

3 Punți de măsură

Lucrarea dorește să prezinte metodele de măsurare în punte a diferiților parametri electrici. Se va studia puntea simplă de curent continuu (puntea Wheatstone) în regim echilibrat și regim dezechilibrat, respectiv o punte de curent alternativ (puntea Sauty) în regim echilibrat.

3.1 Punți de curent continuu

3.1.1 Puntea Wheatstone în regim echilibrat

Se prezintă modul de măsurare în curent continuu a rezistențelor în intervalul $1\Omega \dots 1M\Omega \dots 10M\Omega$. Schema de principiu a punții Wheatstone este prezentată în figura 3.1. Condiția de echilibru a punții (deviația nulă a instrumentului de nul, $\alpha = 0$), este:

$$R_x \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \quad (3.1)$$

sau

$$R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

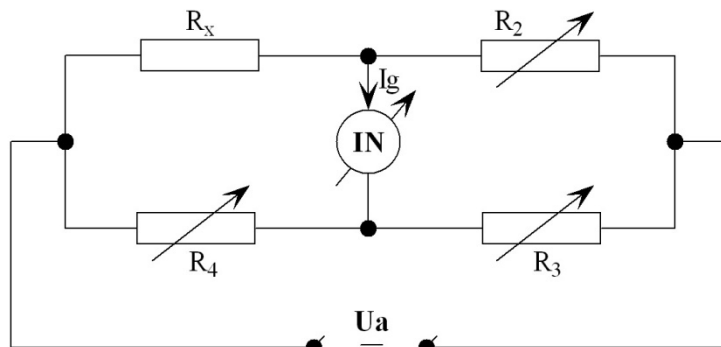


Fig. 3.1 Puntea Wheatstone

R_2, R_3 - rezistențe care pot lua valori în trepte: 1, 10, 100, 1000 Ω , astfel încât raportul $\frac{R_2}{R_3}$ (numit și raport de măsurare) ia valorile: $10^{-3}, 10^{-2}, \dots, 10^2, 10^3$.

R_4 - rezistență decadică, numită rezistență de reglaj fin.

IN, – instrument de nul de curent continuu, sau galvanomentru de curent continuu.

Ponind de la relația 3.1 se reglează, la începutul măsurătorii, raportul $\frac{R_2}{R_3}$, la valori apropiate de domeniul rezistenței de măsurat R_x .

Ulterior se modifică rezistența de echilibrare R_4 până la obținerea unei indicații nule a instrumentului de nul, **IN**. Se poate scrie ecuația:

$$\alpha = S_I \cdot I_g = S_I \cdot U_a \frac{R_2 \cdot R_4 - R_x \cdot R_3}{R_4 \cdot A + B} \quad (3.2)$$

unde A și B sunt expresii ce conțin parametrii din brațele punții. S_I - sensibilitatea față de curent a **IN**.

În situația în care prin varierea fină a rezistenței R_4 , nu se obține deviația $\alpha = 0$, atunci, dacă la două valori succesive ale rezistenței de echilibru R_{4s} (la stanga) și R_{4d} (la dreapta), a deviației nule, $\alpha = 0$, două valori α_s, α_d , atunci valoarea exactă la echilibru se stabilește cu relația:

$$R_{4i} = R_{4e} + (R_{4d} - R_{4s}) \cdot \frac{\alpha_e}{\alpha_s + \alpha_d} \quad (3.3)$$

3.1.1.1 Sensibilitatea punții Wheatstone

Sensibilitatea punții Wheatstone se definește în funcție de mărimea de ieșire $\Delta\alpha$ și variația rezistenței de reglaj fin R_4 astfel:

$$S = \lim_{\Delta R \rightarrow 0} \frac{\Delta\alpha}{\frac{\Delta R_{4e}}{R_{4e}}}$$

Această expresie are sens în jurul valorii de echilibru unde curba de variație este lineară.

Calculul erorii de măsurare a rezistenței necunoscute și a valorii acesteea se calculează ținând cont de următoarele:

a) eroarea relativă totală de măsurat:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{rc} + \varepsilon_{rd}$$

- unde ε_{rc} este eroarea relativă constructivă a punții înscrisă pe punte sau calculabilă din piese separate:

$$\varepsilon_{rc} = \varepsilon_{r2} + \varepsilon_{r3} + \varepsilon_{r4}$$

ε_{r2} , ε_{r3} , ε_{r4} erorile relative a rezistențelor din brațele punții.

- ε_{rd} eroarea relativă de determinare a rezistenței ce apare în cazul calculul rezistenței de echilibru prin interolare:

$$\varepsilon_{rd} = \frac{R_{4d} - R_{4s}}{R_{4i}} \cdot \frac{\Delta\alpha}{\alpha_d + \alpha_s}$$

$\Delta\alpha$ - este fracțiunea de diviziune ce se poate aprecia pe scala instrumentului de nul, uzual 0,5.

b) Intervalul de valori în care este cuprinsă valoarea probabilă a rezistenței este dată de relația:

$$R_x = R_{mas} \pm \varepsilon_a$$

$$\varepsilon_a = R_{mas} \cdot \varepsilon_r$$

c) Dacă se fac mai multe măsurări asupra aceași rezistențe, în aceleași condiții de măsurare atunci în loc de R_{mas} se folosește valoare medie a acestuia:

$$R_{med\ mas} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{mas\ i}}{n}$$

3.1.1.2 Mersul lucrării

Se execută montajul din figura 3.1. Pentru fiecare rezistență necunoscută în parte se procedează în modul următor:

- Se alimentează puntea având grijă să nu avem rezistențe nule în brațele punții. Decada cea mai semnificativă a rezistenței R_4 se pune la 1×1000 . Se modifică apoi

în modul este cea mai mică. Se notează în tabel raportul.

3.1.2 Puntea Wheatstone în regim dezechilibrat

3.1.2.1 Considerații teoretice

Puntea Wheatstone în regim dezechilibrat este utilizată la măsurarea pe cale electrică a unor mărimi neelectrice. Variațiile acestor mărimi neelectrice (presiune, forță, deplasare, nivel, temperatură) sunt convertite în variații de rezistență ΔR , prin intermediul unor traductoare rezistive. În cele ce urmează, variabila punții va fi variația $\Delta R/R$, a traductorului rezistiv. Mărimea de ieșire este variația ΔU a tensiunii din diagonala de măsură a punții.

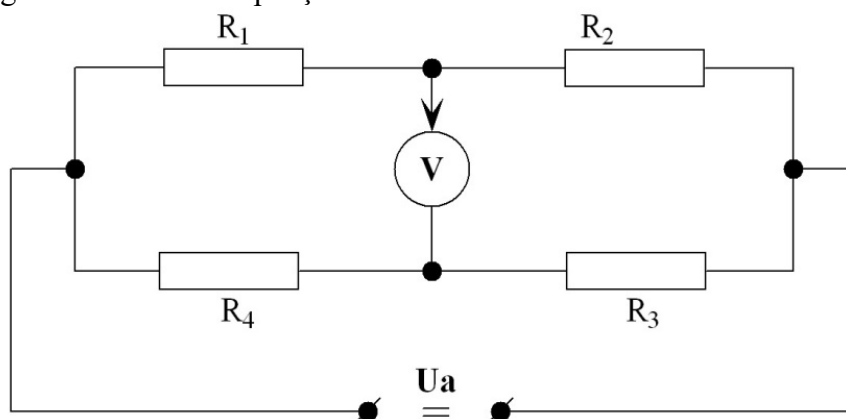


Fig. 3.2. Puntea Wheatstone dezechilibrată

3.1.2.2 Principiul metodei

În diagonala de alimentare a punții se conectează o sursă de tensiune continuă având rezistența internă egală cu zero. În diagonala de măsurare a punții se conectează un voltmetru numeric, sau la modul general un amplificator de instrumentație, având impedanța de intrare foarte mare în comparație cu rezistența de ieșire a punții, încât circuitul de măsurare funcționează în gol. Astfel este propriu să caracterizăm puntea prin sensibilitatea relativă în tensiune:

$$S = \frac{\frac{\Delta U}{U}}{\frac{\Delta R}{R}}$$

Teniunea în diagonala de măsurare a punții este:

$$\Delta U = U \frac{R_1}{R_1 + R_2} - U \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (3.4)$$

Inițial, valorile acestor rezistențe sunt egale $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, întrucât puntea este la echilibru:

$$\Delta U = 0$$

3.1.2.3 Puntea simplu dezechilibrată

Se dă o mică variație rezistenței R_4 , care devine $R + \Delta R$, celelalte valori rămân neschimbate. Înlocuind în relația 3.4 obținem:

$$\Delta U = U \frac{R}{2R} - U \frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} = \frac{U}{2} \left[1 - \frac{1 + \frac{\Delta R}{R}}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}} \right] = -\frac{U}{2} \frac{\frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R}}{1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}}$$

Ținând cont că $(1 + x)^{-1} \approx 1 - x$, dacă $x < 1$, se obține în final:

$$\Delta U = \frac{U}{4} \frac{\Delta R}{R} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} \right)$$

Ideal ar fi ca mărimea de ieșire ΔU să varieze linear în raport cu mărime de intrare, ΔR , astfel se poate defini:

$$\Delta U_{ideal} = \frac{U}{4} \frac{\Delta R}{R}$$

Se definește eroare relativă de neliniaritate:

$$\varepsilon_{rn} = \frac{\Delta U - \Delta U_{ideal}}{\Delta U_{ideal}} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R}$$

Se definește sensibilitatea relativă a punții devine:

$$S = \frac{\frac{\Delta U}{\Delta R}}{\frac{U}{R}} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta R}{R} \right)$$

Astfel pentru o variație relativă a rezistenței $\frac{\Delta R}{R}$, rezultă o eroare de neliniaritate de 0,5%. În aceste condiții sensibilitatea punții este egală cu:

$$S = \frac{1}{4}$$

O eroare de neliniaritate mai mare sau egală cu 5% nu este admisibilă. Îmbunătățirea liniarității punții se face prin micșorarea erorii de neliniaritate. Un mod de a realiza acest deziderat constă în folosirea unei punții cu brațe neegale de forma: $R_2 = R_3 = R$ și $R_1 = R_4 = kR$, astfel se obține o liniaritate egală cu:

$$S = \frac{1}{k}$$

3.1.2.4 Puntea dezechilibrată cu două brațe active

Se realizează configurația din figura 3.3, în care traductoarele active sunt în paralel cu diagonală de alimentare. Cele două traductoare variază în sens opus. Tensiunea de dezechilibru este:

$$\Delta U = \frac{U}{2} \frac{\Delta R}{R}$$

Eroarea de neliniaritate este egală cu 0 iar sensibilitatea punții este:

$$S = \frac{1}{2}$$

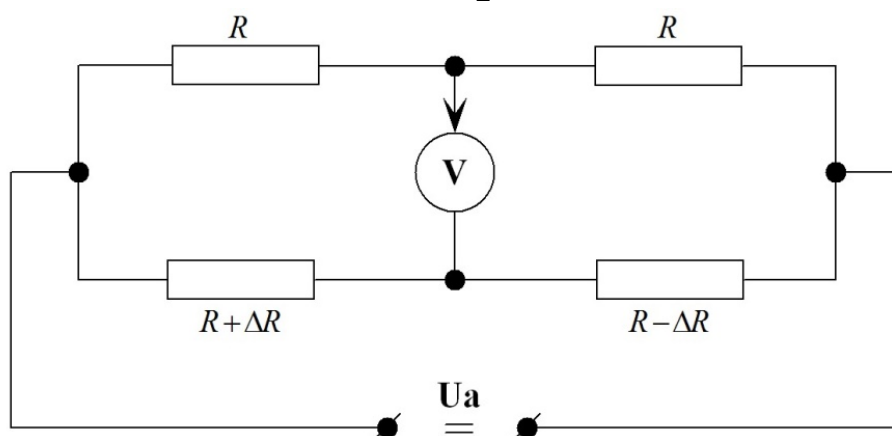


Fig. 3.3 Puntea Wheatstone dezechilibrată cu două brațe active

3.1.2.5 Puntea dezechilibrată cu 4 brațe active:

Schema de principiu este prezentată în figura 3.4. Tensiunea de dezechilibru și sensibilitatea punții sunt :

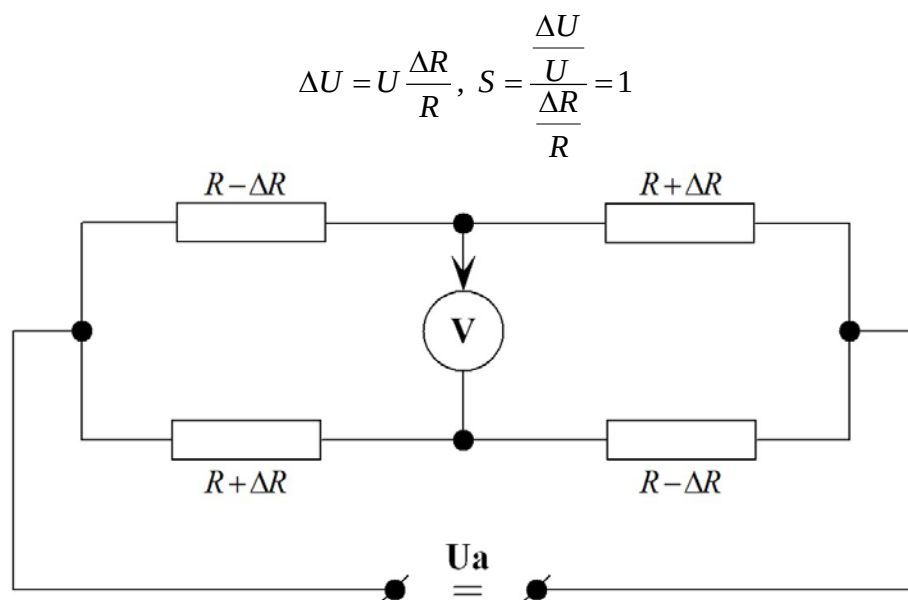


Fig. 3.4. Puntea Wheatstone dezechilibrată cu 4 brațe active

Datele pentru fiecare caz se trec în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3. Puntea Wheatstone dezechilibrată

1 braț activ										
ΔR										
ΔU										
2 brațe active										
ΔR										
ΔU										
4 brațe active										
ΔR										
ΔU										

Se va trasa graficul $\Delta U = f\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$

3.2 Punții de curent alternativ

În figura 3.5 se prezintă schema generală a unei punții de curent alternativ.

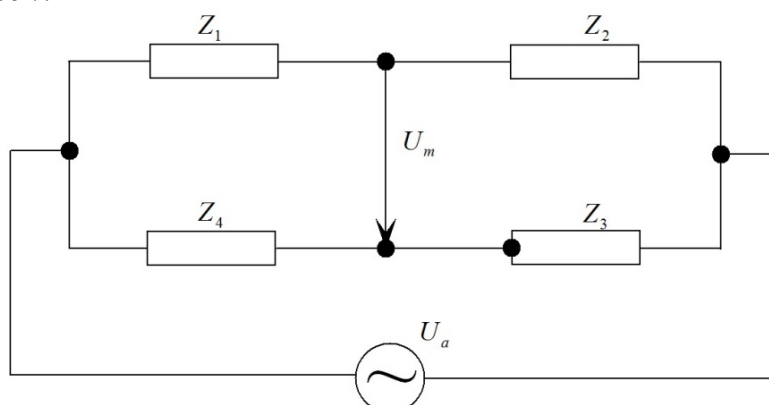


Fig. 3.5 Schema general a unei punții de curent alternative

Condiția de echilbru este dată de relația în complex:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \quad (3.5)$$

Pornind de la această relație se pot scrie două ecuații scalare sub forma:

$$\begin{aligned} R_1 R_3 - X_1 X_3 &= R_2 R_4 - X_2 X_4 \\ R_1 X_3 + R_3 X_1 &= R_2 X_4 + R_4 X_2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

sau

$$\begin{aligned} |Z_1 Z_3| &= |Z_2 Z_4| \\ \varphi_1 + \varphi_3 &= \varphi_2 + \varphi_4 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Puntea impune următoarele restricții:

1. Pentru a fi în echilibru trebuie satisfăcute ambele ecuații simultan, cea ce implică prezența a minim 2 parametrii variabili în circuit.
2. Din ecuația 3.7 se poate deduce că nu orice combinație de impedanțe duce la o punte echilibrată.
3. Alta limitare este dată de necesitatea ca cele două mărimi măsurate de punte să poată fi citite separat, astfel puntea trebuie să aibă fie 2 rezistențe pure, fie 2 reactanțe pure.

3.2.1 Puntea Sauty – serie

Schema punții Sauty – serie este prezentată în figura 3.6:

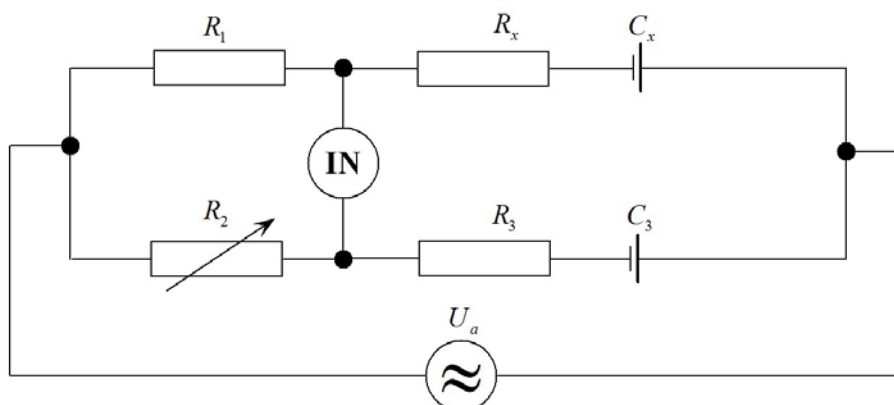


Fig. 3.6. Puntea Sauty – serie

Ecuatiile de echilibru sunt:

$$C_x = \frac{R_2}{R_1} C_3, R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

respectiv

$$\omega C_x R_x = \omega C_3 R_3$$

Puntea Sauty serie se utilizează pentru măsurarea capacităților cu pierderi mici.

3.2.2 Puntea Maxwell – Wien

Schema de principiu este prezentată în figura 3.7. iar ecuațiile de echilibru sunt:

$$L_x = R_1 R_3 C_2, R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

respectiv

$$\frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{1}{\omega C_2 R_2}$$

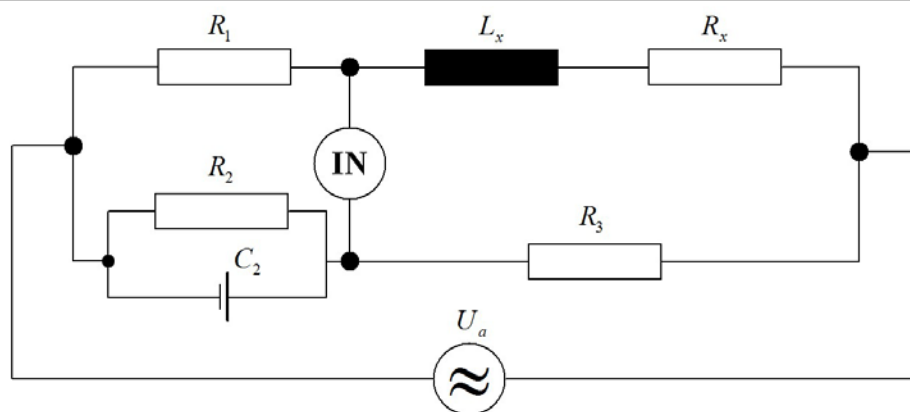


Fig. 3.7 Puntea Maxwell - Wien