Lucrarea nr. 1

Utilizarea instrumentaţiei analogice la măsurarea curenţilor şi tensiunilor electrice

Cuprins

I. Scopul lucrării

II. Noţiuni teoretice

III. Desfăşurarea lucrării

IV. Temă de casă

V. Anexe

I. Scopul lucrării

Lucrarea are drept scop studierea comparativă a instrumentaţiei analogice, având caracteristici constructive și funcţionale diferite, destinată măsurării directe în regim staţionar a curentului și tensiunii electrice. Pe baza rezultatelor experimentale obţinute, pentru diversele categorii de măsurări efectuate, se pot stabili tipurile de instrumente (aparate) adecvate realizării de performante optime.

Cuprins

II. Noţiuni teoretice

Instrumentele analogice destinate măsurării directe a curentului și tensiunii electrice fac parte din grupa aparatelor electromecanice și sunt dispozitive care convertesc mărimea de măsurat X într-o deviaţie **α** a unui ac indicator; poziţia acului indicator, în raport cu o scală gradată conform unui sistem de unităţi de măsură adoptat permite aflarea directă a valorii unui X. Măsurările efectuate cu aceste aparate se aplică unor mărimi staţionare, în sensul că masurandul X este constant pe durata măsurării.

Dependenţa dintre deviaţia **α** și masurandul X este o funcţie continua **α**=f(x), de aceea acestea se numesc instrumente analogice.

Funcţionarea aparatelor analogice se bazează pe transformarea unei părţi din energia asociată mărimii electrice - masurandul -in energie mecanică necesară deplasării unui mobil care antrenează acul indicator. Deoarece energia consumată trebuie să fie cât mai redusă, pentru a perturba cât mai puţin masurandul. Ia unele aparate se utilizează surse auxiliare de energie (este cazul aparatelor electronice).

Deoarece există mai multe posibilităţi de conversie a energiei electrice în energie mecanică, precum și a diversităţii aplicaţiilor, în practică curentă a măsurărilor industrial de laborator, se utilizează o mare varietate de instrumente, cunoscute sub denumiri ce reflecta caracteristicile lor constructive și funcţionale.

În cadrul lucrarii vor fi utilizate toate tipurile: magnetoelectrice, feromagnetice, electrodinamice, cu redresori și electronice; de asemenea, pentru comparaţii privind comoditatea citirii și performanţele obţinute se va utiliza și un multimetru numeric de uz general.

Instrumentele analogice destinate măsurărilor în regim staţionar sunt caracterizate printr-o serie de indicatori de performanţă pe baza cărora se poate aprecia calitatea măsurării. Cei mai importanţi indicatori de performanţă sunt:

a) Tipul relaţiei de dependenţă (caracteristica statică) $\boldsymbol{\alpha} = f(x)$

- liniara $\boldsymbol{\alpha} = kX$ (1)

- neliniara $\boldsymbol{\alpha} = kX^2$ (2)

Pentru relaţii liniare scala aparatului este uniformă, cu diviziuni echidistante, În timp ce pentru dependenţă neliniară scala este neuniforma (cu diviziuni foarte apropiate și dificil de interpretat la valori mici ale masurandului).

b) Domeniul de măsurare, definit ca intervalul de variaţie al mărimii de măsurat $0....X_{max}$ În cadrul căruia aparatul permite efectuarea corectă a măsurării potrivit caracteristicii sale statice. Cu cât domeniul de măsurare este mai extins cu atât posibilităţile de utilizare sunt mai largi.

c) Sensibilitatea reprezintă calitatea unui aparat de a determina variaţii cât mai mari ale deviaţiei ($\Delta\alpha$.) pentru variaţii cât mai mici ale masurandului (ΔX) și se exprima:

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X} S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X} \qquad (3)$$

în care $\Delta\alpha$ se exprimă în diviziuni (DIV) ale scalei, iar ΔX în unităţi de măsură ale masurandului (ex. DIV/A, DIV/V).

în cazul relaţiilor de dependenţa liniare - conform relaţiei (1) - sensibilitatea este constantă pe întreg domeniul și se poate calcula cu relaţia

$$S = \frac{\alpha_{max}}{X_{max}} S = \frac{\alpha_{max}}{X_{max}} \qquad (4)$$

Pentru o caracteristică statică neliniară sensibilitatea se defințe local sau punctual sub forma:

$$S_1 = \frac{d\alpha}{dX} S_1 = \frac{d\alpha}{dX}\Big|_{X=X1} \frac{\Delta\alpha}{\Delta X}\Big|_{X=X1} \qquad (5)$$

Se observă că, pentru caracteristicile statice liniare (relaţia (4)), sensibilitatea este în raport invers cu domeniul, astfel că, pentru a sesiza variaţii cât mai mici ale masurandului, trebuie restrâns domeniul. Pentru realizarea acestui deziderat se construiesc aparate cu sensibilităţi și domenii multiple.

d) Clasa de precizie este indicatorul de performanta cel mai important întrucât permite evaluarea erorilor care afectează rezultatele măsurătorilor. Prin eroare - notata ΔX - se înţelege diferenţa dintre valoarea indicată de aparat X și valoarea adevărată X a masurandului.

$$\Delta X = X_1 - X \qquad (6)$$

Clasa de precizie **c** se exprimă prin raportul procentual dintre eroarea admisibila ΔX_{ad}

(eroarea maximă care poate apărea în condiţii corecte de utilizare) și valoarea care defineș te domeniul.

$$c = \frac{\Delta X_{ad}}{X_{max}} * 100[\%]c = \frac{\Delta X_{ad}}{X_{max}} * 100[\%] \qquad (7)$$

Valori uzuale pentru clasa de precizie sunt: 0,1; 0,2; 0,5 pentru aparatele de laborator și 1; 1,5; 2,5 pentru cele cu utilizări în industrie.

Semnificaţia clasei de precizie- după cum rezultă din relaţia (7) - este aceea a erorii relative procentuale pentru situaţia când masurandul are valoarea X_{max}. Cum ΔX_{ad}= ct. pe întreg domeniul de măsurare, rezultă că, pentru o altă valoare $X<X_{max}$ eroarea relativă este dată de relaţia

$$\Delta X_r = c\frac{X_{max}}{X}\ [\%]\Delta X_r = c\frac{X_{max}}{X}\ [\%] \qquad (8)$$

Din relaţia (8) rezultă că pentru a efectua măsurări cu erori relative reduse, corespunzătoare clasei de precizie c, domeniul aparatului trebuie astfel ales încât indicaţia să fie cât mai apropiată de X_{max} (în ultima treime a scalei). Cunoscând clasa de precizie (înscrisă pe scala aparatului) se poate calcula, din relaţia (7), ΔXn, astfel ca se poate exprima rezultatul masuratorii.

$$X_r - \Delta X_{ad} \leq X \leq X_r + \Delta X_{ad}X_r - \Delta X_{ad} \leq X \leq X_r + \Delta X_{ad} \qquad (9)$$

Sau

$$X = X_r \pm \Delta X_{ad}X = X_r \pm \Delta X_{ad} \qquad (10)$$

e) Consumul energetic este determinat în funcţie de puterea preluată de instrument măsurând în timpul efectuării operaţie. Pentru aparatele electrice de măsurat această putere, în regim staţionar, se poate exprima prin relaţii de forma:

$P = RI^2$-la măsurători de curent (ampermetre) (11)

$$P = \frac{U^2}{R}P = \frac{U^2}{R} \qquad (12)$$

- la măsurători de tensiune (voltmetre) unde, prin R_a și R_v seînţeleg rezistentele la borne ale aparatelor (ampermetru, respectiv voltmetru), iar I și U sunt curentul respectiv tensiunea, indicate de acestea.

Un aparat este cu atât mai bun cu cât consumul sau energetic este mai mic, adică influenta sa asupra masurandului este mai redusă.

Tipurile de aparate care vor fi utilizate în lucrare sunt prezentate în ANEXA A. Pentru multimetrul numeric se va consulta ANEXA G.

Cuprins

III. Desfăşurarea lucrării

II. Chestiuni de studiat

2.1. Utilizarea instrumentaţiei la măsurarea curenţilor

2.1.1. Măsurări de curenţi continuu

Se vor efectua măsurări în gama de valori 0,1A ÷÷ 1A utilizând un aparat magnetoelectric de laborator, unul feromagnetic de panou, un multimetru analogic conectat pe poziţia A și un multimetru numeric conectat pe poziţia mĂ DC. Se vor efectua cinci determinări în sens crescător și apoi în sens descrescător - în limitele menţionate - iar pentru două valori din gama se vor repeta măsurările prin modificarea comutatoarelor de domeniu Ia multimetre, pe toate poziţiile care permit efectuarea măsurării fără distrugerea acestora.

2.1.2. Măsurări de curenţi alternativi sinusoidali la frecventa reţelei 50Hz.

Se vor efectua doua măsurări în gama devalori 1mA + 25mA utilizând aceleaşi aparate că la punctul 2.1, la frecvenţele 100Hz, 500Hz, 1KHz, 5KHz, l0KHz, 50KHz. Aparatele se vor conecta pe domeniile care permit citirile în cele mai bune condiţii.

2.2. Utilizarea instrumentaţiei la măsurarea tensiunilor

2.2.1. Măsurări de tensiuni continue

Se vor efectua măsurări în gama de valori 0,1 + 40V utilizând un aparat magnetoelectric de laborator, unul feromagnetic de panou, un multimetru analogic poziţionat pe V alternativ și un multimetru numeric fixat pe V continuu. Se vor face 5 determinări în limitele menţionate în sens crescător și descrescător. Pentru 2 valori de tensiuni din gama se vor repeta măsurările prin modificarea comutatoarelor de domeniu la multimetre, pe toate poziţiile care permit efectuarea măsurării fără distrugerea acestora.

2.2.2. Măsurări de tensiuni alternative sinusoidale la frecvenţa de 50Hz.

Se vor efectua măsurări de valori efective în gama 1V…….50V utilizând un aparat feromagnetic, unul electronic, un multimetru numeric poziţionat corespunzător, în aceleași condiţii că la punctul 2.2.1.

2.2.3. Măsurări de tensiuni alternative sinusoidale Ia frecvente mai mari de 50Hz.

Se vor efectua 2 măsurări în gama de valori 0,1 V + 10V la frecvenţele 100Hz, 500Hz, 1KHz, 5KHz, 10KHz, 50KHz, utilizând aceleai aparate ca la măsurările de Ia punctul 2.2.2.

Aparatele cu domenii multiple se vor conecta pe domeniile care permit citirile în cele mai bune condiţii.

Cuprins

IV. Temă de casă

III. Schemele de montaj și modul de lucru

3.1. Schemele de montaj

3.1.1. Măsurări de curenţi

Schema montajului pentru măsurarea curenţilor continui și alternativi de joasă și înaltă frecvenţa este prezentată În fig 1.1. în care:

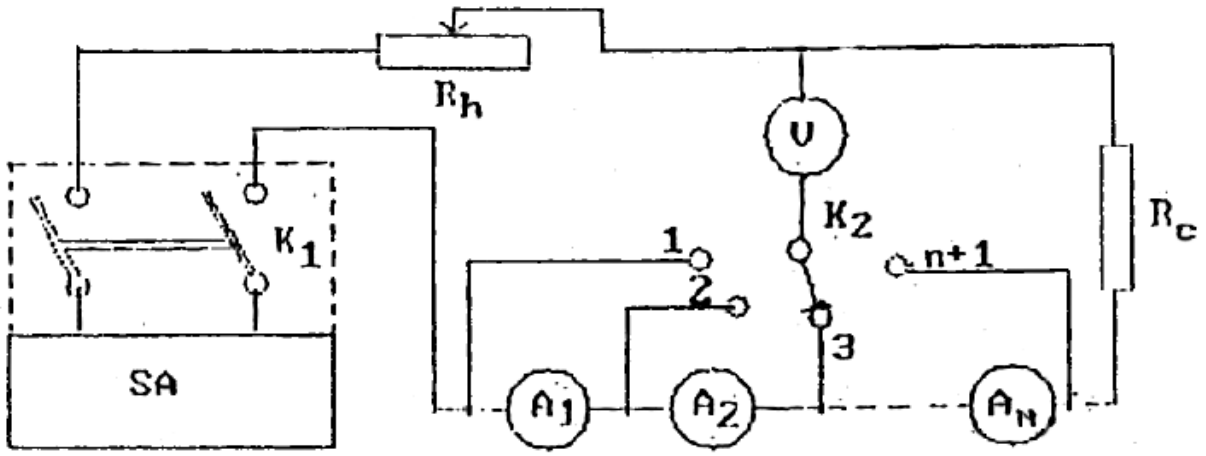


Fig. 1 - Schema de montaj pentru măsurarea curenţilor

V 1, V2,....Vn - voltmetre conform specificaţiilor de la punctele 2.2.1 + 2.2.3
SA - sursa de alimentare cu aceleași specificații că Ia punctul 3.3.1;
Rh - cutie decadica de rezistente 0 ÷÷ 100kΩ;
A – ampermetru (de c.c. sau c.a. după tipul măsurării cu domenii multiple, preferabil multimetru);
Ko - întrerupător bipolar;
K1, K2.....Kn - întrerupătoare unipolare;
K0 - întrerupător unipolar; se poate renunţa la Ko' punând valoarea rezistenţei Rh pe 0Ω.

3.2. Modul de lucru

3.2.1. Pentru fiecare din categoriile de măsurări prevăzute se va executa montajul potrivit schemei și aparatelor specificate la punctele 3.1.1. și 3.1.2. La măsurarea în curent continuu se va urmări conectarea corectă a aparatelor în conformitate cu polaritatea marcată.

3.2.2. **ATENŢIE!** Ca regulă generală, pentru toate cazurile, Ia începutul experimentării, se va verifica poziţionarea pe valoarea minimă a butoanelor de reglaj ale acestora și poziţionarea pe valoarea maximă a reostatelor . Aparatele cu domenii multiple vor fi poziţionate pe valorile maxime. Pentru toate aparatele din schema se va verifica poziţia de "0" și, dacă este cazul, sevor efectua ajustările necesare din butoanele de corecţie.

După îndeplinirea acestor condiţii se conectează cu precauţie întrerupătorul sursei de alimentare, observând că indicaţia aparatului având domeniul minim să se încadreze în scala. În continuare, prin manevrarea succesivă a butoanelor de reglaj ale surselor, începând cu treptele cele mai reduse și apoi a reostatului Rh (prin care se realizează reglajulfin) se vor stabili succesiv valorile ce vor fi măsurate potrivit celor prevăzute Ia chestiuni de studiat. Pe cât este posibil se vor căuta să se stabilească valori corespunzătoare ale reperelor principale de pe scala aparatului cu clasa de precizie cea mai bună.

A1, A2, ..., An - ampermetre conform specificaţiilor de la punctele 2.1.1. + 2.1.3;

SA - sursa de alimentare cu caracteristicile:

-pentru măsurări în c.c. – sursa de tensiune continua reglabila în gama 0…. 40V I_{max} = 2A;

-pentru măsurări în c.a. Ia 50Hz - autotransformator reglabil 0 + 220V și I_{max} = 8A;

-pentru măsurări în c.a. la frecvenţe mai mari de 50Hz. generator de semnal sinusoidal 1OHz+1OMHz și tensiune 0….. 10V (multimetru VERSATESTER);

Rt - reostat de 15…..500Ω și 2…..4A;

Re - rezistenţa etalon 1Ω/ 1A;

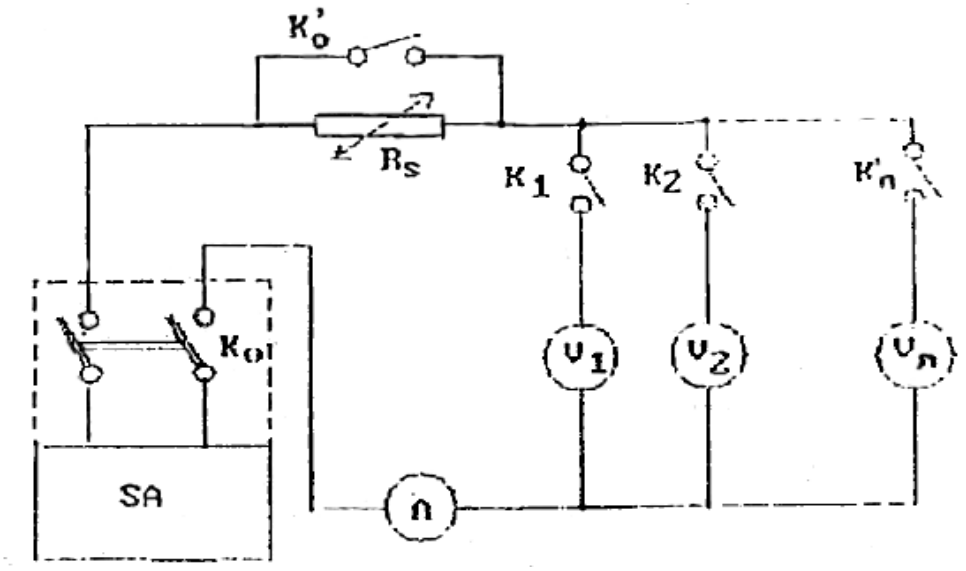
V - voltmetru (de c.c. sau c.a. după tipul măsurării) cu domenii multiple (preferabil multimetru);

K1 - întrerupător bipolar; pentru sursele dealimentare din laborator se utilizează comutatorul pornit/oprit al acestora;

K2 - comutator cu mai multe poziţii.

3.1.2 Masurari de tensiune

Pentru măsurările de tensiune se execută montajul din fig 1.2, în care:



Pentru măsurările în sens crescător se va urmări schimbarea la timp a domeniilor precum a nu depăşi limita maximă înscrisă pe scală, iar la măsurări în sens descresator trecerea pe un domeniu inferior se face numai duplă ce prin reglajele efectuate se constată că valoarea respectivă nu depăşeşte valoarea domeniului ales.

În nici un caz nu se vor depăşi limitele maxime specificate pentru gamele de valori ce trebuie măsurate.

3.2.3. La măsurarea curenţilor, ampermetrele fiind conectate î serie, se vor citi indicaţiile pe care acestea le afişează simultan. `Comutatorul K2, care conectează în circuit voltmetrul, se va afla iniţial pe poziţia 1. Pentru determinarea căderii de tensiune se va face diferenţa indicaţiilor voltmetrului conectat succesiv pe poziţiile corespunzătoare celor două borne ale ampermetrului respectiv (de exemplu, pentru ampermetrul A1, ΔU=U1-U2).

RezuItateIe măsurătorilor se vor grupa conform modeIuIui de tabel de mai jos:

Ord. experim	1			2			...5
Tip aparat, cl. De precizie, scala	I_{max} [A]	I_1 [A]	ΔU [V]	I_{max} [A]	I_1 [A]	ΔU [V]	
A_1 magnetoelectric de laborator; c=0,5; scală uniformă cu 120div. Pe toate domeniile							
A_2 feromagnetic de panou; c=1,5; scală neuniformă cu 20div							
A_3 multimetru pe poz. A c.c.; c=1; scală uniformă cu 100div.							

La măsurările în curent alternativ, la frecvente mai mari de 50Hz, în rubrica de numerotare a experimentărilor se vor trece frecvenţele.

ATENŢIE! Întrucât nu la toate aparatele, la o anumită determinare, acele indicatoare se poziţionează în dreptul unui reper de pe scala şi este necesar ca rezultatul să se stabilească printr-o operaţie de interpolare liniara între valorile coresespunzatoare valorilor adiacente. Interpolarea se va face până la ordinul de mărime al erorii absolute ΔX_{ad}, calculată din clasa de precizie **c** şi domeniul X_{max} conform relaţiei (7).

Se vor putea lua în considerare şi valori până la ordinul de mărime imediat inferior ultimei cifre semnificative a erorii ΔX_{n1}, efectuându-se rotunjuri conform metodelor de la calculele cu aproximaţii (de exemplu, pentru c=1, X_{max}=1A, ΔXn1 = 0,01A rezultatele se vor exprima cu două zecimale sau cel mult cu trei, în care ultima cifră se va rotunji la 0 sau la 5).

Rezultatele înscrise în tabelul 1.1 vor fi apoi utilizate pentru calculul indicatorilor de performanţă care se vor trece într-un tabel de forma următoare:

Tabelul 1.2 (model)

Perf.	1					2					5
La det nr.	S_I [div/A]	ΔI_{ad} [A]	ΔI_r [%]	R_A [Ω]	P [mW]	S_I [div/A]	ΔI_{ad} [A]	ΔI_r [%]	R_A [Ω]	P [mW]	
A_1											
A_2											
A_3											

3.2.4. La măsurarea tensiunilor, voltmetrele fiind aparate care se conectează în paralel, indicaţiile lor vor fi citite cu toate întrerupătoarele K1,K2,... ,Kn şi K0' închise.

În acestcaz, ampermetrul A vă indica suma curenţilor care străbat toate voltmetrele. Se va proceda astfel pentru toate valorile specificate Ia punctele 2.2.1, 2.2.2. ale chestiunilor de studiat.

Pentru aflarea rezistenţei interne a fiecărui voltmetru conform relaţiei

$$R_v = \frac{U_v}{I_v} R_v = \frac{U_v}{I_v} \qquad (11)$$

Se deschid toate comutatoarele K1,K2,.... , Kn apoi se introduc pe rând în circuit voltmetrele - prin închiderea comutatorului corespunzător - având grijă ca fiecare determinare să aibă conectat un singur voltmetru; în acest fel ampermetrul va indica curentul care trece numai prin voltmetrul respectiv. Valoarea rezistenţei interne Rv obţinută experimental se va compara cu valoarea înscrisă pe panoul aparatului.

ATENŢIE! La aparatele cu domenii multiple rezistenta intema se precizează sub forma normata r_v în [Ω/V] astfel că rezistenţa la bornele aparatului se obţine prin înmulţirea rezistenţei normate cu domeniul, adică:

$$Rv\ [\Omega] = r_v\ (\Omega/V]\ DOMENIU[V] \qquad (12)$$

Rezultatele experimentale şi indicatorii de perforrnanta se vor grupa în tabele similare modelelor prezentate Ia măsurări de curenţi.

3.2.5. La măsurarea tensiunii cu voltmetrul apare o eroare sistematică de metoda atunci când rezistenta internă a sursei R nu este neglijabilă în raport cu rezistenţa internă a voltmetrului Rv. Aceasta eroare poate fi calculată cu relaţia:

$$\Delta U_n = -\frac{R_n}{R_v} U_v \Delta U_n = -\frac{R_n}{R_v} U_v \qquad (13)$$

Pentru a pune în evidenţă aceasta eroare şi a stabili condiţiile practice în care trebuie efectuate măsurările pentru că ea să fie neglijabilă în raport cu ΔU_{ad} - deci să nu apară necesitatea unor corecţii asupra rezultatelor - se deschide K3' şi se modifica rezistenta Rs, în situaţia alimentarii în c.c. şi o valoare din domeniu, pentru cazul când în circuit se afla un singur voltmetru; se vor da 4….5 valori rezistenţei R1 până când indicaţia voltmetrului din circuit va scădea cu o valoare mai mare decât ΔU_{ad} a acestuia.
Rezultatele se vor trece într-un tabel de tipul următor:

Nr. experim.	R_s = 100 Ω					R_s = 1000 Ω					R_s = ...
	U_v [V]	I_v [A]	R_v [Ω]	ΔU_s [V]	ΔU_{ad} [V]	U_v [V]	I_v [A]	R_v [Ω]	ΔU_s [V]	ΔU_{ad} [V]	...
V_1											
V_2											
V_3											
...											

Cuprins

V. Anexe

A.1. Instrumente (aparate) magenetoelectrice

Aparatele magnetoelectrice sunt constituite dintr-un magnet permanent între polii căruia se poate roti o bobină care se conectează în circuitul de măsurare. Rotirea bobinei are loc atunci când aceastaeste parcursă de un curent electric, datorită cuplului activ care ia naştere din interacţiunea dintre curent şi fluxul dat de magnetul permanent. Acul indicator, fixat rigid pe acelaşi ax cu bobină, se va opri într-o poziţie **α** corespunzătoare egalităţii cuplului activ cu cel rezistent dat de resoartele spiralate.

Rezultă relaţia de funcţionare:

$$\alpha = \frac{\Phi_0}{K_r} \qquad \text{(A.1)}$$

Unde:

Φo - fluxul magnetului permanent;

Kr - constantă resoartelor spiralate ;

I -curentul care străbate bobina.

Aşadar deviaţia unghiulară α a acului, la echilibru, constituie o măsură a curentului I. Aparatele magnetoelectrice funcţionând potrivit relaţiei (A.1) se numesc ampermetre. Ele se conectează în serie în circuitul de măsurare.

Pentru măsurarea tensiunii electromotoare a unei surse sau a căderii de tensiune pe orezistenta de arcină, se utilizează un aparat magnetoelectric prevăzut cu o rezistenţă adiţională în serie cu o mobilă şi montat paralel cu sursa sau rezistenţa de sarcină. Relaţia de funcţionare, devine:

$$\alpha = \frac{\Phi_0}{K_r}\frac{U}{R_L} \qquad \text{(A.2)}$$

Unde:

R_t = R1 + R reprezintă rezistenta totală a voltmetrului;

R_{ad} - rezistenţa adiţională;

U - tensiunea aplicată Ia borne.

În cazul relaţiei (A.2) deviaţia **α** reprezintă o măsură a tensiunii U şi aparatul devine astfel un voltmetru.

Din relaţiile (A. 1) şi (A.2) rezultă că aparatele magnetoelectrice au scara liniara cu gradaţii echidistante, iar sensibilitatea este constantă pe întreg domeniul. Aceste aparate se utilizează numai în curent continuu si de aceea sunt prevăzute cu o polaritate înscrisă la borne (+ şi -), care trebuie riguros respectată.

Sunt cele mai precise aparate de măsurat în curent continuu (clase de precizie 0,1; 0,2; 0,5; 1; I ,5;). Se utilizează cu precădere în măsurări de laborator, dar pot fi folosite şi în măsurători industriale. Sensibilitatea de curent uzuală este cuprinsă între 10^4 DIV/A si 10^5 DIV/A, iar domeniile de măsurare au valori în intervalul 10^{-3}A şi 10^{-2}A.

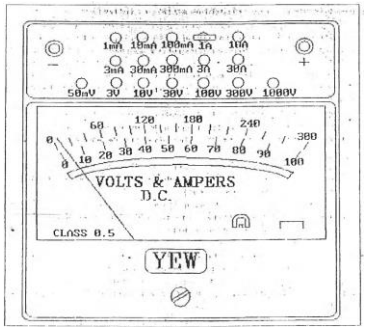
În construcţii speciale se realizează aparate de mare sensibilitate denumite galvanometre (folosite în special ca detectoare de nul).

Extensia domeniilor de măsurare la valori mari ale curenţilor se face reducând sensibilitatea Ia $10^{3\cdots\cdots}$ 10^2 DIV/A prin montarea de şunturi în paralel cu bobina mobila.

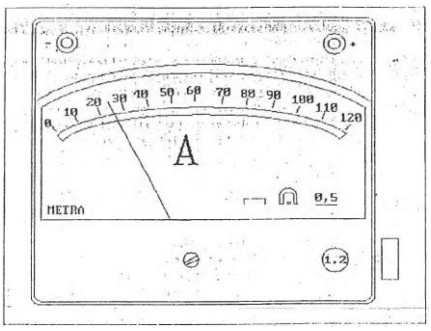
Similar, sensibilitatea uzuală de tensiune este de 10….10 DIVN, iar extensia domeniului se face prin reducerea sensibilităţii cu rezistenţe adiţionale până Ia 10^2 …..10 DIV/V. Consumul energetic este redus ceea ce reprezintă o caracteristică importanta în special a voltmetrelor (rezistenţa internă a voltmetrelor variază între 100Ω/V si50000Ω/V).

Simbolul aparatelor magnetoelectrice este reprezentat în fig.A.1 , acesta regăsindu-se obligatoriu inscripţionat pe scala aparatului.

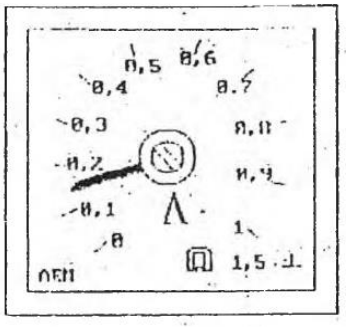
Se construiesc în carcase compacte, fie numai că ampermetre, fie numai că voltmetre, sau combinat (ampermetru voltmetru în aceeaşi carcasă), cele de laborator fiind prevăzute cu comutator pentru mai multe domenii. Pe panoul aparatului se specifică tipul acestuia prin A - ampermetru, V - voltmetru, A,V – ampermetru voltmetru. Astfel de aparate sunt exemplificate în figură A.2 şi A.4.



A.2



A.3



A.4

A.2. Instrumente (aparate) feromagnetice

Aceste aparate sunt alcătuite dintr-o bobină cilindrică fixa în interiorul căreia se află două piese din material feromagnetic - una fixă, prinsă pe carcasa bobinei şi altă mobilă montată pe un ax ce se poate roti. La trecerea unui curent prin bobină, datorită câmpului magnetic generat de acesta, cele două piese se magnetizează şi între ele iau naştere forţe de repulsie care determină apariţia unui cuplu activ ce roteşte axul pe care se afla piesa mobilă. Pe ax se găseşte acul indicator şi un resort care generează cuplul rezistent.

Relaţia de funtionare:

$$\alpha = \frac{1}{2K}\frac{dL}{d\alpha}I^2 \qquad \text{(A3)}$$

În care :

L- inductanţa bobinei;

Kr - constantă resortului spiralat;

I - curentul ce străbate bobina fixă.

Deoarece deviaţia este proporţională cu pătratul curentului, rezultă că aceste aparate au scara neuniformă, gradaţiile sunt neechidistante, iar polaritatea nu este fixată (nu contează sensul) curentului care străbate spirele bobinei). Pot fi utilizate atât în curent continuu cât şi în curent alternativ în frecvenţe joase (<300Hz). În curent alternativ prin I din relaţia (A3) se înţelege I_{ef}.

Relaţia (A3) arata posibilitatea utilizării aparatelor feromagnetice ca ampermetre; prin utilizarea unor rezistente adiţionale se pot folosi şi că voltmetre, caz în care relaţiile defunctionare sunt:

$$\alpha = \frac{1}{2K_r}\frac{dL}{d\alpha}\frac{U^2}{R_L^2} \qquad \text{în c.c.} \qquad \text{(A4)}$$

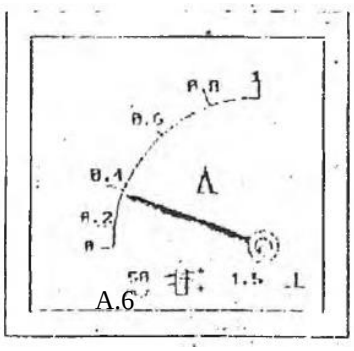
$$\alpha = \frac{1}{2K_r}\frac{dL}{d\alpha}\frac{U^2}{R_L^2+w^2L^2} \qquad \text{în c.a.} \qquad \text{(A5)}$$

Din relaţia (A5) se vede că deviaţia α depinde de frecvenţă side aparatul indicat a fi folosit la frecventa la care a fost etalonat, sau în gama de frecvenţe specificata.

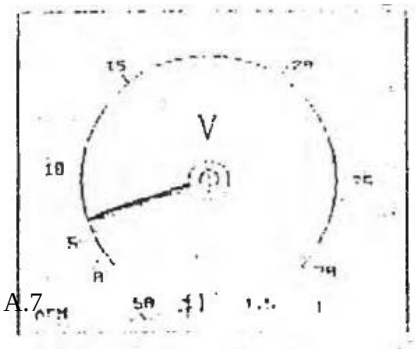
Aparatele feromagnetice sunt caracterizate printr-un cuplu activ de valori ridicate si prin robusteţe, neavând piese în mişcare parcurse de curent. Funcţionarea lor este afectată de erori în c.c. datorită fenomenului de histerezis, iar în c.a. datorită curenţilor turbionari; clasa lor de precizie este cuprinsă în domeniul 0,5 ÷÷ 2,5. Ca urmare a proprietăţilor arătate, aceste aparate sunt utilizate, în mod frecvent, în industrie ca aparate de panou.

Datorită caracterului neliniar al relaţiei de funcţionare sensibilitatea acestor aparate nueste constantpe întreg domeniul; ca urmare, se poate calcula, în acest caz, numai o sensibilitate locală (vezi lucrarea de Iaborator). În ceea ce priveşte domeniul, ampermetrele se construiesc pentru valori $10^{1\cdots\cdots}10^2$ A, iar voltmetrele pentru 1…….. 10^3 V.

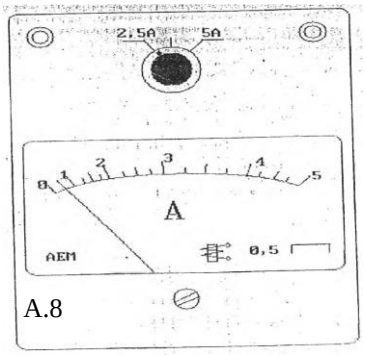
Simbolul aparatelor feromagnetice este reprezentat în figură A5. în fig. A.6 şi A8 sunt exemplificate astfel de aparate.



A.6



A.7



A.8

A.6 A.7 A.8

A.3. Instrumente (aparate) electrodinamice

Aparatele electrodinamice utilizate pentru măsurarea curenţilor sau tensiunilor electrice sunt constituite dintr-o bobină fixa înseriata cu una mobilă care se poate roti în curent I sau iau naştere forţe electrodinamice care determină o rotire a bobinei mobile şi deci a acului indicator fixat pe acelaşi ax, cu unghiul α, conform relaţiei:

$$\alpha = \frac{1}{K_r}\frac{dL_{12}}{d_\alpha}I^2\alpha = \frac{1}{K_r}\frac{dL_{12}}{d_\alpha}I^2 \qquad (A.6)$$

În care

L12- inductivitatea mutuală a celor două bobine ;

Kr - constantă resoartelor spiralate.

Se observă că apare o dependentă neliniară a deviaţiei α în funcţie de curentul I, ceea ce explica de ce aceste aparate au scala cu gradaţii neuniforme. Cuplul activ al acestor aparate depinzând de curent după o lege pătratica, permite utilizarea lor şi în curent alternativ sinusoidal, în care caz în relaţia de mai sus, în loc de I apare I_{er}. Prin montare în serie cu cele două bobine a unei rezistente adiţionale aparatele electrodinamice pot funcţiona ca voltmetre de c.c. sau de c.a. după relaţii similare cu (A.4) (A.5). La randul lor, şi ele se pot utiliza atat in c.c. cât şi în c.a. la frecvente joase sunt aparate deosebit de sensibile şi precise (clasa de precizie 0,1…..1) utilizate în special ca aparate de laborator.

Pentru amplificarea câmpului dat de bobina fixă, în unele variante constructive destinate măsurărilor industriale, ambele bobine sunt prevăzute cu miez feromagnetic,aparatele respective purtând denumirea de aparate ferodinamice.

În mod curent aparatele electrodinamice se construiesc ca miliampermetre. Extinderea domeniului pentru măsurări de curenţi se face cu şunturi realizându-se aparate în domeniul 10mA…..10A.

În c.a. extinderea se poate face folosind transformatoare de curent până la 1 …… 10 A. Frecvenţa maximă în curent altemativ sinusoidal la care pot fi utilizate este de ordinul 10^7Hz.

Pentru măsurări de tensiuni, cu rezistenţe adiţionale, se pot obţine domenii de

5 …..1000V. Frecvenţa limita la măsurarea tensiunilor este de ordinul 102Hz, cu observaţia că este indicat a se efectua aceste măsurări la frecvenţa de etalonare (la fel ca la aparatele feromagnetice).

Simbolul aparatelor electrodinamice este reprezentat în fig.A.9.

A.4. Instrumente (aparate) cu redresori

Aparatele cu redresori sunt constituite dintr-o schemă de redresare asociată cu un aparat magnetoelectric. În acest mod prin redresarea curentului alternativ, acesta poate fi măsurat cu aparate magnetoelectrice, beneficiind de avantajele acestora. Relaţia de funcţionare este:

$$\alpha = \frac{\Phi_0}{K_r} I_{redrmed} \qquad (A7)$$

Unde redr.med este valoarea medie a curentului redresat. În cazul unui curent sinusoidal.

$$\alpha = \frac{\Phi_0}{K_r} \frac{I_{ef}}{K_f} \qquad (A8)$$

În care I_{ef} este valoarea efectivă a curentului sinusoidal, iar Kr este factorul de forma egal cu 2,22 pentru redresarea monoalternanta şi 1,11 pentru redresarea dublă altemanta.

De reţinut că aparatele cu redresori au scala gradată direct în valori efective pentru curent sinusoidal I_{er}, adică relaţia de funcţionare este de formă:

$$\alpha = KI_{ef} \qquad (A9)$$

Cu K = (Φo/Kr)(l/Kr).

Aparatele de măsurat cu redresori pot fi utilizate atât ca voltmetre cât şi că ampermetre. În mod frecvent se construiesc aşa numitele aparate universale sau voltampermetre, care pot fi utilizate atât Ia măsurări de curenţi cât şi de tensiuni în c.c. sau în c.a. Un astfel de aparat cuprinde o serie de comutatoare şi o schemă conţinând rezistente adiţionale şi şunturi.

Comutatoarele servesc pentru introducerea sau scoaterea din circuit a schemei de redresare, pentru selectarea schemei de rezistente adiţionale sau şunturi şi pentru alegerea domeniului de măsurare. În general se prevăd 5-6 game de tensiunsi curenţi în domeniile

10^{-2}..... 10^{2}V i 10^{-3}.....10A. Clasa de precizie în c.a. a acestoraparate este mai redusa decat cea a aparatelor magnetoelectrice datorită erorilor introduse de schemele de redresare.

Pentru exemplificare, în fig. A10 este prezentat multimetrul MAV0-35 fabricat de A.E.M. Timişoara.

Simbolul aparatelor cu redresori este reprezentat în fig.A.11

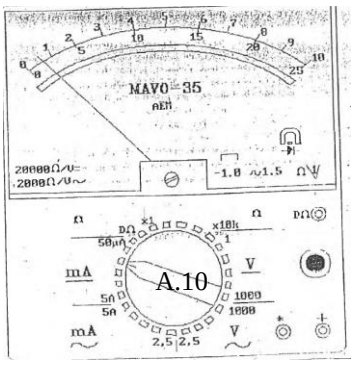
A5. Instrumente (aparate) electronice

În această categorie intră aparatele formate din asocierea unor blocuri electronice realizate cu dispozitive şi circuite semiconductoare cu un instrument de măsurat magnetoelectric.

Blocurile electronice pot avea mai multe funcţiuni:

- detecţie
- amplificare
- redresare
- filtrare
- funcţii de calcul (extragere de radicali, ridicare Ia pătrat, mediere, integrare).

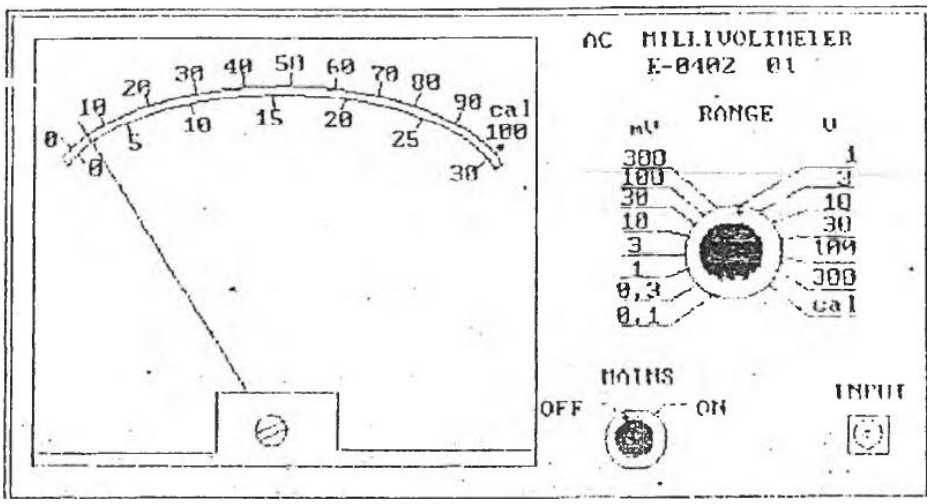
Prin funcţiunile menţionate, aparatele electronice oferă o serie de avantaje în sensul că permit realizarea unor varietăţi mari de operaţii de măsurare în c.c. şi c.a., în domenii extinse in deosebi la valori mici, datorită faptului că folosesc alimentarea blocurilor electronice de la surse de energie auxiliare, astfel consumul energetic preluat de la mărimea de măsurat este extrem de redus.



Printre principalele performante pe care aparatele electronice le realizează , în condiţiile utilizării unui aparat magnetoelectric de calitate medie, trebuie menţionate: impedanţe forţe mari de intrare (la funcţionare ca voltmetre) $10^9 \div 10^{11}$ Ω, sensibilităţi ridicate,permiţând măsurarea de curenţi de ordinul 10 ÷10A şi tensiuni de ordinul $10^{-3} \div 10^{-6}$V, banda de frecvenţe extinsă $10^5 \div 10^8$Hz pentru măsurări în c.a., posibilităţi multiple de variere adomeniului.

Datorită erorilor introduse de blocurile electronice clasa de precizie este mai redusă decât aceea a aparatelor magnetoelectronice incluse. Clasele de precizie uzuale sunt: 1; 1,5;2,5.

Aparatele electronice necesita alimentari cu energie auxiliară, efectuări de reglaje la punerea în funcţiune (ex. reglarea nulului). Datorită complexităţii constructive cât şi a performanţelor se utilizează cu precădere în aplicaţii de laborator. Variantele constructive cele mai frecvente sunt acelea de voltmetre şi multimetre. În fig . A 12 este prezentat un aparat electronic destinat măsurărilor de tensiuni



A12