

4 Utilizarea aparatelor analogice

Scopul lucrării este deprinderea și însușirea utilizării corecte a aparatelor analogice de măsură din punctul de vedere a citirii, conectării și procesării informației de măsură.

4.1 Considerații teoretice

Aparatele analogice de măsură sunt dispozitive care au ca intrare mărimea de măsurat, iar ca mărime de ieșire este deviația unui ac indicator pe o scară gradată.

În figura 4.1 se prezintă un exemplu de marcaje și simboluri convenționale regăsite pe aparatele analogice. Cunoașterea acestora este utilă în buna utilizare a acestora:

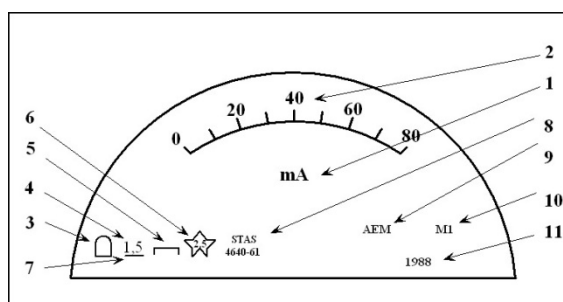


Fig. 4.1. Simboluri și marcaje convenționale a aparatelor analogice

- 1 - mărimea de măsurat
- 2 - scala aparatului de măsură (poate fi liniară, pătratică, exponențială, logaritmică)
- 3 - tipul functional al instrumentului
- 4 - clasa de precizie
- 5 - poziția de funcționare
- 6 - tensiunea de încercare a rigidității dielectrice în kV
- 7 - curentul de funcționare
- 8 - normativul de standardizare al construcției
- 9 - întreprinderea constructoare
- 10 - codul de construcție al instrumentului
- 11 - anul fabricației

4.1.1 Ampermetrele

Ampermetrele sunt destinate măsurării curentului electric. Ele au rezistența electrică foarte mică (R_a tinde spre 0) și se conectează în serie în circuit.

Observație: Ampermetrele nu se leagă niciodată în paralel cu sursa de alimentare, deoarece curent prin instrument crește foarte mult și se poate produce un scurtcircuit la bornele sursei:

$$I_a = \lim_{R_a \rightarrow 0} \frac{U(R_a + R_s)}{R_a R_s} = \infty \quad (4.1)$$

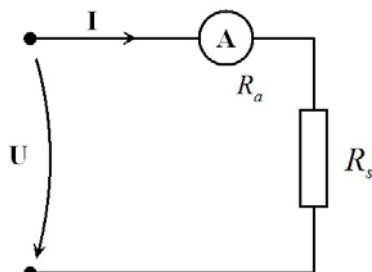


Fig. 4.2. Conectarea ampermetrului

4.1.2 Voltmetrele

Voltmetrele sunt destinate măsurării directe a tensiunii electrice. Ele se conectează în paralel în circuit, iar rezistența internă a acestora este foarte mare (teoretic R_v tinde la ∞). În cazul conectării în serie, rezultă:

$$I_v = \lim_{R_v \rightarrow \infty} \frac{U}{R_v + R_s} = 0 \quad (4.2)$$

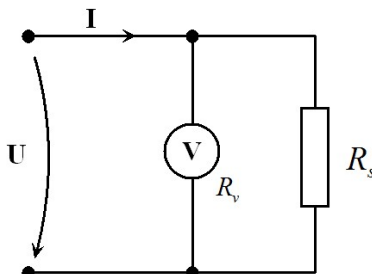


Fig. 4.3. Conectarea voltmetrului

Conectarea în serie a voltmetrului nu produce efecte dăunătoare în circuit.

4.1.3 Wattmetrele

Wattmetrele sunt instrumente dedicate măsurării puterii efective în circuite. Ele se conectează atât în serie cât și paralele (au două bobine, una de curent și una de tensiune), figura 4.4. Conectarea bobinei de tensiune se poate face atât în amonte cât și în aval față de cea de curent.

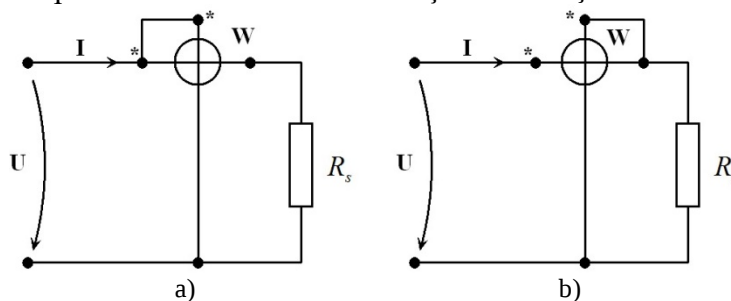


Fig. 4.4 conectarea Wattmetrului: a) amonte, b) aval

4.1.4 Ohmetrele

Ohmetrele, sunt instrumente dedicate măsurării directe a rezistențelor electrice. Ele sunt alcătuite dintr-un miliampermetru indicator și o sursă de alimentare. Se poate conecta în serie cu rezistența măsurată sau în paralel cu aceasta (figura 4.5). Calibrarea inițială pentru montajul serie se face cu comutatorul K închis, rezistența necunoscută deconectată și acul indicator pe 0, respectiv pentru montajul în paralel cu acul indicator pe poziția ∞ . Reglajul se face cu ajutorul rezistenței variabile R .

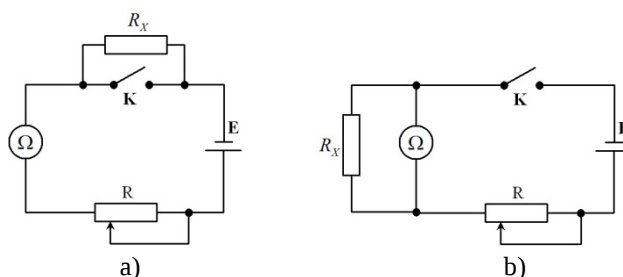


Fig. 4.5. Schema de măsurare a ohmetrului: a) serie b) paralel

Fig. 4.6 Utilizarea aparatelor analogice de măsură

K – întrerupător bipolar capsular

ATR-8 – autotransformator reglabil de 8 A

V – voltmetru de c.a.

A – ampermetru de c.a.

W – wattmetru de c.a.

 R_{S1}, R_{S2}, R_{S3} - reostate de sarcină

După realizarea motajului se trece la realizarea unui număr de minim 10 măsurători. Rezultatele se trec în tabelul 4.1. Se notează 5 măsurători la o tensiune constantă și un curent variabil. Modificarea curentului se realizează din reostatele de sarcină. Ulterior se notează 5 măsurători la un curent constant și o tensiune variabilă. Variație tensiuni se realizează cu ajutorul autotransformatorului.

Tabelul 4.1 Utilizarea aparatelor analogice

[illegible]

În căsuțele cu $[div]$ se va nota deviația acului indicator în diviziuni, iar alăturat, valoare acesteia în unitatea de măsură corespunzătoare mărimi măsurate. Cu X_N s-a notat valoare nominală, în situația de față fiind vorba de domeniul de măsurare. Clasa de precizie a fost notată cu c_X , iar ε_{aX} și ε_{rX} , erorile absolute și relative calculate cu ajutorul clasei de precizie după relațiile:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{aX} &= \frac{c_X \cdot X_N}{100} [X] \\ \varepsilon_{rX} &= \frac{\varepsilon_{aX}}{X_m} \cdot 100 [\%]\end{aligned}\quad (4.3)$$

Cu $S = U \cdot I$, a fost notată puterea aparentă. Având doar consumator rezistiv, aceasta ar trebui să fie egală cu puterea activă ($P_W = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$) indicată de wattmetru. Erorile ε_{aS} respectiv ε_{rS} se calculează în funcție de puterea aparentă calculată și puterea activă indicată de wattmetru:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{aS} &= P_W - S [W] \\ \varepsilon_{rS} &= \frac{P_W - S}{S} \cdot 100 [\%]\end{aligned}\quad (4.4)$$

Se va reprezenta grafi: $\varepsilon_{aX} = f(X)$, $\varepsilon_{rX} = f(X)$ (inclusiv pentru S).

4.3 Extinderea domeniul de măsurare la aparatele analogice de măsură

4.3.1 Obiectivul lucrării

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

4.3.2 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.

4.3.2.1 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 4.7 a, iar în figura 4.7 b, este reprezentată schema reală a bornei B_1 (aceeași cu a bornei B_2).

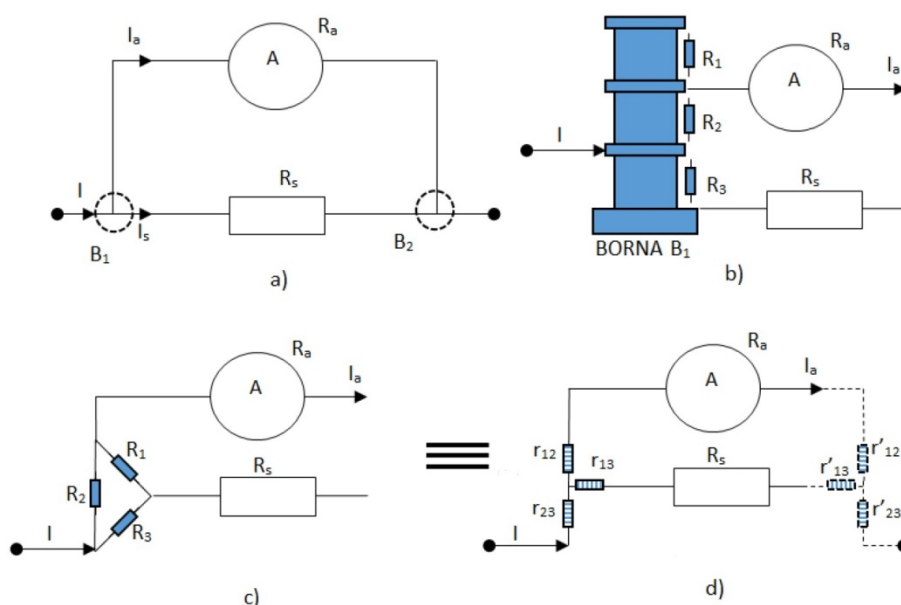


Fig. 4.7 Extinderea domeniului la ampermetre borne simple

Aşa cum se observă din figura 4.7 datorită conectării pe aceeaşi bornă a trei circuite (circuitul curentului principal I , circuitul dispozitivului magnetoelectric şi circuitul şuntului), între acestea apar rezistenţe de contact R_1, R_2, R_3 care, teoretic tind spre zero, dar care, practic au o valoare finită. Din această cauză, schema electrică echivalentă a bornei B_1 (şi similar a bornei B_2) este o schemă în triunghi (figura 4.7 c), care pentru considerente de calcul se transfigurează în stea (figura 4.7 d). Dacă rezistenţele de contact reale se consider aproximativ egale între ele, $R_1 = R_2 = R_3 = R$, atunci rezistenţele de contact echivalente vor fi:

$$r_{12} = r'_{12} = r_{13} = r'_{13} = r'_{23} = r = \frac{1}{3}R \quad (4.5)$$

Teoretic, raportul de extindere al domeniului este:

$$n = \frac{I}{I_a} \quad (4.6)$$

iar valoarea rezistenţei şuntului se determină cu relaţia:

$$R_s = \frac{R_a}{n-1} \quad (4.7)$$

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

$$n' = \frac{R'_a}{R'_s} + 1 = \frac{r_{12} + R_a + r'_{12}}{r_{13} + R_s + r'_{13}} + 1 = \frac{R_a + 2 \cdot r}{R_s + 2 \cdot r} + 1 \quad (4.8)$$

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

$$\varepsilon_a = I - I' = (n - n')I_a \quad (4.9)$$

iar eroarea relativă va fi:

$$\varepsilon_r = \frac{I - I'}{I'} \cdot 100 = \left(\frac{n}{n'} - 1\right) \cdot 100 \quad (4.10)$$

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 4.8 a, iar schema electrică echivalentă a bornelor este cea din figura 4.8 b.

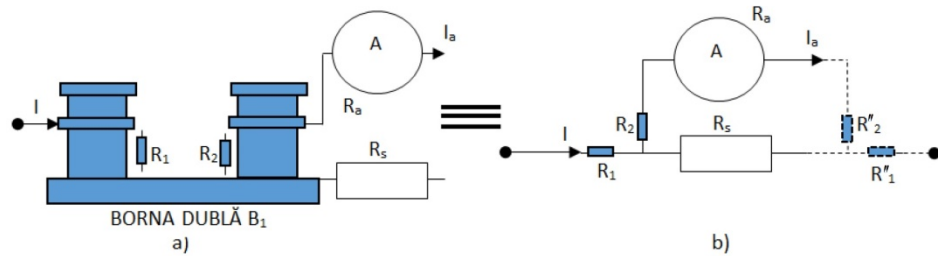


Fig. 4.8 Extinderea domeniului la ampermetre borne simple

Diferența esențială față de cazul anterior constă în aceea că rezistențele de contact apar înseriate 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:

$$n'' = \frac{R_a''}{R_s} + 1 = \frac{R_2 + R_a + R_2''}{R_s} + 1 = \frac{R_a + 2 \cdot R}{R_s} + 1 \quad (4.11)$$

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

$$\varepsilon_a'' = I - I'' = (n - n'')I_a \quad (4.12)$$

iar eroarea relativă:

$$\varepsilon_r'' = \frac{I - I''}{I''} \cdot 100 = \left(\frac{n}{n''} - 1 \right) \cdot 100 \quad (4.13)$$

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.

4.3.2.2 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 4.9 a. Schema de conectare este prezentată în figura 4.9 b, iar schema electrică echivalentă în figura 4.9 c.

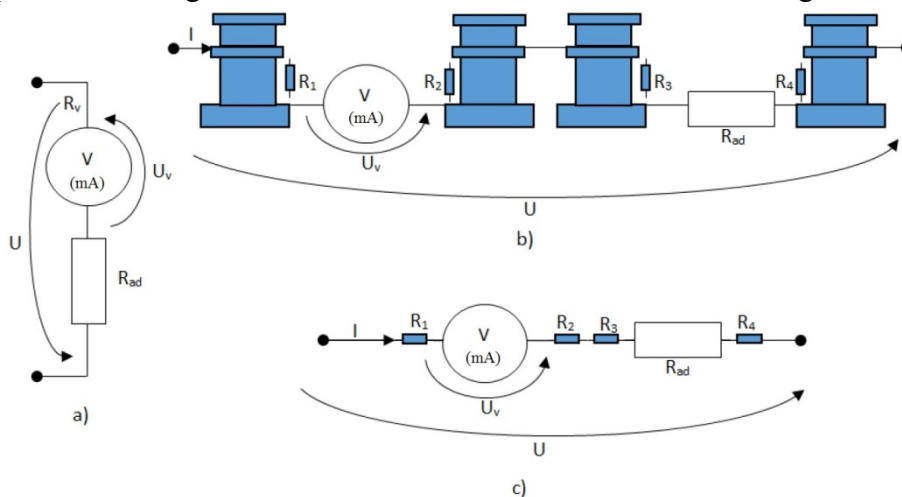


Fig. 4.8 Extinderea domeniului la voltmetre

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

$$m = \frac{U}{U_v} \quad (4.14)$$

iar valoarea rezistenței adiționale necesare este:

$$R_{ad} = R_v(m - 1) \quad (4.15)$$

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 $R_1 \approx R_2 \approx R_3 \approx R_4 = R$ raportul real de extindere este:

$$m' = \frac{R'_{ad}}{R_V} + 1 = \frac{R_{ad} + 4 \cdot R}{R_V} + 1 \quad (4.16)$$

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

$$\varepsilon_a = U - U' = (m - m')U_V \quad (4.17)$$

iar eroarea relativă cu:

$$\varepsilon_r = \frac{U - U'}{U'} \cdot 100 = \left(\frac{m}{m'} - 1\right) \cdot 100 \quad (4.18)$$

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.

4.3.3 Scheme de montaj

Pentru studiul dispozitivului magnetoelectric extins în curent cu șunturi cu borne simple, se realizează schema de montaj din figura 4.9, utilizând următoarele aparate:

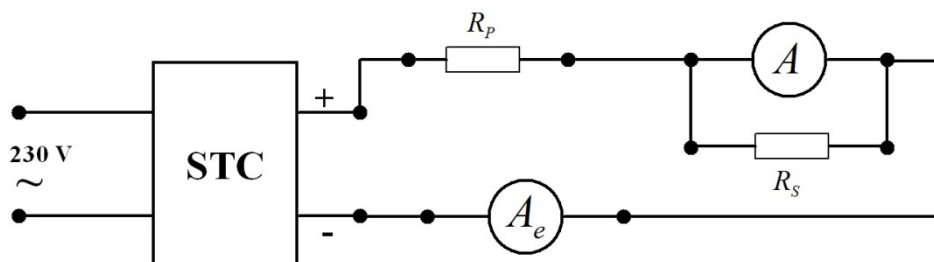


Fig. 4.9 Extinderea domeniului la ampermetre borne simple: schemă de montaj

STC - sursă de tensiune continuă reglabilă ;

A - miliampermetru magnetoelectric., 60 mV/Ω;

R_p - reostat de protecție pentru limitarea curentului de lucru

A_e - ampermetru de c.c. etalon, 0-500 mA, clasa de precizie $c=0,2$;

R_s - șunt multiplu, 60 mV/ Ω , 75-150-300 mA sau 0,750-1,500-3,00A.

Pentru studiul extinderii domeniului de măsurare pentru șunt cu borne duble se realizează schema de montaj din figura 4.10, conectând șuntul în modul arătat. Aparatele necesare sunt aceleași ca și în cazul anterior.

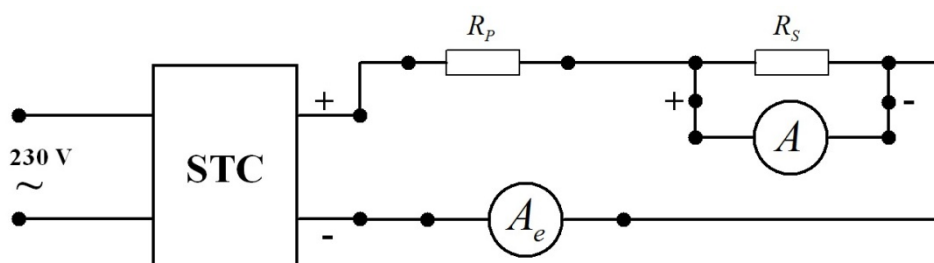


Fig. 4.10 Extinderea domeniului la ampermetre borne duble: schemă de montaj

În cazul voltmetrelor, extinderea domeniului de măsurare se studiază cu schema de montaj din figura 4.11, folosind următoarele aparate:

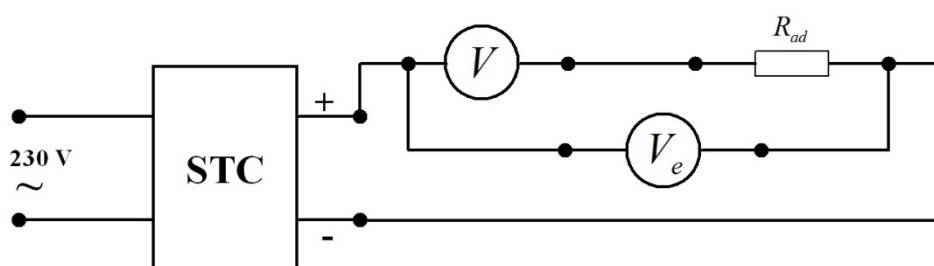


Fig. 4.11 Extinderea domeniului la voltmetre: schemă de montaj

STC - sursă de tensiune continuă reglabilă

V - voltmetru magnetoelectric 0-3 V, 500 Ω/V ;

R_{ad} - cutie de rezistențe adiționale, 500 Ω/V , 3-7.5-15-30-75-...-750 V;

Funcționarea ampermetrelor cu șunt cu borne simple se studiază cu schema de montaj din figura 4.9. 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 0,750-1,500-3,00 A), 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 4.2.

[illegible]

Se modifică apoi schema de montaj, corespunzător figurii 4.10, 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 4.3.

Tabelul 4.3. Extinderea domeniului de măsurare la ampermetre borne duble

I_{SN}	n	Aparatul extins			Ap. etalon		ε_a	ε_r	n''	R_c	n''_{med}	R_{cmed}
		I_a	I	I_e								
[mA]		[div]	[mA]	[mA]	[div]	[mA]	[mA]	[%]		[Ω]		[Ω]

I_{SN} - Valoarea nominală (domeniul) la care se extinde ampermetru

$n = \frac{I_{SN}}{I_{aN}}$ - raportul teoretic de extindere (I_{aN} - valoarea nominală (domeniul) aparatului extins)

$$I = n \cdot I_a [mA] \quad (4.19)$$

I_e - valoarea curentului real prin circuit indicată de ampermetru etalon.

$\varepsilon_a = I - I_e [mA]$ - eroarea absolută

$$\varepsilon_a = \frac{I - I_e}{I_e} [\%] \text{ - eroarea relativă}$$

$$n'(n'') = \frac{I_e}{I_a} = n - \frac{\varepsilon_a}{I_a} \text{ - raportul real de extindere}$$

$$n'(n'')_{med} = \frac{\sum_{i=1}^k n'(n'')_i}{k} \text{ - raportul de extinde mediu pe domeniul extins.}$$

montajul cu borne simple, respectiv:

borne double

$$R_{cmed} = \frac{\sum_{i=1}^k R_{ci}}{k}$$

Tabelul 4.4. Extinderea domeniului de măsurare la voltmetre

[illegible]
$$m = \frac{U_{SN}}{U_{VN}} \text{ - raportul teoretic de extindere (} U_{VN} \text{ - valoarea}$$

nominală (domeniul) aparatului extins)

$$U = m \cdot U_v [V] \quad (4.20)$$

U_e - valoarea tensiuni electrice reale prin circuit indicată de voltmetru etalon.

$\varepsilon_a = U - U_e [V]$ - eroarea absolută

$\varepsilon_a = \frac{U - U_e}{U_e} [\%]$ - eroarea relativă

$m' = \frac{U_e}{U_v} = m - \frac{\varepsilon_a}{U_v}$ - raportul real de extindere

$m'_{med} = \frac{\sum_{i=1}^k m'_i}{k}$ - raportul de extinde mediu pe domeniul extins.

$R_c = \frac{m' - m}{4} R_v$ - rezistența de contact:

$R_{cmed} = \frac{\sum_{i=1}^k R_{ci}}{k}$ - valoarea medie a rezistenței de contact pe domeniul extins

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.