

MĂSURAREA REZISTENȚELOR ELECTRICE CU PUNTEA WHEATSTONE

1. Considerații teoretice

Rezistența electrică a unui cilindru cu lungimea ℓ și secțiunea S se calculează cu relația:

$$R = \rho \cdot \ell / S \quad [R]_{SI} = \Omega \text{ (Ohm-i)} \quad (1)$$

unde ρ este o constantă de material, **rezistivitatea electrică**, măsurată în ohm·metru ($\Omega \cdot m$).

Pentru măsurarea rezistențelor există numeroase metode diferind după specificul și mărimea rezistenței de măsurat, precizia urmărită și aparatele de măsură utilizate. Metodele de punte utilizate în condiții de laborator oferă precizia maximă, în timp ce metodele industriale, a ampermetrului și voltmetrului sau a ohmetrelor, oferă posibilitatea unor determinări mai rapide dar mai puțin exacte.

Metodele de punte se bazează pe metoda de comparație, fiind analoage cu metodele de compensație utilizate la măsurarea tensiunilor. Cele mai utilizate sunt puntea Wheatstone cu care se măsoară rezistențe cuprinse între 1Ω și $1M\Omega$ și puntea Thomson pentru rezistențe între 1Ω și $10^{-6}\Omega$. Puntea Wheatstone are schema reprezentată în figura 1. Este o rețea cu patru noduri, de forma unui patrulater având pe laturi rezistențe, pe o diagonală sursa și în cealaltă diagonală galvanometrul.

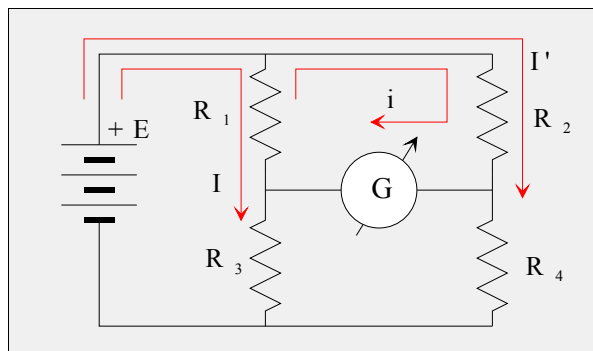


Figura 1. Puntea Wheatstone.

Principiul metodei de măsurare constă în echilibrarea punții, adică atingerea situației în care curentul prin diagonală galvanometrului este nul. Folosind legile lui Kirchhoff sau echivalent metoda curenților circulari, în cazul dat se obține următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} I \cdot (R_1 + R_3) - i \cdot R_1 = E \\ I' \cdot (R_2 + R_4) + i \cdot R_2 = E \\ I' \cdot R_4 - i \cdot r - I \cdot R_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

unde:

- I = curentul circular de la sursa E prin rezistențele R_1 și R_3
- I' = curentul circular de la sursa E prin rezistențele R_2 și R_4
- i = curentul circular prin rezistența internă a aparatului de măsură r și rezistențele R_1 și R_3

Relația (2) se poate rescrie ca:

$$\begin{cases} I = E / (R_1 + R_3) + i \cdot R_1 / (R_1 + R_3) \\ I' = E / (R_2 + R_4) + i \cdot R_2 / (R_2 + R_4) \\ i = \frac{E \cdot [R_3 / (R_1 + R_3) - R_4 / (R_2 + R_4)]}{[r + R_1 \cdot R_3 / (R_1 + R_3) + R_2 \cdot R_4 / (R_2 + R_4)]} \end{cases} \quad (3)$$

Curentul prin instrument "i" se anulează dacă:

$$R_1 / R_3 = R_2 / R_4 \quad (4)$$

Relația (4) constituie condiția de echilibru a punții Wheatstone și cu ea putem determina una dintre rezistențe când sunt cunoscute celelalte trei. Pentru realizarea echilibrului trebuie ca una sau mai multe rezistențe să fie variabile. Se deosebesc din acest punct de vedere punți cu rezistențe variabile la raport menținut constant și punți cu raport variabil la rezistență menținută constantă. Dacă R_3 este rezistența necunoscută o putem determina cu ajutorul relației (4) ca:

$$R_x = R_3 = R_1 \cdot R_4 / R_2 \quad (5)$$

Des întâlnită este puntea cu fir calibrat, la care raportul rezistențelor R_2 / R_4 este variabil. Acesta se realizează cu ajutorul unui rezistor cu fir calibrat de lungime ℓ și cu un cursor care glisează pe fir (figura 2).

În acest caz rezistențele R_2 și R_4 sunt proporționale cu lungimile ℓ_1 și ℓ_2 în care cursorul împarte firul conductor. Relația (5) devine:

$$R_x = R_1 \cdot \ell_1 / \ell_2 \quad (6)$$

unde R_1 , **rezistența etalon**, are o valoare cunoscută.

Puntea Wheastone poate fi construită direct din elemente dar se găsesc și punți gata fabricate. Acestea din urmă, pentru o mai bună precizie sunt, de obicei, cu rezistență variabilă la raport menținut constant. Concret, raportul $R_3/R_4=1$ (aici sensibilitatea e maximă), iar relația (5) de echilibru al punții se reduce la:

$$R_x \equiv R_3 = R_1 \quad (7)$$

unde R_1 este o rezistență variabilă, de obicei o cutie cu rezistențe cu valori decadice (1, 2, 3, ..., 8, 9, 10, 20, 30, ..., 80, 90, 100, 200, ... Ω)

Domeniul de măsurare al punților Wheatstone este limitat între 1 Ω și 1M Ω . Rezistențele care depășesc aceste limite se măsoară cu erori prea mari datorită rezistențelor conductoarelor de legătură și a rezistențelor de contact de la bornele de legare a rezistenței de măsurat, în cazul rezistențelor sub 1 Ω , iar în cazul rezistențelor de peste 1M Ω , din cauza reducerii sensibilității punții datorită micșorării curentului prin laturile punții.

2. Metoda experimentală

Dispozitivul experimental

Pe o planșetă de lemn este întins firul calibrat suprapus peste o riglă gradată. Ca rezistență R_1 se folosește o cutie de rezistențe, iar rezistențele necunoscute sunt firele conductoare întinse pe o planșetă.

Modul de lucru

- Se realizează montajul din figura 2.
- Se deplasează cursorul până când acul galvanometrului indică zero.
- Se citesc în această poziție valorile ℓ_1 și ℓ_2 .
- La fiecare rezistență necunoscută se fac cel puțin două determinări, folosind diferite rezistențe cunoscute. Acestea se aleg astfel ca

echilibrarea punții să se obțină pentru o poziție mediană a cursorului. Eroarea relativă a determinării este în acest caz minimă.

- Se măsoară lungimea "L" și diametrul "d" pentru fiecare rezistență necunoscută .
- Se măsoară rezistențele necunoscute cu o punte universală (RLC).

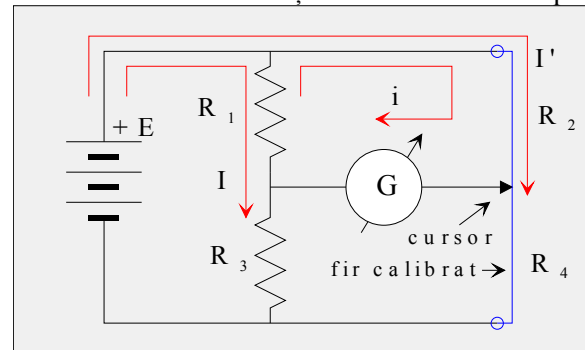


Figura 2. Puntea cu fir calibrat.

3. Prelucrarea datelor experimentale

- Din relația (6) se determină valorile rezistențelor necunoscute.
- Se calculează cu relația (1) rezistivitățile conductoarelor.
- Rezultatele se trec în tabel.
- Calculul erorilor se face cu relația ($\Delta R=0$ și $\Delta \ell_1=\Delta \ell_2=\Delta \ell$):

$$\Delta R_x / R_x = \Delta R / R + \Delta \ell_1 / \ell_1 + \Delta \ell_2 / \ell_2 \text{ sau } \Delta R_x / R_x = \Delta \ell \cdot (\ell_1 + \ell_2) / (\ell_1 \cdot \ell_2) \quad (8)$$

Fiindcă $\ell_1 + \ell_2 = \ell$ și notând $x = \ell_1 - \ell_2$ din (8) rezultă că eroarea relativă este minimă la $x=0$:

$$\Delta R_x / R_x = 4 \cdot \ell \cdot \Delta \ell / (\ell^2 - x^2) \quad (9)$$

Tabel cu date experimentale

Nr. crt.	R (Ω)	ℓ_1 (m)	ℓ_2 (m)	L (m)	d (mm)	R_x (Ω)	ρ ($10^{-8} \Omega \cdot m$)