

STUDIUL APARATELOR DE MĂSURĂ

1. SCOPUL LUCRĂRII

Prezentarea principiului de funcționare al aparatelor de măsură analogice și digitale, măsurarea mărimilor electrice, extinderea domeniului de măsură a aparatelor și calculul constantei aparatelor de măsură.

2. CONSIDERAȚII TEORETICE

2.1. GENERALITĂȚI

Studiul aparatelor de măsură este deosebit de important, deoarece în zilele noastre se poate măsura pe cale electrică aproape orice mărime electrică sau neelectrică.

Pentru a putea efectua o măsurătoare se stabilește o **metodă de măsurare** și se utilizează un **mijloc de măsurare**, adică un aparat de măsurat.

Aparatele de măsură pot fi *clasificate*, având în vedere următoarele criterii:

a) modul de afișare al rezultatului măsurării

- *aparate analogice*
- *aparate digitale (numerice)*

Aparatele analogice furnizează valoarea mărimii măsurate prin aprecierea poziției unui ac indicator în raport cu reperele unei scări gradate, iar aparatele digitale furnizează valoarea mărimii măsurate sub forma unui număr prezentat într-un afișaj.

b) principiul de funcționare (în cazul aparatelor analogice)

- *aparate magnetoelectrice*
- *aparate electromagnetice(feromagnetice)*
- *aparate electrodinamice*
- *aparate cu inducție*
- *aparate electrostatice*
- *aparate termice*
- *logometre.*

c) mărimea măsurată: galvanometre, ampermetre, voltmetre, wattmetre, frecvențmetre, contoare, ohmmetre, punți.

2.2. APARATE DE MĂSURĂ ANALOGICE

Schema bloc a unui aparat de măsură analogic este prezentată în figura 1.1.

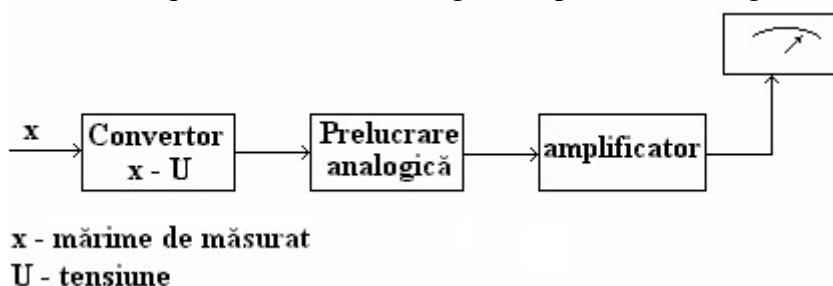


Fig. 1.1 Schema unui aparat de măsură analogic

Operația de măsurare cu un aparat de măsură analogic cuprinde următoarele etape:

- conversia mărimii de măsurat în tensiune electrică;
- prelucrarea analogică a semnalului electric;
- afișarea cu ajutorul acului indicator;

Din punct de vedere constructiv, instrumentele de măsurare prezintă următoarele componente:

- un dispozitiv de măsurare care funcționează pe baza unui anumit principiu;
- un ac indicator solidar cu partea mobilă a dispozitivului de măsurare;
- un cadran cu o scară gradată liniar sau neliniar (logaritmă) în fața căruia culisează acul indicator;
- unul sau mai multe dispozitive pentru producerea cuplului antagonist;
- un corector pentru reglarea acului în dreptul reperului zero;
- un dispozitiv amortizor pentru amortizarea oscilațiilor acului indicator;
- carcasa în care este cuprins aparatul;
- borne pentru conectarea aparatului în circuit.

Aparatele de măsură analogice sunt constituite dintr-o parte fixă și o parte mobilă care se poate roti în jurul unui ax.

Echipajul mobil al aparatului este acționat pe de o parte de un cuplu de forțe, numit cuplu activ sau motor, care este funcție de mărimea electrică de măsurat și pe de altă parte de un cuplu rezistent sau antagonist produs de obicei de un arc sub formă de spirală.

Mișcarea echipajului mobil este descrisă de ecuația diferențială (1.1):

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \sum_i m_i \quad (1.1)$$

unde J = momentul de inerție al echipajului mobil;

α = unghiul de rotație;

M_i = momentele cuplurilor aplicate echipajului mobil.

Aceste momente sunt momentul cuplului activ, momentul cuplului rezistent și momentul cuplului de amortizare.

Cuplul activ apare ca urmare a fenomenelor de interacțiune a câmpurilor electromagnetice, fiind dependent de mărimea de măsurat și determinând mișcarea echipajului mobil.

$$M_a = f(x), \quad (1.2)$$

unde x = mărimea de măsurat

Cuplul rezistent se poate obține pe cale mecanică, prin tensionarea unui resort (arc spiral), având expresia:

$$M_r = -D\alpha, \quad (1.3)$$

unde D = cuplul rezistent specific

α = deplasarea acului indicator

sau prin mișcarea unui element conductor în întrefierul unui magnet permanent, cuplul rezistent având expresia:

$$M_r = -kn, \quad (1.4)$$

unde n = turația echipajului mobil

k = constantă

Cuplul de amortizare depinde de viteza echipajului mobil:

$$M_{am} = -A \frac{d\alpha}{dt}, \quad (1.5)$$

unde A = factorul de amortizare.

Schema **echipajului mobil** este prezentată în figura 1.2.

Acul indicator (1) confecționat din țeava de aluminiu se rotește sub acțiunea cuplului activ.

Pentru aducerea în zero a acului indicator se folosește un dispozitiv format dintr-o furcă (3) prinsă la un capăt al arcului spiral, care este deplasată de excentricul unui șurub (4) acționat din exteriorul aparatului.

Contragreutățile (5) elimină influența greutății proprii a echipajului mobil asupra deviației.

Pentru citirea deviației se utilizează un dispozitiv format dintr-o scară gradată și un ac indicator. Scara gradată are trasate repere principale, marcate cu cifre și diviziuni intermediare.

Aceasta este prevăzută cu o oglindă pentru a evita eroarea de paralaxă (dacă citirea nu se face perpendicular pe aparat se citește greșit numărul de diviziuni).

Partea fixă a aparatului conține: ecrane, bobine, magneți permanenți.

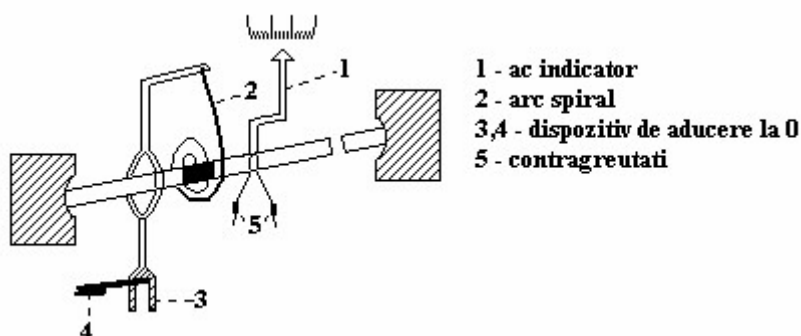


Fig. 1.2 Schema echipajului mobil al unui instrument de măsurare analogic

Cele mai importante *caracteristici ale aparatelor* sunt: clasa de precizie, constanta aparatului, rezistențele interioare care stabilesc consumul propriu al aparatului.

Pentru a stabili clasa de precizie se definește eroarea raportată de indicație a aparatului:

$$\varepsilon_R = (\Delta x_i / x_n) 100, \quad (1.6)$$

unde $\Delta x_i = x_i - x$ este eroarea absolută de indicație a aparatului

x_i = indicația aparatului etalon

x = indicația aparatului de verificat

x_n = indicația maximă a scării aparatului

Prin STAS 4640-61 aparatele se împart în 7 clase: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5, cu erorile absolute maxim tolerate de $\pm 0,1\%$; $\pm 0,2\%$; $\pm 0,5\%$; $\pm 1\%$; $\pm 1,5\%$; $\pm 2,5\%$; $\pm 5\%$ din indicația maximă a scării aparatului.

2.3. APARATE DE MĂSURĂ DIGITALE

Schema bloc a unui aparat de măsură digital este prezentată în figura 1.3.

Principiul de funcționare al unui aparat digital de măsurare constă în transformarea mărimii de măsurat cu variație continuă în timp, în semnale digitale, prelucrarea specifică a acestora și afișarea sub o formă numerică.

Un semnal digital este un semnal cu 2 nivele, “0” și “1”, informația fiind reprezentată prin prezența unuia sau a altuia din cele 2 nivele.

Convertorul analog digital transformă un semnal analogic într-unul digital.

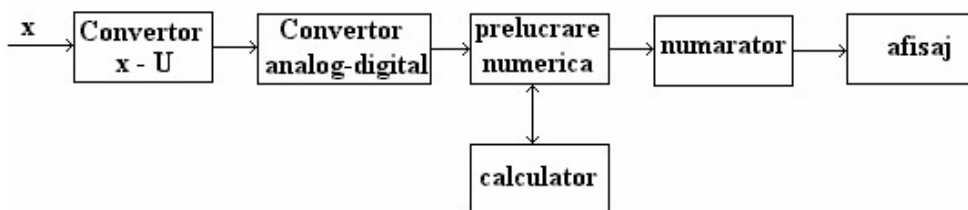


Fig. 1.3 Schema bloc a unui aparat de măsură digital

Operația de prelucrare numerică cuprinde următoarele etape:

- cuantificarea semnalului, care reprezintă operația de divizare a semnalului în “cuante” (cantități egale, de o anumită valoare);
- codificarea, care reprezintă operația de asociere a unor valori numerice la cuantele obținute (codificarea binară operează cu nivelele “0” și “1”, care corespund unor niveluri de tensiune continue (ex. 0V și 5V);
- afișarea, care reprezintă operația de prezentare a rezultatului sub formă de cifre, cu ajutorul indicatoarelor optoelectronice de tip LED sau LCD.

Dintre avantajele introduse de aparatele digitale, față de aparatele analogice se amintesc:

- eliminarea erorilor de citire;
- viteză mare de măsurare (sute, mii de măsurări/secundă);
- posibilitatea de stocare a informației în memoria unui calculator.

2.4. MĂSURAREA INTENSITĂȚII CURENTULUI ELECTRIC ȘI A TENSIUNII ELECTRICE

Ampermetrul este aparatul care se conectează în serie în circuitul în care circulă curentul de măsurat sau înseriat cu elementul al cărui consum de curent se determină (fig.1.4.a și b).

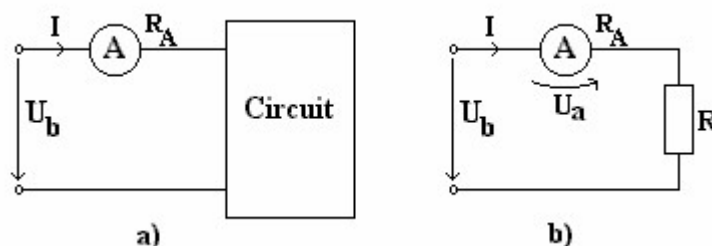


Fig. 1.4 Conectarea ampermetrului în circuit

În absența ampermetrului valoarea curentului prin circuitul din figura 1.4.b este:

$$I = \frac{U_b}{R} \quad (1.7)$$

După introducerea ampermetrului, curentul în circuit se va modifica având valoarea:

$$I' = \frac{U_b}{R + R_A} \quad (1.8)$$

Pentru a modifica cât mai puțin curentul prin circuit este necesar ca rezistența internă a ampermetrului, R_A , să fie mult mai mică față de rezistența R , și în general cât mai mică.

$$\text{Din } R_A = \frac{\rho l}{S} \quad (1.9)$$

rezultă că bobina ampermetrului trebuie să fie construită din sârmă de secțiune mare și cu un număr mic de spire, măsură care se ia din faza de construcție a aparatului.

**** Conectarea greșită a ampermetrului (fig.1.5.), adică montarea ampermetrului în paralel în circuit, va conduce la trecerea unui curent:**

$$I_A = \frac{U_b}{R_A} \quad (1.10)$$

de valoare mare prin acesta, mult mai mare decât valoare sa admisibilă prin rezistența internă. Aparatul se va deteriora: va suferi defecțiuni mecanice (ruperea acului indicator), iar bobinajul se va încălzi peste limitele admise și se va arde.

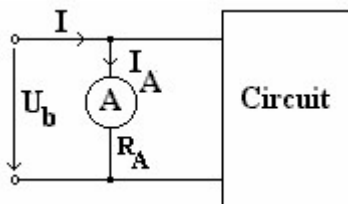


Fig. 1.5 Conectarea greșită a ampermetrului în circuit

Voltmetrul este utilizat pentru măsurarea tensiunii electrice și se conectează în paralel față de bornele între care dorim să măsurăm tensiunea.

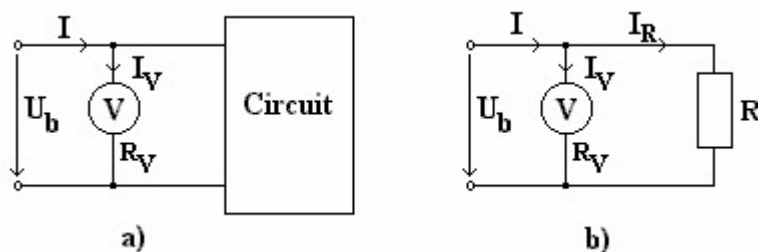


Fig. 1.6 Conectarea voltmetrului în circuit

Pentru a nu influența repartiția curenților în circuit, adică $I_R \cong \text{constant}$, odată cu montarea voltmetrului este necesar ca:

$$I_V \cong 0 \quad (1.11)$$

$$\text{Dar } I_V = \frac{U_b}{R_V} \quad (1.12)$$

rezultă că R_V trebuie să aibă valori mult mai mari față de R , și în general cât mai mari. Astfel bobina voltmetrului trebuie să fie construită din sârmă de secțiune mică și cu un număr mare de spire, măsură care se ia din faza de construcție a aparatului.

** Conectarea greșită a voltmetrului (adică în serie cu circuitul la bornele căruia se dorește măsurarea tensiunii) conduce la stabilirea unui curent foarte mic prin circuit (receptor/consumator), care va determina o indicație eronată a tensiunii la voltmetru și perturbarea funcționării circuitului. Aparatul nu se va deteriora (fig.1.7).

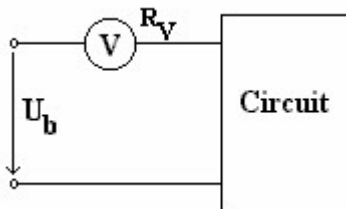


Fig. 1.7 Conectarea greșită a voltmetrului în circuit

2.5. EXTINDEREA DOMENIULUI DE MĂSURĂ

Aparatele de măsură electrice sunt construite astfel încât să permită măsurarea mărimilor în limite foarte largi de la valori foarte mici până la valori foarte mari. La proiectarea unui aparat de măsură se are în vedere ca acesta să poată măsura în domenii de valori foarte largi, aceste

domenii fiind împărțite în subdomenii, care sunt alese prin intermediul unor comutatoare sau borne.

2.5.1. Extinderea domeniului de măsură pentru ampermetre

Ampermetrul este construit din instrumentul indicator și o serie de rezistențe care se conectează în paralel cu instrumentul pentru a modifica subdomeniul de măsură al aparatului. Aceste rezistențe care se conectează în paralel au valori foarte mici și se numesc **șunturi**.

Dacă un instrument indicator poate măsura o valoare a curentului I și este necesar să fie folosit la măsurarea unui curent nI , deci de n ori mai mare decât posibilitățile sale, vom conecta în paralel o rezistență R_s ca în figura 1.8.a.

Din teorema a II-a a lui Kirchhoff pe ochiul format de rezistența șunt R_s și ampermetrul A rezultă:

$$0 = R_A I - R_s (n-1) I \quad (1.13)$$

$$\text{deci} \quad R_s = \frac{R_A}{n-1} \quad (1.14)$$

În concluzie pentru extinderea domeniului de măsură al ampermetrului de la I la nI se va conecta în paralel cu aparatul o rezistență a cărei valoare să fie de $(n-1)$ ori mai mică decât rezistența internă a aparatului.

Schema de principiu a ampermetrului cu n subdomenii este prezentată în figura 1.8.b.

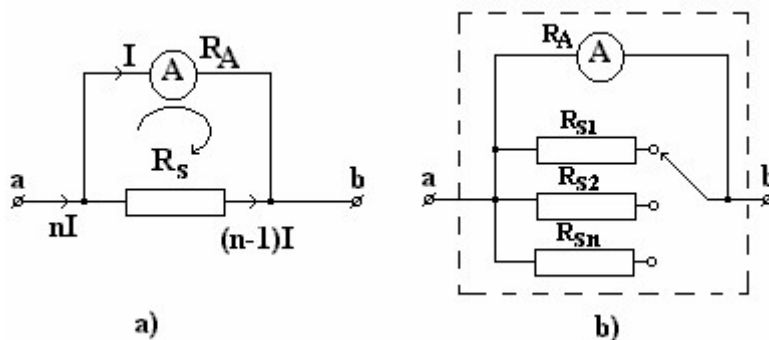


Fig. 1.8 Schema electrică a ampermetrului
a). calculare șunt; b). schema de principiu

2.5.2. Extinderea domeniului de măsură pentru voltmetre

Voltmetrul este construit din instrumentul indicator și o serie de rezistențe care se conectează în serie cu instrumentul pentru a modifica subdomeniul de măsură al aparatului. Aceste rezistențe, care se conectează în serie au valori foarte mari și se numesc **rezistențe adiționale**.

Dacă un instrument indicator poate măsura o valoare a tensiunii U și este necesar să fie folosit la măsurarea unei tensiuni nU , deci de n ori mai mare decât posibilitățile sale, vom conecta în serie o rezistență R_a ca în fig.1.9.a.

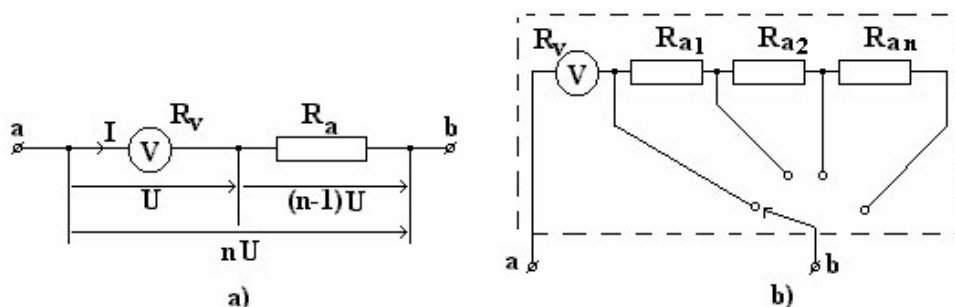


Fig. 1.9 Schema electrică a voltmetrului
a) calculare rezistență adițională; b). schema de principiu

$$\text{Din } I = \frac{U}{R_v} = \frac{(n-1)U}{R_a} \quad (1.15)$$

$$\text{rezultă } R_a = (n-1)R_v \quad (1.16)$$

În concluzie pentru extinderea domeniului de măsură al voltmetrului de la U la nU se conectează în serie cu aparatul o rezistență având valoarea de $(n-1)$ ori mai mare decât rezistența internă a aparatului.

Schema de principiu a voltmetrului cu n subdomenii este prezentată în figura 1.9.b.

2.5.3. Extinderea domeniului de măsură pentru wattmetre

Wattmetrul este instrumentul care are o bobină de curent, a cărei rezistență este foarte mică și o bobină de tensiune, a cărei rezistență este foarte mare. În momentul conectării wattmetrului în circuit prin bobina de curent va circula un curent proporțional cu cel din circuit, iar prin bobina de tensiune va circula un curent proporțional cu tensiunea din circuit.

Extinderea domeniului de măsură pentru curent presupune conectarea în paralel a rezistențelor de șunt cu bobina de curent.

Extinderea domeniului de măsură pentru tensiune se realizează prin utilizarea unor rezistențe adiționale ce se conectează în serie cu bobina de tensiune.

2.6. CALCULUL CONSTANTEI APARATELOR DE MĂSURĂ

Aparatele de măsură au de obicei mai multe domenii de măsură și una sau mai multe scări de măsură. Aceste scări prevăzute cu unul sau mai multe rânduri de gradații permit citirea valorilor măsurate utilizând un domeniu de măsură. Pentru a determina cât reprezintă fiecare diviziune și care este rezultatul măsurătorii s-a definit constanta aparatului.

2.6.1. Calculul constantei ampermetrelor și a voltmetrelor

Dacă se notează cu N domeniul de măsură ales cu ajutorul comutatorului și cu α_N numărul de gradații (diviziuni) se definește constanta aparatului:

$$C = \frac{N}{\alpha_N} \text{ [unități/diviziune]} \quad (1.17)$$

Dacă acul indicator se oprește în dreptul diviziunii α , atunci rezultatul măsurătorii va fi:

$$M = C\alpha = \frac{N}{\alpha_N}\alpha \text{ [unități]} \quad (1.18)$$

2.6.2. Calculul constantei wattmetrelor

Dacă se notează cu N_I domeniul de măsură pentru curent, iar cu N_U domeniul de măsură pentru tensiune, atunci constanta de măsură a wattmetrului este:

$$C_w = \frac{N_U N_I}{\alpha_N} \text{ [W/diviziune]} \quad (1.19)$$

Dacă acul indicator se oprește în dreptul diviziunii α , atunci rezultatul măsurătorii va fi:

$$P = C\alpha = \frac{N_U N_I}{\alpha_N} \alpha \cdot n \text{ [W]}, \quad (1.20)$$

unde n este numărul de echipaje mobile a aparatului.

3. DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

3.1. Se va identifica pe aparatele analogice din laborator semnificația simbolurilor și a inscripționărilor, analizând tabelele din anexa 1.

3.2. Se vor analiza părțile componente ale instrumentelor de măsură magnetoelectrice, electromagnetice, electrodinamice, de inducție, electrostatice și a logometrelor din laborator.

3.3. Se va măsura cu ampermetrul și voltmetrul analogic o tensiune continuă și un curent continuu, și se va determina constanta aparatelor, alimentând circuitul din figura 1.10., format dintr-o rezistență de sarcină, cu o tensiune de la sursa de tensiune continuă.

3.4. Se va repeta punctul 3.3. utilizând un multimetru ce conține ampermetru și voltmetru, realizând măsurătorile pentru mai multe domenii și pe mai multe scări de măsurare.

3.5. Se repetă punctul 3.3. utilizând aparate de măsură digitale.

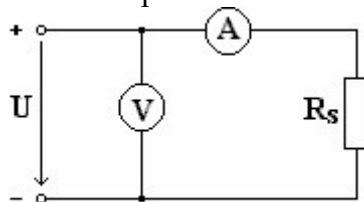


Fig. 1.10 Schema de montaj pentru măsurarea curentului și a tensiunii în regim continuu

3.6. Se va măsura o tensiune și un curent alternativ, utilizând circuitul din figura 1.11. cu ajutorul instrumentelor analogice și digitale.

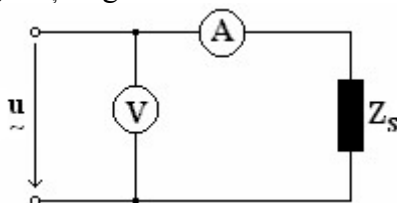


Fig. 1.11 Schema de montaj pentru măsurarea curentului și a tensiunii în regim alternativ

3.7. Se va studia individual un aparat de măsură analogic, urmărind:

- tipul aparatului (după principiul de funcționare și mărimea măsurată);
- nr. de borne de conectare în circuit/nr. de domenii, nr. de scări de măsurare;
- semnificația tuturor inscripționărilor furnizate de producător pe aparat;
- valoarea măsurată, pentru un domeniu de măsură precizat și o poziție fixată a acului indicator.

4. CONȚINUTUL REFERATULUI (referatul lucrării se va scrie de mână)

4.1 Se va prezenta pe scurt, schematizat, clasificarea aparatelor de măsură cu exemple.

4.2 Se vor denumi componentele unui instrument de măsurare, din punct de vedere constructiv.

4.3 La măsurarea curentului și a tensiunii electrice se vor prezenta schemele electrice de principiu, observații.

4.4 Pentru extinderea domeniului de măsură la ampermetre și voltmetre se cer schemele de principiu, expresiile de calcul pentru R_s și R_a , observații.

4.5 Se va preciza expresia de calcul a constantei aparatelor de măsură analogice și a valorii măsurate.

4.6 Se va prezenta un aparat de măsură analogic studiat în laborator urmărind:

- tipul aparatului după principiul de funcționare și după mărimea măsurată;
- nr. de borne pentru conectarea în circuit, nr. de domenii, nr. de scări, constanta aparatului pentru un domeniu de măsură considerat și pentru o scară de citire aleasă;
- semnificația altor simboluri inscripționate pe aparatul de măsură.

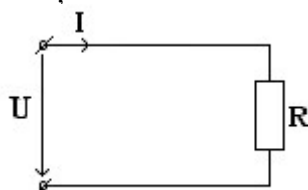
5. ÎNTREBĂRI DE CONTROL (*exersare orală*)

1. Cum se clasifică aparatele de măsură după modul de afișare al rezultatului măsurării ?

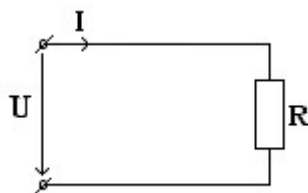
2. Dați cel puțin trei exemple de tipuri de aparate analogice, clasificate după principiul de funcționare.

3. Dați cel puțin patru exemple de aparate, clasificate după mărimea măsurată.

4. Să se conecteze un aparat de măsură, într-o schemă de montaj, pentru măsurarea intensității curentului electric. Cum se numește aparatul și ce caracteristică trebuie să aibă pentru a perturba cât mai puțin funcționarea circuitului inițial ?



5. Să se conecteze un aparat de măsură, într-o schemă de montaj, pentru măsurarea tensiunii electrice. Cum se numește aparatul și ce caracteristică trebuie să aibă pentru a perturba cât mai puțin funcționarea circuitului inițial ?



6. Știind că un ampermetru cu rezistența internă $R_A = 20m\Omega$ poate măsura un curent de maxim $1A$ să se calculeze *rezistența de șunt* necesară pentru extinderea domeniului de măsură la $5A$.

7. Știind că un voltmetru cu rezistența internă $R_V = 2000\Omega$ poate măsura o tensiune de maxim $50V$ să se calculeze *rezistența adițională* necesară pentru extinderea domeniului de măsură la $200V$.

8. Se consideră un voltmetru analogic care este conectat în circuit pe domeniul de $25V$. Dacă se cunoaște constanta de $2000\Omega/V$ precizată de producător, să se determine rezistența sa internă.











9. Se consideră un ampermetru analogic conectat în circuit pe domeniul de $5A$. Precizați valoarea curentului măsurat dacă acul indicator s-a oprit la diviziunea 15 pe o scară cu 50 de diviziuni.

10. Se consideră un voltmetru analogic conectat în circuit pe domeniul de $200V$. Precizați valoarea tensiunii măsurate dacă acul indicator s-a oprit la diviziunea 30 pe o scară cu 100 de diviziuni.

Anexa
































În scopul unei identificări rapide, aparatele de măsurare analogice sunt marcate pe cadranele lor cu simboluri ce caracterizează: principiul de funcționare, felul curentului măsurat, clasa de precizie, poziția normală de funcționare, tensiunea de încercare a izolației, felul ecranării. De asemenea, anul de fabricație și emblema fabricii constructoare. Unele sunt prevăzute cu scheme de conexiuni și de montaj, având și bornele marcate.

Tabelul 1.1 Clasificarea instrumentelor electromecanice și simbolurile grafice aferente

Tipul mecanismului	Semnul grafic	Banda de frecvențe
1a. Magnetoelectric cu bobină mobilă		numai în c.c. (0 Hz)
1b. Magnetoelectric cu redresor		10Hz – 10 kHz
1c. Magnetoelectric cu termocuplu		0 – 100 MHz
1d. Magnetoelectric cu magnet mobil și bobină fixă		numai în c.c. (0 Hz)
2. Feromagnetic		0 – 1000 Hz
3. Electrodinamic		0 – 1000 Hz
4. Ferodinamic		0 – 100 kHz
5. Cu inducție		10 – 100 Hz
6. Electrostatic		0 – 10 MHz
7. Cu lamelă bimetalică		0 – 50 kHz

La marcarea aparatelor de măsură se utilizează semnele grafice standardizate reprezentate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2

A. Simboluri care indică principiul de funcționare		A. Simboluri care indică principiul de funcționare	
	Instrument magnetoelec - tric cu cadru mobil		Instrument termoelec - tric cu termoelement
	Logometru magnetoelec - tric	B. Simboluri care indică felul curentului măsurat	
	Instrument cu magnet mobil		Curent continuu
	Instrument feromagnetic (cu fier mobil)		Curent alternativ monofazat
	Instrument electrodina - mic		Curent continuu și curent alternativ monofazat
	Instrument ferodinamic		Curent alternativ trifazat
	Logometru electrodina - mic	C. Simboluri care indică clasa de precizie	
	Logometru ferodinamic	1,5	Clasa se referă la erorile exprimate în procente din valoarea convențională (ex.1,5)
	Instrument de inducție		Idem din lungimea scării gradate (ex. 1,5)
	Instrument cu lamele vibrante		Idem din valoarea măsurată (ex. 1,5)
	Instrument electrostatic	D. Simboluri care indică poziția normală de funcționare	
	Instrument termic (cu fir cald)		Cu cadranul vertical
	Instrument bimetalic		Cu cadranul orizontal
	Instrument cu redresor		Cu cadranul înclinat față de orizontală (ex. 60°)
E. Simboluri care indică tensiunea de încercare		E. Simboluri care indică tensiunea de încercare	
	Tensiunea de încercare 500V		Bornă de pământ
	Tensiune de încercare peste 500V (ex. 2kV)	F. Simboluri care indică felul ecranării	
	Nu se pretinde încercare die - lectrică		Ecranare electrostatică
	Protecție împotriva tensiunii înalte care depășește ten - siunea de încercare		Ecranare magnetică