde:

A' este amplificarea cu reacție;

A — amplificarea fără reacție;

$\beta = \frac{U_{\text{reacție}}}{U_{\text{ieșire}}}$ — factorul de reacție.

Se observă că în cazul în care $\beta A = 1$ amplificarea cu reacție devine infinită și amplificatorul se transformă într-un oscilator, adică prezintă semnal la ieșire chiar dacă nu i se aplică nici un semnal la intrare.

Relația $\beta A = 1$ reprezintă condiția de oscilație, cunoscută și sub numele de condiția lui Barkhausen.

Pentru ca reacția să fie pozitivă, deci pentru ca semnalul de reacție să fie în fază cu semnalul de la intrare, trebuie ca:

$$\varphi_A + \varphi_\beta = 2K\pi, \quad (16.4)$$

unde φ_A este defazajul introdus de amplificator, iar φ_β este defazajul introdus de circuitul de reacție.

a. OSCILATOARE RC CU DEFAZARE

În general, un etaj de amplificare introduce între intrarea și ieșirea sa un defazaj de π rad. Dacă amplificatorul este realizat cu un singur etaj de amplificare, circuitul de reacție trebuie să introducă și el un defazaj de π pentru ca pe total să se obțină $2K\pi$.

● Defazajul se poate obține fie *cub obine*, fie *cu condensatoare*, dar în practică se preferă condensatoarele, deoarece sînt mai ușor de realizat.

Se știe că un condensator ideal, alimentat în curent alternativ sinusoidal, defazează curentul înaintea tensiunii cu $\frac{\pi}{2}$ rad. Condensatoarele reale însă introduc un defazaj ceva mai mic de $\frac{\pi}{2}$ rad.

Din acest motiv, pentru a obține un defazaj de π sînt necesare cel puțin trei condensatoare. Acestea se combină cu rezistențe, formînd circuite RC.

În figura 16.2, b este reprezentat un circuit RC pentru care se poate demonstra că defazajul între tensiunea de intrare U_1 și tensiunea de ieșire U_2 este dat de relația:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{2\pi fCR} \quad (16.5)$$

În relația (16.5) se observă că defazajul este dependent de frecvență; pentru anumite valori ale lui R și C se obține defazajul dorit numai pentru o singură frecvență.

Folosind asemenea circuite se poate realiza o reacție pozitivă selectivă, deci se pot obține oscilatoare RC.

● După poziția grupurilor RC, se pot întîlni două variante de oscilator RC cu defazare. În figura 16.3 este reprezentată schema unui oscilator RC cu rețea de defazare de tip *trece-sus*, la care frecvența de oscilație se poate calcula cu formula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{6 + \frac{4R_C}{R}}} \quad (16.6)$$

unde R , C și R_C sînt specificate pe figură.

În figura 16.4 este reprezentată schema oscilatorului RC cu rețea de defazare de tip *trece-jos*, la care frecvența de oscilație se poate calcula cu formula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC \sqrt{6 + \frac{4R_C}{R}}} \quad (16.7)$$

unde R , C și R_C sînt specificate pe figură.

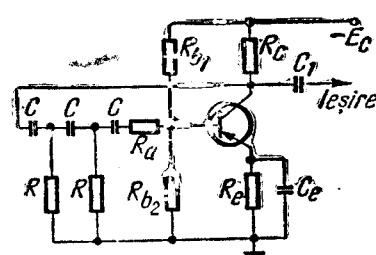


Fig. 16.3. Oscilator RC cu rețea trece-sus.

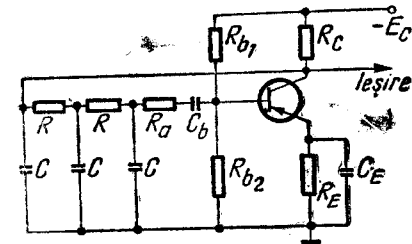


Fig. 16.4. Oscilator RC cu rețea trece-jos.

b. OSCILATOARE RC CU DEFAZAJ NUL

● Dacă oscilatorul este realizat cu două etaje de amplificare, acestea introduc un defazaj de 2π rad și, în consecință, circuitul de reacție trebuie să prezinte un defazaj nul. Pentru ca reacția să fie selectivă, defazajul nul trebuie să se obțină numai pentru o singură frecvență. În acest scop se folosesc circuite selective, cum sînt:

- *puntea Wien* (fig. 16.5, a);
- *circuitul dublu T* (fig. 16.5, b);
- *circuitul în T podit* (fig. 16.5, c).

● În figura 16.6 este reprezentată schema unui oscilator cu punte Wien realizat cu două etaje de amplificare. Circuitul de reacție este sub forma unei punți Wien, în care R_1C_1 , R_2C_2 , R_3 și R_4 alcătuiesc cele patru brațe. Pe o diagonală puntea primește semnal de la ieșirea amplificatorului (punctele C, D), iar pe cealaltă diagonală se obține semnal de reacție ce se aplică la intrarea amplificatorului (punctele A, B).

Cînd puntea este în echilibru, defazajul este nul și se îndeplinește condiția de reacție pozitivă. Echilibrarea punții se realizează

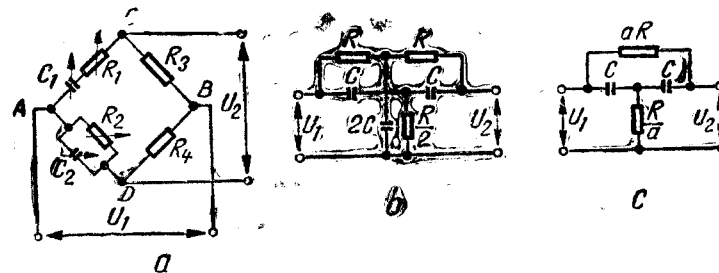


Fig. 16.5. Circuite selective folosite în oscilatoare RC cu defazaj nul.

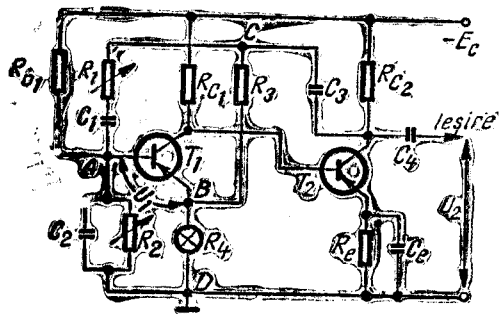


Fig. 16.6. Oscilator RC cu punte Wien.

nsă numai pentru o singură frecvență:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \quad (16.8)$$

Dacă $R_1 = R_2 = R$ și $C_1 = C_2 = C$, relația (16.8) devine

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (16.9)$$

Frecvența de oscilație se poate regla variind rezistențele R sau condensatoarele C .

De obicei, una dintre mărimi se schimbă în trepte schimbând gama de frecvențe, iar cealaltă variază continuu obținându-se variația frecvenței în cadrul unei game.

Pentru stabilizarea amplitudinii tensiunii de ieșire, rezistența R_4 din emitorul tranzistorului T_1 este realizată cu un bec. Când curentul de emitor crește, becul se încălzește, rezistența R_4 crește și ca urmare amplificarea scade, reducând amplitudinea curentului de emitor.

2. OSCILATOARE LC

După cum le spune și numele, oscilatoarele LC conțin un circuit oscilant LC și un amplificator cu reacție pozitivă.

Sub acțiunea unui impuls de energie, circuitele LC au proprietatea de a oscila liber, producând oscilații sinusoidale a căror frecvență depinde de valorile inductanței L și capacității C :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (16.10)$$

Un circuit LC, singur, produce oscilații, dar nu le poate întreține. Datorită pierderilor de energie pe rezistențele proprii ale bobinei și condensatorului, oscilațiile au amplitudinile din ce în ce mai mici, adică sînt amortizate. Pentru ca amplitudinea să rămîna constantă, este necesar să se compenseze pierderile de energie folosind elemente active de circuit (tuburi electronice sau tranzistoare). În acest caz, tubul electronic sau tranzistorul este alimentat cu energie de c.c., pe care o transformă în energie de c.a. ce este apoi cedată circuitului LC în ritmul de oscilație al acestuia (la fiecare oscilație circuitul LC primește o cantitate de energie egală cu cea pe care el o pierde).

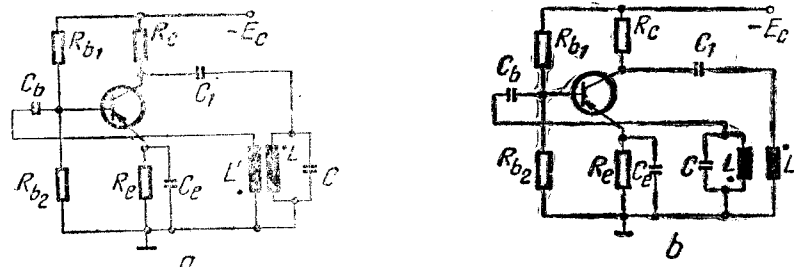


Fig. 16.7. Oscilatoare LC cu cuplaj inductiv.

Elementul activ de circuit — tubul electronic sau tranzistorul — trebuie să funcționeze cu reacție pozitivă. Aceasta se poate realiza prin cuplaj inductiv sau cu montaje în trei puncte.

● Exemple de oscilatoare cu cuplaj inductiv realizate cu tranzistoare sînt prezentate în figura 16.7. La aceste oscilatoare reacția între circuitul de colector (de ieșire) și circuitul de bază (de intrare) se realizează prin bobine cuplate inductiv, dintre care una face parte din circuitul oscilant. Circuitul oscilant poate fi conectat în colectorul tranzistorului (fig. 16.7, a) sau în baza acestuia (fig. 16.7, b).

● La oscilatoarele în trei puncte, legătura între circuitul LC și elementul activ de circuit se face în trei puncte, alegînd o priză pe circuitul oscilant. Se pot realiza două variante de oscilator în trei puncte: cu priză pe bobină, numit și oscilator de tip Hartley (fig. 16.8, a) sau cu priză pe condensator, numit și oscilator de tip Colpitts (fig. 16.8, b). În ambele variante, pentru a se obține reacția pozitivă priza este

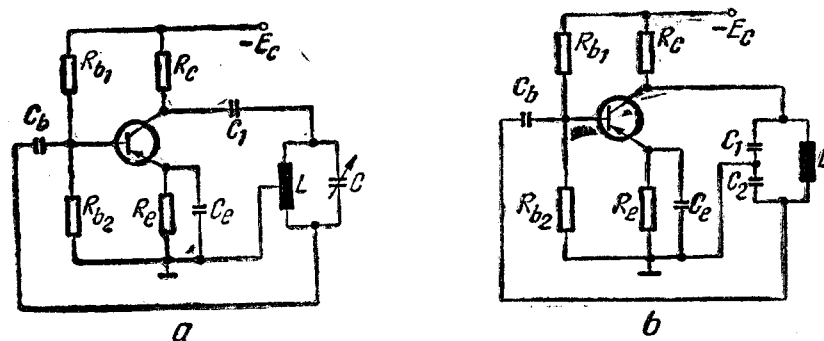


Fig. 16.8. Oscilatoare LC în trei puncte:

a — Hartley; b — Colpitts.

legată la emitorul tranzistorului. În acest mod, semnalul aplicat pe bază de la un capăt al circuitului LC este în antifază cu semnalul din colector, deci de la celălalt capăt al circuitului LC . Tranzistorul introduce un defazaj de 180° , astfel încât după amplificarea semnalului ajunge în colector în fază cu semnalul de pe circuitul oscilant, deci se obține reacție pozitivă.

○ **Notă.** Oscilatoarele LC se realizează de obicei pentru frecvențe înalte. La frecvențe joase inductanța L și capacitatea C ar trebui să aibă valori foarte mari, ceea ce se obține mai greu în practică.

Frecvența semnalului generat se poate varia modificând inductanța L sau capacitatea C . De obicei variațiile continue se realizează prin variația capacității, iar variațiile în trepte (schimbarea gamelor) — prin comutarea bobinelor.

C. GENERATOARE DE SEMNALE DREPTUNGHIUARE

Pe lângă semnalele sinusoidale, în tehnica măsurărilor electrice și electronice se folosesc frecvent și semnale dreptunghiulare. Aceste semnale, reprezentate în figura 16.9, se caracterizează prin *palieri*, în timpul cărora tensiunea rămâne constantă, și prin *fronturi* în timpul cărora tensiunea variază rapid între două valori. Cu cât durata fronturilor este mai mică, cu atât forma semnalului este mai apropiată de forma dreptunghiulară.

Semnalele dreptunghiulare se pot obține din semnale sinusoidale, prin amplificări și limitări succesive, sau *direct*, folosind circuite basculante.

1. GENERATOARE DE SEMNALE DREPTUNGHIUARE CU LIMITOARE

Generatoarele de semnale dreptunghiulare cu limitări și amplificări succesive (fig. 16.10) sînt alcătuite dintr-un oscilator (generator de semnale sinusoidale) și mai multe etaje de amplificare și limitare.

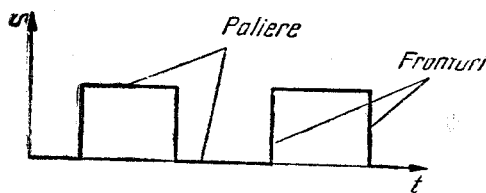


Fig. 16.9. Semnal dreptunghiular.

● Oscilatorul sinusoidal poate fi de tip LC sau RC .

● Amplificatoarele folosite în aceste generatoare trebuie să fie de bandă largă pentru a amplifica toate componentele semnalelor dreptunghiulare.



Fig. 16.10. Schema bloc a unui generator de semnale dreptunghiulare, cu amplificări și limitări succesive.

● **Limitatoarele** sînt circuite care mențin tensiunea la ieșirea lor constantă, dacă tensiunea ce li se aplică la intrare depășește un anumit nivel, numit *prag de limitare*. Limitatoarele se pot realiza cu diode sau cu tranzistoare.

Un limitator cu diode este reprezentat în figura 16.11, a. El conține două diode polarizate invers cu câte o tensiune E și o rezistență R de valoare mult mai mare decât rezistența de conducție a diodelor. Dacă la intrarea unui astfel de circuit se aplică o tensiune sinusoidală u_1 , atît timp cît $|u_1| < E$ ambele diode sînt blocate și tensiunea de la ieșirea circuitului va urmări tensiunea de la intrare ($u_2 = u_1$). Cînd $|u_1| > E$, dioda care are anodul mai pozitiv decît catodul va conduce și tensiunea de la ieșirea limitatorului va fi constantă și egală cu E (neglijînd căderea de tensiune pe diodă). Graficul de variație a tensiunilor u_1 și u_2 este reprezentat în figura 16.11, b.

Din graficul $u_2 = f(t)$ se observă că la ieșirea limitatorului s-a obținut un semnal care nu mai este sinusoidal, dar care nu este încă nici dreptunghiular, fronturile avînd o durată de mare în comparație cu durata semnalului. Pentru a obține fronturi cît mai bune semnalele obținute după prima limitare se amplifică și se limitează din nou. Cu cît amplificarea și limitarea se vor repeta de mai multe ori, cu atît forma semnalului obținut va fi mai apropiată de forma dreptunghiulară.

Generatoarele cu limitări și amplificări succesive sînt aparate complicate, dar cu o frecvență precisă și stabilă (calități asigurate de oscilatorul sinusoidal).

2. GENERATOARE DE SEMNALE DREPTUNGHIUARE CU CIRCUITE BASCULANTE ASTABILE

Semnalele dreptunghiulare pot fi generate și direct, folosind circuite basculante, dintre care cel mai frecvent se întîlnesc *circuitele basculante astabile*.

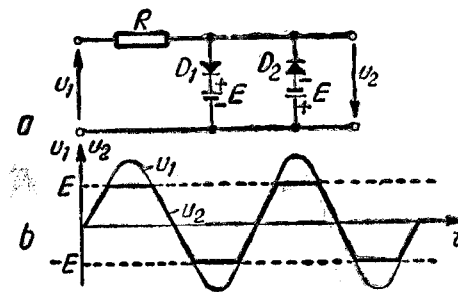


Fig. 16.11. Limitator cu diode.

● Un circuit basculant este realizat cu două tranzistoare, T_1 și T_2 , conectate între ele în așa fel încât niciodată cele două tranzistoare nu pot conduce simultan. Pentru un astfel de circuit sînt posibile două stări: una în care T_1 conduce și T_2 este blocat și a doua în care T_1 este blocat și T_2 conduce. Trecerea dintr-o stare în alta se face rapid, de unde și numele de circuit basculant.

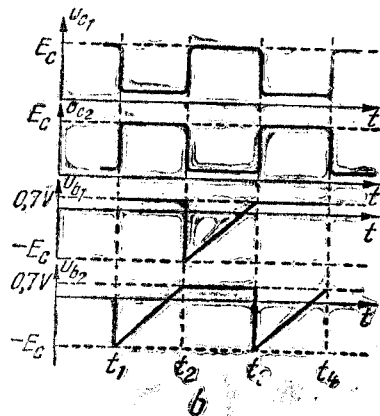
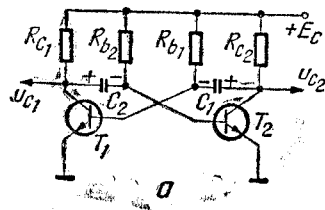
● La un circuit basculant astabil cele două posibile stări nu sînt stabile, trecerea dintr-o stare în alta făcîndu-se automat fără nici o acțiune din exterior.

În figura 16.12, a este prezentată schema unui circuit basculant astfel realizat cu două tranzistoare npn , T_1 și T_2 .

● Pentru analizarea funcționării acestui circuit se presupune că la un moment dat ($t = t_1$) se produce o basculare (tranzistorul T_1 care este blocat începe să conducă și T_2 se blochează). Variațiile tensiunilor u_{c1} , u_{c2} , u_{b1} și u_{b2} sînt prezentate în figura 16.12, b. La $t > t_1$, după basculare, T_1 conduce și în colectorul lui tensiunea este foarte mică ($u_{c1} = E_c - I_{c1}R_{c1}$); în schimb, în colectorul lui T_2 , care este blocat, tensiunea este $u_{c2} = E_c$. Tensiunea în baza lui T_1 este $u_{b1} \cong 0,7$ V (tensiunea de deschidere a unui tranzistor npn). Condensatorul C_1 se încarcă rapid prin R_{c2} și prin joncțiunea emitor - bază a lui T_1 pînă la o tensiune aproximativ egală cu E_c cu polaritatea din figură.

Baza tranzistorului T_2 , care este blocat, este legată la condensatorul C_2 , care în momentul basculării era încărcat la o tensiune aproximativ egală cu E_c , deci $u_{b2} \cong -E_c$. După basculare, condensatorul C_2 se descarcă prin R_{b2} pînă la zero, și apoi tinde să se încarce cu polaritate inversă.

Fig. 16.12. Circuitul basculant astabil.



La $t = t_2$, tensiunea pe condensatorul C_2 ajunge la valoarea tensiunii de deschidere a tranzistorului T_2 ($u_{b2} \cong 0,7$ V), T_2 începe să conducă și automat T_1 se blochează, producîndu-se o nouă basculare. Timpul în care T_1 a fost în stare de conducție și T_2 a fost blocat depinde de timpul de descărcare a condensatorului C_2 , deci de constanta de timp $\tau_2 = C_2 R_{b2}$.

După cea de-a doua basculare T_1 este blocat și în colectorul lui tensiunea este $u_{c1} = E_c$, în timp ce T_2 conduce și tensiunea $u_{c2} = E_c - I_{c2}R_{c2}$ este mică. De această dată condensatorul C_1 , care în momentul basculării era încărcat la o tensiune de aproximativ E_c , se descarcă prin R_{b1} pînă la zero și tinde apoi să se încarce cu polaritate inversă.

La $t = t_3$, $u_{b1} \cong 0,7$ V și ca urmare T_1 începe să conducă și implicit T_2 se blochează. Timpul în care T_2 a fost în stare de conducție și T_1 a fost blocat depinde de constanta de timp de descărcare a condensatorului C_1 , $\tau_1 = C_1 R_{b1}$.

În continuare, fenomenele se repetă astfel încît tensiunile în colectoarele celor două tranzistoare variază după o formă dreptunghiulară. Dacă $\tau_1 = \tau_2$ se obțin semnale dreptunghiulare la care cele două alternanțe sînt egale. Dacă $\tau_1 \neq \tau_2$ se obțin semnale cu alternanțe neegale.

Frecvența semnalelor dreptunghiulare obținute depinde de valorile elementelor C_1 , R_{b1} , C_2 și R_{b2} și poate fi reglată variînd aceste elemente.

● Generatoarele de semnale dreptunghiulare cu circuite astabile mai conțin un limitator pentru netezirea palierelor, un amplificator care asigură nivelul necesar la ieșire și impedanța de ieșire și, eventual, un atenuator calibrat.

D. GENERATOARE DE TENSIUNI LINIAR-VARIABILE (TLV)

Generatoarele TLV se întîlnesc într-o mare varietate constructivă. În general, obținerea tensiunilor liniar-variabile se bazează pe încărcarea și descărcarea unui condensator sub curent constant, așa cum s-a văzut și la generatoarele bază de timp ale osciloscopelor.

Tensiunile liniar-variabile se pot obține și din tensiuni dreptunghiulare, folosind circuite de formare cunoscute sub numele de circuite de integrare.

Un circuit de integrare este un circuit RC cu ieșire pe condensator (fig. 16.3, a) la care constanta de timp $\tau = RC$ este mult mai mare decît perioada de repetiție a semnalelor ce se aplică la intrare. După cum se observă, tensiunea la ieșirea unui astfel de circuit este tensiunea

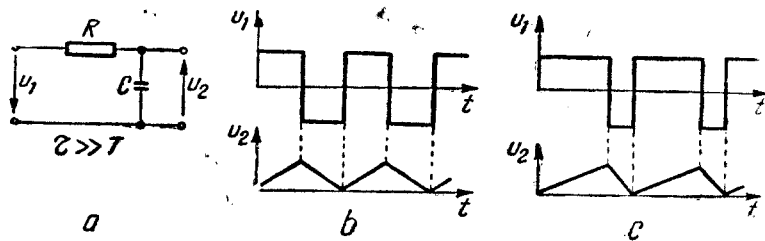


Fig. 16.13. Circuit de integrare.

de la bornele condensatorului. Aplicând la intrare un semnal dreptunghiular, în timpul alternanțelor pozitive condensatorul se încarcă și, datorită constantei mari de timp, tensiunea la bornele sale crește liniar. Din același motiv, în timpul alternanțelor negative, când condensatorul se descarcă, tensiunea la bornele sale descreește liniar. În acest mod semnalele dreptunghiulare se transformă în semnale triunghiulare la care tensiunea variază liniar în timp.

Dacă semnalele dreptunghiulare aplicate la intrare au alternanțele egale, semnalul de la ieșire va fi de forma unor triunghiuri isoscele (fig. 16.13, b). Dacă semnalul aplicat la intrare are alternanțele neegale, tensiunea de la ieșire va prezenta pante de creștere și descreștere diferite (fig. 16.13, c).

E. GENERATOARE DE IMPULSURI SCURTE

În foarte multe aplicații practice se folosesc semnale sub forma unor impulsuri scurte, adică la care durata impulsurilor este mult mai mică decât perioada lor de repetiție.

Impulsurile scurte se obțin de obicei din semnale dreptunghiulare, folosind circuite de formare cunoscute sub numele de circuite de derivare.

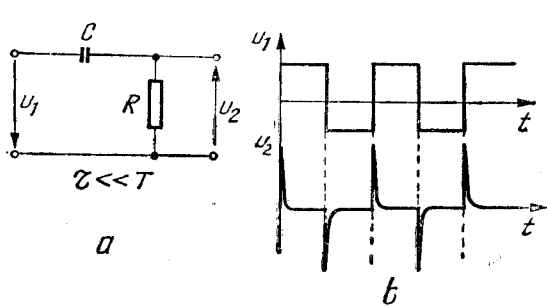


Fig. 16.14. Circuit de derivare.

Un circuit de derivare (fig. 16.14, a) este un circuit RC cu ieșire pe rezistență, la care constanta de timp $\tau = RC$ este mult mai mică decât perioada de repetiție a semnalelor ce se aplică la intrare. Tensiunea la ieșire este proporțională cu curentul de încărcare sau de descărcare al con-

densatorului. Dacă constanta de timp este foarte mică, condensatorul se încarcă și se descarcă rapid, iar la ieșire se culege semnal numai pe durata încărcării și, respectiv, a descărcării condensatorului.

În figura 16.14, b s-au reprezentat graficele semnalelor de la intrarea și de la ieșirea unui circuit de derivare.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înțelege printr-un generator de funcții?
2. Un generator de joasă frecvență funcționând în intervalul 10 Hz—10 MHz poate înlocui un generator de audiofrecvență?
3. Un generator de semnal având impedanța de ieșire de 20 Ω este un generator de tensiune constantă sau de curent constant?
4. Cum se poate transforma un generator de tensiune constantă într-un generator de curent constant?
5. Cât este nivelul semnalului obținut la ieșirea de nivel mic a unui generator de semnal, dacă voltmetrul montat pe ieșirea de nivel mare indică 1,5 V, iar atenuatorul este pe poziția 1/100?

APARATE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE PENTRU MĂSURAREA MĂRIMILOR NEELECTRICE

În condițiile tehnicii moderne, aparatele electrice și electronice sînt folosite pe scară largă la măsurarea unui număr mare de mărimi neelectrice, în diferite domenii de activitate. Utilizarea acestor aparate s-a dezvoltat odată cu automatizarea proceselor tehnologice, cu introducerea calculatoarelor în prelucrarea datelor, cu utilizarea sistemelor de măsurare și telemăsurare etc.

● **Măsurarea mărimilor neelectrice cu aparate electrice și electronice** prezintă față de metodele neelectrice unele avantaje, cum sînt :

- precizie ridicată ;
- viteză mare de măsurare ;
- posibilități simple de măsurare în puncte multiple ;
- posibilitatea automatizării proceselor de măsurare ;
- posibilitatea prelucrării rapide a rezultatelor cu calculatoare ;
- posibilitatea înregistrării sau stocării rezultatelor ;
- posibilitatea măsurării la distanță (telemăsurări) ;
- posibilitatea centralizării datelor (rezultatelor).

● **Aparatele electrice și electronice pentru măsurarea mărimilor neelectrice**, deși sînt de o mare diversitate, au în general o **structură comună**, care este reprezentată sub formă simplificată în figura 17.1.

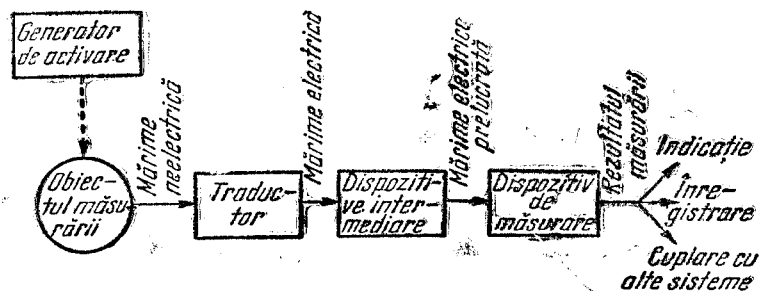


Fig. 17.1. Structura generală a aparatelor electrice pentru măsurarea mărimilor neelectrice.

Ele conțin un *traductor*, *dispozitive intermediare* și *dispozitivul de măsurat*.

Traductorul este un dispozitiv care convertește mărimea neelectrică de la intrarea sa într-o mărimă electrică obținută la ieșire.

■ *Dispozitivele intermediare* prelucrează mărimea electrică obținută la ieșirea traductorului, pentru a putea fi aplicată dispozitivului de măsurat (dacă este prea mică o amplifică, dacă este o mărime alternativă o redresează etc.).

Dispozitivul de măsurat transformă mărimea electrică de la intrarea sa într-o informație — rezultat al măsurării (produce la ieșire o mărime direct sesizabilă de operator sau aplicabilă unui înregistrator, unui calculator, unui dispozitiv de reglaj etc.).

A. TRADUCTOARE

1. CLASIFICAREA TRADUCTOARELOR

În aparatele electrice pentru măsurarea mărimilor neelectrice se folosește o mare varietate de traductoare. Ele se pot clasifica după mai multe criterii.

● **După natura mărimii neelectrice de la intrare**, traductoarele pot fi :

- *traductoare pentru mărimi geometrice* (lungime, arie, volum, grosime, nivel, unghi etc.) ;
- *traductoare pentru mărimi mecanice* (masă, forță, presiune, debit, viteză de rotație etc.) ;
- *traductoare de temperatură* ;
- *traductoare pentru mărimi fotometrice* ;
- *traductoare pentru radiații* ;
- *traductoare pentru mărimi de compoziție* (concentrație etc.) ;
- *traductoare pentru mărimi de material* (densitate, viscozitate etc.

● **După principiul de funcționare**, traductoarele pot fi :

— *traductoare generatoare*, care produc un semnal electric fără să fie alimentate cu energie electrică (de exemplu, termocupluri, tahogeneratoare, dispozitive fotoelectrice) ;

— *traductoare parametrice*, care necesită alimentare electrică și furnizează semnalul de ieșire sub forma variației unui parametru (de exemplu, termorezistențe, traductoare inductive sau capacitive, de deplasare).

● **După mărimea de la ieșire**, traductoarele pot fi :

— *traductoare analogice*, la care mărimea de la ieșire variază continuu ;

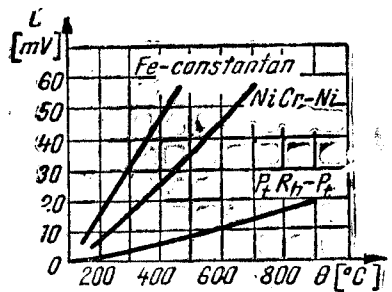


Fig. 17.2. Caracteristicile statice ale unor termocupluri.

fică. În figura 17.2 sînt reprezentate caracteristicile statice ale unor termocupluri.

- **Caracteristica dinamică reprezintă variația în timp a mărimii de ieșire la o anumită variație a mărimii de intrare.** În general un traductor trebuie să aibă o inerție cît mai mică și să urmărească cît mai fidel variațiile mărimii de intrare.

- **Precizia traductorului se apreciază prin eroarea tolerată sau prin clasa de precizie, care este raportul între eroarea absolută maximă și intervalul de măsurare al traductorului respectiv.** Majoritatea traductoarelor fabricate la IEA realizează o precizie de 0,5%.

- **Sensibilitatea exprimă raportul între variația mărimii de ieșire și variația mărimii de intrare.**

B. APARATE PENTRU MĂSURAREA TEMPERATURII

Temperatura este o mărime care caracterizează starea de încălzire a corpurilor. Măsurarea temperaturii unui corp se bazează pe schimbul de căldură între corpuri cu grade diferite de încălzire și pe variația cu temperatura a proprietăților fizice ale unor materiale.

Măsurarea temperaturii cu aparate electrice se realizează cel mai des folosind *traductoare de temperatură termoelectrice* sau *termorezistive*.

1. MĂSURAREA TEMPERATURII CU TRADUCTOARE TERMoeLECTRICE

Traductoarele termoelectrice sînt realizate cu *termocupluri*.

— *traductoare digitale, la care mărimea de la ieșire variază discontinuu, după un anumit cod.*

2. CARACTERISTICILE TRADUCTOARELOR

- **Caracteristica statică reprezintă dependența între mărimea de ieșire și mărimea de intrare.** Ea se poate exprima printr-o ecuație, $y = f(x)$, sau prin reprezentarea gra-

a. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL TERMOCUPLURILOR

Un termocuplu (fig. 17.3) este un ansamblu alcătuit din două fire din materiale de conductibilități diferite, sudate între ele la unul dintre capete. Prin încălzirea locală a sudurii, la capetele libere apare o diferență de potențial (o tensiune termoelectromotoare). Valoarea acestei tensiuni depinde de materialele din care este făcut termocuplul și de diferența de temperatură dintre punctul de sudură și capetele libere (efect termoelectric sau efect Seebeck).

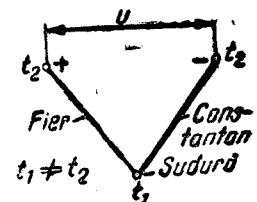


Fig. 17.3. Funcționarea unui termocuplu.

Explicația fenomenului termoelectric se bazează pe potențialul de ieșire al electronilor liberi din metale. În cazul sudurii între două materiale de conductibilități diferite, va avea loc o difuzie a electronilor liberi din materialul cu conductibilitate mai mare (cu mai mulți electroni liberi) în materialul de conductibilitate mai mică. Din acest motiv, materialul cu conductibilitate mai mare se încarcă pozitiv (a cedat electroni), iar cel cu conductibilitate mai mică se încarcă negativ (a primit electroni) și la capetele libere apare o diferență de potențial. Fenomenul de difuzie este cu atît mai intens cu cît temperatura sudurii este mai mare, ceea ce explică dependența între valoarea tensiunii termoelectromotoare și diferența de temperatură între sudură și capetele libere ale termocuplului.

b. CONSTRUCȚIA TERMOCUPLURILOR

Termocuplurile sînt utilizate pentru măsurarea temperaturilor mari între 300°C și 1 600°C. Practic un termocuplu (fig. 17.4) este realizat din doi electrozi sub formă de fire sau benzi, sudați între ei la un capăt (1 — punctul de sudură). Pentru o bună funcționare a termocuplului este necesară protejarea acestuia împotriva acțiunii gazelor fierbinți sau corosive care pot distruge electrozii. Din acest motiv, termocuplul se introduce într-o teacă de protecție 2. Capătul termocuplului opus sudurii formează o cutie 3 unde se găsesc bornele de legătură. Pentru a proteja conexiunile cutiei, acesta se închide cu un capac 4. Electrozii sînt izolați electric între ei și fiecare față de teaca de protecție, cu mărgele izolatoare 5.

În România se fabrică termocupluri din platină cu platină-rodium, cu precizie foarte ridicată, folosite pentru măsurarea temperaturilor

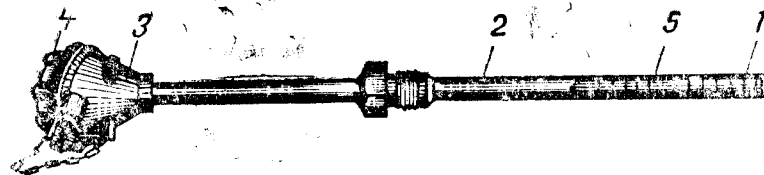


Fig. 17.4. Construcția unui termocuplu.

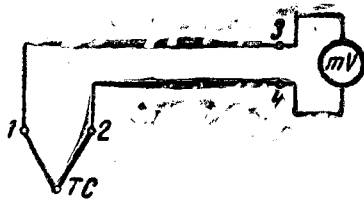


Fig. 17.5. Conectarea unui termocuplu la un aparat.

pînă la (1 300—1 400)°C; termocupluri din cromel cu alumel, folosite în intervalul de temperaturi (0—1 200)°C, termocupluri din fier cu constantan, folosite în intervalul de temperaturi (0—550)°C ș.a.

a. CONECTAREA TERMOCUPLURILOR LA APARATELE DE MĂSURAT

Măsurarea cu termocupluri este precisă numai dacă se menține constantă temperatura capetelor libere. Deoarece temperatura capetelor libere este adeseori variabilă, fiind influențată de punctul cald, termocuplurile se prelungesc pînă într-o zonă cu temperatură constantă, unde se află dispozitivul de măsurat, cu conductoare de legătură. Aceste conductoare trebuie să fie realizate din aceleași materiale ca și termocuplul sau (în cazul termocuplurilor — din materiale nobile) din alte materiale mai ieftine, dar care sînt identice din punct de vedere termoelectric cu materialele termocuplului, astfel încît în punctele de legătură să nu se dezvolte tensiuni termoelectromotoare suplimentare. În acest caz, capetele reci ale termocuplului (punctele 1 și 2 în figura 17.5) pot avea temperatura variabilă într-un interval restrîns, în timp ce punctele 3 și 4 — fiind la distanță — pot fi menținute mai ușor la o temperatură constantă.

2. MĂSURAREA TEMPERATURILOR CU TRADUCTOARE TERMOREZISTENTE

Traductoarele termorezistive se întîlnesc în două variante: *termorezistențe și termistoare.*

a. TERMOREZISTENȚELE

Termorezistențele sînt utilizate pe scară largă în industrie la măsurarea temperaturilor cuprinse între —200°C și +500°C. Principiul de funcționare al termorezistențelor se bazează pe proprietatea materialelor conductoare (Pt, Cu, Ni, Fe) de a-și modifica rezistența electrică în funcție de temperatură. Această variație se poate exprima cu relația:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (17.1)$$

unde α este coeficientul de variație cu temperatura al rezistenței electrice.

Din punct de vedere constructiv, termorezistențele se prezintă sub formă de fire sau benzi care se înfășoară pe un suport cilindric sau sub formă de plăcuță. Termorezistențele sînt montate în cîte o teacă de protecție și sînt prevăzute cu o cutie cu borne ca la termocupluri.

În țara noastră se fabrică termorezistențe din platină utilizate în intervalul (—200... +500)°C și termorezistențe din cupru (care sînt mai ieftine) utilizate în intervalul de temperatură (0... +120)°C.

b. TERMISTOARE

Termistoarele sînt traductoare termorezistive realizate din materiale semiconductoare. Variația rezistenței unui termistor în funcție de temperatură este:

$$R_t = R_0 e^{\frac{b}{T}}, \quad (17.2)$$

unde T este temperatura absolută, iar b — o constantă care depinde de materialul din care este făcut termistorul. După cum se vede din relația (17.2), coeficientul de variație a rezistenței unui termistor cu temperatura este negativ.

● În comparație cu termorezistențele, termistoarele prezintă următoarele **avantaje**:

- au sensibilitatea mare deoarece coeficientul de variație al rezistenței cu temperatura este mare;
- pot fi folosite la măsurări la distanță deoarece rezistența lor fiind mare, se poate neglija rezistența conductoarelor de legătură;
- au dimensiuni reduse și inerție termică mică.

● **Dezavantaje.** Termistoarele sînt mai instabile decît termorezistențele metalice, au dispersie mare a valorilor parametrilor, caracteristică puternic neliniară și temperatură maximă de utilizare mai redusă.

● Pentru măsurarea temperaturilor cu traductoare termorezistive, acestea se folosesc în *montaje de punte echilibrate sau neechilibrate.*

În figura 17.6 este reprezentată o **punte echilibrată automată**. Traductorul termorezistiv este conectat într-un braț al punții, iar în alt braț este prevăzută o rezistență variabilă. La creșterea temperaturii, rezistența

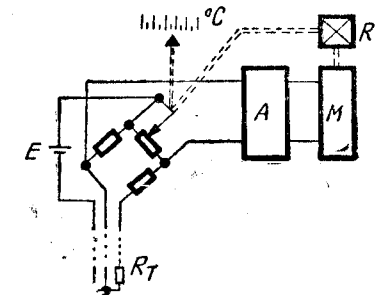


Fig. 17.6. Punte echilibrată automată cu traductor termorezistiv.

electrică R_T a traductorului se modifică și puntea se dezechilibrează. Tensiunea de dezechilibru este amplificată de amplificatorul A și se aplică unui motor, care prin intermediul unui reductor schimbă poziția cursorului rezistenței variabile. Când puntea este adusă la echilibru prin varierea rezistenței reglabile, motorul se oprește. Poziția cursorului va depinde de variația rezistenței R_T . Prin urmare, poziția cursorului rezistenței variabile poate indica direct (printr-o gradare corespunzătoare) valori ale temperaturii.

Pe acest principiu se produc la Întreprinderea de Elemente de Automatizare din București diferite aparate indicatoare și înregistratoare pentru măsurarea temperaturilor.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Care sînt avantajele măsurării mărimilor neelectrice cu aparate de măsurat electrice sau electronice?
2. Prin ce se deosebesc traductoarele generatoare de traductoarele parametrice?
3. Explicați funcționarea unui termocuplu!
4. În ce interval de temperatură se utilizează termocuplurile? Dar termorezistențele?
5. Comparați avantajele și dezavantajele termorezistențelor și termistoarelor!

CUPRINS

Introducere	3
Cap. 1. Măsurări, mijloace și metode de măsurare	4
A. Măsurări	4
1. Unități de măsură	4
2. Sisteme de unități de măsură	5
3. Sistemul Internațional	5
B. Procesul de măsurare	6
1. Mijloace de măsurare	6
2. Metode de măsurare	7
C. Erori de măsurare	8
1. Definiții	8
2. Clasificarea erorilor	10
3. Erorile aparatelor de măsurat electrice	11
4. Clase de precizie ale aparatelor	11
D. Caracteristici metrologice	12
E. Noțiuni de legislație metrologică	13
Cap. 2. Aparate de măsurat electrice	15
A. Noțiuni generale	15
B. Aparate analogice indicatoare	16
1. Principiul de funcționare	16
2. Clasificarea aparatelor de măsurat indicatoare	17
3. Marcarea aparatelor de măsurat electrice	18
4. Părțile componente ale aparatelor de măsurat	20
Cap. 3. Măsurări în curent continuu	24
A. Aparate magnetoelectrice (cu bobină mobilă)	24
1. Principiul de funcționare	24
2. Descrierea aparatului	24
3. Funcționarea	25
4. Proprietăți	26
5. Utilizări	27
6. Prevenirea defecțiunilor și remedieri	27
B. Măsurarea intensității curentului. Ampermetre	27
1. Montarea ampermetrelor în circuit	28
2. Extinderea domeniului de măsurare la ampermetre	30
3. Ampermetre cu mai multe domenii de măsurare	31

C. Măsurarea tensiunilor. Voltmetre	33
1. Montarea voltmetrelor în circuit	34
2. Extinderea domeniului de măsurare	35
3. Voltmetre cu mai multe domenii de măsurare	37
D. Măsurarea rezistențelor electrice	38
1. Metoda ampermetrului și voltmetrului	38
2. Metode de comparație	40
3. Ohmmetre și megohmmetre	45
Cap. 4. Aparate de măsurat pentru curent de joasă frecvență	49
A. Aparate feromagnetice	49
1. Principiul de funcționare	49
2. Descrierea aparatului	49
3. Funcționarea	50
4. Proprietăți	51
5. Utilizări	51
B. Aparate electrodinamice	52
1. Principiul de funcționare	52
2. Descrierea aparatului	52
3. Funcționarea	52
4. Utilizări	55
5. Proprietăți	56
6. Prevenirea defecțiunilor și remedieri	56
C. Aparate ferodinamice	56
D. Aparate cu redresor și aparate universale	57
1. Aparate cu redresor cu redresarea unei singure alternanțe	58
2. Aparate cu redresor cu redresarea ambelor alternanțe	59
3. Aparate universale (multimetre)	60
Cap. 5. Măsurarea puterii electrice	63
A. Noțiuni generale	63
B. Măsurarea puterii electrice în c.c.	64
1. Metoda ampermetrului și voltmetrului	64
2. Măsurarea cu wattmetrul electrodinamic sau ferodinamic	65
C. Măsurarea puterii electrice în circuite de c.a. monofazat	66
1. Măsurarea puterii aparente	66
2. Măsurarea puterii active	67
3. Măsurarea puterii reactive	68

Cap. 6. Măsurarea energiei electrice în circuit de c.a. monofazat	70
A. Noțiuni generale	70
B. Contor de inducție	
1. Dispozitivul de inducție	71
2. Mecanismul integrator	71
3. Conectarea contoarelor în circuit	73
Cap. 7. Transformatoare de măsurat	74
A. Transformatoare de curent	75
B. Transformatoare de tensiune	80
Cap. 8. Măsurarea puterii și energiei electrice în circuite de curent alternativ trifazate	84
A. Măsurarea puterii active în circuite trifazate	85
B. Măsurarea puterii reactive în circuite trifazate	91
C. Măsurarea energiei electrice în circuite trifazate	95
Cap. 9. Măsurarea puterii electrice active în circuite electronice	96
A. Determinarea puterii prin măsurarea tensiunii sau intensității curentului pe o rezistență de valoare cunoscută	96
B. Determinarea puterii prin transformarea energiei electromagnetice în alte forme de energie	99
Cap. 10. Aparate și metode pentru măsurarea impedanțelor	101
A. Generalități	101
B. Metode pentru măsurarea impedanțelor	104
Cap. 11. Măsurarea frecvențelor	116
A. Metode de comparație	116
B. Metode de rezonanță	117
C. Metode directe	119
Cap. 12. Osciloscopul	122
A. Generalități	122
B. Construcție și funcționare	124
C. Măsurări cu ajutorul osciloscopului	134
Cap. 13. Voltmetre electronice	141
A. Generalități	141
B. Voltmetre electronice de curent continuu	143

C. Voltmetre electronice de curent alternativ	147
D. Milivoltmetre electronice	151
E. Multimetre electronice	154
Cap. 14. Aparate de măsurat digitale	156
A. Generalități	156
B. Părțile componente ale aparatelor de măsurat digitale	159
C. Tipuri de aparate de măsurat digitale	173
Cap. 15. Aparate pentru măsurarea dispozitivelor semiconductoare	184
A. Tranzistormetre	184
B. Caracterografe	189
Cap. 16. Generatoare de semnal	191
A. Generalități	191
B. Generatoare de semnale sinusoidale	193
C. Generatoare de semnale dreptunghiulare	200
D. Generatoare de tensiuni liniar-variabile (TLV)	203
E. Generatoare de impulsuri scurte	204
Cap. 17. Aparate electrice și electronice pentru măsurarea mărimilor neelectrice	206
A. Traductoare	207
B. Aparate pentru măsurarea temperaturii	208

Coli de tipar: 13,5
Format: 16/70 100
Bun de tipar: 26 august 1991
Nr. plan: 20.012 Ediția 1991

Tiparul executat la:
Imprimeria „ARDEALUL“
Municipiul Cluj, B-dul 22 Decembrie Nr. 146
ROMANIA
Comanda nr. 36

Lei 42,-

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI — 1991

ISBN 973-30-1635-7

