

Lucrarea 3

Extinderea domeniului de măsurare

1. Obiectivul lucrării

Lucrarea are drept scop studiul extinderii domeniului de lucru al dispozitivelor magnetoelectrice în curent (cu șunturi) sau în tensiune (cu rezistențe adiționale).

2. Principii teoretice

Dispozitivele de măsură magnetoelectrice se utilizează în c.c. pentru măsurarea directă a curenților cu valori de $100\ \mu\text{A} \dots 10\ \text{mA}$, sau a tensiunilor cu valori de $1\ \text{mV} \dots 100\ \text{mV}$. Pentru realizarea unor ampermetre sau voltmetre de c.c. este necesară extinderea domeniului de lucru a acestor dispozitive, astfel încât să se poată măsura valori mari de curent sau tensiune.

2.1 Ampermetre magnetoelectrice

Extinderea domeniului de măsurare la dispozitivele magnetoelectrice utilizate ca ampermetre se face cu șunturi – adică rezistoare conectate în paralel cu dispozitivul de măsură. Schema de principiu a conectării dispozitivului la bornele B_1 , B_2 ale șuntului (borne simple) este prezentată în figura 1 a, iar în figura 1 b, este reprezentată schema reală a bornei B_1 (aceeași cu a bornei B_2).

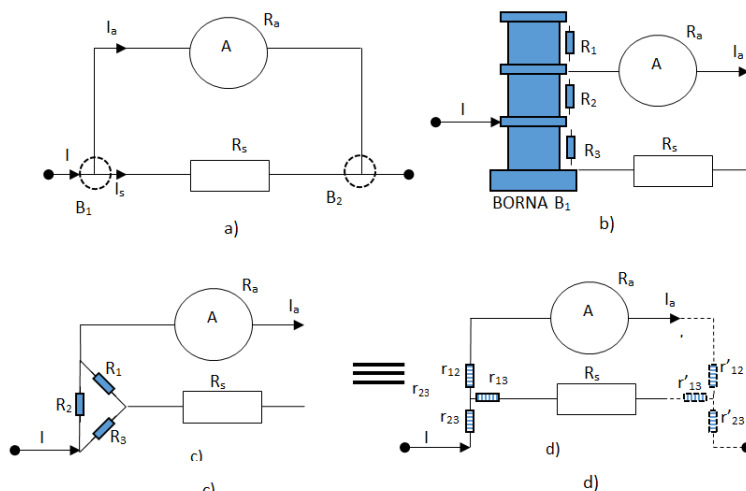


Fig. 1

Așa cum se observă din figura 1 datorită conectării pe aceeași bornă a trei circuite (circuitul curentului principal I, circuitul dispozitivului magnetoelectric și circuitul șuntului), între acestea apar rezistențe de contact R_1, R_2, R_s care, teoretic tind spre zero, dar care, practic au o valoare finită. Din această cauză, schema electrică echivalentă a bornei B_1 (și similar a bornei B_2) este o schemă în triunghi (figura 1 c), care pentru considerente de calcul se transfigurează în stea (figura 1 d). Dacă rezistențele de contact reale se consider aproximativ egale între ele, $R_1 = R_2 = R_3 = R$, atunci rezistențele de contact echivalente vor fi:

$$r_{12} = r'_{12} = r'_{13} = r_{23} = r'_{23} = r = \frac{1}{R}R \quad (1)$$

Teoretic, raportul de extindere al domeniului este:

$$n = \frac{I}{I_a} \quad (2)$$

iar valoarea rezistenței șuntului se determină cu relația:

$$R_s = \frac{R_a}{n - 1} \quad (3)$$

Practic, valoarea reală a raportului de extindere a domeniului este diferită de valoarea teoretică deoarece atât pe ramura dispozitivului de măsură cât și pe cea a șuntului apar înseriate rezistențele de contact r_{12}, r'_{12} , respectiv r_{13}, r'_{13} , care nu au fost luate în calcul. Astfel, raportul real de extindere este:

$$n' = \frac{R'_a}{R'_s} + 1 = \frac{r_{12} + R_a + r'_{12}}{r_{13} + R_s + r'_{13}} + 1 = \frac{R_a + 2r}{R_s + 2r} + 1 \quad (4)$$

Eroarea absolută a curentului măsurat cu acest dispozitiv de măsură extins este:

$$e_a = I - I' = (n - n')I_n \quad (5)$$

iar eroarea relativă va fi:

$$e_r = \frac{I - I'}{I'} = \left(\frac{n}{n'} - 1 \right) 100 \quad [\%] \quad (6)$$

În cazul ampermetrelor, raportul de extindere n al domeniului este mult mai mare decât 1 ($n \gg 1$), iar valoarea rezistenței șuntului teoretic $R_s \ll R_a$, adică rezistența șuntului este de același ordin de mărime cu rezistențele de contact, astfel că erorile de indicație ale dispozitivului extins cu șunt simplu pot avea valori importante.

Pentru micșorarea acestor erori șunturile se construiesc cu borne dublate de ambele părți, ca în figura 2 a, iar schema electrică echivalentă a bornelor este cea din figura 2 b.

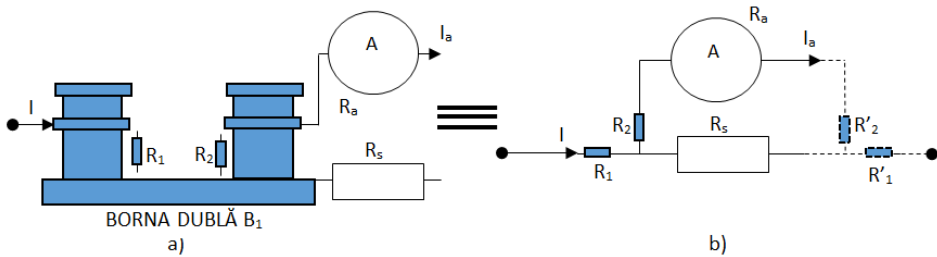


Fig. 2

Diferența esențială față de cazul anterior constă în aceea că rezistențele de contact apar inseriate pe circuitul principal și pe ramura dispozitivului de măsură, dar NU mai afectează și ramura șuntului.

Calculând raportul real de extindere al domeniului de măsurare se obține:

$$n'' = \frac{R''_a}{R_s} + 1 = \frac{R_a + R_2 + R''_2}{R_s} + 1 = \frac{R_a + 2R}{R_s} + 1 \quad (7)$$

Eroarea absolută a curentului măsurat, în cazul utilizării șuntului cu borne duble, va fi:

$$e''_a = I - I'' = (n - n'')I_a \quad (8)$$

iar eroarea relativă:

$$e_r = \frac{I - I''}{I''} = \left(\frac{n}{n''} - 1 \right) 100 \quad [\%] \quad (9)$$

Deoarece rezistențele de contact sunt mult mai mici decât rezistența dispozitivului de măsură, $R \ll R_a$, raportul real de extindere al domeniului de curent este practic egal cu raportul teoretic.

2.2 Voltmetre magnetoelectrice

În cazul utilizării dispozitivului magnetoelectric ca voltmetru, extinderea domeniului de măsurare în tensiune se face prin înserierea unor rezistențe adiționale, ca în figura 3 a. Schema de conectare este prezentată în figura 3 b, iar schema electrică echivalentă în figura 3 c.

Teoretic, raportul de extindere al domeniului de măsurare în tensiune este:

$$m = \frac{U}{U_v} \quad (10)$$

iar valoarea rezistenței adiționale necesare este:

$$R_{ad} = R_v(m - 1) \quad (11)$$

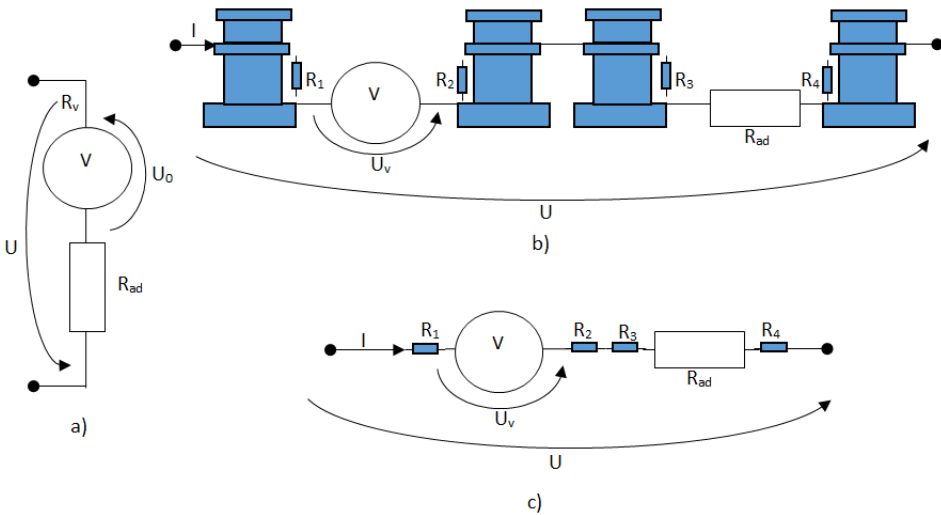


Fig. 3

Practic, valoarea reală de extindere a domeniului se determină ținând cont și de rezistențele de contact care apar înseriate cu dispozitivul de măsură și rezistența adițională. Astfel, cu ipoteza că $R_1 \approx R_2 \approx R_3 \approx R_4 \approx R$, raportul real de extindere este:

$$m' = \frac{R'_{ad}}{R_v} + 1 = \frac{R_{ad} + 4R}{R_v} + 1 \quad (12)$$

Eroarea absolută a tensiunii măsurate cu dispozitivul extins se determină cu relația:

$$e_a = U - U' = (m - m')U_v \quad (13)$$

iar eroarea relativă cu:

$$e_r = \frac{U - U'}{U'} 100 = \left(\frac{m}{m'} - 1 \right) 100 \quad [\%] \quad (14)$$

Deoarece raportul de extindere al domeniului este $m \gg 1$, rezultă că $R_{ad} \gg R_v$. În concluzie, în situația voltmetrelor, rezistențele de contact sunt absolut neglijabile și nu introduc erori la măsurarea tensiunilor.

3. Scheme de montaj

Pentru studiul dispozitivului magnetoelectric extins în curent cu șunturi cu borne simple, se realizează schema de montaj din figura 4, utilizând următoarele aparate:

STC - sursă de tensiune continuă reglabilă BK Precision 9110, 0-60 V, 5 A;
A - miliampermetru magnetoelectric., 60 mV/Ω;
Rp - reostat de protecție pentru limitarea curentului de lucru, 75.Ω, 6 A;
Ae - ampermetru de c.c. etalon, 0-500 mA, clasa de precizie c=0,2;
Rs - șunt multiplu, 60 mV/Ω, 75-150-300 mA sau 0,750-1,500-3,00A.

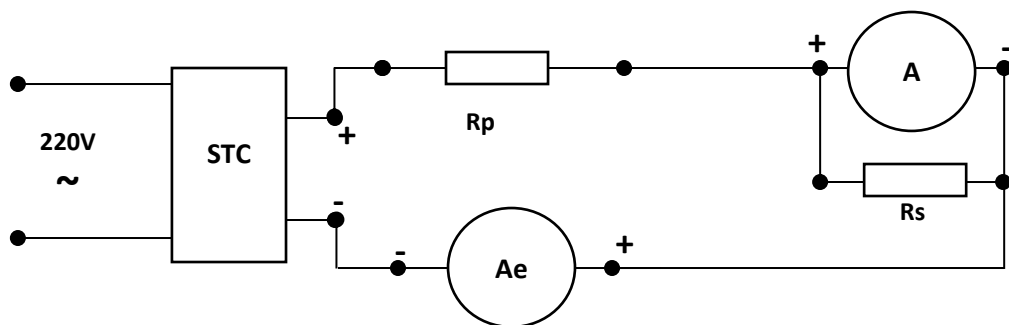


Fig. 4

Pentru studiul extinderii domeniului de măsurare pentru șunt cu borne duble se realizează schema de montaj din figura 5, conectând șuntul în modul arătat. Aparatele necesare sunt aceleași ca și în cazul anterior.

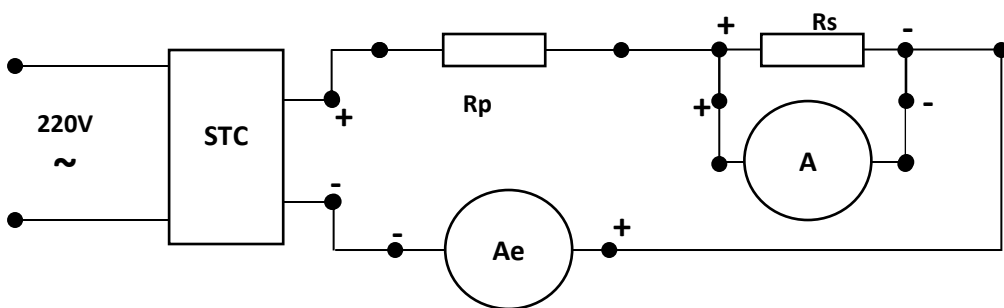


Fig. 5

În cazul voltmetrelor, extinderea domeniului de măsurare se studiază cu schema de montaj din figura 6, folosind următoarele aparate:

STC - sursă de tensiune continuă reglabilă BK Precision 9110, 0-60 V, 5 A;
V - voltmetru magnetoelectric 0-3 V, 500 Ω/V ;
Rad - cutie de rezistențe adiționale, 500 Ω/V , 3-7.5-15-30-75-...-750 V;
Ve - voltmetru de c.c. etalon, 0-7.5-15-30-75 V, clasa de precizie $c=0,2$.

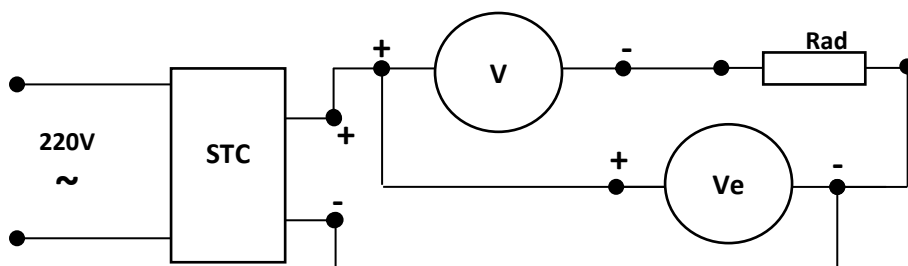


Fig. 6

4. Mersul lucrării

Funcționarea ampermetrelor cu șunt cu borne simple se studiază cu schema de montaj din figura 4. După realizarea schemei de montaj, se reglează reostatul de protecție pe valoarea de rezistență maximă și sursa pe valoarea de tensiune minimă. Se conectează sursa de alimentare la rețea și apoi, conectând pe rând șuntul pe fiecare din cele trei domenii (75-150-300 mA sau 0,750-1,500-3,00A), se reglează tensiunea de alimentare astfel încât să se obțină cel puțin 10 valori de curent pe scala aparatului extins. Se citesc valorile măsurate pe aparatul extins și pe cel etalon, iar rezultatele se trec într-un tabel de forma tabelului 1.

Tabelul 1

I_{SN}	n	Aparatul extins			Ap. etalon		e_a	e_r	n'	R_e	n'_{med}	R_{emed}
		I_a		I	I_e							
[mA]		[div]	[mA]	[mA]	[div]	[mA]	[mA]	[%]		[Ω]		[Ω]

Se modifică apoi schema de montaj, corespunzător figurii 5, pentru studiul șuntului cu borne duble. Modificarea se realizează prin schimbarea conexiunilor șuntului. Cu reostatul de protecție pe valoarea de rezistență maximă și conectând șuntul pe rând pe cele trei domenii (75-150-300 mA sau 0,750-1,500-3,00A), se reglează tensiunea de alimentare astfel încât să se obțină cel puțin 10 valori pe scala aparatului extins. Rezultatele se trec într-un tabel de forma tabelului 2.

Tabelul 2

I_{SN}	n	Aparatul extins		Ap. etalon		e_a	e_r	n''	R_e	n''_{med}	R_{emed}
		I_a	I	I_e							
[mA]		[div]	[mA]	[div]	[mA]	[mA]	[%]		[Ω]		[Ω]

Pentru studiul extinderii domeniului de măsurare la voltmetre se realizează schema de montaj din figura 6. Cu rezistența adițională conectată pe rând pe domeniile 7.5-15-60-75 V, se reglează tensiunea de alimentare a sursei astfel încât să se obțină cel puțin 10 valori indicate pe scala aparatului extins. Rezultatele se trec într-un tabel de forma tabelului 3.

Tabelul 3

[illegible]

Notatii:

I_{SN} - valoarea raportului nominal, înscrisă pe sunt;

n - raportul teoretic de extindere a domeniului de măsurare la ampermetru;

I_a - valoarea indicată de aparatul extins;

I - valoarea curentului măsurat (cu aparatul extins);

I_e - valoarea curentului măsurat (cu aparatul etalon);

e_a - eroarea absolută;

e_r - eroarea realtivă;

n' - raportul real de extindere a domeniului de măsură la şuntul cu borne simple;

R_e – valoarea rezistenței de contact la bornele suntului;

n'' - raportul real de extindere a domeniului de măsură la şuntul cu borne duble;

U_{RaN} – valoarea nominală a domeniului de tensiune, înscrisă pe rezistența adițională;

m - raportul teoretic de extindere a domeniului de măsură la voltmetru;

U_v - valoarea indicată de aparatul extins;

U - valoarea tensiunii măsurate (cu aparatul extins);

U_e - valoarea tensiunii citite(cu aparatul etalon);

m' - raportul real de extindere a domeniului de măsură la voltmetru;

5. Rezultate experimentale și calculate

Pentru toate situațiile prezentate, constantele aparatelor sunt :

$$C = \frac{X_N}{\alpha_t} \quad [X]/diviz. \quad (15)$$

iar valorile indicate:

$$x_i = C\alpha \quad [X] \quad (16)$$

unde:

X_N - domeniul nominal al aparatului de măsură;

α_t - deviația totală pe scala aparatului;

α - deviația corespunzătoare mărimii măsurate.

În cazul ampermetrelor, raportul teoretic de extindere al domeniului este:

$$x_i = \frac{I_{sN}}{I_{aN}} \quad (17)$$

unde I_{sN} - valoarea curentului nominal înscrisă pe șunt, iar I_{aN} - valoarea curentului nominal al dispozitivului de măsură.

În cazul voltmetrelor, raportul teoretic de extindere al domeniului este:

$$m = \frac{U_{adN}}{U_{vN}} \quad (18)$$

unde U_{adN} - valoarea tensiunii nominale înscrisă pe rezistența adițională, iar U_{vN} - valoarea tensiunii nominale a dispozitivului de măsură utilizat.

Valoarea mărimii măsurate (indicate) de aparatul extins se determină cu relațiile:

$$I = nI_a = nC\alpha; \quad U = mU_v = mC\alpha \quad (19)$$

în care I_a , U_v , sunt valorile citite pe dispozitivul de măsură propriu-zis, iar celelalte notații au semnificațiile prezentate anterior.

Erorile absolute de indicație ale aparatelor se determină cu relația:

$$e_a = x - x_e \quad [X] \quad (20)$$

unde x este valoarea citită pe aparatul extins (19), iar x_e este valoarea citită pe aparatul etalon. Erorile relative se determină cu relația:

$$e_r = \frac{x - x_e}{x_e} 100 \quad [\%] \quad (21)$$

Pentru ampermetre, raportul real de extindere al domeniului conform relațiilor (5, 8) este:

$$n'(n'') = n - \frac{e_a}{I_a} \quad (22)$$

Iar pentru voltmetre, conform rel. (13):

$$m' = m - \frac{e_a}{U_v} \quad (23)$$

în care:

n, m - rapoartele teoretice de extindere a domeniului;

e_a - erorile absolute de indicație;

I_a , U_v - valorile indicate (măsurate) de dispozitivele de măsură utilizate.

Valoarea medie a raportului de extindere în fiecare caz, se calculează cu relația:

$$rap. ext. med = \frac{\sum_{i=1}^k rap. ext. i}{k} \quad (24)$$

unde k reprezintă numărul măsurărilor efectuate la același raport teoretic de extindere a domeniului.

Rezistențele de contact la bornele șunturilor sau rezistențelor adiționale se calculează cu relațiile:

- pentru ampermetre cu șunt simplu:

$$R_c = \frac{3}{2} \frac{n - n'}{(n - 1)(n' - 2)} R_a \quad (25)$$

- pentru ampermetre cu șunt cu borne duble:

$$R_c = \frac{1}{2} \frac{n'' - n}{n - 1} R_a \quad (26)$$

- pentru voltmetre cu rezistențe adiționale:

$$R_c = \frac{m' - m}{4} R_v \quad (27)$$

Valoarea rezistenței medii de contact se calculează cu relația:

$$R_{c\ med} = \frac{\sum_{i=1}^k R_{ci}}{k} \quad (28)$$

Pentru fiecare aparat se reprezintă grafic erorile absolute și relative datorate extinderii domeniului de măsurare în raport cu mărimea măsurată. În cazul ampermetrelor se vor reprezenta pe același grafic și cazul șuntului simplu și cazul șuntului dublu.

6. Analiza rezultatelor

În urma efectuării lucrării se analizează rezultatele și se sintetizează concluzii referitoare la:

- Influența conexiunii șuntului (cu borne simple sau cu borne duble) asupra erorilor de măsurare la ampermetre;
- Influența conexiunii rezistenței adiționale (a rezistențelor de contact) asupra erorilor de măsurare la voltmetre.

7. Notății

Tabelul 4 prezintă notațiile folosite în această lucrare.

Tabelul 4

Termen	Explicație
A	ampermetru
α_t	deviația totală a aparatului
α	deviația corespunzătoare mărimii măsurate
c	clasa de precizie a aparatului
C	constanta aparatului
e_a	eroarea absolută
e_r	eroarea relativă
I	curent
I_a	curentul prin ampermetru
I_{aN}	valoarea curentului nominal al dispozitivului de măsură
I_{sN}	valoarea curentului nominal înscrisă pe șunt
m	raportul de extindere al domeniului de măsurare în tensiune
m'	raportul de extindere real al domeniului de măsurare în tensiune
n	raportul de extindere al domeniului
n', n''	raportul real de extindere al domeniului
R_1, R_2, R_3	rezistențe de contact reale
$r_{12}, r_{23},$ $r_{13}, r'_{12},$ r'_{23}, r'_{13}	rezistențe de contact echivalente
R_a	rezistența internă a ampermetrului
R_{ad}	rezistența adițională
R_c	rezistență de contact
R_s	rezistența șuntului
R_v	rezistența internă a voltmetrului
U	tensiune
U_{adN}	valoarea tensiunii nominale înscrisă pe rezistența adițională
U_{vN}	valoarea tensiunii nominale a dispozitivului de măsură utilizat
V	voltmetru
W	wattmetru
x	valoarea citită pe aparatul extins
X_A	mărimea afișată de aparat
x_e	valoarea citită pe aparatul etalon
x_i	valoarea indicată de aparat
x_m	valoarea măsurată (indicată) a aparatului
X_N	domeniul de măsurare al aparatului