

MĂSURĂRI ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

Cap 1. CONSIDERAȚII GENERALE. OBIECTUL CURSULUI.

Atât schimburile de energie cât și schimburile de informație se fac cel mai frecvent pe suportul mărimilor electromagnetice, a căror măsurare precisă condiționează desfășurarea normală a proceselor implicate.

▪ Se poate afirma, fără exagerare, că amploarea măsurărilor electrice și electronice este astăzi comparabilă cu aceea a măsurării tuturor celorlalte mărimi fizice la un loc. Odată cu extinderea măsurărilor electrice a crescut și precizia acestor, ajungându-se la o precizie de 10^{-6} , performanțe care mai demult aparțineau numai etaloanelor.

▪ O altă tendință a progresului măsurărilor electrice este lărgirea intervalului de măsurare, în special către valori mici și foarte mici ale tensiunii și curentului.

▪ Măsurările electrice în știință și tehnologia contemporană sunt caracterizate prin precizie, sensibilitate, necesitatea de a se efectua măsurători rapide, repetitive în puncte multiple și în general măsurări în care factorul timp intervine tot timpul. Măsurările electrice reprezintă domeniul în care precizia, pragul de sensibilitate și viteza de măsurare ajung cel mai aproape de limitele teoretice.

▪ Măsurările pot fi clasificate după mai multe criterii. Actualmente este predominantă clasificarea după natura mărimii măsurate. În acest sens prin măsurări electrice se înțelege măsurarea mărimilor electromagnetice, prin orice mijloace: electromecanice, electrotermice, electrooptice, electrotermice etc. Desigur, separarea mărimilor electromagnetice în mărimi electrice și în mărimi magnetice este în bună parte arbitrară. O împărțire mult mai avantajoasă pentru măsurări ar fi aceea în mărimi de circuit, mărimi de câmp și mărimi de material.

Unii autori clasifică mărimile din punct de vedere al măsurărilor în:

- mărimi de gradul zero (rezistență, inductanță, impedanță etc);
- mărimi de gradul unu (tensiune, curent);
- Mărimi de gradul doi (putere, energie etc).

▪ O altă observație esențială este aceea că în cadrul măsurărilor electrice, măsurarea mărimilor de circuit este esențială. Măsurarea mărimilor de câmp și a mărimilor de material prezintă numeroase particularități și acestea depend de domeniile de aplicație concrete. Se va evita prezentarea în cadrul cursului a unor măsurări particulare care fac obiectul de activitate al unor discipline specifice (particulare); descărcări în gaze, tehnica tensiunilor înalte etc.

Ca și în alte domenii și în cel al măsurătorilor electrice se distinge alternanța: metodă – aparat (de măsurare) sau cum se folosește azi în unanimitate soft – hard. În aceste condiții se poate afirma că:

- Soft → reprezintă ansamblul metodelor, tehnicielor și procedeelor de măsurare, corecta alegere și utilizare a aparaturii, evaluarea erorilor de măsurare etc;
- Hard → reprezintă ansamblul mijloacelor de măsurare, a aparatelor și circuitelor componente, tehnologia și construcția aparaturii de măsurat etc.

Dezvoltarea lor este în general paralelă. În ultimul timp însă, odată cu creșterea performanțelor și complexității aparatelor, se acordă o atenție sporită softului.

Ce înseamnă de fapt a măsura, adică a efectua o măsurătoare? A măsura corect înseamnă în principal a realiza judicios sinteza și analiza procesului de măsurare, adică a alege apărantele corespunzătoare și a fixa condițiile elaborând cea mai potrivită metodă.

Esențial într-o măsurătoare, în conceperea acesteia este mărimea ce urmează să fie măsurată, de la aceasta se pornește și apoi urmează metoda de măsurare și în fine se aleg apărantele de măsurare.

- Un aspect urmărit în procesul de măsurare, aspect care condiționează de fapt corectitudinea operației este reducerea erorilor de măsurare.

Evident aceste erori pot proveni nu numai de la aparatul de măsurat ci și de la obiectul supus măsurării, de la interacțiunea aparat – obiect sau ca urmare a unor factori de influență exterioiri.

În cadrul prezentului curs, centrul de greutate va fi pus de partea de soft, adică pe aceea a descrierii metodelor de măsurare. Aparatul va fi privit numai ca un mijloc necesar realizării procesului de măsurare.

Această orientare a fost determinată și de faptul că metoda de măsurare reprezintă în esență elementul cel mai stabil, în comparație cu aparatul de măsurat, care este supus unor schimbări mult mai rapide.

- Referitor la apărantele de măsurare, trebuie menționat că instalațiile și sistemele de măsurare sunt foarte variate și ele sunt adaptate unor scopuri particulare, astfel că prezentarea lor depășește cadrul cursului.

Pentru descrierea unui aparat de măsurat, acesta este prezentat ca un ansamblu funcțional de circuite. Unde din circuite sunt presupuse cunoscute, ca de exemplu: amplificatoarele, detectoare, divizoare rezistive sau capacitive și altele. Toate acestea apar în schema funcțională a aparatului ca simple dreptunghiuri, triunghiuri sau cercuri cu indicarea funcțiunii respective. Altele însă, specifice, sunt descompuse până la nivelul de componente, pentru ca funcționarea lor să fie explicată.

Cap 2. MĂSURĂRI ELECTRICE. METODE ȘI MIJLOACE DE MĂSURARE.

2.1 Măsurări. În electrotehnica și electronică intervin numeroase mărimi fizice: tensiuni, curenți, puteri, energii, rezistențe etc, care se caracterizează prin dimensiuni fizice și anumite raporturi între ele. Aprecierea cantitativă a proprietăților acestor mărimi se realizează prin măsurare.

A măsură o mărime înseamnă a o compara cu o altă mărime, de aceeași natură, luată convențional ca unitate de comparație și denumită unitate de măsură. Raportul dintre mărimea de măsurat A și unitatea de măsură a reprezintă valoarea numerică a mărimii a, adică:

$$\alpha = \frac{A}{a}, \quad (2.1)$$

sau

$$A = \alpha \cdot a. \quad (2.2)$$

Deci mărimea este egală cu produsul dintre unitatea de măsură și valoarea sa.

Mărimea și unitatea sunt noțiuni fizice pe când valoarea fiind un raport dintre două mărimi de același fel, este un simplu număr fără dimensiuni. Mărimea nu variază cu unitatea de măsură considerată, rămâne aceeași; pe când valoarea dă și anume sens proporțional. Între unitățile de măsură există relația R, între mărimile exprimate în unități de măsură există relația R^{-1} .

Exemplu: un curent de 5A poate fi exprimat și în mA, adică 5000mA, $1A = 10^3 mA$. Curentul exprimat în amperi este de 10^{-3} mai mic adică $I[A] = 10^{-3} I[mA]$.

Pentru a măsura o mărime trebuie să fie stabilită unitatea de măsură a acelei mărimi și să existe mijloace de măsurare, care să prezinte compararea mărimii cu unitatea ei, prin anumite metode de măsurare.

2.2 Unitatea de măsură. Unitatea de măsură trebuie să fie de aceeași natură cu mărimea de măsurat și să poate fi reprodusă fizic, pentru a se putea compara cu ea mărimile de măsurat. Dimensiunea unității poate fi aleasă oarecare dar, odată acceptată ea trebuie să rămână neschimbătă.

Totalitatea unităților de măsură folosite într-un domeniu oarecare de măsurare se numește sistem de unități. Unitățile de măsură se stabilesc în fiecare țară prin legi speciale, iar generalizarea lor pe scară mondială se asigură prin acorduri internaționale.

Sistemul de unități de măsură legal și obligatoriu în România este Sistemul Internațional (SI), sistem care a fost adoptat pe o scară internațională în anul 1960 la XI-a Conferință Generală de Măsură și Greutăți de la Paris. Unitățile fundamentale ale acestui sistem sunt: metrul (m) pentru lungime, kilogramul (kg) pentru masă, secunda (s) pentru timp și amperul (A) pentru intensitatea curentului electric, prescurtat SI se mai notează și cu MKSA. Mărimile considerate sunt fundamentale. Din unitățile fundamentale rezultă unități derive.

2.3 Mijloace de măsurare. Mijloacele de măsurare sunt mijloace tehnice cu ajutorul cărora se determină cantitativ mărimea de măsurat. Se deosebesc două categorii de mijloace de măsurare și anume:

- Măsuri, care materializează unitățile de măsură sau valorile multiple sau submultiple ale acestora;
- Aparate de măsurat, care servesc la compararea directă sau indirectă a mărimii de măsurat cu unitatea de măsură.

Dependent de rolul și precizia lor, mijloacele de măsurare se împart în:

- mijloacele de **măsurare de lucru**, care servesc la măsurările curente și care la rândul lor pot fi mijloace de măsurare de laborator (cu o precizie mult mai mare) și mijloace de măsurare tehnice (cu o precizie mai mică);
- mijloace de **măsurare etalon** sau etaloane, care materializează unitățile de măsură cu precizie maximă, le păstrează și le transmit mijloacelor de măsurare cu precizie inferioară.

2.4 Metode de măsurare. Metoda de măsurare, reprezintă modul (procedeul) de comparare a mărimii de măsurat cu unitatea de măsură.

Metodele de măsurare diferă între ele după modul de obținere a valorii mărimii măsurate, forma de indicare a valorii măsurate sau precizia de măsurare.

După modul de obținere a valorii mărimii măsurate se deosebesc:

- metode de măsurare directe, în care valoarea mărimii de măsurat se obține prin măsurarea nemijlocită a mărimii de măsurat, folosind aparate de măsurat sau măsuri; spre exemplu, măsurarea curentului electric cu ampermetrul sau a tensiunii cu voltmetrul;
- metode de măsurare indirecte, în care valoarea mărimii de măsurat se obține prin (măsurarea) calcul din valorile măsurate direct ale altor mărimi, de care este legată printr-o anumită relație fizică; spre exemplu: determinarea rezistenței în curent continuu prin calcul din măsurarea tensiunii la borne și a curentului ce străbate rezistență, apelând la expresia matematică a legii lui Ohm ($R = U / I$).

La fel și măsurarea impedanței, în curent alternativ apelând la legea lui Ohm extinsă, $Z = U / I$.

2.4.1. Metode de măsurare directă. Sunt cele mai numeroase, dependent de tehnica măsurării, aceste metode se împart în două grupe și anume:

- **metode de citire** în care valoarea mărimii de măsurat se obține prin citirea directă a indicației unui aparat de măsurat etalonat în unități de mărimi de măsurat;
- **metode de comparație** la care valoarea mărimii de măsurat se obține prin compararea directă a acesteia cu una sau mai multe măsuri.

Metodele de comparație diferă între ele în funcție de modul cum se compară mărimile de măsurat cu măsurile. Se deosebesc astfel:

- Metode de zero (de compensație) în care mărimea de măsurat se compară cu o măsură sau cu o mărime cunoscută de aceeași natură, care acționând asupra aparatului de măsurat se variază până compensează (reduce la zero) efectul mărimii de măsurat. Când efectele celor două mărimi asupra aparatului de măsurat se compensează (echilibrează), indicația acestuia este zero și cele două mărimi sunt egale sau proporționale; ca exemplu de metodă de zero este măsurarea maselor cu balanță cu

brațe sau măsurarea tensiunii electrice prin compensare cu tensiunea unui element etalon cunoscut.

Așa cum se va vedea, metoda de zero este un caz particular al metodei diferențiale în acela diferența dintre valoarea măsurandului și valoarea de referință este redusă la zero. Evident, în acest caz aparatul de măsurat este folosit doar ca indicator de zero iar eroarea sa nu intervine în măsurare;

- Metoda diferențială în care comparația se realizează măsurând diferența dintre mărimea de măsurat și măsura sau mărimea cunoscută, care acționează simultan asupra aparatului de măsurat; precizia acestei metode este cu atât mai mare cu cât diferența dintre cele două mărimi este mai mică;
- Metoda de substituție, în care mărimea de măsurat se substituie în montajul de măsurare cu măsura sau mărimea de comparație cunoscută, care se variază până se obține același efect asupra aparatului de măsurat ca și în cazul mărimii de măsurat (indicația aparatului este aceeași), când cele două mărimi sunt egale.

Referitor la metoda diferențială se poate scrie că:

$$x = x_0 + \xi,$$

unde:

x este valoarea măsurandului (mărimea de măsurat);

x_0 - valoarea de referință cunoscută;

ξ - diferența măsurată direct.

Contribuția erorii aparatului de măsurat la eroarea totală a măsurării este neglijabilă, dacă valorile x și x_0 sunt suficient de apropiate. Astfel scriind:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta x_0}{x} + \frac{\Delta \xi}{x}$$

sau

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta x_0}{x} + \frac{\Delta \xi}{\xi} \cdot \frac{\xi}{x},$$

se observă că dacă raportul ξ/x este suficient de mic, influența erorii relative $\Delta \xi / \xi$ este neglijabilă în eroarea $\Delta x/x$ a măsurării.

Rezultatul se obține deci practic cu aceeași eroare cu care se cunoaște valoarea de referință x_0 .

Referitor la metoda substituției, la prima măsurare, într-un braț se aplică mărimea de referință x_0 , iar în celălalt braț o mărime constantă (numită tară), care nu trebuie cunoscută, dar care trebuie să fie stabilă în cursul măsurării. Se obține astfel:

$$x_0 = (K + k_1) \cdot x_t. \quad (2.3)$$

unde:

K este raportul comparatorului;

k_1 - o mică variație dată lui K .

La a doua măsurare x_0 este substituit prin x , adică:

$$x_0 = (K + k_2) \cdot x_t, \quad (2.4)$$

unde:

k_2 este noua variație a lui K pentru echilibrarea comparatorului.

Va rezulta ca urmare:

$$\frac{x}{x_0} = \frac{K+k_2}{K+k_1}$$

sau dacă se are în vedere că $k_1 \ll K$ și $k_2 \ll K$, rezultă:

$$x = \left(1 + \frac{k_2 - k_1}{K}\right) \cdot x_0.$$

Dacă x este apropiat de x_0 , mărimea $(k_2 - k_1)/K$ este mică față de 1 și eroarea introdușă de comparator este neglijabilă.

➤ Metoda permutării reprezintă o altă posibilitate de eliminare a erorii comparatorului, în cazul unei comparații 1:1. În acest caz, raportul K al comparatorului trebuie să aibă o valoare apropiată de 1, dar nu trebuie cunoscută cu precizie. Se fac două măsurări. La prima măsurare, mărimile de comparat x și x_0 se aplică la cele două intrări ale comparatorului rezultând astfel:

$$x = (K + k_1) \cdot x_0. \quad (2.5)$$

unde, ca și înainte k_1 este o mică variație a raportului K.

La a doua măsurare se schimbă locul lui x cu x_0 și se obține

$$x_0 = (K + k_2) \cdot x, \quad (2.6)$$

unde k_2 este noua variație dată lui K. Din relațiile (2.5) și (2.6), se deduce

$$\left(\frac{x}{x_0}\right)^2 = \frac{K+k_1}{K+k_2},$$

și deoarece $k_1 \ll K$ iar $k_2 \ll K$,

$$\frac{x}{x_0} = \left(\frac{1 + \frac{k_1}{K}}{1 + \frac{k_2}{K}}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(1 + \frac{k_1 - k_2}{K}\right)^{\frac{1}{2}} = 1 + \frac{k_1 - k_2}{2 \cdot K},$$

sau, punând $K = 1$ în termenul de corecție rezultă:

$$x = \left(1 + \frac{k_1 - k_2}{2}\right) \cdot x_0, \quad (2.7)$$

Termenul $(k_1 - k_2)/2$ fiind mic față de 1, ca și la metoda substituției, eroarea indusă de comparator este neglijabilă.

Metoda substituției și metoda permutării sunt folosite deseori pentru măsurarea cu cea mai mare precizie a rezistenței, capacității și inductivității. De remarcat că atât metoda substituției, cât și aceea a permutării nu sunt, riguros vorbind comparații simultane. Ele sunt însă cu o comparație simultană, dacă în timpul celor două operații de măsurare toate mărimile care intervin (x , x_0 și x_t) pot fi considerate constante.

După forma de indicare a valorii măsurate, metodele de măsurare se împart în:

- Măsurări analogice, la care mărimea de măsurat se măsoară în mod continuu, valoarea acesteia față de indicația aparatului de măsurat (de obicei derivația unui dispozitiv indicator) urmărind continuu variația mărimii de măsurat;
- Măsurări numerice (discrete), în care mărimea de măsurat este descompusă, cantificată în montajul de măsurare în mărimi discrete, care se măsoară numai la anumite intervale de timp, valoarea ei (indicată de aparatul de măsurat sub formă cifrică) urmărind în mod discontinuu variația de obicei continuă a mărimii de măsurat.

După precizia de măsurare se deosebesc:

- măsurări de laborator, unde se folosesc metode și mijloace de măsurare de mare precizie și se determină erorile de măsurare;
- măsurări industriale, care se execută cu metode și mijloace de măsurare mai puțin precise și fără a se ține seama de erorile de măsurare.

Cap 3. APARATE DE MĂSURAT ELECTRICE.

3.1. Principiul de funcționare al aparatelor de măsurat electrice

Aparatele de măsurat electrice sunt mijloace de măsurare care permit determinarea cantitativă a mărimii fizice de măsurat prin transformarea acesteia într-o mărime perceptibilă, prin intermediul unui semnal electric.

Funcționarea aparatelor de măsurat electrice se bazează pe utilizarea fenomenelor fizice legate de trecerea curentului electric sau de formarea câmpului electromagnetic, care produce după legi cunoscute efecte măsurabile sub formă de forțe sau de cupluri mecanice sau anumite stări ale elementelor electronice sau magnetice. Sub acțiunea acestora, folosind energia câmpului magnetic sau a celui electric, sau energia curentului electric, se obține o mărime perceptibilă, care este deplasarea unui sistem mecanic mobil sau un semnal numeric.

Între mărimea perceptibilă și mărimea fizică de măsurat trebuie să existe o corespondență bine definită. Această corespondență este determinată pe de o parte de dependența mărimii perceptibile α de semnalul electric intermediar Y:

$$\alpha = f_1(Y),$$

iar pe de altă parte, de dependența mărimii intermediare Y de mărimea fizică de măsurat X:

$$Y = f_2(X).$$

Eliminându-se din cele două ecuații mărimea intermediară Y, se obține relația de corespondență dintre mărimea de măsurat X și mărimea perceptibilă α , denumită caracteristică de transfer statică sau caracteristică statică a aparatului de măsurat.

$$\alpha = f_1[f_2(X)] = f_3(X).$$

Caracteristica statică a aparatelor de măsurat poate fi liniară sau neliniară și aceasta dependent de elementele constructive ale acestora.

Practic, caracteristicile statice ale tuturor elementelor sunt mai mult sau mai puțin neliniare.

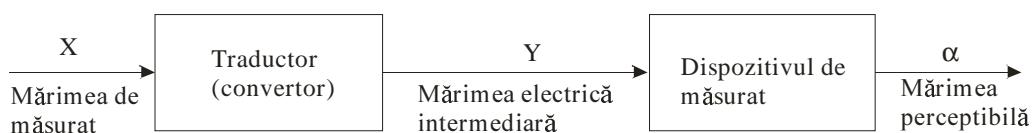


Figura 3.1. Schema principală de funcționare a unui aparat electric

Fiecarei valori a mărimii de măsurat X, în numite condiții exterioare, trebuie să-i corespundă o singură valoare a mărimii perceptibile bine determinată α . În caz contrar, indicațiile aparatului sunt greșite. Pentru aceasta este necesar ca mărimea perceptibilă să depindă numai de mărimea de măsurat, ca ambele funcții de transfer să fie uniforme, ca variația parametrilor elementelor constructive a aparatului produsă de variația diferenților factori externi (temperatură, umiditate sau presiunea mediului înconjurător, câmpuri magnetice și electrice exterioare, frecvența mărimilor de măsurat etc.), să ducă la variații ale indicațiilor aparatului pe cât posibil mai mici.

3. 2. Elemente componente ale aparatelor de măsurat electrice

Așa cum rezultă din figura 3.1, orice aparat de măsurat electric se compune dintr-un traductor și un dispozitiv de măsurat.

Traductorul are rolul de a transforma mărimea fizică de măsurat X într-un semnal electric intermediar Y, care de obicei este currentul sau tensiunea electrică.

Traductoarele electrice sunt extrem de diverse ca semnale de ieșire: cele analogice furnizează un semnal continuu variabil cu mărimea măsurată (variația unei impedanțe, o tensiune, variația frecvenței sau fazei unei oscilații sinusoidale, variația debitului sau duratei unor impulsuri etc.); cele numerice furnizează un semnal discontinuu, o succesiune de impulsuri sau o combinație de tensiuni care, după un anumit cod, reprezintă valoarea numerică a mărimii măsurate.

La unele aparate de măsurat electrice traductorul poate lipsi. Pentru măsurarea temperaturilor, de exemplu, se folosește un traductor electric (termorezistență sau termocuplu), pe când pentru măsurarea tensiunii sau curentului nu este necesar traductorul.

Dispozitivul de măsurat reprezintă partea activă a aparatului asupra căruia acționează semnalul electric care este preluat, dând naștere unei mărimi perceptibile, cu ajutorul căreia se determină valoarea mărimii măsurate.

Mărimea perceptibilă poate fi deplasarea liniară sau unghiulară a unui sistem mecanic mobil sau un semnal codificat, de obicei electric, exprimat sub forma numericală.

3. 3. Clasificarea aparatelor de măsurat electrice.

Aparatele de măsurat electrice sunt de construcție foarte diferite, diversitatea provenind din:

- metodele de măsurare foarte diverse;
- principiile de funcționare;
- precizia de măsurare;
- natura mărimii măsurate;
- după utilizare.

Clasificarea aparatelor de măsurare se prezintă sintetic ca în figura 3.2:

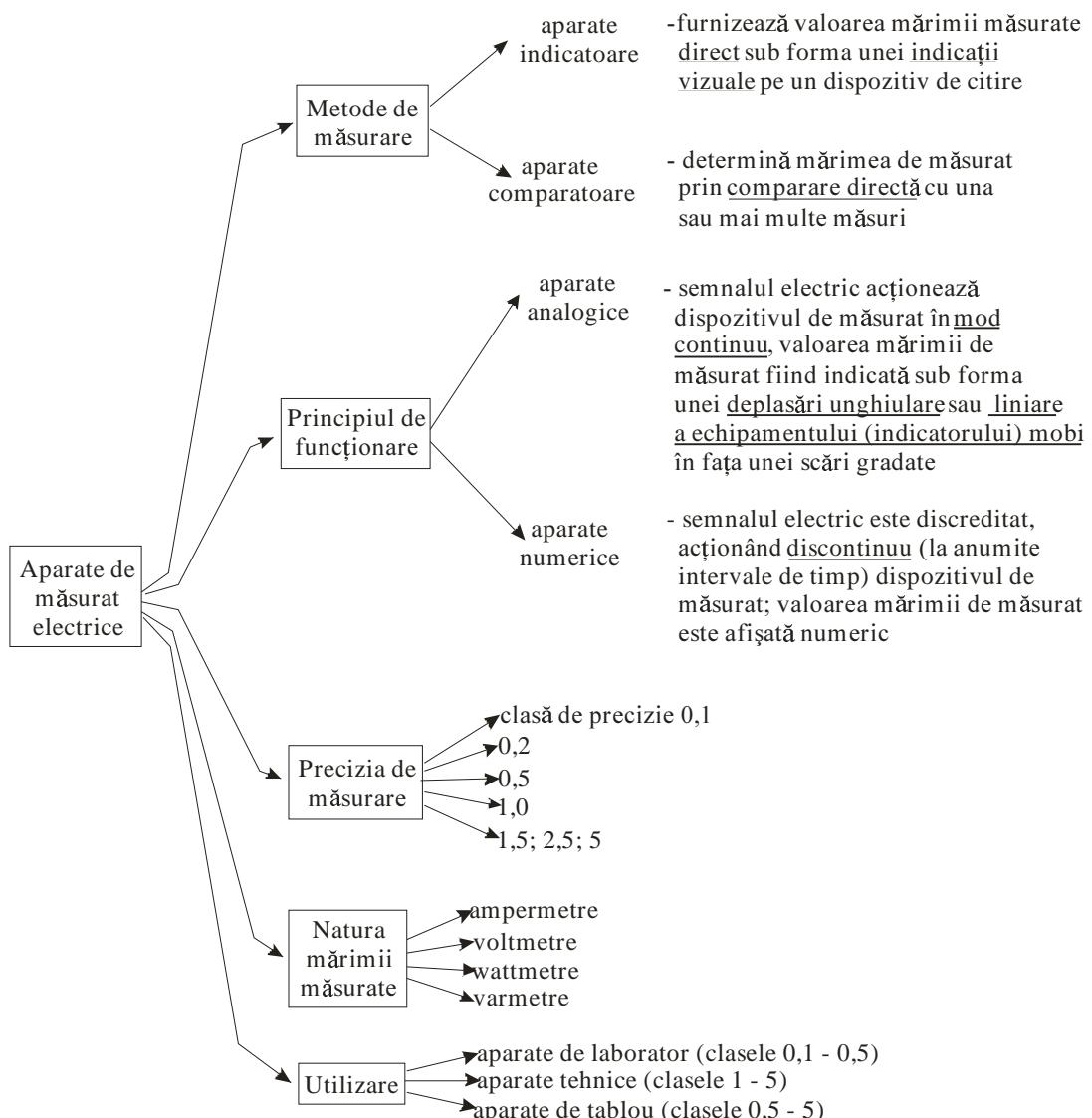


Figura 3.2. Clasificarea aparatelor de măsurat electrice.

OBSERVAȚII:

În general, mărimea de ieșire nu depinde numai de mărimea de intrare ci și de alte mărimi care afectează indicația aparatului. Aceste mărimi sunt numite mărimi de influență. Componența mărimilor de influență este redată în figura 3.3:

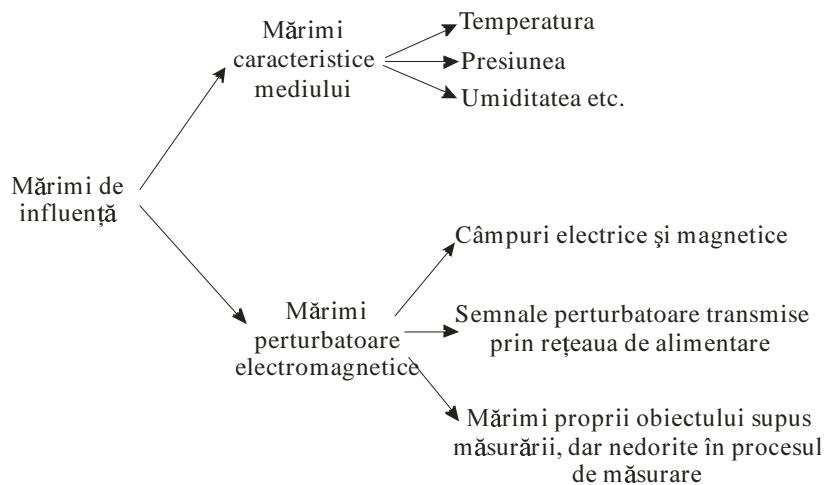


Figura 3.3. Structura mărimilor de influență.

Pe de altă parte, mărimea de ieșire a aparatului de măsurat depinde și de comenzi, care au fost date aparatului prin organele de comandă cu care acesta este prevăzut.

O reprezentare mai generală a aparatului de măsurat are forma:

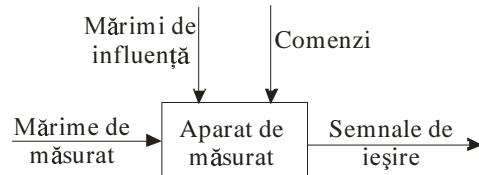


Figura 3.4. Reprezentarea generală a aparatului de măsurat.

Mărimile de intrare ale aparatului sunt caracterizate prin:

- natura mărimii (tensiune, curent, rezistență etc.);
- intervalul de valori măsurabile (valoarea minimă, valoarea maximă);
- variația în timp (mărimi constante, variabile periodic sau variabile neperiodic) etc.

Mărimile de măsurat sunt aplicate la bornele de intrare (sau bornele de măsurare) ale aparatului. De obicei, pentru măsurarea mărimilor de gradul 1 (tensiune și curent), aparatul este prevăzut cu două borne de intrare, pentru măsurarea mărimilor de gradul 2 (putere, energie), cu patru borne de intrare iar pentru măsurarea mărimilor de gradul zero (rezistență, capacitate, inductivitate, factor de putere) cu două, trei sau patru borne de intrare. Din punct de vedere practic, prezintă importanță izolarea bornelor față de masa aparatului (carcasa metalică). Aparatele la care una din borne este conectată electric la masă se numesc aparate cu intrare nesimetrică. Bornele izolate față de masă se numesc borne flotante. Aparatele moderne sunt prevăzute cu borne flotante, deoarece în acest fel este diminuată la maximum influența unor factori perturbatori.

Dacă este necesară ecranarea electrostatică completă a circuitului de măsurare se folosesc borne auxiliare (sau conexiuni coaxiale). Deoarece conexiunile, adică conductoarele de legătură dintre aparatul de măsurat și obiectul supus măsurării pot influența măsurarea este important, mai ales la măsurările de mare precizie să se precizeze un plan de referință, transversal pe conexiuni, la care se raportează rezultatul măsurării.

Semnalele de ieșire ale aparatului pot fi adresate operatorului uman, sau unui sistem tehnic (calculator) interconectat cu aparatul (pentru prelucrare ulterioară, înregistrare, comandă etc.). În primul caz, semnalele de ieșire sunt de obicei vizuale și mai rara auditive; semnalele vizuale au formă analogică (indicatori și scară gradată) sau numerică. În al doilea caz, semnalele de ieșire sunt de obicei electrice și pot fi la rândul lor analogice (de cele mai multe ori tensiune continuă) sau digitale (tensiune în impulsuri pe baza unui anumit cod).

Comenziile cele mai importante pot fi din următoarele măsurători:

- funcție, de exemplu măsurarea tensiunii, a curentului și a rezistenței la un multimetru;
- game de măsurare;
- calibrare internă;
- reglarea zeroului;
- echilibrare;
- repetarea măsurării.

Aparatele specializate de măsurare pot avea diferite comenzi. Ele pot fi împărțite în două categorii și anume:

- pentru introducere de date;
- pentru manevrarea aparatului.

Acestea din urmă pot fi automatizate complet (de exemplu pentru echilibrarea unei punți). Comenziile de introducere a datelor pot fi automatizate parțial (de exemplu baleierea la un analizator de spectru) sau complet (spre exemplu la un sistem de măsurare multiplă cu explorare automată).

Reluând structura aparatelor de măsurat, trebuie menționat că structura prezentată în figura 3.1 poate fi generalizată prin schema din figura 3.6 unde stabilirea relației dintre mărimile de ieșire și de intrare ale aparatului se realizează prin mai multe conversii succesive în care intervin mărimi intermediare x_i ; ($i = \overline{1, n}$).



Figura 3.5. Schemă de interconectare a convertorilor în buclă deschisă.

Mărimile x_1, x_2, \dots, x_n pot fi mărimi fizice de aceeași natură sau diferite, constante sau variabile în timp. Fiecare conversie are loc în traductor (sau conductor). Schema de mai sus este în bucă deschisă, dar adesea se utilizează și schemele în bucă închisă. Schemele în buclă închisă conțin practic convertoare liniare (fig. 3.6.).

Pentru aparatul din figura 3.6 se pot scrie ecuațiile:

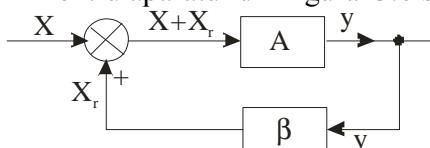


Figura 3.6. Schema structurală a unui aparat de măsurat în buclă închisă.

Pentru obținerea funcției de transfer a aparatului este necesară stabilirea dependenței dintre Y și X. În acest scop se elimină mărimea x_r . Astfel:

$$y = A \cdot x + A \cdot \beta \cdot y \text{ sau } y(1 - A \cdot \beta) = A \cdot x, \text{ de unde:}$$

$$y = \frac{A}{1 - \beta \cdot A} \cdot x.$$

Obișnuit $\beta \cdot A$ este negativ și în modul mult mai mare ca unitatea astfel că practic se poate scrie:

$$y = -\frac{1}{\beta} \cdot x,$$

deci funcția de transfer a aparatului depinde numai de proprietățile convertorului de reacție.

Cele două structurale prezentate în figura 3.5 respectiv în figura 3.6 sunt caracteristice aparatelor cu citire directă (conversie directă) respectiv aparatelor cu compensare (sau aparatelor cu echilibrare). La aparatelor cu conversie directă, fluxul informației de măsurare are un singur sens, de la intrare către ieșire. Sensibilitatea globală a aparatului este egală cu produsul sensibilităților elementelor componente iar eroarea globală contribui deopotrivă erorilor tuturor elementelor componente ale aparatului.

La aparatelor cu compensare există un dublu sens al informației, datorită conversiunii directe prin elementul A și conversiunii inverse prin elementul β. Sensibilitatea și eroarea globală a acestor apărate sunt determinate aproape integral de elementul β și nu depind practic de elementul A.

Există scheme structurale mai complicate, cu convertoare legate în paralel, serie-paralel sau combinații ale acestora. Spre exemplu la aparatelor care măsoară puteri sau energii intervin convertoroare multiplicatoare, cu două intrări și o ieșire; în acest caz, o porțiune din schema structurală se poate prezenta ca în figura 3.7.

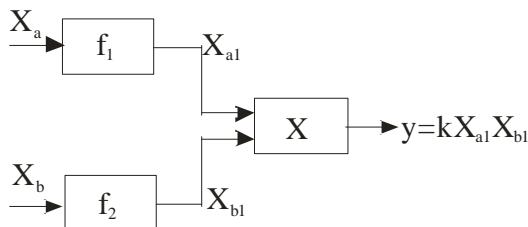


Figura 3.7. Schema structurală a unui aparat cu două intrări.

3.4. Tipuri principale de convertoare de măsurare.

Fiecare convertor poate fi privit ca un element diport (o intrare și o ieșire), un triport (două intrări și o ieșire) sau un quadripol.

Procesul de conversie este caracterizat prin funcție de transfer, care caracterizează convertorul și sarcina acestuia. Pentru convertorul diport, cu o intrare și ieșire electrică, se pot scrie ecuațiile generale ale quadripolului (fig 3.8).



Figura 3.8. Cuadripolul echivalent unui convertor diport.

$$u_1 = A \cdot u_2 + B \cdot i_2, \\ i_1 = C \cdot u_2 + D \cdot i_2,$$

A, B, C, D sunt parametrii cuadripolului.

Dacă este îndeplinită condiția $\left. \frac{u_1}{i_2} \right|_{u_2=0} = \left. -\frac{u_2}{i_1} \right|_{u_1=0}$, cuadripolul se numește reciproc. Condiția de reciprocitate este $A \cdot D - B \cdot C = 1$.

Convertoarele constituite din elemente de circuit pasive liniare dipolare (rezistoare, condensatoare, bobine) și din transformatoare sunt reciproce.

Convertoarele reciproce sunt deci transformatoarele de măsură, divizoarele rezistive, inductive și capacitive, șunturile etc. O proprietate generală a convertoarelor este aceea de a transmite semnale în ambele sensuri. Convertoarele care conțin și elemente de circuit active sau nelineare (amplificatoare, diode, dispozitive termoelectrice etc.) sunt în general nereciproce.

Clasificarea convertoarelor poate fi efectuată după mai multe criterii, fig 3.9.

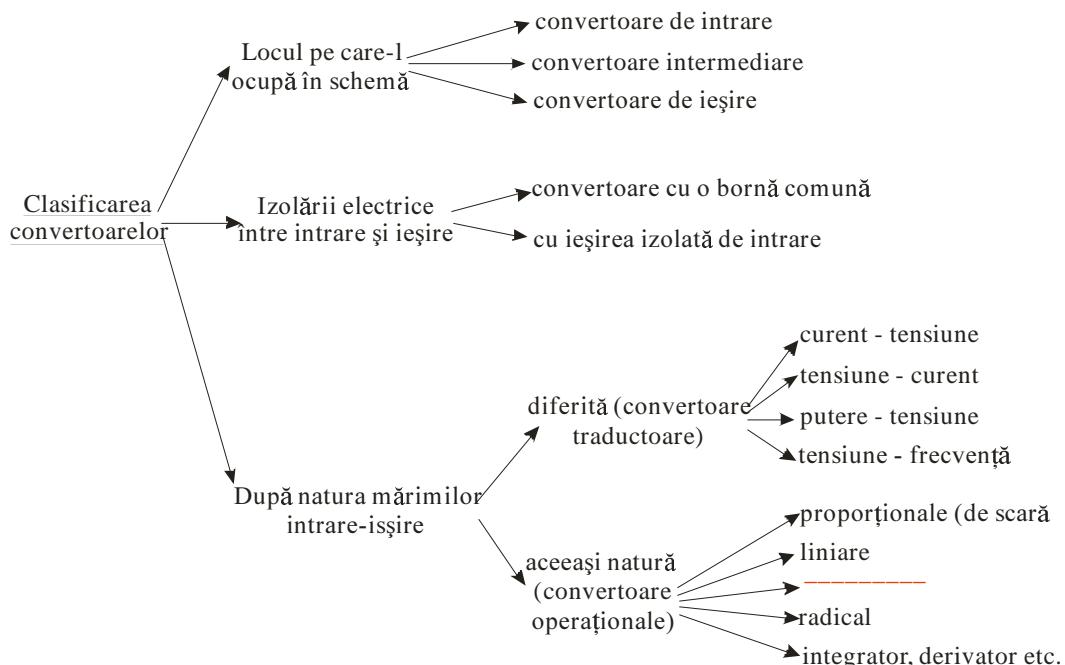


Figura 3.9. Clasificarea convertoarelor

3.5. Aparate analogice și aparate digitale

Rezultatul unei măsurări se exprimă totdeauna printr-un număr finit de cifre semnificative. Deci rezultatul măsurătorii variază discret, spre deosebire de valoarea măsurandului, care de cele mai multe ori variază continuu. Astfel procesul de măsurare cuprinde în mod obligatoriu etapa de discreditare.

Această operație poate fi efectuată de operatorul uman sau de aparatul de măsurat. În primul caz, aparatul de măsurat furnizează informația de măsurare sub forma unei mărimi fizice variabile continue, a cărei valoare este ușor sesizabilă de operatorul uman,

este vorba de aparatele analogice, iar în al doilea caz aparatul furnizează informație de măsurare direct sub forma unui număr care este citit de operatorul uman. Acest aparat de măsurat se numește aparat digital (sau aparat numeric).

Aparatul de măsurat analogic are în structura sa numai elemente analogice caracterizate prin variația continuă a mărimilor de intrare și de ieșire. El poate fi privit ca un instrument de simplă transformare a măsurandului într-o altă mărime fizică, a cărui valoare este sesizabilă de om.

Aparatul de măsurat digital are în structura sa și elemente caracterizate prin variație discontinuă (discretă) a mărimilor. Măsurandul, după convertirea într-o mărime fizică convenabilă este cuantificat, adică este dirijat în trepte de o anumită finețe (fig. 3.10.). Numărul treptelor dă valoarea măsurandului. Această operație este denumită conversie analog-digitală.

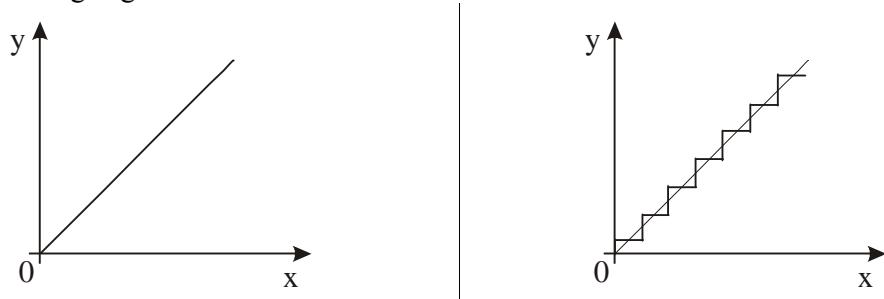


Figura 3.10. Funcția de transfer a unui aparat: a) analog, b) digital.

3.6. Structura tipică a unui aparat de măsurat

În aparatele de măsurat analogice pentru prelucrarea informației de măsurare se folosesc cel mai frecvent o tensiune continuă ca mărime fizică intermediară (fig 3.11.). Partea de intrare a aparatului de măsurat (convertorul de intrare) convertește mărimea de măsurat în tensiune continuă care este apoi amplificată, divizată sau supusă altor operații. Valoarea acestei tensiuni este doar proporțională cu măsurandul.

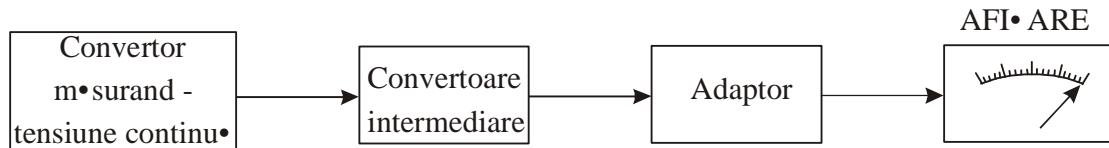
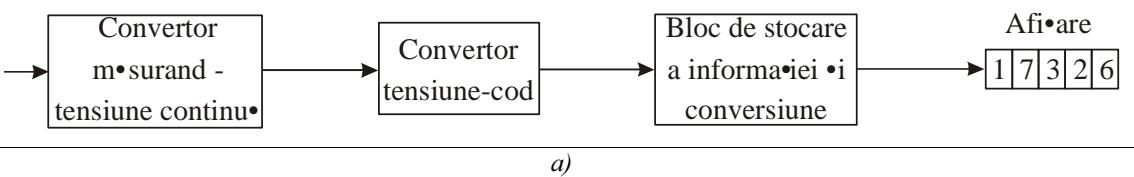


Figura 3.11. Schema tipică a unui aparat de măsurat analogic.

La aparatele de măsurat digitale se folosesc ca mărime fizică intermediară fie o tensiune continuă, fie un interval de timp sau o frecvență.



a)

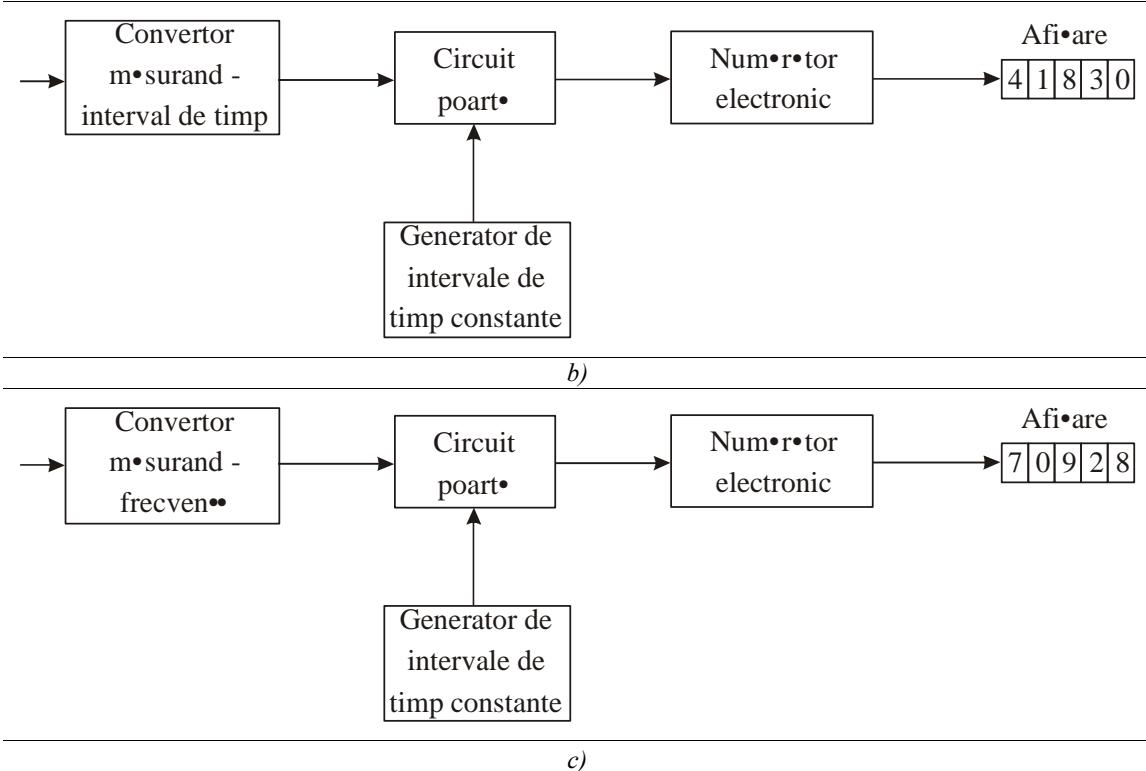


Figura 3.12. Structuri tipice ale unor aparate de măsurat digitale, folosind ca mărime intermedieră: a) o tensiune continuă; b) un interval de timp; c) o frecvență.

În primul caz (fig. 3.12, a) partea de intrare a aparatului este asemănătoare cu cea a aparatului analogic. Urmează un convertor tensiune-cod, care generează un grup de impulsuri în corespondență cu valoarea tensiunii continue, pe baza unui anumit cod. Informația conținută în grupul de impulsuri este stocată într-un bloc de memorie și apoi convertită în cod zecimal pentru afișare.

În al doilea caz (fig. 3.12, b) la intrarea aparatului se află un convertor, care generează fie un interval de timp de durată proporțională cu valoarea măsurandului, fie un semnal periodic de frecvență proporțională cu măsurandul. În ambele cazuri, un circuit poate permite trecerea unui număr de impulsuri proporțional cu valoarea măsurandului la un numărător electronic și la unitatea de afișare.

3.7. Afișarea analogică și afișarea digitală.

Afișarea analogică este caracterizată prin lungimea scării gradate, finetea divizării (numărul de diviziuni) și mobilitatea indicatorului. Toate aceste caracteristici determină rezoluția afișării (capacitatea ei), exprimată prin numărul de poziții care pot fi apreciate. Rezoluția afișării analogice este de regulă de ordinul a 10^{-2} ceea ce înseamnă 100 de puncte (trepte) de măsurare.

Afișarea digitală este caracterizată prin numărul de cifre zecimale afișate care determină rezoluția afișării. Dacă cifrele de orice rang pot lua toate valorile de la 0 la 9, rezoluția este de 10^{-n} , echivalentă cu 10^n puncte de măsurare unde n este numărul rangurilor de cifre zecimale afișate.

Afișarea se numește în acest caz cu n cifre sau cu 10^n puncte de măsurare. De exemplu, dacă $n = 4$, este vorba de o afișare digitală cu 4 cifre; numărul maxim care poate fi afișat este 9999, iar rezoluția este 10^{-4} (10000 puncte de măsurare). Deseori, prima cifră a afișării (rangul zecimal cel mai înalt) poate avea un număr limitat de valori, de exemplu numai 0 și 1 sau 0, 1, 2, 3. Dacă, de pildă $n = 4$ și prima cifră afișată este 0 sau 1, numărul maxim afișabil este 1999 și afișarea se numește cu $3\frac{1}{2}$ cifre (sau cu 2000 puncte de măsurare).

3.8. Caracteristici metrologice ale aparatelor de măsurat.

ACESTE CARACTERISTICI SE REFERĂ LA COMPORTAREA APARATELOR DE MĂSURAT ÎN RAPORT CU OBJEKTUL SUPUS MĂSURĂRII, CU MEIDIUL AMBIANT și CU OPERATORUL UMAN. ELE SE EXPRIMĂ PRIN PARAMETRII FUNCȚIONALI REFERITOR LA MĂRIMILE DE INTRARE, DE IEȘIRE și DE INFLUENȚĂ, PRECUM și LA COMENZILE APARATULUI, FĂRĂ A IMPLICA STRUCTURA SA INTERNĂ.

a) Intervalul de măsurare. Este domeniul, intervalul dintre valoarea minimă și valoarea maximă măsurabile cu un aparat de măsurat.

Unii înțeleg prin interval de măsurare numai intervalul în care măsurarea se face cu o eroare care nu depășește anumite limite.

Intervalul de măsurare poate fi împărțit în game de măsurare (scări de măsurare). Majoritatea aparatelor de măsurat de laborator sunt apарате cu mai multe game de măsurare. Aparatele de măsurat tehnice au de regulă o singură gamă de măsurare.

b) Rezoluția. Se înțelege ce a mai mică variație a măsurandului, care poate fi apreciată pe indicatorul aparatului de măsurat. Notiunea de rezoluție este legată de dispozitivul de afișare a rezultatelor. Astfel, în cazul afișării analogice cu scară gradată și indicator, rezoluția este considerată de obicei o diviziune (uneori de $1/2$ sau $1/3$ diviziuni, presupunând că un operator poate aprecia corect și fracțiuni de diviziune). În cazul afișării numerice, rezoluția este egală cu o cifră a ultimului rang zecimal (un digit).

Rezoluția se exprimă de obicei în unități de mărimi măsurate sau unități relative.

c) Sensibilitatea. Este raportul dintre variația mărimii de ieșire și variația corespunzătoare a mărimii de intrare:

$$S = \frac{dy}{dx}.$$

La aparatelor analogice y se exprimă în diviziuni, în unghi de rotație a sistemului mobil sau în deplasarea indicatorului. În cazul aparatelor cu semnal electric de ieșire y este mărimea de ieșire (tensiune sau curent). La aparatelor de măsurat digitale notiunea de sensibilitate nu este folosită!

În cazul aparatelor de măsurat cu scară liniară între zero și o valoare maximă, sensibilitatea este dată de raportul $S = y/x$ și este de fapt independentă de x. Pentru aceste aparatе se definește și constanta aparatului și ea este inversă sensibilității, adică:

$$c = \frac{1}{S} = \frac{x}{y}. [volti / div, amperi / div, ...]$$

d) Pragul de sensibilitate. Este cea mai mică variație a măsurandului care poate fi pusă în evidență cu ajutorul aparatului de măsurat. Ea este importantă întrucât determină

precizia maximă pe care o poate avea un aparat de măsurat și valoarea minimă nemăsurabilă a măsurandului.

Pragul de sensibilitate este determinat de unul sau mai mulți din următorii factori:

- Rezoluția aparatului de măsurat;
- Fluctuațiile datorită perturbațiilor proprii și exterioare ale aparatului;
- Sensibilitatea indicatorului de nul;

Rezoluția unui aparat de măsurat poate fi mărită teoretic nelimitată prin extinderea scării gradate, multiplicarea optică a deviației indicatorului afișarea unor cifre suplimentare etc.

Nu același lucru se poate afirma despre pragul de sensibilitate. Ultima limită a acestuia este impusă de zgromotul de agitație termică, dat de formula lui Nyquist

e) Precizia. Aparatul de măsurat este caracterizat prin precizia instrumentală, calitate a aparatului de a da rezultate cât mai apropiate de valoarea adevărată a măsurandului. Precizia instrumentală este descrisă de eroarea instrumentală, care include eroarea sistematică și eroare aleatoare proprie aparatului de măsurat.

Precizia instrumentală are două componente: justețe și fidelitate.

Justețea este dată de eroarea de justețe sau sistemerică. Fidelitatea (sau repetabilitatea) este caracterizată de erorile instrumentelor. Eroarea de justețe reprezintă abaterea valorii medii a unui număr mare de valori indicate de aparat față de valoarea reală a măsurandului.

Eroarea de repetabilitate (fidelitate) este abaterea rezultatului unei măsurători individuale față de valoarea medie a indicațiilor. Erorile de justețe se datorează calibrării, îmbătrânirii pieselor, uzurii în timp și cu temperatura etc. Erorile de repetabilitate se datorează imperfecțiunilor constructive, fluctuațiilor inerente ale componentelor electronice, perturbațiilor exterioare etc.

Câteva tipuri de erori instrumentale:

- Eroarea de zero (constantă în tot intervalul de măsurare);
- Eroarea de proporționalitate (multiplicativă), este proporțională cu măsurandul;
- Eroarea de liniaritate;
- Eroarea de histerezis.

Sintetizând cele afirmate mai sus se pot scrie următoarele:

➤ caracteristicile metrologice ale unui aparat sunt proprietățile care determină calitățile acestuia. Aceste proprietăți depind de următoarele aspecte:

- condițiile în care se află aparatul;
- condițiile în care se efectuează măsurătoarea, și sunt influențate de factori externi:
 - temperatură;
 - umiditate;
 - câmpuri electrice și magnetice;
 - poziția aparatului;
 - deformația remanentă a elementelor elastice, care dă cuplul rezistent etc.

Cu cât influența acestor factori este mai mică, cu atât și aparatul are caracteristici metrologice mai bune. Acestea sunt:

➤ precizia, care exprimă gradul de exactitate al rezultatelor în măsurători;

- fidelitatea, care este proprietatea aparatului de avea o variație cât mai mică a indicațiilor la diferite măsurări ale aceleiași mărimii;
- justețea, care este proprietatea aparatului de indicații apropiate de valoarea efectivă a mărimii măsurate;
- sensibilitatea, este calitatea aparatului de a percep cele mai mici variații ale mărimii măsurate; se exprimă prin raportul dintre variația indicației și variația corespunzătoare a mărimii măsurate;
- mobilitatea, este proprietatea aparatului de a avea o inserție cât mai mică, urmărind cât mai rapid variațiile măsurate.

3. 9. Erori de măsurare.

Prin efectuarea unei măsurători, oricât de precise ar fi mijloacele de măsurare și metodele de măsurare, nu se poate obține niciodată valoarea adevărată a mărimii de măsurat. Între valoarea obținută prin măsurare și valoarea adevărată a mărimii măsurate există o diferență care se numește eroare de măsurare.

Cauzele care determină erorile și caracterul lor sunt extrem de diferite. Erorile se datorează imperfecțiunii mijloacelor de măsurare sau metodelor de măsurare, inconstanței în care se efectuează măsurarea, influenței mediului exterior (temperatură, umiditate, câmpuri electrice și magnetice etc.), lipsei de experiență și greșelilor aparatului etc. Pentru obținerea unor rezultate cât mai apropiate de valoarea adevărată a mărimii de măsurat, este necesar ca influența acestor cauze să fie cât mai mult micșorată, sau erorile să fie eliminate prin calcul.

Erorile măsurătorilor

Valoarea adevărată a unei mărimi neputând fi determinată niciodată, definirea erorilor de măsurare se face prin referirea la o valoare de referință x_0 , obținută cu o precizie superioară valorii măsurate, cu mijloace etalon.

Astfel se deosebesc:

- Eroarea de măsurare (eroarea absolută) Δx a unei mărimi reprezintă diferența dintre valoarea măsurată x a mărimii și valoarea de referință x_0 , adică:

$$\Delta x = x - x_0.$$

Eroarea de măsurare este de aceeași natură ca și mărimea de măsurat și ca urmare se exprimă în aceeași unitate de măsură.

Este evident că, pentru aceeași valoare a mărimii măsurate, cu cât eroarea de măsurare este mai mică cu atât măsurarea este mai precisă. Pentru diferite valori ale mărimii măsurate, eroarea de măsurare nu exprimă însă gradul de precizie al măsurării: acesta este dat de eroarea relativă.

Eroarea relativă Δx_r este raportul dintre eroarea de măsurare Δx și valoarea de referință x_0 a mărimii măsurate, adică:

$$\Delta x_r = \frac{\Delta x}{x_0} = \frac{x - x_0}{x_0}.$$

Eroarea relativă se exprimă de regulă; cu cât mai mică cu atât măsurarea este mai precisă.

- Erorile aparatelor de măsurat electrice. Valorile indicate de instrumentele de măsurat se deosebesc de valoarea adevărată a mărimii măsurate datorită:
 - imperfecțiunilor constructive ale aparatelor;
 - influenței mediului exterior;
 - greșelilor de citire și manipulare ale operatorului.
- Eroarea de indicație Δx_i a unui aparat de măsurat reprezintă diferența dintre valoarea indicației x_i a aparatului și valoarea de referință x_0 a mărimii măsurate cu un aparat mult mai precis (aparat etalon):

$$\Delta x_i = x_i - x_0.$$

- Corecția de indicație C reprezintă eroarea de indicație luată cu semn schimbat, adică:

$$C = -\Delta x_i = x_0 - x_i.$$

Adunând corecția la valoarea indicației se obține valoarea de referință a mărimii măsurate.

- Eroarea tolerată de indicație Δx_{iad} este eroarea de indicație maximă a unui aparat de măsurat, admisă de prevederile unui standard de stat, ale unei instrucțiuni de verificare sau ale unei norme oficiale.
- Eroarea relativă a indicației aparatului Δx_α este raportul dintre eroarea de indicație Δx_i și valoarea de referință x_0 a mărimii măsurate adică:

$$\Delta x_\alpha = \frac{\Delta x_i}{x_0} = \frac{x_i - x_0}{x_0}.$$

- Eroarea raportată a indicației aparatului este eroarea de indicație raportată la limita (valoarea) maximă de măsurare x_m a aparatului.

$$\Delta x_\alpha = \frac{\Delta x_i}{x_m} = \frac{x_i - x_0}{x_m},$$

ea caracterizează precizia aparatului de măsurat. Atât eroarea relativă cât și eroarea repetată a indicației se exprimă în procente.

- Clasa de precizie reprezintă raportul dintre eroarea tolerată de indicație Δx_{iad} și limita maximă de măsurare x_m a aparatului, exprimată în procente

$$C = \frac{\Delta x_{iad}}{x_m} \cdot 100 [\%].$$

Clasa de precizie constituie o caracteristică a aparatelor de măsurat electrice după care se face clasificare lor din punct de vedere al preciziei. Conform standardelor care funcționează în țara noastră, clasele de precizie ale aparatelor de măsurat electrice sunt: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5.

Cunoscându-se clasa de precizie a aparatului de măsurat, se poate deduce eroarea tolerată de indicație Δx_{iad} cu ajutorul relației:

$$\Delta x_{iad} = \frac{C}{100} \cdot x_m [\%] \text{ exprimată în unitățile scrise pe scara sa.}$$

Cap 4. APARATE DE MĂSURAT ANALOGICE.

4. 1. Principii de funcționare.

Funcționarea aparatelor de măsurat analogice se bazează pe transformarea energiei electrice sau magnetice a mărimii de măsurat (sau semnalul electric intermediu) în energie mecanică, energie care produce mărimea perceptibilă sub forma unei deplasări unghiulare sau liniare a unui echipaj mobil. Transformarea energiei are loc în conformitate cu fenomenul fizic care stă la baza construcției și funcționării dispozitivului de măsurat.

Dispozitivele de măsurat ale aparatelor analogice se compun, în general, dintr-o parte fixă și o parte mobilă. Partea mobilă se deplasează sub acțiunea unui cuplu de forțe, denumit cuplu activ M_a , care apare ca urmare a interacțiunii dintre mărurile fizice (dintre care una este mărimea de măsurat sau semnalul electric intermediu) existente în cele două părți.

Cuplul activ depinde de valoarea energiei câmpului magnetic sau electric produs de semnalul electric primit, deci de mărimea de măsurat x și de principiul de funcționare al dispozitivului de măsurat. Fiecarei valori a mărimii de măsurat îi corespunde pentru aparatul dat o valoare complet determinată a cuplului activ, adică

$$M_a = f(x).$$

Dacă asupra echipajului mobil al dispozitivului de măsurat acționează numai cuplul activ, acesta s-ar deplasa până la limita extremă, indiferent de valoarea mărimii de măsurat.

Pentru ca fiecarei valori a mărimii de măsurat să îi corespundă o anumită deplasare, cuplul activ este echilibrat de un cuplu de sens contrar, proporțional cu unghiul de rotație α , a echipajului mobil, denumit cuplu rezistent M_r :

$$M_r = D \cdot \alpha,$$

unde: D este o constantă constructivă, denumită cuplu rezistent specific.

Cuplul rezistent poate fi creat pe cale mecanică, cu ajutorul unor elemente elastice, pe cale magnetică sau electrică.

Prin urmare echipajul mobil se rotește sub acțiunea simultană a cuplului activ și a cuplului rezistent, până când acesta din urmă, crescând cu unghiul de rotire, egalează cuplul activ. Unghiul de rotire pentru care se obține echilibrul se numește deviație permanentă. Poziția de echilibru se caracterizează deci prin aceea că suma cuplurilor care acționează asupra echipajului mobil este nulă. Dacă se neglijeează într-o primă aproximare cuplul de frecare, această condiție se scrie:

$$M_a - M_r = 0, \text{ sau}$$

$$f(x) - D \cdot \alpha = 0, \text{ de unde } \alpha = f(x)/D = f_1(x)$$

Funcția $f_1(x)$ exprimă dependența deviației α a echipajului mobil de mărimea de măsurat x și reprezintă caracteristica de transfer statică a aparatelor de măsurat

analogice. Pe de altă parte, ea poate fi considerată și ca o caracteristică a scării, deoarece determină așezarea relativă a reperelor pe scară.

La aparatelor la care echipajul mobil se rezemă pe lagăre apar frecări, care dau naștere unui cuplu de frecare, orientat în sens opus rotirii.

Ca efect al acestui cuplu, echipajul mobil se stabilește la poziția de echilibru ceva mai înainte decât în lipsa frecării. Valoarea cuplului de frecări se stabilăște experimental, și este determinată de greutatea echipajului mobil, de materialul și de starea suprafețelor lagărelor și pivotilor.

4. 2. Clasificarea aparatelor de măsurat analogice.

Aparatele de măsurat analogice sunt de o mare diversitate constructivă, determinată în primul rând de natura fenomenului fizic care stă la baza funcționării lor. Astfel se deosebesc următoarele grupe de apарат analogice, clasificate după principiul de funcționare:

→ Aparate magnetoelectrice, care folosesc interacțiunea dintre câmpul unui magnet permanent și una sau mai multe bobine parcurse de curenți continui; după cum este mobilă bobina sau magnetul permanent, aceste apărate se subîmpart în apărate cu cadrul mobil și apărate cu magnet mobil;

→ Aparate feromagnetice (cu fier mobil) care conțin o piesă mobilă din fier supusă acțiunii câmpului unei bobine fixe parcursă de curent sau a echipajului unei piese fixe din fier magnetizată de curent;

→ Aparate electrodinamice, folosesc acțiunea forțelor electrodinamice care se manifestă între bobinele fixe și mobile parcurse de curenți;

→ Aparate ferodinamice, funcțional sunt identice cu cele electrodinamice, doar că pentru întărirea câmpului magnetic folosesc niște piese feromagnetice;

→ Aparate de inducție, folosesc interacțiunea dintre câmpurile magnetice produse de una sau mai multe bobine fixe parcurse de curenți alternativi și curenți induși de aceștia în piese conductoare mobile;

→ Aparate electrostatice, care funcționează sub acțiunea forțelor electrostatice care se exercită între piesele metalice fixe și mobile între care există diferență de potențial electric;

→ Aparate termice cu fir cald, funcționează sub acțiunea forțelor de tensiune (alungire) care iau naștere ca urmare a dilatației firelor încălzite de curentul de măsurat.;

→ Aparate bimetalice, în care se folosește deformarea unei lamele din bimetal datorită încălzirii directe sau indirecte de către curentul de măsurat;

→ Aparate cu termocuplu, în care se măsoară cu ajutorul unui aparat magnetoelectric tensiunea electromotoare a unui termocuplu încălzit de curentul de măsurat;

→ Aparate cu redresor, care sunt formate dintr-un aparat de măsurat magnetoelectric asociat cu un dispozitiv redresor, cu ajutorul cărora se măsoară curenți sau tensiuni alternative;

→ Aparate cu lame vibrante, a căror funcționare se bazează pe acțiunea unui electromagnet de curent alternativ, combinat sau necombinat cu un magnet, asupra unor lamele metalice care intră în rezonanță.

Principiul de funcționare a dispozitivului de măsurat este indicat pe cadrul fiecărui aparat de măsurat prin diferite simboluri (fig. 4.1).

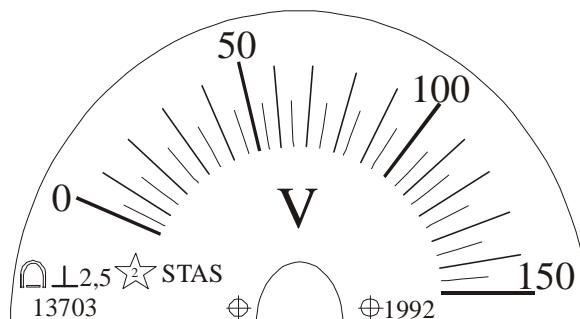


Figura 4. 1. Cadranul unui voltmetru

Pe cadran se mai inscripționează:

- unitatea de măsură;
- natura curentului;
- clasa de precizie;
- poziția normală de funcționare;
- tensiunea de încercare dielectrică;
- valorile nominale ale mărimii;
- marca fabricii.

Simbolurile aparatelor de măsurat electrice

Principiul de funcționare	
Magnetoelectric (cu cadru mobil)	
Magnetoelectric (cu magnet mobil)	
Logometru magnetoelectric	
Ferromagnetic	
Logometru feromagnetic	
Electrodinamic	
Ferodinamic	
Logometru electrodinamic	
De inducție	
Electrostatic	
Termic cu fir cald	

Bimetalic	
Magnetoelectric cu termocuplu	
Magnetoelectric cu redresor	
Natura curentului	
Curent continuu	
Curent alternativ	
Continuu și alternativ monofazat	
Clasa de precizie: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5	
Valoarea maximă a domeniului	0,5
Lungimea scării gradate	0,5
Pozitia normală de funcționare	
Verticală	
Orizontală	
Înclinată față de orizontală la 60°	
Tensiunea de încercare dielectrică	
500 V	
Peste 500 V, de exemplu 2 kV	
Fără încercare dielectrică	

4. 3. Părțile componente ale aparatelor de măsurat analogice.

Deși sunt de o mare diversitate din punct de vedere al construcției și principiului de funcționare, aparatele de măsurat analogice au o serie de elemente componente comune, care diferă între ele numai constructiv, funcție de tipul aparatului, destinația lui și de condițiile de exploatare.

Aparatele analogice se compun ca orice aparat electric de măsurat din: dispozitivul de măsurat, traductorul și accesoriile.

4.3.1. Dispozitivul de măsurat

Este format din ansamblul de organe din a căror interacțiune rezultă (apar) forțe mecanice care determină mișcarea unui echipaj mobil, ale căruia deplasări, liniare sau unghiulare reprezintă valoarea mărimii măsurate.

Constructiv, ele diferă de la un tip de aparat la altul dependent de principiu de funcționare. În general, el se compun dintr-o parte fixă și o parte mobilă, alcătuite fiecare din elemente active și elemente auxiliare.

- elementele active ale dispozitivului de măsurat. Sunt acelea care în prezență mărimii electrice de măsurat interacționează producând deplasarea părții mobile. Se deosebesc ca elemente active: echipajul fix și echipajul mobil.

- Echipajul fix produce câmpul magnetic sau electric ce determină mișcarea echipajului mobil. El poate fi alcătuit din unul sau mai mulți magneți permanenți (la apărătele magnetoelectrice), din una sau mai multe bobine (la apărătele feromagnetice, electrodinamice și ferodinamice), un sistem de plăci conductoare (la apărătele electrostatice), conductoare de curent (la apărătele termice cu fir cald);
- Echipajul mobil produce un câmp de aceeași natură cu cel produs de echipajul fix, cu care interacționează și dă naștere forțelor sau cuplului mecanic. Echipajul mobil poate fi construit din bobine mobile în formă de cadru (la apărătele magnetoelectrice, electrodinamice, ferodinamice), plăci metalice (feromagnetice și electrostatice), discuri nemagnetice (la apărătele de inducție) sau pârghii moile (la apărătele termice cu fir cald). Echipajul mobil este fixat pe un ax care se sprijină în lagăre, sau este suspendat pe benzi tensionate sau pe fire de torsiu.

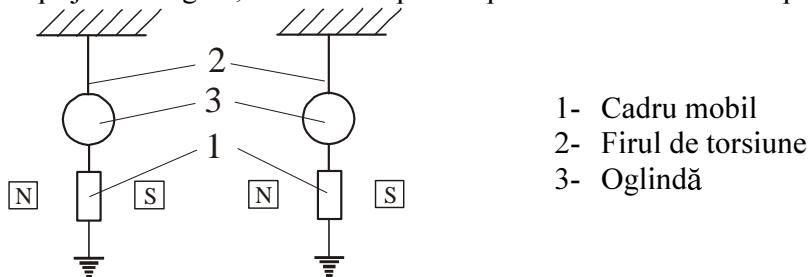


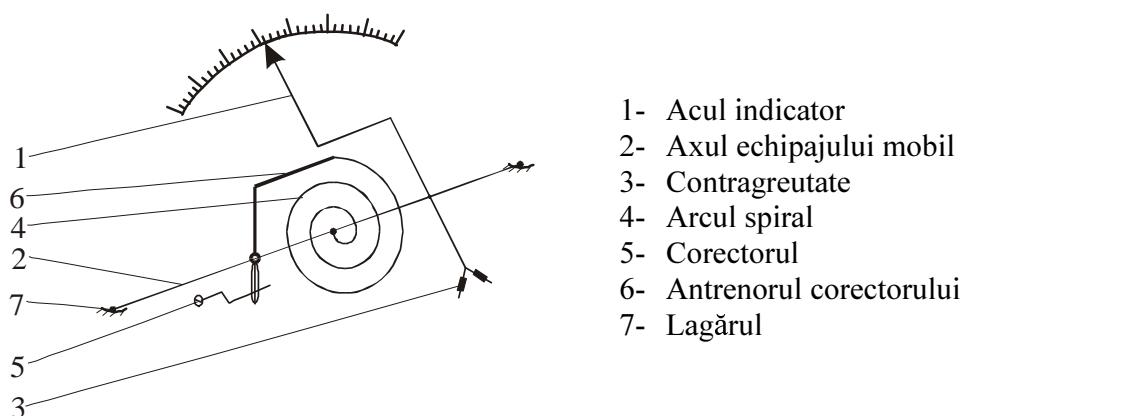
Figura 4. 2. Echipaj mobil cu fir de torsiu

- Elementele auxiliare ale dispozitivului de măsurat. Aceste elemente concură alături de cele active la obținerea unei deplasări a echipajului mobil proporțională cu mărimea de măsurat, la indicarea valorii acesteia, la reglarea și funcționarea optimă a dispozitivului de măsurat, precum și la fixarea și consolidarea diverselor elemente componente. Principalele elemente auxiliare sunt:

- a) Dispozitivul de producere a cuplului rezistent;
- b) Corectorul de zero;
- c) Dispozitivul de citire;
- d) Amortizorul.

Dispozitivul de producere a cuplului rezistent se opune și echilibrează forțele sau cuplul mecanic care apar între elementele active pe cale mecanică, electrică sau magnetică.

Cuplul rezistent este creat la majoritatea aparatelor de arcuri spirale, iar la apărătele cu echipaj mobil suspendat pe benzi sau fire de torsiu – chiar de benzile sau firele de suspensie, prin răsucirea sau dezrăsucirea lor odată cu rotirea echipajului mobil.



- 1- Acul indicator
- 2- Axul echipajului mobil
- 3- Contragreutate
- 4- Arcul spiral
- 5- Corectorul
- 6- Antrenorul corectorului
- 7- Lagărul

Figura 4. 3. Dispozitivul de producere a cuplului rezistent pe cale mecanică.

Dacă deformările sunt mici, sub limita de elasticitate a materialului, cuplul rezistent mecanic este proporțional cu unghiul de rotație α a echipajului mobil, adică:

$$M_r = D \cdot \alpha,$$

unde: D este o constantă constructivă a elementului elastic, denumită cuplu rezistent specific.

Arcurile spirale ca și benzile și firele de suspensie servesc și la revenirea echipajului mobil la zero după efectuarea măsurării, iar la unele aparate la aducerea curentului la bobina mobilă.

Arcurile spirale sunt fixate cu un capăt de axul echipajului mobil, iar cu celălalt capăt de șasiul dispozitivului de măsurat dau de o piesă mobilă numită corector de zero.

Cuplul rezistent electric este produs în același mod ca și cuplul activ de forțele electromagnetice. Dispozitivele de măsurat cu cuplul rezistent elastic au echipajul mobil revăzut cu două bobine încrucișate sub un anumit unghi, fixate pe același ax, asupra căror acționează cupluri orientate în sensuri contrare, dintre care unul este cuplul activ, iar celălalt este cuplul rezistent.

Cuplul rezistent magnetic este creat de interacțiunea dintre curenții induși de un magnet permanent într-un disc de aluminiu, care se rotește între polii săi și câmpul magnetului.

Corectorul de zero servește la reglarea poziției de zero a dispozitivului de citire al aparatului. El constă dintr-un șurub prevăzut cu o tijă excentrică față de axa de rotație, care poate deplasa prin intermediul unui antrenor punctul de fixare a uneia dintre arcurile spirale.

Dispozitivul de citire este alcătuit din ansamblul elementelor care indică valoarea mărimii măsurate. El este alcătuit dintr-un indicator, solitar cu echipajul mobil, care se mișcă în fața unei scări gradate, trasată pe un cadran.

Scara gradată, reprezentă totalitatea reperelor și cifrelor dispuse de-a lungul unei linii drepte sau curbe, cuprinzând (corespunzând) unui și de valori ale mărimii de măsurat. Scările pot fi gradate uniform sau neuniform, după cum intervalele dintre repere (diviziuni) sunt egale sau nu între ele.

Cadranul este suprafață (de obicei metalică) pe care este trasată scara gradată și sunt înscrise simbolurile și caracteristicile dispozitivului de măsurat. Forma cadrelor este diferită în funcție de forma aparatului și de unghiul maxim de deviație a echipajului mobil (între 90° și 240°).

Indicatorul arată deplasarea echipajului mobil. El este în general un ac rigid de aluminiu, cu vârful în formă de săgeată sau cuțit, fixat pe axul echipajului mobil și echilibrat cu două contragreutăți plasate în partea opusă. La aparatele de mare sensibilitate se folosesc indicatoare cu spot luminos. Acestea constau dintr-o mică oglindă fixată pe echipajul mobil, care reflectă o rază de lumină primită de la o sursă aflată în interiorul sau în afara aparatului, trimițând-o sub forma unui spot luminos pe o riglă gradată exterioară sau pe un cadran interior.

Amortizorul – temperează mișcarea indicatorului stabilindu-l în poziția de echilibru, astfel încât să se evite oscilațiile. Ca dispozitive de amortizare se folosesc cele cu aer și amortizoarele magnetice.

Amortizoarele cu aer sunt alcătuite dintr-un tub închis la capete, în interiorul căruia se mișcă o paletă sau un piston solitar cu axul echipajului mobil. Prin rezistența pe care o opune mișcării paletei se amortizează oscilațiile echipajului mobil.

Amortizoarele magnetice sunt alcătuite dintr-un disc (sau sector) din material nemagnetic, fixat pe axul echipajului mobil, care se mișcă între polii unui magnet permanent (fig 4.4).

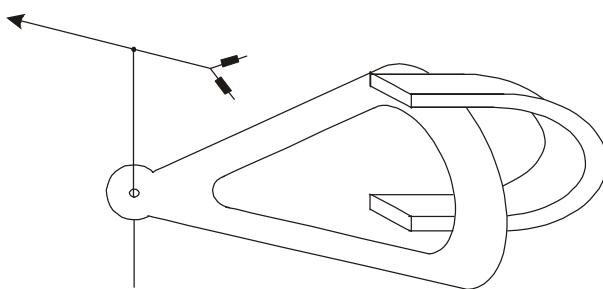


Figura 4. 4. Amortizor

Datorită interacțiunii dintre curenții turbionari ce iau naștere în disc la mișcarea acestuia în câmpul magnetic permanent și fluxul magnetic al acestuia, se produce un cuplu care se opune mișcării discului. Se obține astfel frânarea discului și amortizarea rapidă a oscilațiilor echipajului mobil.

4. 4. Tipuri de aparate de măsurare analogice

În cele ce urmează vor fi prezentate câteva tipuri principale de aparate de măsurare analogice.

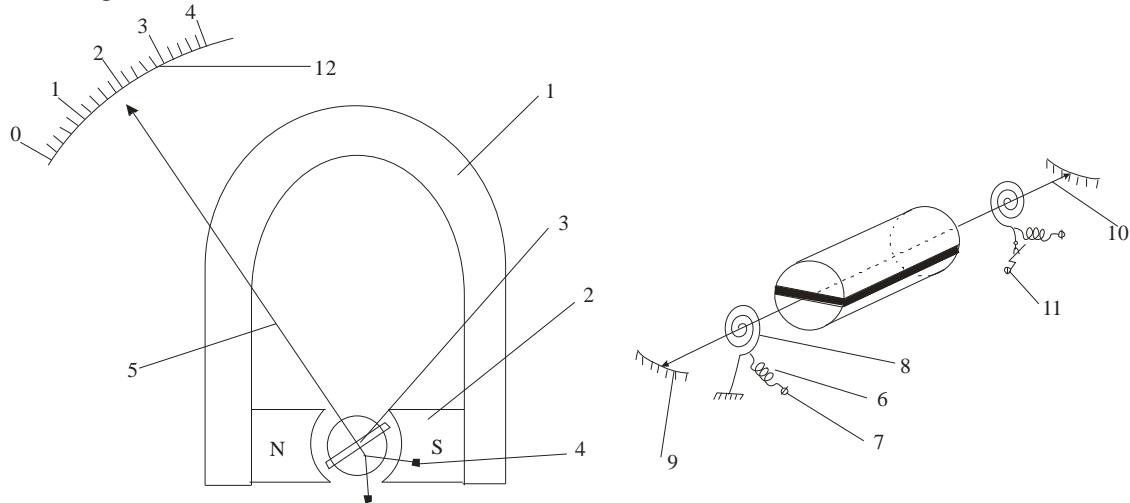
4.4.1. Aparate magnetoelectrice

Funcționează pe baza interacțiunii dintre câmpul magnetic produs de un magnet permanent și un curent electric ce străbate o bobină, de regulă mobilă cuplată pe echipamentul mobil. Există două variante de realizare practică a dispozitivului și anume:

- magnetul permanent este fix iar bobina mobilă;
- bobina fixă și magnetul este mobil, fiind solidar cu axul echipajului mobil.

În prima variantă, situație mai des întâlnită (fig 4.5) magnetul permanent este fix și este dispus în exterior, fiind prevăzut cu două piese polare și cu un miez de fier. Echipamentul activ al echipajului mobil îl constituie bobina mobilă care înconjoară miezul putându-se rota în întregierul cilindric dintre piesele polare și miez, sprijinindu-se

pe două lagăre prin intermediul unor semiaxe. Pe semiaxe sunt fixate acul indicator cu contragreutățile de echilibrare și două resoarte spirale înfășurate în sensuri opuse pentru a compensa efectele vibrațiilor de temperatură. Resoartele spirale servesc și la alimentarea cu energie electrică a bobinei mobile.



1.magnet fix; 2. poli magnetici; 3. bobină mobilă; 4. contragreutăți; 5. ax indicator; 6. arcuri spirale; 7. borne alimentare; 8. arc spire; 9. lagăr; 10. ax echipament mobil; 11. dispozitiv corector de zero; 12. scală gradată

Figura 4. 5. Schema principală a dispozitivului magnetoelectric.

De menționat că magnetul permanent se confectionează din aliaj magnetic dur (alnico, magnico etc.) și se caracterizează prin inducție remanentă și câmp coercitiv de valori relativ mari, pentru a produce în întrefier un câmp magnetic puternic (0,2 – 0,5 T).

Bobina mobilă se realizează prin înfășurarea unui conductor subțire, de diametru minim utilizat de 0,03 mm, din cupru sau din aluminiu emailat, pe un cadru dreptunghiular din tablă de aluminiu.

Cadrul reprezintă o spiră în scurtcircuit și servește la amortizarea oscilațiilor dispozitivului mobil datorită interacțiunii dintre curentii induși de el în timpul mișcării și inducția magnetică din întrefier.

Cuplul activ este proporțional cu inducția magnetică B în întrefier cu suprafața activă a bobinei $S = b \cdot l$ (unde b este lățimea și l , lungimea părții active a spirelor bobinei), cu n numărul de spire al bobinei și curentul I care trece prin bobină, adică:

$$M_a = 2 \cdot F \cdot \frac{b}{2} = B \cdot l \cdot n \cdot I \cdot b = B \cdot S \cdot n \cdot I .$$

Bobina mobilă se rotește până când cuplul rezistent dat de arcurile spirale ($M_r = D \cdot \alpha$), crescând cu unghiul de rotire, egalează cuplul activ ($M_r = M_a$). Din egalitatea expresiilor celor două cupluri rezultă ecuația caracteristică a scării, care dă valoarea unghiului de deviație și anume:

$$\alpha = \frac{B \cdot S \cdot n}{D} \cdot I = S_I \cdot I .$$

Raportul $S_I = \frac{B \cdot S \cdot n}{D}$ este compus numai din mărimi constructive constante și reprezintă sensibilitatea dispozitivului față de current, adică deviația echipajului mobil pentru un curent egal cu unitatea.

Caracteristici

- caracteristica scalei arată că la dispozitivele de măsurat magnetoelectrice deviația echipajului mobil este proporțională cu curentul de măsurat și deci scara gradată a aparatului este uniformă;
- aceste aparate se folosesc numai în curent continuu. În curent alternativ echipajul mobil nu poate urmări variațiile acestuia din urmă, din cauza momentului său de inerție relativ mare; astfel că deviația sa este determinată de cuprul activ mediu pentru perioada curentului, care pentru un curent sinusoidal este egal cu zero;
- aceste aparate sunt influențate de temperatură și de câmpurile magnetice exterioare. Influența temperaturii se manifestă prin variația rezistență bobinei, variația elasticității arcurilor spirale, deci și a cuprului rezistent și variația inducției în întreafier, adică a cuprului activ. Cuprul rezistent și cel activ variază practic în aceeași măsură, motiv pentru care efectele se compensează. Importantă este variația rezistenței pentru a cărei compensare se folosesc scheme speciale de compensare. Influența câmpurilor magnetice exterioare este neînsemnată, deoarece câmpul magnetic propriu al instrumentelor magnetoelectrice este foarte puternic;
- au un consum specific propriu foarte redus (cățiva mW);
- au dezavantajul că nu funcționează decât în curent continuu și nu suportă supraîncărcări din cauza arcurilor spirale.

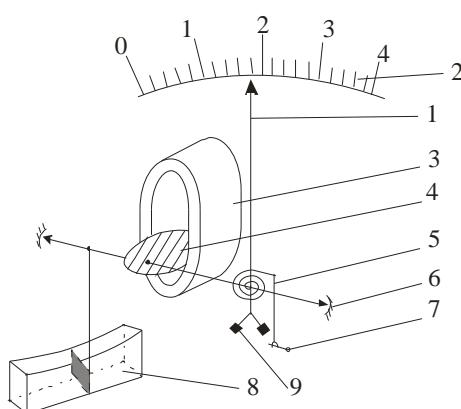
4.4.2. Dispozitive de măsurat feromagnetice

Funcționarea acestor dispozitive se bazează pe interacțiunea dintre câmpul magnetic al unei bobine fixe, parcursă de curentul de măsurat și unul sau mai multe miezuri magnetice mobile realizate dintr-un material feromagnetic. Echipajul mobil trebuie să se așzeze astfel încât să întărească câmpul magnetic al bobinei.

Din punct de vedere al interacțiunii elementelor sale, dispozitivele de măsură feromagnetice sunt de două tipuri:

- de atracție, la care echipajul mobil este atras de câmpul magnetic al bobinei;
- de repulsie, la care echipajul mobil este respins din câmpul magnetic al bobinei.

- A. Dispozitivele de măsurat feromagnetic de atracție sunt construite dintr-o bobină plată cu o fereastră îngustă în interiorul căreia poate pătrunde miezul din material magnetic moale, fixat excentric pe axul echipajului mobil. Pe ax sunt fixate de asemenea acul indicator cu contragreutăți, arcul spiral pentru crearea cuprului rezistent legat cu celălalt capăt la corectorul de zero și paleta amortizorului. La trecerea curentului prin înfășurarea bobinei, sub acțiunea câmpului magnetic al acestuia, miezul este atras în interiorul bobinei.



1. ac indicator
2. scară gradată
3. bobină fixă
4. miezul magnetic
5. corectorul de zero
6. lagăre
7. șurubul de acționare a corectorului
8. amortizor cu paletă
9. contragreutăți

Figura 4. 6. Dispozitiv de măsurat feromagnetic de atracție.

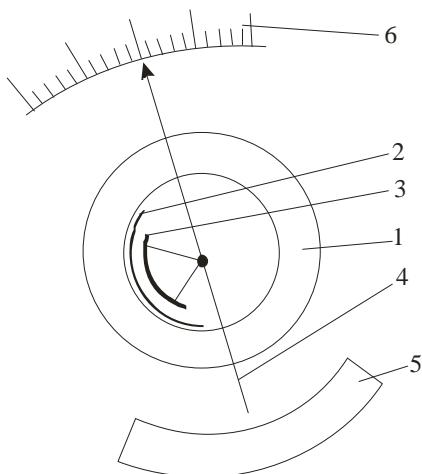
B. Dispozitivele de măsurat feromagnetice de repulsie (mai des folosite) sunt compuse dintr-o bobină cilindrică în interiorul căreia se găsesc două piese din otel magnetic moale, una fixă și alta mobilă fixată pe ax (fig 4.7). Pe același ax sunt fixate de asemenea acul indicator, amortizorul și arcul spiral pentru crearea cuplului rezistent. Bobina este înconjurată de un ecran magnetic din oțel. La trecerea curentului prin bobină, cele două spirale se magnetizează în același fel și ca urmare se resping, piesa mobilă împreună cu axul discului rotindu-se cu un unghi oarecare.

Cuplul activ al dispozitivelor de măsurat feromagnetice este proporțional cu pătratul curentului care trece prin bobină, adică:

$$M_a = k \cdot I^2.$$

Acest cuplu este echilibrat de cuplul rezistent dat de arcurile spirale ($M_r = D \cdot \alpha$), astfel că rezultă caracteristica scării:

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



1. bobină fixă
2. piesă feromagnetică fixă
3. piesă feromagnetică mobilă
4. ac indicator
5. amortizor cu arc
6. scală gradată

Figura 4. 7. Dispozitiv de măsurat feromagnetic de repulsie.

Caracteristici

- Scara gradată a dispozitivului de măsurat feromagnetic este pătrată. Se obține o uniformizare a scării gradate începând de la 15-20% din valoarea limită superioară a mărimii de măsurat, prin modificarea formei pieselor feromagnetice și a poziției lor inițiale față de bobină.
 - În curent alternativ, odată cu schimbarea sensului curentului se schimbă atât direcția fluxului magnetic cât și polaritatea pieselor feromagnetice, cuplul activ acționează tot timpul în același sens. Echipajul mobil având o inertie mare deviază sub acțiunea valorii medii a cuplului activ în cursul unei perioade și prin urmare, deviația echipajului mobil este proporțională cu pătratul valorii efective a mărimii de măsurat. Rezultă deci că dispozitivele de măsurat feromagnetice pot fi întrebuintate atât în curent continuu cât și în curent alternativ, deviația fiind dependență de pătratul curentului care trece prin bobină.
 - Indicațiile dispozitivelor de măsurat feromagnetice sunt influențate de fenomenul de histerezis și de curenții turbionari care intervin în piesele feromagnetice. La funcționarea în curent continuu datorită fenomenului de histerezis al piesei feromagnetice mobile, aparatele dau indicații diferite (mai mici cu 3-4% din lungimea scalei) la valorile crescătoare și descrescătoare ale curentului. Al funcționarea în curent alternativ, datorită curenților turbionari induși în piesele feromagnetice, care au o acțiune demagnetizantă, indicațiile aparatelor sunt cu ceva mai mici decât în curent continuu.
 - Câmpurile magnetice exterioare influențează puternic dispozitivele acestea, deoarece câmpul magnetic propriu al acestor apарат este foarte redus. Reducerea acestei influențe se realizează prin ecranarea dispozitivelor de măsurat cu învelișul feromagnetic sau prin construcția astatică a dispozitivelor de măsurat. Dispozitivele astatici sunt prevăzute cu două bobine identice conectate în serie, rotite una față de celalătă cu 180° și ale căror câmpuri magnetice sunt egale, dar de sensuri contrare. Bobinele au miezuri separate, identice și fixate pe un ax comun. Câmpul exterior nu influențează indicațiile aparatului astatic, deoarece în măsura în care slăbește câmpul unei bobine, în aceeași măsură întărește pe celălalt, astfel că, câmpul magnetic resultant rămâne neschimbat.
 - Rezistă la suprasarcini foarte bine, simplitate și preț de cost scăzut.
 - Consum propriu mare $0.5 \div 7.5$ VA .
 - Sensibilitatea este redusă iar indicațiile depind de câmpurile magnetice exterioare.

4.4.3. Dispozitive de măsurat electrodinamice și ferodinamice

La aceste dispozitive de măsurat pentru deplasarea sistemului mobil se folosește energia câmpului magnetic a sistemului format din una sau mai multe bobine fixe (care produc câmpul magnetic) și una sau mai multe bobine mobile (care se mișcă în acest câmp).

Dispozitivele de măsurat electrodinamice sunt construite dintr-o bobină fixă cilindrică compusă din două jumătăți identice (legate în serie sau în paralel) și o bobină mobilă, care se mișcă în interiorul bobinei fixe în câmpul produs de aceasta. Bobina mobilă este fixată pe axul echipamentului mobil, de care mai sunt prinse acul indicator, contragreutățile și paleta amortizorului. Curentul este adus la bobina mobilă prin două arcuri spirale, care servesc și la crearea cuplului rezistent.

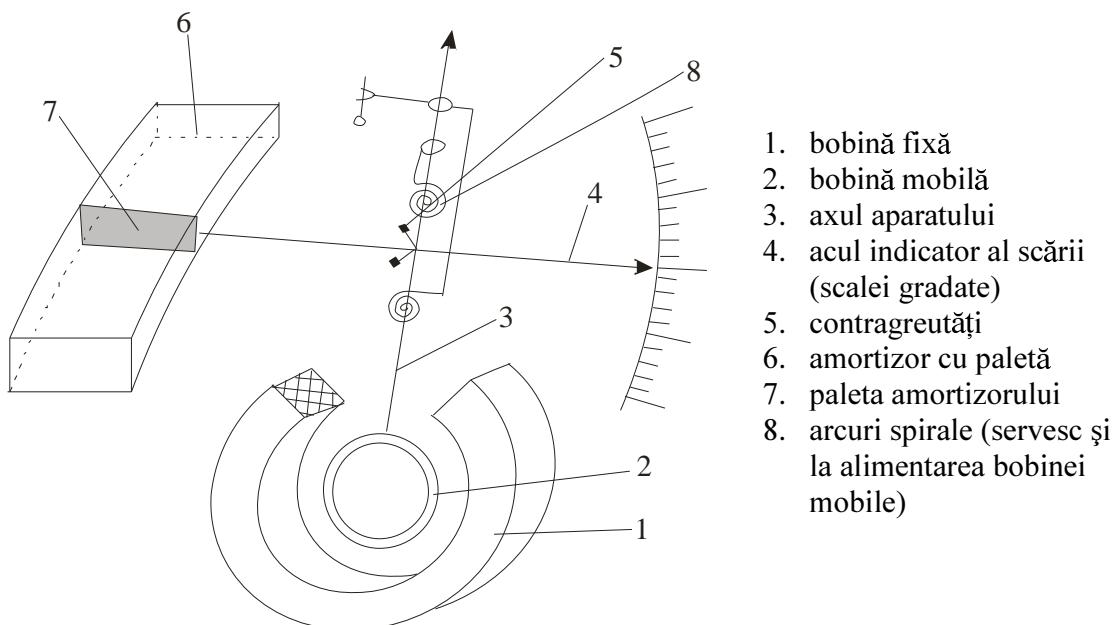


Figura 4. 8. Dispozitiv de măsurat electrodinamic.

Dispozitivele ferodinamice

Se deosebesc de cele electrodinamice prin aceea că au circuitul magnetic al bobinei fixe alcătuit în cea mai mare parte din material feromagnetic ceea ce permite obținerea unui câmp magnetic intens și a unui cuplu magnetic mult mai mare. Construcția dispozitivelor de măsurat **ferodinamice** este în mare parte asemănătoare cu **dispozitivele magnetolectrice** cu deosebirea că **magnetul permanent este înlocuit cu un electromagnet**. În întrefierul acestor aparate, se creează de asemenea un câmp **magnetic uniform și variabil, a cărui inducție este proporțională cu curentul din bobina fixă**.

La trecerea curentului prin bobine ca urmare a interacțiunii acestor curenți cu fluxurile magnetice, ia naștere un cuplu activ, care tinde să rotească bobina într-o poziție, în care prin bobină să treacă un flux mai mare a fluxului bobinei fixe, adică fluxurile celor două bobine să coincidă.

La funcționarea în curent continuu, cuplul activ este proporțional cu produsul curenților I_1 și I_2 prin cele două bobine, adică:

$$M_a = k \cdot I_1 \cdot I_2.$$

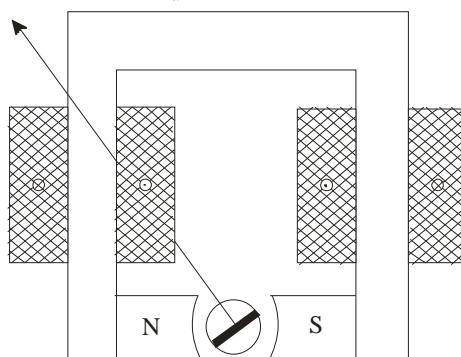


Figura 4. 9. Dispozitivul echipajului mobil.

Cuplul activ rotește până când este echilibrat de cuplul rezistent $M_r = D \cdot \alpha$, dat de arcurile spirale. Din condiția de echilibru $M_a = M_r$, rezultă ecuația caracteristică a scării și anume:

$$\alpha = \frac{k}{D} I_1 \cdot I_2 = K \cdot I_1 \cdot I_2.$$

Prin urmare în curent continuu deviația este proporțională cu produsul curenților prin cele două bobine.

Dacă bobinele se inseriază, curentul prin ele va fi același, adică $I_1 = I_2 = I$ și ca urmare deviația este proporțională cu pătratul acestui curent, adică $\alpha = k \cdot I^2$, deci scara aparatului este pătratică. Prin alegerea corespunzătoare a dimensiunilor bobinelor și a poziției lor reciproce, se poate obține uniformizarea scării pe aproape toată lungimea ei.

La funcționarea în curent continuu, la schimbarea concomitentă a sensurilor curenților I_1 și I_2 , sensul cuplului activ nu se modifică, astfel că dispozitivele de măsurat electrodinamice și ferodinamice pot funcționa și în curent alternativ. La trecerea curentului alternativ, datorită inerției sale, echipajul mobil nu poate urmări variațiile cuplului activ instantaneu, deviația lui fiind determinată de valoarea medie a cuplului activ M_{amed} într-o perioadă, care pentru curenții sinusoidali are expresia:

$$M_{amed} = \frac{1}{T} \int_0^T i_1(t) \cdot i_2(t) \cdot k \cdot dt = k \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\angle I_1, I_2)$$

Din condiția de echilibru $M_a = M_r$, rezultă ecuația caracteristică a scării și anume:

$$\alpha = \frac{k}{D} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\angle I_1, I_2) = K \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\angle I_1, I_2) = K$$

Caracteristici

- Dispozitivele de măsurat electrodinamice și ferodinamice pot fi utilizate atât în curent continuu, cât și în curent alternativ.
- Indicațiile dispozitivelor de măsurat electrodinamice și ferodinamice sunt influențate de câmpurile magnetice exterioare, de variația frecvenței curentului și a temperaturii mediului. Pentru eliminarea influenței câmpurilor exterioare, dispozitivele de măsurat electrodinamice se ecranează;
- Precizia foarte ridicată și comportarea identică în curent continuu și curent alternativ. Marea lor precizie se datorează absenței oțelului în interiorul bobinelor, ceea ce înlătură influența histerezisului magnetic și a curenților turbionari asupra indicațiilor.

Aparatele electrodinamice sunt utilizate ca aparte de laborator (clasa 0,2-0,5) și ca aparate etalon pentru circuitele de curent alternativ.

- Consum specific ridicat (2 - 4 W) și rezistență scăzută la suprasarcină, preț de cost relativ ridicat și scară neuniformă.

4.4.4. Dispozitive de măsurat de inducție

Principiul de funcționare al acestor dispozitive constă în interacțiunea dintre fluxurile magnetice create de una sau mai multe bobine și curenții induși de aceste fluxuri în sistemul mobil sau în anumite părți metalice ale acestuia. Prin urmare sunt dispozitive ce pot funcționa în curent alternativ, fiind bazate pe fenomenul de inducție electromagnetică. Simbolizarea lor de face conform 4.13:

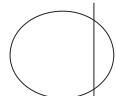


Fig. 4.13. Simbolizarea dispozitivului de inducție

Constructiv dispozitivul de inducție poate fi realizat cu un flux sau cu mai multe fluxuri (numărul de fluxuri se deduce din numărul de intersecții pe care îl asigură fluxul magnetic cu echipajul mobil), fig 4.14:

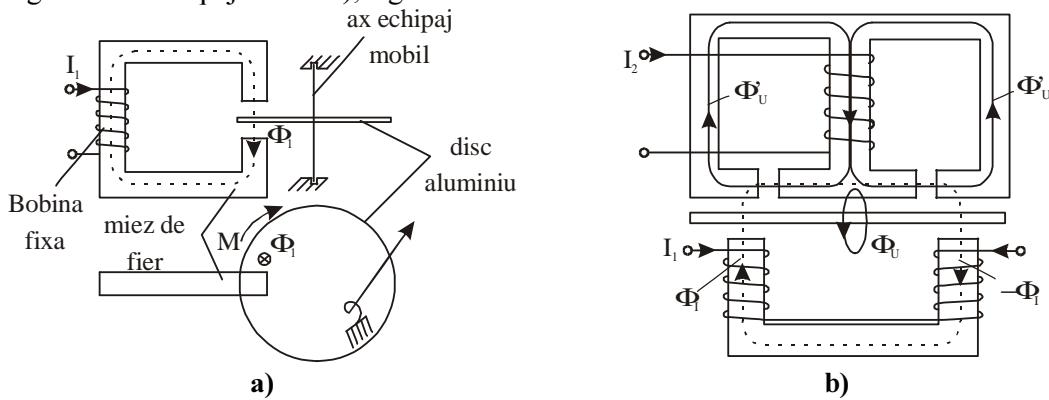


Fig. 4.14. Dispozitiv de măsurat de inducție: a) cu un flux; b) cu trei fluxuri.

Dispozitivul cu un flux, funcționează astfel: curentul I_1 produce fluxul Φ_1 , care induce curenții turbionari I_1^* în disc. Cuplul motor este produs de interacțiunea dintre Φ_1 și I_1^* , ambele dependente de I_1 ; deci deviația instrumentului va depinde de I_1 .

În cazul cu mai multe fluxuri, se produc mai multe interacțiuni flux-curenții turbionari induși, care determină cuplul motor rezultant. Fluxurile sunt decalate în timp și în spațiu, putând produce un câmp magnetic rezultant învărtitor sau de fugă.

Deducerea expresiei cuplului motor se va efectua pentru un dispozitiv cu două fluxuri, Φ_1 și Φ_2 produse de curenții sinusoidali I_1 și I_2 cu unghiul φ care alimentează bobinele B_1 și B_2 ale electromagnetelor 1 și 2 (fig 4.14. a și b)

Fluxurile Φ_1 și Φ_2 în fază cu curenții i_1 și i_2 induc în disc tensiunile electromotoare e_1 și e_2 (decalate cu $\pi/2$ în urma acestora), care produc curenții turbionari i_1^* și i_2^* în fază cu e_1 și e_2 , presupunând discul nereactiv. Forța instantanee de interacțiune între fluxuri și curenții turbionari este de forma:

$$F = k \cdot i^* \cdot \Phi_m \sin(\omega t - g) \text{ unde:}$$

k este o constantă;

$$i^* = I_m \sin \omega t ;$$

g – unghiul de decalaj dintre curent și fluxul Φ .

Discul nu poate acționa sub acțiunea forței instantanee, ci a celei medii, astfel interacțiunile posibile sunt:

$$(\Phi_1 - \Phi_1^*); (\Phi_2 - I_1^*); (\Phi_1 - I_2^*); (\Phi_2 - I_2^*)$$

din care, deoarece $g = \infty$ rezultă $F_1(\Phi_1 - I_1^*) = F_2(\Phi_2 - I_2^*) = 0$

Forța medie rezultantă este:

$$F_m = F_1(\Phi_1 - I_2^*) + F_2(\Phi_2 - I_1^*) = (C_1 \cdot \Phi_1 \cdot I_2^* + C_2 \cdot \Phi_2 \cdot I_1^*) \sin \psi$$

Dar $I_{2,2}^* = k_{1,2} \cdot f \cdot \Phi_{1,2}$ iar $\Phi_{1,2} = k_{1,2}^* \cdot I_{1,2}$.

Astfel că:

$$M = F_m \cdot d = k \cdot f \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \psi, \text{ unde } f \text{ este frecvența de variație a fluxului.}$$

Deci, pentru crearea cuplului sunt necesare două fluxuri, decalate în timp și în spațiu iar pentru un defazaj de $\pi/2$ cuplul este maxim. Indicațiile depind de frecvență, deviația la echilibru static fiind:

$$\alpha = \frac{M}{\omega} = \frac{k \cdot f'}{\omega} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi.$$

Dispozitivele cu inducție se pot folosi la măsurarea curentului, montate în serie în circuit iar bobinele în serie sau în paralel între ele. Pentru a reduce consumul propriu, se impune ca bobinele să fie realizate cu rezistență ohmică cât mai mică. În ambele situații de montaj a bobinelor, dependența deviației este de tipul: $\alpha_s = C_s \cdot I^2 \cdot \sin \varphi$, adică este proporțională cu pătratul valorii efective a curentului.

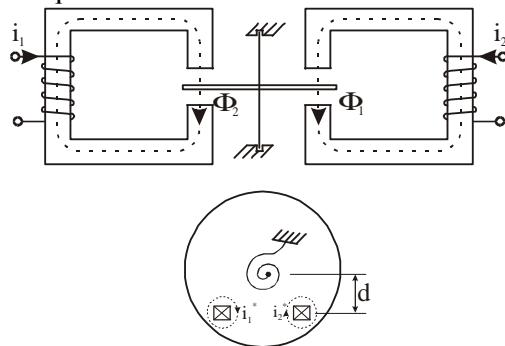


Fig 4.15. Dispozitiv de inducție cu două fluxuri.

Erorile acestor dispozitive pot proveni din:

- variațiile de tensiune, modifică poziție punctului de funcționare;
- variațiile de frecvență, modifică efectul curent-flux;
- variațiile de temperatură, modifică rezistența discului.

Proprietăți:

- clasă de precizie redusă;
- cuplu motor mare;
- rezistență la suprasarcini;
- deviație maximă 270° ;
- câmp magnetic propriu puternic;
- scală neuniformă.

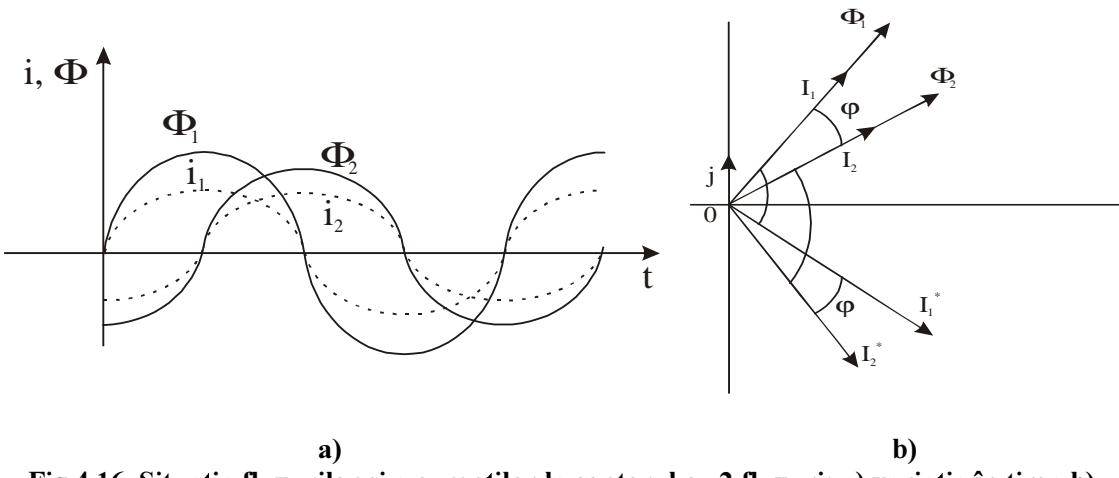


Fig 4.16. Situația fluxurilor și a curenților la contorul cu 2 fluxuri: a) variația în timp b) diagrama fazorială.

4.4.5. Contorul monofazat de inducție

Pe baza dispozitivului de inducție s-a realizat și contorul de inducție monofazat. Simbolul său este CAM (Contor de energie Activă Monofazat).

Din punct de vedere constructiv contorul de inducție monofazat se compune dintr-un dispozitiv wattmetric, al căruia cuplu este proporțional cu puterea activă și dintr-un mecanism integrator, care permite obținerea energiei într-un anumit interval de timp. Dispozitivul este alcătuit din doi electromagneti la curent alternativ: 1 – de curent și altul 2 – de tensiune și un disc de aluminiu. reprezentarea simbolică și modul de legare la rețea sunt prezentate în figura 4.17.

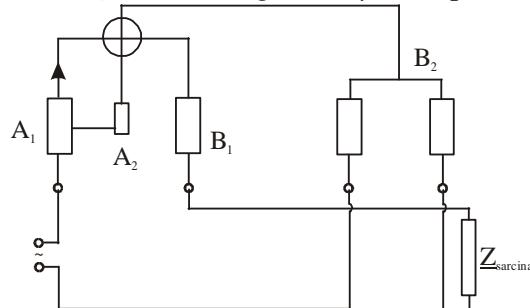


Fig. 4.17. schema de conectare directă a contorului într-un circuit monofazat.

Curenții alternativi care străbat bobina de curent I și aceea de tensiune I_U produc fluxuri variabile în timp Φ_I și Φ_U . Fluxurile magnetice Φ_I și Φ_U , străbătând discul de aluminiu induc în acesta tensiuni electromotoare, E_I și E_U , tensiuni care vor determina apariția în disc a unor curenți turbionari induși. Ca rezultat al interacțiunii dintre fluxuri și curenți turbionari induși în disc, vor apărea forțe Laplace, care produc un cuplu activ discului o mișcare de rotație. Momentul cupplului activ este:

$$M_a = K_a \cdot \Phi_U \cdot \Phi_I \cdot \sin \angle(\Phi_U, \Phi_I).$$

De menționat că în constanta K_a se includ frecvența discului și rezistența sa.

Sub acțiunea cupplului activ, discul începe să se rotească și intersectează liniile de câmp magnetic din întrefierul electromagnetelor de curent și de tensiune. Ca urmare în disc se induc tensiuni electromotoare prin mișcare E_U^* și E_I^* , care vor produce curenți

I_I^* și I_U^* . Din interacțiunea dintre curenții induși prin mișcarea în disc și fluxurile care îi au produs apar cupluri suplimentare care se opun mișcării.

Cuplul de autofrânare în câmpul electromagneticului de curent are expresia

$$M_{fl} = -K_I \cdot \Phi_I^2 \cdot \frac{d\alpha}{dt} = -K_I \cdot \Phi_I^2 \cdot \omega_r,$$

unde ω_r este viteza unghiulară de rotație a discului.

Cuplul de autofrânare în câmpul electromagneticului de tensiune are expresia:

$$M_{fU} = -K_U \cdot \Phi_U^2 \cdot \frac{d\alpha}{dt} = -K_U \cdot \Phi_U^2 \cdot \omega_r.$$

Ca urmare a existenței cuplurilor suplimentare rezistente, discul contorului de inducție se va roti sub acțiunea unui cuplu rezultant:

$$M_r = M_a + M_{fl} + M_{fU}.$$

Întrucât fluxul în întregierul electromagneticului de curent Φ_I este proporțional cu curentul I, care circulă prin receptor, iar fluxul Φ_U este proporțional cu tensiunea U la bornele receptorului, se obține pentru cuplul activ M_a expresia:

$$M_a = K_a \cdot I \cdot U \cdot \sin \angle(\Phi_U, \Phi_I)$$

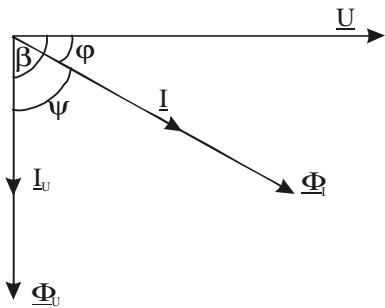


Fig. 4.18. Diagrama fazorială a contorului monofazat de inducție.

În figura 4.18. se prezintă diagrama fazorială a contorului monofazat de inducție. Dacă se neglijă pierderile în fier, fluxul Φ_I este în fază cu curentul I iar fluxul Φ_U în fază cu I_U . Curentul I_U este defazat în urmă cu un unghi β față de tensiunea U datorită reactanței inductive a circuitului de tensiune. El este numit defazaj intern al contorului.

Ca urmare relația de mai sus mai poate fi scrisă sub forma:

$$M_a = K_a \cdot I \cdot U \cdot \sin(\beta - \varphi).$$

Pentru a obține proporționalitatea dintre cuplul M_a și puterea activă P este necesar ca $\beta = 90^\circ$, adică:

$$M_a = K_a \cdot I \cdot U \cdot \sin(90^\circ - \varphi) = K_a \cdot P.$$

Sub acțiunea cuplului activ discul se rotește. Mișcării discului îi se opune un cuplu de frânare produs de un magnet permanent, al cărui flux magnetic este Φ_M . Momentul cuplului de frânare este:

$$M_f = -K_M \cdot \Phi_M^2 \cdot \omega_r = -K_M \cdot N$$

unde N este numărul de rotații pe secundă a discului.

La echilibrul celor două cupluri $M_a + M_f = 0$, rezultă $K_a \cdot P = K_M \cdot N$, relație ce ne arată că viteza de regim permanent este proporțională cu puterea activă P consumată de receptor.

Factorii care influențează contorului de inducție sunt:

- nerealizarea corectă a defazajului intern $\beta = 90^\circ$; astfel pentru $\beta \neq 90^\circ$ momentul cuplului activ rezultă:

$$M_a = K'_a \cdot U \cdot I \cdot \sin(\beta - \varphi) = K'_a \cdot U \cdot I \cdot [\sin \beta \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \beta] = \\ = K'_a \cdot P \cdot \sin \beta - K'_a \cdot Q \cdot \cos \beta$$

Deci momentul cuplului activ rezultă proporțional cu o combinație de putere activă P și reactivă Q , care reprezintă o sursă sensibilă de erori. Ca urmare contorul trebuie prevăzut cu un dispozitiv de reglaj al unghiului intern $\beta = 90^\circ$. Reglajul unghiului β pentru sarcina nominală se face cu o spiră în scurtcircuit plasată pe circuitul magnetic de tensiune.

- Frecările în paliere și în mecanismul integrator; la sarcini reduse, cuplul activ scade foarte mult și încep să conteze frecările. Pentru mișcarea cuplului de frecare se utilizează paliere speciale cu bilă de oțel situată între două safire sintetice sau suspensia magnetică.

- Influențe exterioare datorate temperaturii și câmpurilor magnetice.

Variatiile temperaturii produc variații ale rezistenței discului magnetic permanent și ale rezistenței bobinei de tensiune. Primul efect este practic fără importanță, deoarece are loc o variație în aceeași măsură a cuplului activ și de frânare. Scăderea fluxului magnetic permanent cu creșterea temperaturii produce erori pozitive care, la unele se compensează prin utilizarea unor șunturi termomagnetice dispuse pe magnetul permanent. Variația rezistenței bobinei de tensiune a contorului face să se modifice unghiul β , deci să apară erori care pot avea valori diferite în funcție de unghiul de defazaj al curentului de sarcină. Influența câmpurilor magnetice exterioare este redusă, contorul fiind închis de obicei într-o carcasa de tablă de aluminiu sau oțel.

- Influența regimului deformant afectează indicația contorului de inducție și aceasta datorită dependenței de frecvență a inducțiilor utile a deplasării caracteristicilor de funcționare a circuitelor magnetice, a prezenței armonicelor în fluxurile utile, amortizările suplimentare ale discului datorate armonicelor.

4.4.5. Dispozitive de măsurat logometrice

Logometrele sunt dispozitive de măsurat, care măsoară raportul a doi curenti sau două tensiuni. Oricare din tipurile de dispozitive de măsurat pot fi realizate logometric, dacă cuplul rezistent este creat identic ca acela activ, de forțe electromagnetice.

Logometrele conțin totdeauna 2 elemente mobile, asupra fiecăruia dintre ele acționând unul dintre curenti. Sensul curentilor este astfel încât cuplurile create de fiecare dintre ei să fie îndreptate în sensuri contrare. Cuplurile depind de unghiul de rotație, unul crește și astfel scade cu creșterea unghiului.

Dacă dependența celor două cupluri de unghiul de rotație este diferită, deviația echipajului mobil al logometrelor este funcție de raportul curentilor I_1 și I_2 prin cele două bobine mobile, adică $\alpha = f(I_1/I_2)$.

Deoarece logometrele nu au cuplu rezistent mecanic când echipajul mobil nu este parcurs de curent, asupra echipajului mobil nu acționează nici un cuplu și acesta poate ocupa orice poziție.

La logometrele cu bobine mobile, curenții sunt aduși prin benzi flexibile de argint sau aur, care nu creează cupluri rezistente.

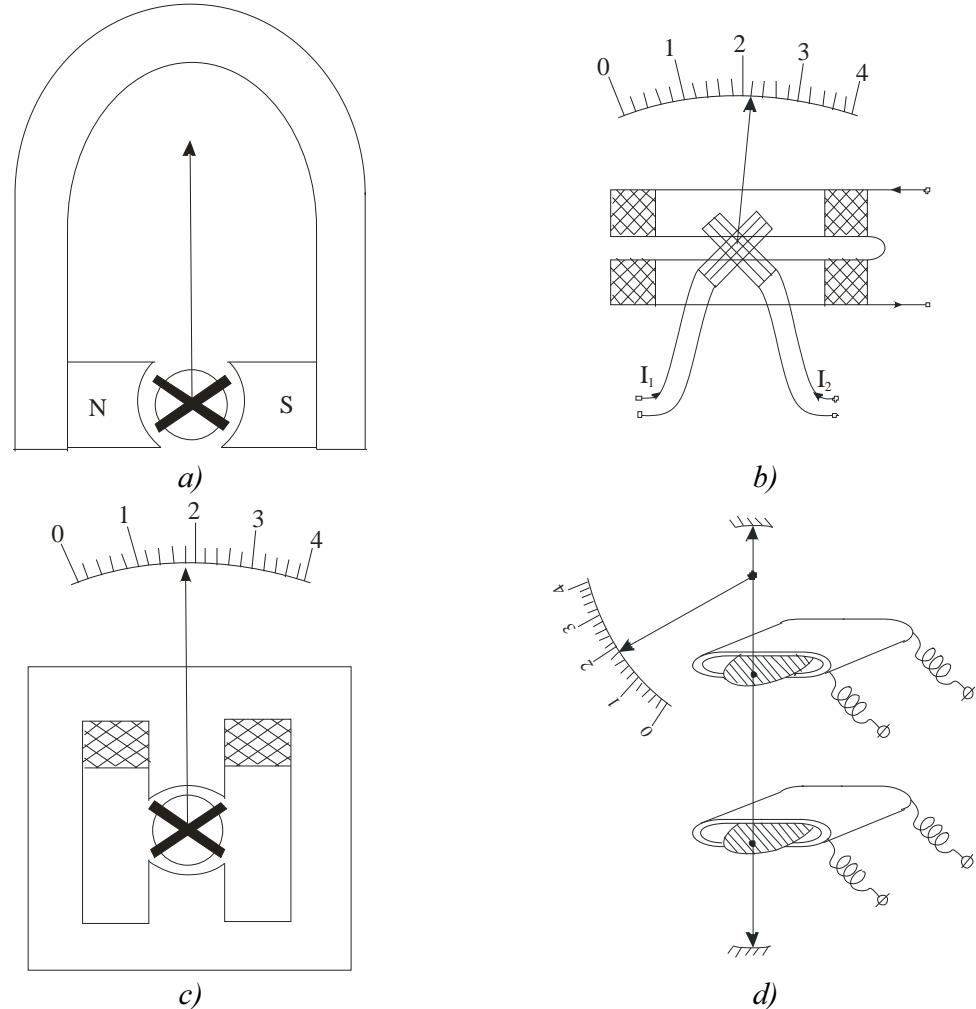


Figura 4. 10. Logometre – tipuri constructive: a) magnetoelectric, b) electrodynamic, c) ferodinamic, d) feromagnetic.

Cap 5. MĂSURAREA CURENȚILOR ȘI A TENSIUNILOR

Curenții și tensiunile care se măsoară în practica industrială sau de laborator au valori foarte diferite, de la micro până la sute și mii, cu frecvențe variind de la zero (curent continuu) până la sute de megahertz. Metodele și aparatelor de măsurare diferă foarte mult, elementul cheie fiind precizia cu care trebuie făcută măsurătoarea. De regulă, curenții și tensiunile se măsoară prin metode de citire cu aparete indicatoare (galvanometre, ampermetre și voltmetre) de diferite tipuri, după domeniul de măsurare. În măsurătorile de mare precizie se utilizează metode de compensație.

5. 1. Măsurarea curenților și tensiunilor foarte mici cu galvanometrul.

Curenții și tensiunile foarte mici ($10^{-11} \dots 10^{-6}$ A și $10^{-8} \dots 10^4$ V) se măsoară și se detectează cu ajutorul galvanometrelor de curent continuu și curent alternativ.

Galvanometrele sunt aparatе de foarte mare sensibilitate ($10^5 \dots 10^{11}$ mm/A) care se utilizează ca aparate indicatoare pentru măsurarea valorilor foarte mici, ale curenților, tensiunilor sau cantităților de electricitate, fie ca aparatе de zero în metodele de comparație, pentru a indica lipsa curentului sau tensiunii într-un circuit.

Clasificare Galvanometre	Poziția lor	Fixe: indicator cu oglindă, spot luminos și riglă gradată exterioară	
		Portative: cadran luminos interior	
	Modul de indicare	Spot luminos	
		Cu ac indicator	
	Principiul dispozitivului de măsurare magnetoelectric	Cu bobină mobilă	Curent continuu
			Curent alternativ
		Cu magnet mobil	Curent alternativ

În continuare se va prezenta galvanometrul magnetoelectric cu bobină mobilă.

Constructiv ele se aseamănă foarte mult cu dispozitivul de măsurat magnetoelectric. Diferențele constau numai în particularitățile caracteristice tuturor galvanometrelor. În acest sens, în figura 5.1. este reprezentat un galvanometru magnetoelectric de mare sensibilitate cu suspensie liberă, cu indicator, cu oglindă și spot luminos și riglă gradată exterioară.

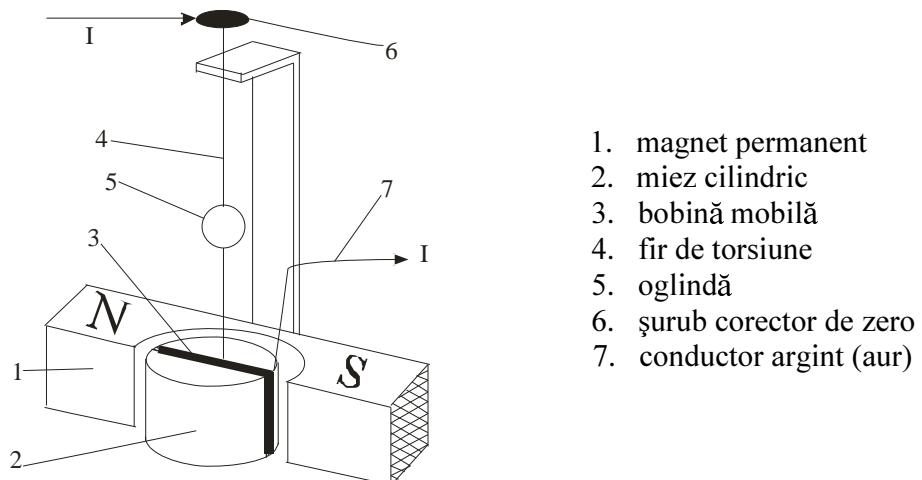


Figura 5. 1. Galvanometru magnetoelectric.

Dispozitivul de măsurare constă dintr-un magnet permanent a cărui inducție în întregier poate fi reglată între limite largi, cu ajutorul unui șunt magnetic, miezul cilindric și bobina mobilă, suspendată de firul de torsiune, pe care este fixată oglinda.

De regulă firul de suspensie este așezat într-un tub protector, capătul său superior fiind prins de șurubul corectorului de zero. Firul de suspensie servește totodată la producerea cuplului rezistent și la aducerea curentului la bobina mobilă. Ieșirea curentului prin bobină se face printr-un conductor din aur sau argint, foarte subțire și buclat, pentru a nu influența mișcare echipajului mobil.

Funcționarea galvanometrului magnetic cu bobină mobilă este determinată de valoarea rezistenței circuitului de măsurare în care este conectat. La închiderea sau deschiderea circuitului de măsurare, alimentat de la o sursă de curent continuu, echipajul mobil al galvanometrului se oprește la noua poziție de echilibru, printr-o mișcare care poate fi:

- oscilatorie amortizată, când rezistența exterioară este mare;
- aperiodică, când rezistența este sub o anumită valoare, numită critică.

5. 2. Măsurarea curenților și tensiunilor cu ampermetre și voltmetre.

În circuitele de curent continuu și de curent alternativ, curenții care depășesc valorile de 10^{-6} A se măsoară cu ampermetrul, iar tensiunile mai mari de 10^{-4} V cu voltmetre.

Ampermetrele se leagă în circuitele de măsurare, iar voltmetrele în paralel. Dependent de mărimea curenților și respectiv tensiunii, se folosesc șunturi sau rezistențe adiționale.

Curenții și tensiunile foarte mari se măsoară prin intermediul transformatoarelor de măsurat.

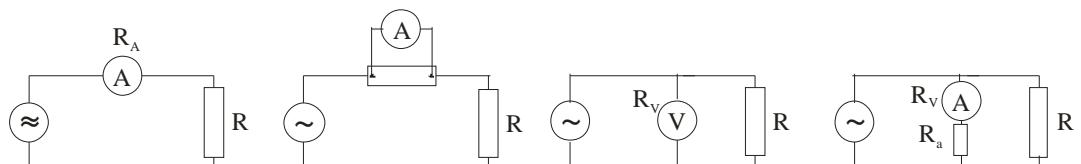


Figura 5. 2. Schemele de legare a ampermetrelor și voltmetrelor.

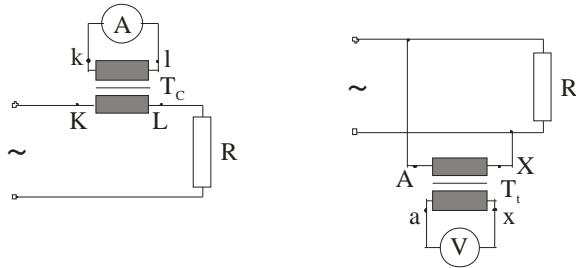


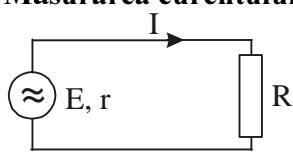
Figura 5.3. Schemele de măsurare ale tensiunii și curentului cu ajutorul transformatoarelor de măsură.

Prin conectarea lor în circuitele de măsurare, ampermetrele și voltmetrele datorită consumului propriu de putere modifică regimul de lucru al circuitelor și ca urmare valoarea mărimii de măsurat, introducând o eroare sistematică de metodă. Între valoarea mărimii de măsurat și cea adevărată, care există înainte de conectarea acestora în circuitul de măsurare, există o diferență determinată de faptul că rezistența ampermetrelor nu este egală cu zero, iar rezistența voltmetrelor nu este infinită. Această diferență este cu atât mai mare cu cât consumul de putere alături de măsurat este mai mare comparativ cu putere în circuitul în care se face măsurarea.

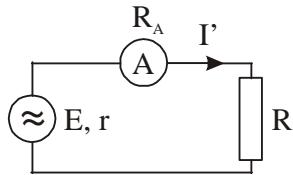
Pentru ca influența consumului aparatelor de măsurat și ca urmare, eroarea sistematică de metodă să fie cât mai mică, rezistența ampermetrelor trebuie să fie cât mai mică iar rezistența voltmetrelor cât mai mare în comparație cu rezistența circuitului de măsurare.

Pentru a susține afirmațiile de mai sus se consideră un ampermetru și respectiv un voltmetru în curent continuu și corespunzător se va scrie eroarea sistematică efectuată prin introducerea în circuitul de alimentare a receptorului, a instrumentului de măsurare.

Măsurarea curentului



$$I = \frac{E}{R + r}$$

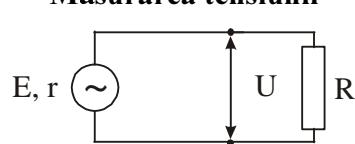


$$I' = \frac{E}{R + r + r_a}$$

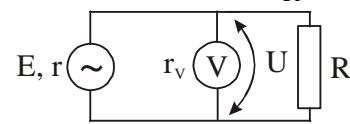
$$\epsilon_I = \frac{I - I'}{I} = 1 - \frac{I'}{I}$$

$$\epsilon_I = 1 - \frac{R + r}{R + r + r_a} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{r_a}{R + r}}$$

Măsurarea tensiunii



$$U = \frac{E}{R + r} \cdot R = \frac{E}{1 + \frac{r}{R}}$$



$$U' = \frac{E}{r + \frac{R \cdot r_V}{R + r_V}} \cdot \frac{R \cdot r_V}{R + r_V} = \frac{E}{1 + \frac{r}{R \cdot r_V} (R + r_V)}$$

$$\epsilon_U = \frac{U - U'}{U} = 1 - \frac{U'}{U} = 1 - \frac{1 + \frac{r}{R}}{1 + \frac{r}{R} \cdot \frac{R + r_V}{r_V}}$$

Dacă $r_a \ll R + r$, $\frac{r_a}{R + r} \rightarrow 0$ iar $\varepsilon_I \rightarrow 0$

Dacă $r_V \gg R$, $\frac{R + r_V}{r_V} \rightarrow 1$ iar $\varepsilon_U \rightarrow 0$

- Referitor la tipurile de aparate de măsurare folosite se pot menționa următoarele:
- curenții și tensiunile continue se măsoară cu aparate magnetoelectrice și electrodinamice; cele magnetoelectrice sunt cele mai precise;
 - curenții și tensiunile alternative de valoare mică se măsoară cu aparate magnetoelectrice cu redresor (Fig 5.4.) sau cu termocuplu (fig. 5.5);

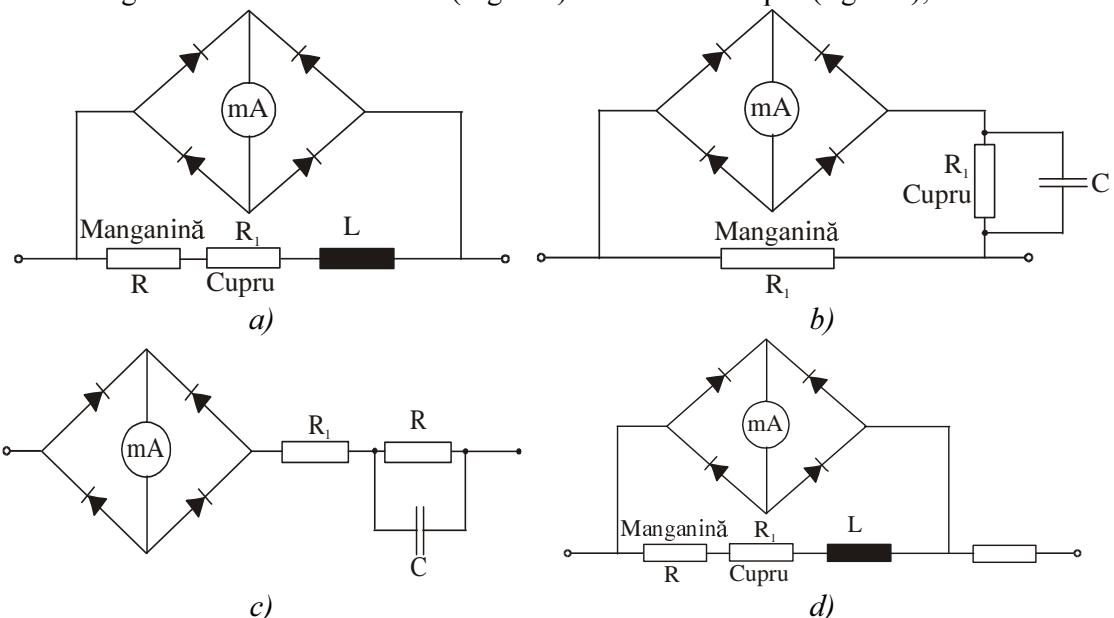


Figura 5. 4. Aparate magnetoelectrice cu redresor: a) ampermetre pentru curenți mici; b) ampermetre pentru curenți mari; c) voltmetru pentru tensiuni mici d) voltmetre pentru tensiuni mari.

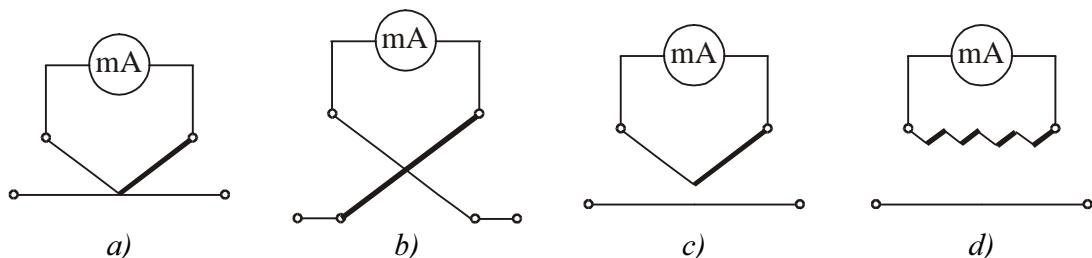


Figura 5. 5. Aparate magnetoelectrice cu termocuple a), b) cu contact, c), d) fără contact.

- ampermetrele și voltmetrele feromagnetice sunt cele mai utilizate aparate de măsurare, datorită simplității și siguranței în funcționare; ele se fabrică în general ca aparate de tablou de clasă 1,5-2,5, precum și ca aparate portative și de laborator, clasă 0,2-0,5-1;
- ampermetrele și voltmetrele electrodinamice și ferodinamice sunt aparate de mare precizie, construindu-se de obicei ca aparate de laborator de clasă 0,2 și 0,1. aceste aparate sunt folosite atât în curent continuu cât și în curent alternativ, indicațiile lor fiind identice; cele ferodinamice sunt mai puțin precise, având clasele de precizie cuprinse între 1 și 2,5, dar sunt mai puțin robuste. Pentru

ampermetre, funcție de mărimea curentului se practică diferite scheme de conexiuni ale bobinelor (fig 5.6). De remarcat că indiferent de modul de legare al bobinelor (fixă sau mobilă), indicațiile ampermetrului sunt proporționale cu pătratul curentului de măsurat. Voltmetrele electrodinamice se construiesc cu mai multe domenii de măsură.

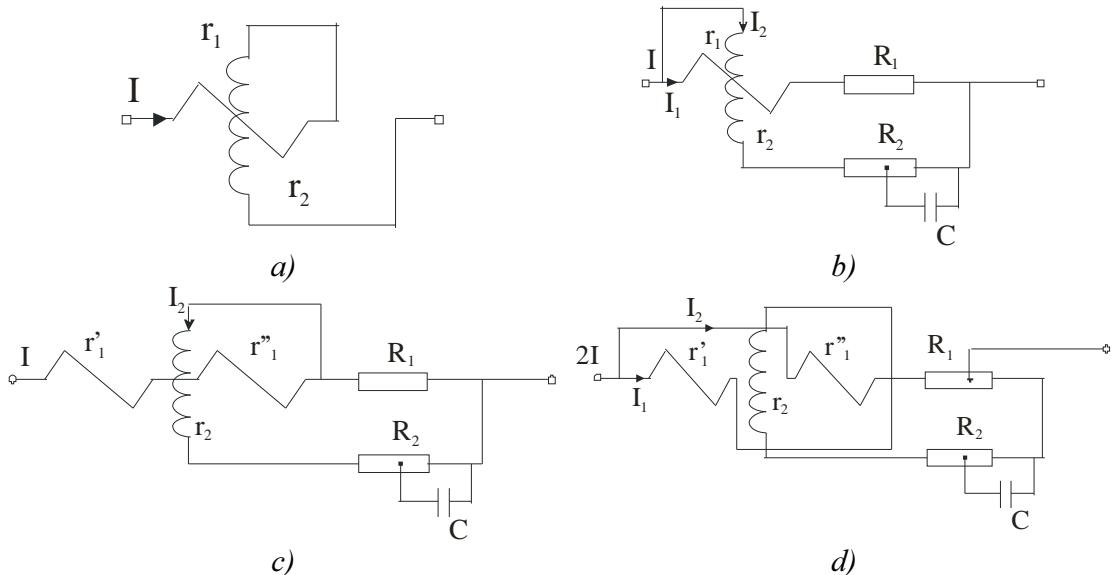


Figura 5.6. Schemele de conexiuni ale bobinelor ampermetrelor electrodinamice: a) legarea în serie a bobinelor, b) legarea în paralel a bobinelor, c) bobina mobilă legată în paralel cu un şunt legat în serie cu bobina fixă, d) fără contact.

Ca ampermetrul sau ca voltmetrul poate fi folosit oricare din dispozitivele de măsurat cu excepția celor electrostatice care nu pot fi folosite decât ca voltmetre.

Astfel, deoarece deviația sistemului mobil este funcție de curentul I care trece prin dispozitivul de măsurat $\alpha = f(I)$ dacă aparatul este conectat ca voltmetru, și dacă rezistența sa R_V este constantă, curentul prin dispozitivul de măsurat depinde numai de tensiunea U_X de măsurat ($I = I_V = \frac{U_X}{R_V}$) și deci deviația sistemului mobil este:

$$\alpha = f(I) = f\left(\frac{U_X}{R_V}\right) = f(U_X)$$

Prin urmare, ampermetrele și voltmetrele au dispozitivele de măsurat de aceeași construcție, deosebindu-se doar prin parametrii, schema interioară și modul de legare la circuitul de măsurare.

5.3. Măsurarea curenților și tensiunilor cu transformator de măsurare

Transformatorul monofazat este construit dintr-un miez magnetic pe care sunt dispuse două înfășurări: primară (cu N_1 spire) și secundară (cu N_2 spire). Aplicând înfășurării primare o tensiune alternativă u_1 (valoare efectivă U_1) ea va produce curentul

I_1 . În miezul magnetică apare un flux magnetic alternativ Φ (variabil deci în timp) care va induce în înfăşurarea primară tensiunea electromotoare $e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$ în aceea secundară $e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$.

Raportul dintre cele două tensiuni electromotoare în valori efective este egal tocmai cu raportul de transformare al transformatorului, k_n , adică:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k_n$$

Principial schema echivalentă a transformatorului se prezintă ca în figura 5.7 b) unde cu Z_1 s-a notat impedanța primarului, iar cu Z_2 a înfășurării secundare. Cele două impedanțe corespund rezistențelor proprii R_1 și R_2 și inductivităților de dispersie ale înfășurărilor L_1 și L_2 . Între cele două înfășurări există cuplajul mutual L_{12} căruia îi corespund tensiunile induse.

Aplicând teorema a doua a lui Kirchhoff și scriind în complex relațiile corespunzătoare se pot obține ecuațiile:

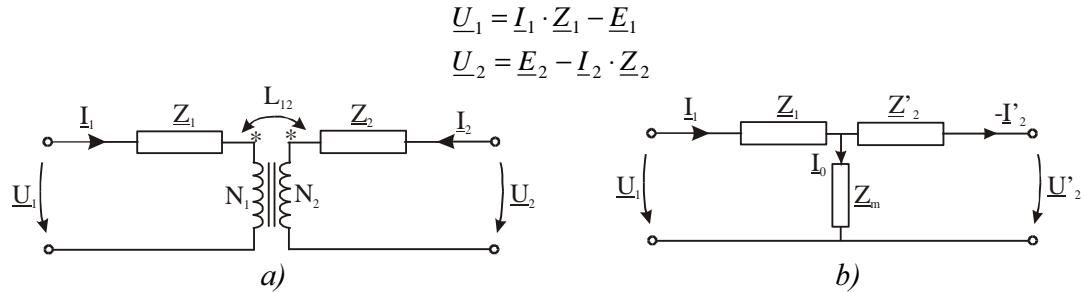


Figura 5.7. schema echivalentă a transformatorului: a) considerând cuplajul inductiv, b) cu secundarul redus la primar.

Pentru mai multă comoditate în studiu, cuplajul mutual se poate înlocui, considerând în locul transformatorului real unul fictiv cu raportul de transformare egal cu 1. corespunzător se face afirmația că (spre exemplu) înfășurarea secundară s-a redus la primar. În acest caz Z_2 se înlocuiește cu Z'_2 , $Z'_2 = k_n^2 \cdot Z_2$, curentul I_2 cu I'_2 , $I'_2 = \frac{1}{k_n} \cdot I_2$ iar tensiunea U_2 cu U'_2 , $U'_2 = k_n \cdot U_2$. Echivalența s-a efectuat considerând pentru cele două transformatoare identice: puterile, pierderile de putere și defazajele. În figura 5.8 se prezintă diagrama fazorială a transformatorului. Cu I_0 s-a notat curentul absorbit de impedanță de magnetizare a transformatorului. Este evidentă relația: $I_1 = I_1 - I'_2$.

5.3.1. Transformatorul de tensiune

Datele nominale ale acestuia sunt U_{1n} , U_{2n} și clasa de precizie. De menționat că U_{1n} este cuprins între 1 și 400 kV iar U_{2n} este standardizat la 100 V.

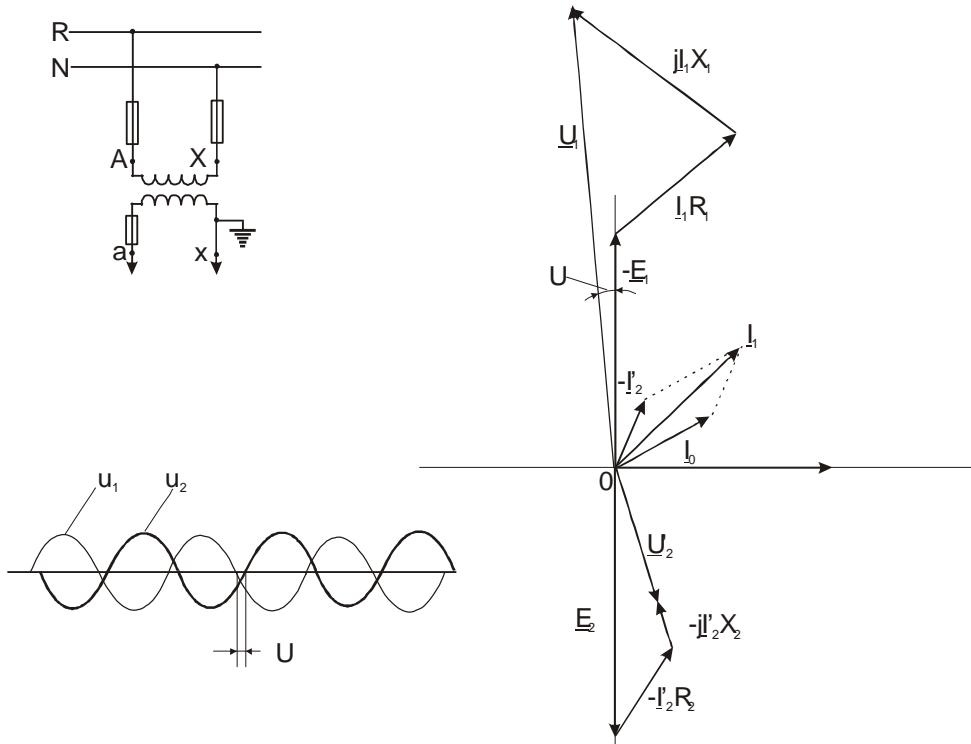


Figura 5. 8. Diagrama fazorială a transformatorului.

Transformatoarele de tensiune prezintă două categorii de erori:

- eroarea de raport, $\varepsilon_U : \varepsilon_U = \frac{k_n \cdot U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100$,
- eroarea de unghi, δ_U care este defazajul dintre tensiunea primară și cea secundară rotită cu 180° . Obișnuit ea este cuprinsă între 5-100 minute. De aceea în secundarul transformatorului de tensiune se conectează un voltmètreu, impedanța secundară este foarte mare, astfel încât regimul acestui transformator se apropie de unul de mers în gol.

Transformatorul de tensiune se protejează la scurtcircuit prin siguranțe fuzibile, iar legarea la pământ a secundarului este obligatorie din motive de protecție a muncii.

5.3.2. Transformatorul de curent

Servește la extinderea limitei superioare de măsurare a intensității curentului electric alternativ. Ampermetrele, releele, elementele de automatizare, toate se leagă în serie în secundarul transformatorului de curent. Datele nominale: $I_{1n} = 5 \div mii\ A$, $I_{2n} = 5A$ sau $1A$, puterea aparentă nominală $S_n = 5VA$ sau $90VA$.

Se mai definește raportul nominal de transformare $k_n (k_{In}) = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$, eroarea de curent (raport):

$$\varepsilon_I = \frac{k_n \cdot I_2 - I_1}{I_1} = \frac{k_n - k}{k} \cdot 100 \quad [\%]$$

și cea de unghi δ_I , ca fiind unghiul dintre curentul primar și curentul secundar rotit cu 180° ; are valori de 2-120 minute dependente de clasa de precizie. Transformatorul de curent se realizează cu o înfășurare primară și una sau multe secundare.

Clasa de precizie se definește ca fiind eroarea de raport maximă la valori de $(1 \div 1.2)I_{2n}$ ale curentului secundar și încărcate la puterea de $(0.25 \div 1)S_{2n}$.

Clasele de precizie normalize sunt: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3 pentru laborator 0,05; 0,02; 0,01; 0,005.

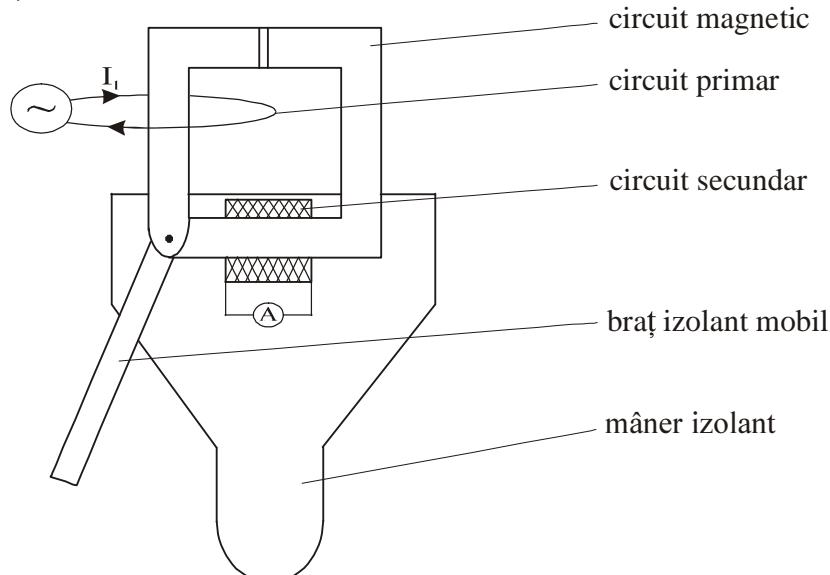


Figura 5. 9. Clește ampermetric

Transformatorul de curent este proiectat și realizat pentru a funcționa în regim apropiat de scurtcircuit, deoarece elementele de curent apropiate aparatelor din secundar au importanță foarte mică (sutimi, zecimi de ohmi). Din datele de catalog ale transformatorului de curent se poate calcula impedanța secundară nominală $Z_{2n} = \frac{S_{2n}}{I_{2n}^2}$.

Transformatorul de curent funcționează cu erorile corespunzătoare clasei de precizie, dacă se respectă condiția ca aparatul inserat în secundar să aibă consumul mai mic decât puterea nominală.

Fiind transformator de măsură, curentul primar este impus de circuitul exterior de măsurat. Cu secundarul închis, fluxul rezultant al transformatorului de curent dă un flux util Φ_U , pentru care punctul de lucru este situat în zona liniară a caracteristicii de magnetizare. Dacă secundarul se întrerupe, fluxul rezultant este egal tocmai cu fluxul inductor și mult mai mare ca Φ_U , astfel că miezul se saturează puternic având următoarele consecințe:

- tensiunea secundară care normal este de $0.1 \div 1V$ crește de sute de ori;
- pierderile în fier cresc foarte mult ducând la încălzirea excesivă a transformatorului de curent.

Rezultă că pentru transformatorul de curent regimul de funcționare în gol este un regim de avarie care trebuie evitat. De asemenea, înfășurarea secundară se leagă obligatoriu la pământ.

Cleștele ampermetric este un caz particular al transformatorului de curent (Fig. 5.9). Miezul său magnetic poate fi deschis, permitând introducerea conductorului parcurs de curentul de măsurare.

De menționat că pentru a reduce eroarea transformatorului de curent trebuie redusă valoarea curentului de magnetizare, fapt realizabil prin asigurarea unor materiale magnetice performante, construcție compactă etc.

Cap 6. VOLTMETRE ELECTRONICE

Sunt folosite pentru măsurări în curent continuu și în curent alternativ fiind specifice tensiunilor de audio și radiofrecvență.

6.1. Generalități

Lucrează într-o gamă foarte largă de tensiuni (μV - zeci sau sute de kV) și frecvențe până la sute și mii de MHz. Se caracterizează printr-o sensibilitate înaltă, scară liniară într-un domeniu larg de măsurare, consum mic de putere, rezistență de intrare mare (sute sau mii de $M\Omega$) capacitate mică de intrare $5 \div 20 \mu F$. Precizia lor este însă redusă 1-3% și aceasta datorită variației cu temperatura a parametrilor dispozitivelor semiconductoare.

Voltmetrele electronice constau în principal dintr-un dispozitiv de măsurare magnetoelectric și un traductor electronic de detectie (redresoare) și amplificare. În plus un circuit de intrare și o sursă de alimentare.

Circuitul de intrare asigură mărimea și caracterul impedanței de intrare, precum și extinderea domeniului de măsurare. Se compun din: borne de intrare, divizor de tensiune și uneori un repetor pe emitor. Acesta din urmă are impedanță de ieșire mică, fapt ce permite cuplarea unui cablu de legătură cu capacitate mare, fără reducerea benzii de frecvență.

Divizorul de tensiune asigură extinderea domeniului de măsurare. Pentru tensiuni până la $100 \div 200V$ se utilizează divizoare rezistive cu compensare de frecvență, cu impedanță de intrare mică; pentru tensiuni de ordinul kV se folosesc divizoare capacitive. La unele tipuri de voltmetre extinderea domeniului de măsurare se efectuează prin variația factorului de reacție negativă a amplificatorului.

6.2. Voltmetre electronice de curent continuu

Prezintă schemele principale de funcționare conform celor prezentate în figura 6.1:

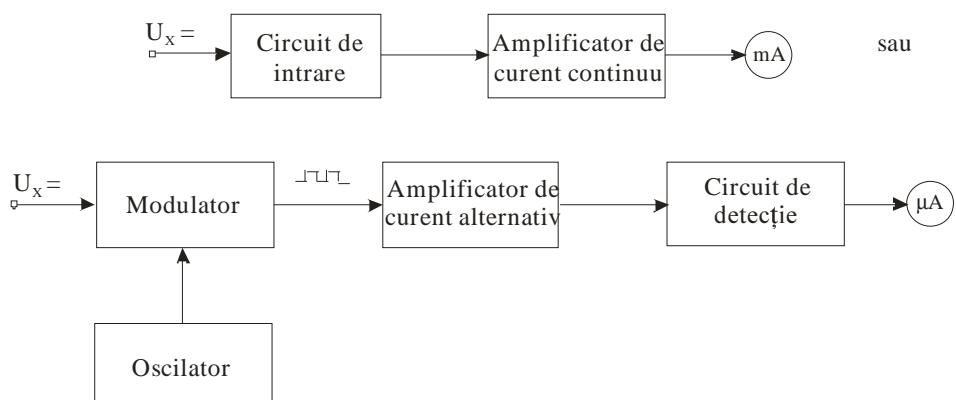


Figura 6. 1. Schemele principale ale voltmetrelor electronice de curent continuu

Când tensiunile de măsurat sunt foarte mici se folosesc și amplificatoare cu modulare – redresare, în care tensiunea continuă este transformată mai întâi în tensiune alternativă și apoi amplificată, fiind în cele din urmă redresată.

6.3. Voltmetre electronice de curent alternativ

Constituie principial dintr-un circuit de detecție, un amplificator și dispozitivul de măsurat magnetoelectric. Amplificatorul se poate găsi înainte sau după circuitul de detecție (fig. 6.2).

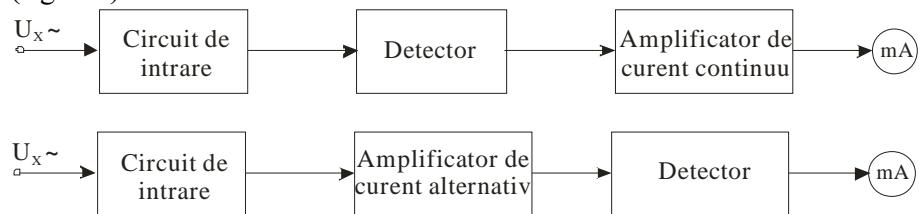


Figura 6. 2. Schemele bloc ale voltmetrelor electronice de curent alternativ

Majoritatea voltmetrelor de curent alternativ sunt de tipul detector – amplificator, lucrează într-o bandă largă de frecvență, dar sunt puțin sensibile și precise.

- cele mai simple voltmetre electronice sunt acele cu diode, care permit măsurarea valorii medii, valoarii de vârf sau valoarii efective.
- Voltmetrele care măsoară valoarea medie folosesc pentru circuitul de detecție scheme cu simplă redresare sau dublă (cu transformator cu priză mediană sau în punte). Așa cum de altfel s-a menționat anterior aparatul magnetoelectric măsoară valoarea medie a tensiunii redresate.
- Voltmetrele de vârf pot măsura valoarea de vârf a tensiunii, dacă în circuitul de detecție se conectează un condensator de mare capacitate. Schema de principiu a unui voltmetru de vârf se prezintă în fig. 6.3. Aceasta se compune dintr-o diodă conectată în serie (fig. 6.3 a) sau în derivație (fig. 6.3 b) cu dispozitivul de măsurare magnetoelectric împreună cu o rezistență de sarcină și cu condensatorul. În altanță pozitivă, dioda conduce iar condensatorul C se încarcă până la valoarea de vârf a tensiunii de măsurat U_x (punctul f din fig. 6.3 c). Din momentul în care valoarea tensiunii de măsurat U_x devine mai mare decât tensiunea la bornele condensatorului U_C , procesul decurge invers, condensatorul descarcăndu-se prin rezistența R și miliampermetru (fig. 6.3 c). Descărcarea decurge până când $u_x < u_c$ în punctul g; în continuare reîncepe încărcarea condensatorului până la o valoare practic egală cu aceea de vârf a tensiunii u_x , după care procesul se reia.

Ca urmare prin aparatul de măsurat trece curent în sensul ambelor altanțe. Dacă constanta de timp RC a circuitului este mult mai mare decât perioada tensiunii u_x , tensiunea u_c , tensiunea la bornele condensatorului scade foarte puțin în timpul descărcării condensatorului, rămânând practic la valoarea maximă $\max(u_x)$ a tensiunii de măsurat.

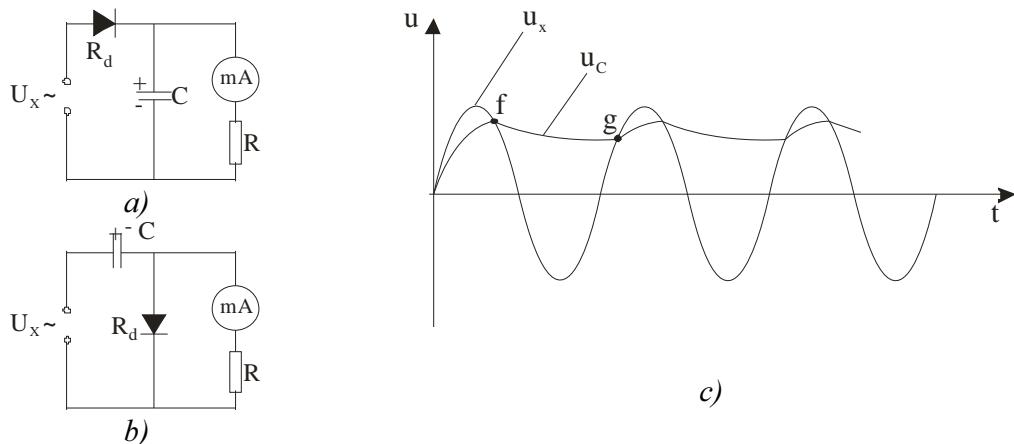


Figura 6. 3. Voltmetru electronic de vârf cu diode: a) dioda conectată în serie; b) dioda conectată în derivatie; c) procesul de încărcare și descărcare al condensatorului

Ca urmare, curentul continuu ce trece prin miliampermetru este proporțional cu valoarea de vârf a tensiunii măsurate ($I_0 = k \cdot u_{\max}$). Dacă ne referim la tensiuni sinusoidale valoarea efectivă $U = 0.707 \cdot u_{\max}$, astfel încât aparatul poate fi etalonat direct în valori efective.

Voltmetrele electronice prezентate până în prezent erau voltmetre fără amplificare. În situația în care, semnalul este slab se necesită amplificare, motiv pentru care se pot folosi scheme sau circuite dedicate. Voltmetrul este de regulă în acest caz de tip detector – amplificator.

- Voltmetrele detector – amplificator redresă mai întâi tensiunea alternativă de măsurat în circuitul de detecție, care apoi este amplificată de către un amplificator de curent continuu. De regulă aceste voltmetre măsoară valoarea de vârf folosindu-se pentru tensiuni într-o bandă de valori foarte largă 1 – sute [V], iar banda de frecvențe 20 Hz – 700 MHz.

În fig. 6.4. se prezintă schema de principiu a unui voltmetru electronic de tip detector – amplificator.

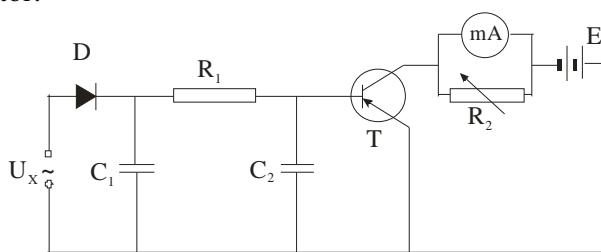


Figura 6. 4. Voltmetru electronic de tip detector – amplificator

Schema cuprinde un circuit de detecție cu diodă semiconductoare legată în serie și cu un amplificator de curent continuu; în circuitul de colectare este conectat dispozitivul de măsurat.

De menționat că între circuitul de detecție și intrarea amplificatorului este intercalat un filtru $R_1 \cdot C_2$ (trece jos) care elimină componenta continuă a semnalului redresat, astfel încât pe baza tranzistorului \$T\$ să se aplique practic o tensiune continuă.

Rezistența R_2 este una variabilă și ea servește la etalonarea voltmetrului, care se poate modifica în timp datorită variației parametrilor tranzistorului cu temperatura.

O altă variantă de voltmetru electronic de curent alternativ de tip detector – amplificator este acela în punte (fig. 6.5). Voltmetrul dispune de un circuit de detecție (redresor) C_1 , D , R_1 cu o diodă legată în derivație și un amplificator de curent continuu repetor pe emitor cu reacție negativă puternică, montat într-o schemă de punte în una din diagramele căreia este conectat aparatul de măsurat mA. Între circuitele de detecție și amplificator este intercalat un filtru trece jos $R_2 \cdot C_2$, care elimină componentele alternative ale semnalului detectat.

Dar, cele mai multe cu un singur tranzistor nu rezolvă problema amplificării, astfel că practic se folosesc mai multe etaje de amplificare dispuse în montaje simetrice (fig. 6.6) sau nesimetrice.

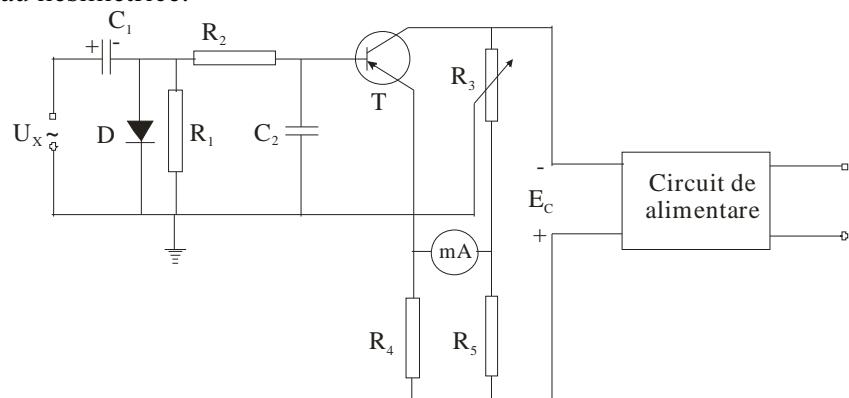


Figura 6. 5. Voltmetru electronic în punte de curent alternativ de tip detector – amplificator

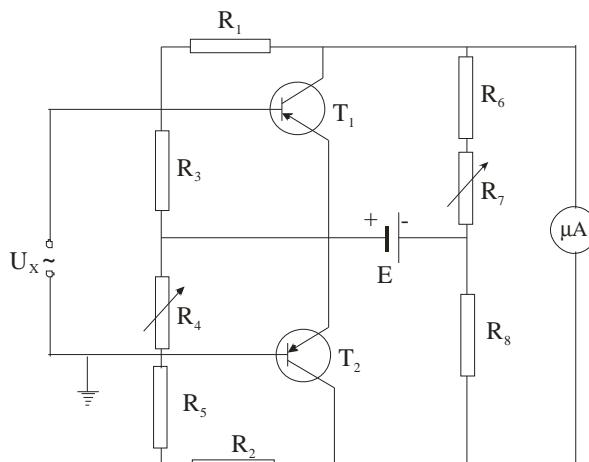


Figura 6. 6. Voltmetru electronic de curent alternativ de tip detector – amplificator cu două tranzistoare dispuse în contratimp

Cele două tranzistoare sunt practic identice, astfel încât curenții de repaus I_{C01} și I_{C02} și variațiile lor cu temperatura sunt practic aceleași. Ca urmare, la variația temperaturii mediului ambient echilibrul initial al punții se va păstra, curenții celor două tranzistoare parcurgând aparatul indicator în sensuri opuse.

- Voltmetre electronice de curent alternativ amplificator – detector.

Acstea voltmetre amplifică mai întâi semnalul (tensiunea) de măsurat cu ajutorul unui amplificator de curent alternativ, apoi cu ajutorul unui circuit de detecție o redresază.

De obicei ceste voltmetre măsoară valoarea medie a tensiunii, folosindu-se pentru tensiuni mici: $0.5 \div 1V$ în banda de frecvență $50Hz \div 5MHz$.

În figura 6.7 a) se prezintă schema de principiu a unui voltmetru de tip amplificator – detector, cu detecție în circuitul de colector al amplificatorului. Astfel, aplicând la bornele de intrare tensiunea alternativă de măsurat u_x , curentul de bază i_B trece numai în semiperioadele pozitive, în care urmărește forma tensiunii de intrare.

Dacă rezistența R_1 este suficient de mare, acest curent este proporțional cu tensiunea de măsurat. Curentul de colector i_C este proporțional cu curentul de bază (fig. 6.7 b), Ca urmare curentul de măsurat (mA) indică valoarea medie a curentului de colector I_0 , proporțională de fapt cu tensiunea de măsurat. Rezistența variabilă R_2 servește la etalonarea voltmetrului.

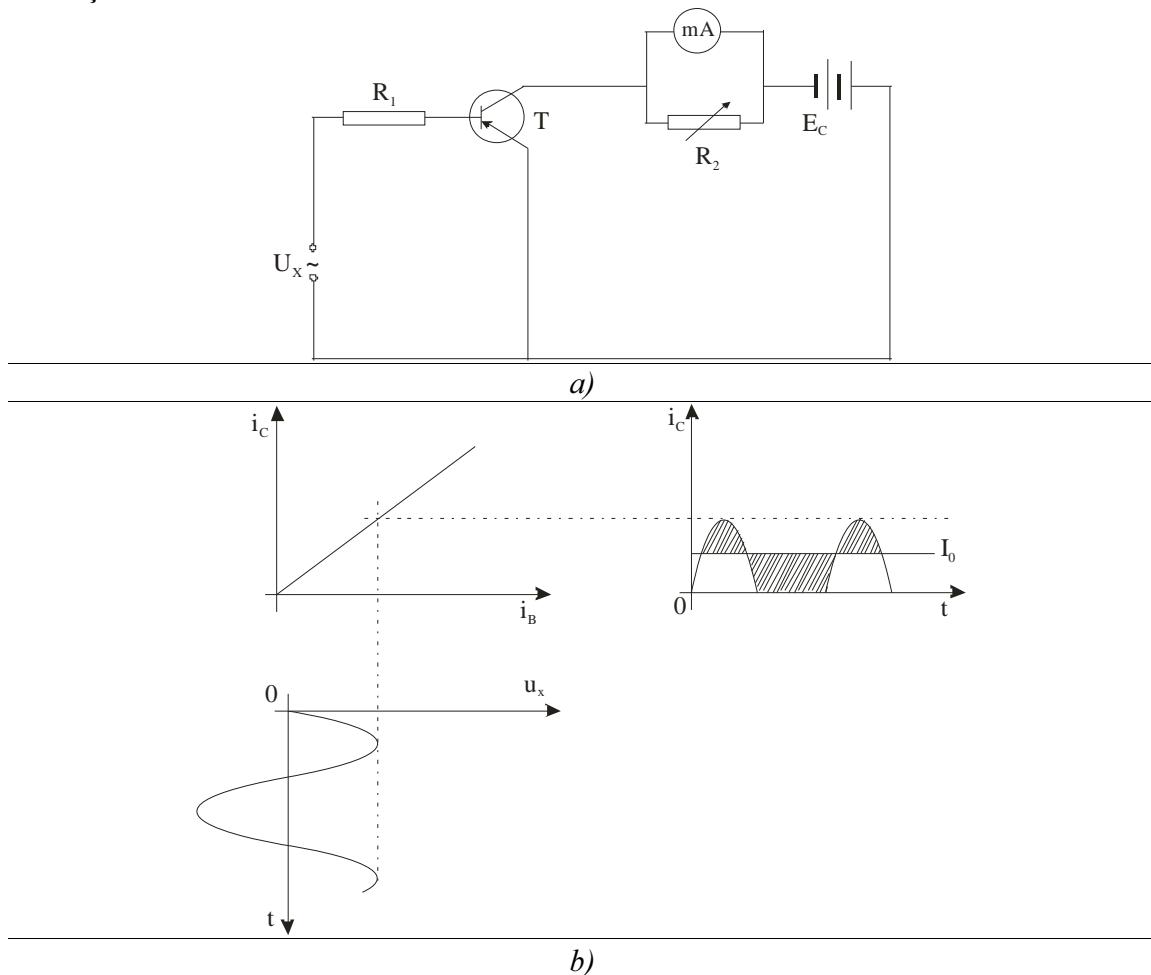


Figura 6.7. Voltmetru electronic de tip amplificator – detector: a) schema principală, b) variația în timp a tensiunii de măsurare și a curentilor i_C și i_B .

Cap 7. APARATE DE MĂSURAT NUMERICE (DIGITALE)

Aparatele numerice (digitale) sunt cele mai noi realizări în domeniul măsurării și prelucrării informațiilor de măsurare. Actualmente prețul acestor aparate numerice a devenit comparabil cu cel al aparatelor analogice sau chiar și electronice, oferind sub anumite aspecte performanțe superioare.

7.1. Generalități

Tehnicile de măsurare digitale s-au dezvoltat datorită următoarelor avantaje:

- precizie ridicată datorită atât reducerii erorilor proprii ale aparatelor, cât și eliminării erorilor de citire;
- informația numerică oferită de sistemul digital de măsurare, poate fi transmisă ușor pe distanțe mari, preluate, memora și compara fără probleme;
- durată foarte scurtă de măsurare ($1 \div 10^3$ măsurări/secundă).

Schema bloc generală aferentă aparatelor de măsură digitală se prezintă în fig. 7.1. Intrarea în sistemul de măsurare este diferențiat pe două canale; unul corespunde mărimilor electrice și altul mărimilor neelectrice. Dacă mărimea de măsurat x este neelectrică analogică, în aparat se poate distinge o parte analogică (traductorul primar TP) și circuitul de intrare (C_{i1}), precum și convertorul SC, care transformă mărimea electrică într-o mărime comparabilă cu etajul A/N. Sistemul convertor poate cuprinde elemente specific analogice și convertoare mărire/tensiune (semnal) specifice aparatelor digitale

Convertorul analog numeric A/N realizează cuantificarea mărimii analogice (adică compararea ei cu un sir de intervale valorice, numite cuante). Dacă convertorul A/N este direct, atunci rezultatul este dat direct în limbaj cod – aparat, care este reținut de memoria M.

Convertoarele analog numerice indirekte prin cuantificare generează un sir de impulsuri, a căror frecvență sau perioadă de repetiție este măsurată prin numărare în numărătorul N. Ca urmare convertorul A/N face joncțiunea cu partea numerică a aparatului în care informația se și vehiculează în cod numeric.

Memoria M, numită și registru reține rezultatul reține rezultatul conversiei sau al numărării, până la primirea unui nou rezultat după o nouă conversie. După decodificarea informației obținute și codul aparatului în decodificatorul D, rezultatul măsurării se poate afișa AF, înregistra pe imprimantă IMP, sau introduce în calculator pentru o prelucrare ulterioară.

Dacă mărimea de măsurat x este numerică (de exemplu numărător de impulsuri), partea analogică a schemei lipsește, iar circuitul de intrare C_{i2} are numai rol de adaptare de nivel și de formare de impulsuri compatibile cu numărătorul.

De menționat că din motive de simplitate, schema bloc nu conține unele părți componente existente în cadrul sistemului digital de măsurare, cum ar fi: generatorul de frecvență, sursa de tensiune de referință, unitatea de comandă etc.

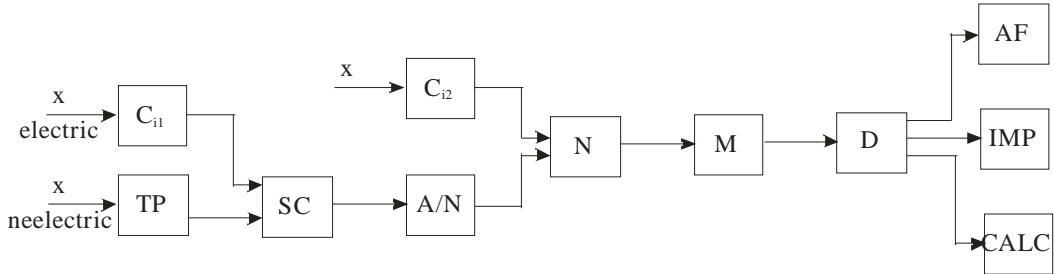


Figura 7. 1. Schema bloc principală a unui aparat numeric (digital)

7.2. Calitățile aparatelor digitale. Caracteristici

Calitățile aparatelor digitale se estimează pe baza unor caracteristici similare cu cele ale aparatelor analogice. Totuși apar anumite particularități, care vor fi evidențiate în continuare. Astfel:

- precizia aparatului este definită de eroarea fundamentală în condiții de referință la care se adaugă eroarea de incertitudine a afișajului (± 1). La aparatelor de tip frecvențmetru, afișarea se face cu n digiti, ajungând până la $n \leq 9$. Ca urmare, eroarea acestor apарат este:

$$\varepsilon = \pm \varepsilon_0 \pm \frac{1}{N} [\%], \quad (7.1)$$

în care:

ε_0 este eroarea fundamentală,

N – numărul afișat pe display.

Aparatele numerice tip voltmetru au afișajul cu n sau $n \frac{1}{2}$ cifre ($n \leq 6$). Afișajul cu $n \frac{1}{2}$ cifre înseamnă că acesta are n decade complete (0, 1, 2, ...9) și o decadă incompletă (cifra 1). De exemplu, un aparat cu $3 \frac{1}{2}$ digiti poate afișa maximum numărul 1999.

Obișnuit, eroarea totală a acestor apărate se exprimă cu relația:

$$\varepsilon = \pm \varepsilon_{ct} \pm \varepsilon_{cs} [\%], \quad (7.2)$$

unde:

ε_{ct} este eroarea raportată la valoarea citită;

ε_{cs} - eroarea raportată la capătul de scală.

- Rezoluția, este cea mai mică variație a mărimii de intrare, care produce o modificare sesizabilă a afișajului. Practic, aceasta constă în echivalentul schimbării cu o

unitate a celei mai puțin semnificative cifre. De exemplu, un voltmetru cu afișajul de $3\frac{1}{2}$ cifre pe domeniu de 20 V are rezoluția de $0,01\text{ V}$:

- Viteza de măsurare reprezintă numărul de măsurări într-un interval de timp. Viteza de măsurare depinde de numărul cifrelor afișate (decade) și de tipul consumatorului A/N. Viteza de măsurare este inversul timpului de măsurare. Ea poate fi cuprinsă între $0,5 \div 1000 \text{măsurări/secundă}$. Limita inferioară se folosește în cazul unui operator uman, iar limita superioară când se folosește un control automat prin calculator sau micropresor;
- Fidelitatea este calitatea aparatului de a efectua măsurări cu rezultate practic identice (apropiate) asupra aceleiași mărimi în condiții de măsurare afectate de influențe parazite: variații de temperatură, semnale perturbatoare, variație în timp a elementelor de referință interioare;

De menționat că prin măsuri de compensare și corecție, printr-o calibrare corespunzătoare, erorile aparatelor digitale pot fi menținute la un nivel admisibil.

7.3. Componentele aparatelor numerice

Componentele aparatelor numerice sunt în principal cele prezentate în figura 7.1. După conversia (cuantificarea) măsurandului, numărul obținut este procesat într-un sistem de numerație binar sau în sisteme compatibile cu acesta. Astfel, sistemul binar este folosit practic în toate tehniciile de calcul, deoarece poate ușor produce și recunoaște comod două nivele de potențial distințe cărora li se atribuie după convenție semnificația de 0 și 1. În logica pozitivă, nivelului superior î se atribuie cifra 1, iar celui scăzut cifra 0.

Spre exemplu, orice număr scris în sistemul binar poate fi scris în cel zecimal astfel:

$$(1001101)_2 = 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^0 = (77)_{10}.$$

Uneori este mai convenabilă modificarea separată a fiecărei cifre zecimale (0, 1, 2, ...9) cu câte un grup de 4 cifre binare (tetrădă), obținându-se astfel codul binar zecimal (NBCD). De menționat că în conversia analog – numerică apar dificultăți atunci când două grupe succesive diferă prin mai mult de 1 bit. Situația apare în codul NBCD prin trecerea de la 3 la 4. Pentru a evita acest lucru se modifică cu trei poziții originea numerației obținându-se codul zecimal GrayXS – 3.

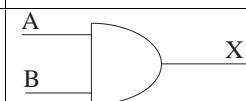
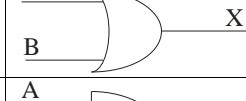
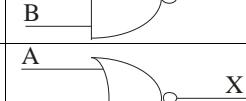
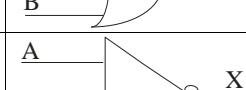
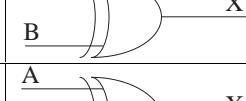
Nr. zecimal	NBCD	GrayXS – 3
0	0000	0010
1	0001	0110
2	0010	0111
3	0011	0101
4	0100	0100
5	0101	1100
6	0110	1101
7	0111	1111
8	1000	1110
9	1001	1010

7.3.1. Elemente logice

În aparatele de măsură digitale, operațiile de comandă, control și calcul se efectuează cu elemente logice. Fiecare element logic realizează o funcție logică care operează după regulile algebrei booleene. Principalele funcții logice sunt prezentate în tabelul 7.1.

Tabelul 7.1

Functii logice

Circuit	Simbol	Funcția booleană	Tabelul de adevăr			
			0	0	1	1
SI		$X = A \cdot B$	0	1	0	1
			0	0	0	1
			1	1	1	1
SAU		$X = A + B$	0	1	1	1
SI-NU		$X = \overline{A \cdot B}$	1	1	1	0
SAU-NU		$X = \overline{A + B}$	1	0	0	0
NU		$X = \overline{A}$	1	1	0	0
SAU EXCLUSIV		$X = A \oplus B = A \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot B$	0	1	1	0
COMPARATOR		$X = A \otimes B = A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{B}$	1	0	0	1

Elementele logice sunt realizate din circuite electronice. Actualmente aceste circuite se prezintă sub formă integrată cu tranzistoare bipolare în tehnica DTL, TTL, RTL, ECL, sau cu tranzistoare MOS în tehnica P-MOS sau C-MOS.

Operațiile aritmetice de adunare, scădere, memorarea sau deplasare a informației numerice au la bază o familie de elemente logice: circuitele basculante bistabile de tip CBB. Starea la un moment sat a unui CBB depinde atât de starea la acel moment a intrărilor cât și de starea anterioară a CBB (numit element logic secvențial). Un circuit CBB are una sau mai multe intrări și două ieșiri: una semnificativă, notată cu Q și alta complementară, notată cu \overline{Q} . De menționat că dacă $Q = 1$, atunci automat $\overline{Q} = 0$ și invers. În tabelul 7.2 se prezintă cele mai utilizate circuite de tip CBB folosite în realizarea blocurilor funcționale ale aparatelor de măsurat digitale. Unul dintre acestea este circuitul R-S sau basculant bistabil. El prezintă două intrări: S (Set – poziționare) și R (Reset – Repunere). Indiferent de starea anterioară, dacă la S se aplică 1 logic (adică $R = 0$), circuitul va fi poziționat, adică la ieșirea Q apare valoarea 1, iar la intrarea R,

dacă se aplică 1 ($S = 0$), CBB se va reduce la $Q = 0$. Cu 0 la ambele intrări se menține starea anterioară. Situația când $S = R = 1$ conduce la nedeterminare.

Circuitul R-S cu tact funcționează în mod similar cu cel R-S cu observația doar că poziționarea, respectiv repunerea CBB are loc pe lângă aplicarea lui 1 logic la S sau R, se aplică și la intrarea de tact T 1 logic (comanda de transfer a informației).

Transferul are loc simultan cu aplicarea tactului și în acest caz $S = R = 1$, adică conduce la o nedeterminare.

Tabelul 7.2.

Circuite CBB

Circuit CBB	Simbol	Schema logică
R-S		
R-S cu TACT		
D		
J - K		
J - K MASTER SLAVE		

Un circuit des întâlnit este J – K „Master – Slave” care asigură transferul informației de la intrare spre ieșire în anumite momente de sincronizare. Informația aplicată la intrările J și K activează partea MASTER când $T = 1$. Ea se transferă la SLAVE numai după ce tactul devine zero ($T = 0$). Numai în această situație la ieșirea generală Q este transmisă noua stare a circuitului.

7.3.2. Numărătoare și registre

Pentru a obține un numărător este suficient să lega în serie mai multe circuite CBB. În acest caz, starea bistabilelor la un moment dat reprezintă în codul ales numărul de impulsuri intrate în numărător.

Dependent de sensul de numărare se deosebesc numărătoare directe și inverse. Dacă impulsurile de măsurat se aplică doar la primul CBB, adică de cel mai mic rang, numărătorul se numește asincron, iar dacă impulsul de tact se aplică simultan tuturor CBB-urilor, numărătorul este sincron.

În ceea ce privește numărul maxim pe care-l poate înmagazina un numărător binar cu „un” CBB acesta este $2^n - 1$, și el corespunde numărului maxim de impulsuri. Dacă spre exemplu $n = 3$, numărul stărilor distințe este $2^3 = 8$ iar numărul maxim este 111, adică $1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 4 + 2 + 1 = 7$.

În completarea celor afirmate în figura 7.2 se poate analiza starea tuturor circuitelor basculante bistabile după aplicarea fiecărui impuls la intrare. Semnul negației de la intrarea de tact a tuturor CBB (notată cu un cerculeț) indică că bascularea are loc pe frontul negativ a impulsului de tact, deci se adaugă un bit la conținutul lor. După al optulea impuls se ajunge la starea inițială nulă, ultimul CBB (din dreapta) putând acționa alt CBB plasat după el. Se poate deci afirma, că numărătorul binar din fig. 7.2 este divizor cu opt, deoarece după opt impulsuri emite un impuls activ. Teoretic se pot realiza divizoare cu orice număr, dar practic se merge până la zece sau un multiplu de zece.

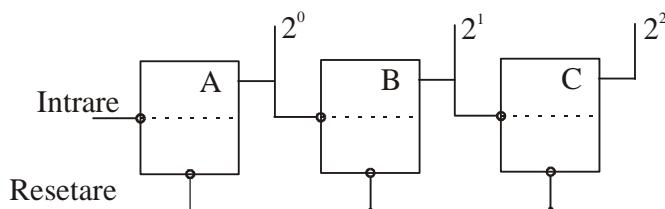


Figura 7.2. Numărător binar asincron

De obicei, aparatelor de măsurat magnetice operează cel mai des în sistemul binar zecimal; normal și numărătoarele trebuie să fie decadice, totalizând impulsurile primite conform unui din codurile BCD. Un numărător decadic are patru circuite basculante ($2^3 < 10 < 2^4$); cele șase stări posibile (de la tactul 11 la $16 = 2^4$) se elimină reacții adverse. Din variantele de numărare decadice, în fig. 7.3 se prezintă un numărător asincron direct, în codul NBCD. Până la al șaptelea impuls de la intrare $J_B = K_B = \bar{D} = 1$, numărătorul funcționează ca un numărător binar direct, CBB-D nu poate bascula, deoarece are 0 logic fie pe linia 1, fie pe linia 2 a lui J_D , relația dintre acestea fiind un produs logic.

După al optulea impuls, când CBB-D trece în starea 1, rezultă $\bar{D}=0$, pentru care CBB-B este blocat. Al nouălea impuls duce la $A=1$ ($B=0$, $C=0$, $D=1$), iar al zecelea reduce CBB-A în starea zero, la fel și pe CBB-D, deoarece acesta are $J_D=0$, $K_D=1$, rezultând un front negativ, care va comanda o decadă superioară. Ca urmare rezultă că numărătorul decadic este divizor cu zece.

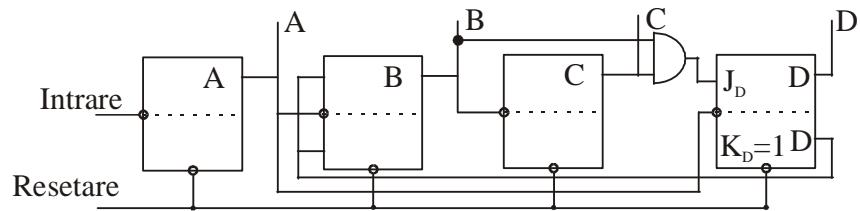


Figura 7. 3. Numărător decadic asincron direct în codul NBCD.