

Măsurarea rezistențelor electrice cu puntea Wheatstone

I. Considerații teoretice

Rezistența electrică este proprietatea materialelor de a se opune trecerii curentului electric. Ea se datorește faptului că electronii, în timpul deplasării lor, se ciocnesc de atomii constituenți ai materialului. Aceste ciocniri au ca efect micșorarea energiei cinetice a electronilor.

Rezistența unui material cu lungimea unitară și de secțiune unitară poartă numele de rezistivitate; se notează cu ρ și este o constantă de material.

Dependența rezistenței electrice de dimensiunea și natura conductorului a fost stabilită experimental, regăsită teoretic și are forma

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (1)$$

unde L este lungimea conductorului considerat, iar S secțiunea lui.

Unitatea de măsură a rezistenței electrice în Sistemul Internațional este ohmul (Ω), iar a rezistivității ohm·metrul ($\Omega \cdot m$).

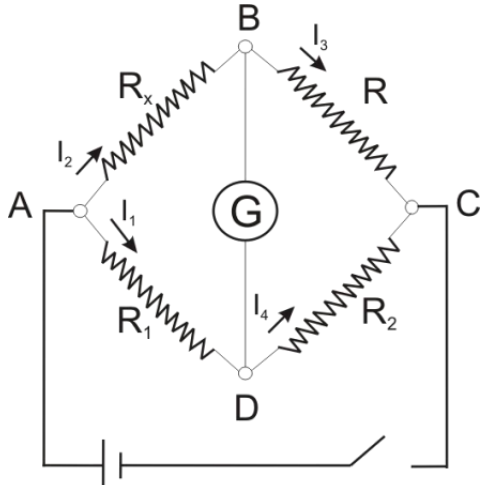


Fig. 1

Pentru măsurarea rezistențelor există numeroase metode diferind după specificul și mărimea rezistenței de măsurat, precizia urmărită și aparatele de măsură utilizate. În cazul rezistențelor metalice metodele de punte utilizate în condiții de laborator pot oferi precizia maximă, în timp ce metodele industriale, a ampermetrului și voltmetrului sau a ohmmetrelor, oferă posibilitatea unor determinări mai rapide dar și 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 cuprinse 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, într-una din diagonale sursa și în cealaltă diagonală galvanometrul.

Principiul metodei de punte constă în echilibrarea schemei, adică în atingerea situației în care curentul prin diagonală galvanometrului este nul. Folosind legile lui Kirchoff, în cazul unei punți echilibrate se obține următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} I_2 \cdot R_x = I_1 \cdot R_1 \\ I_3 \cdot R = I_4 \cdot R_2 \\ I_2 = I_3 \\ I_1 = I_4 \end{cases} \quad \text{de unde: } R_x = R \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

Relația (2) constituie condiția de echilibru a punții Wheatstone și permite determinarea uneia din rezistențe când sunt cunoscute celelalte trei. Pentru obținerea echilibrului trebuie ca una sau mai multe din rezistențele R , R_1 și R_2 să fie variabile. Se deosebesc din acest punct de vedere punți cu

rezistență variabilă la raport menținut constant și punți cu raport variabil la rezistență menținută constantă.

Dintre cele din urmă cea mai des întâlnită este puntea cu fir calibrat, la care raportul rezistențelor R_1/R_2 este variabil. Aceasta se realizează cu ajutorul unui rezistor cu fir calibrat AC cu cursor (fig.2).

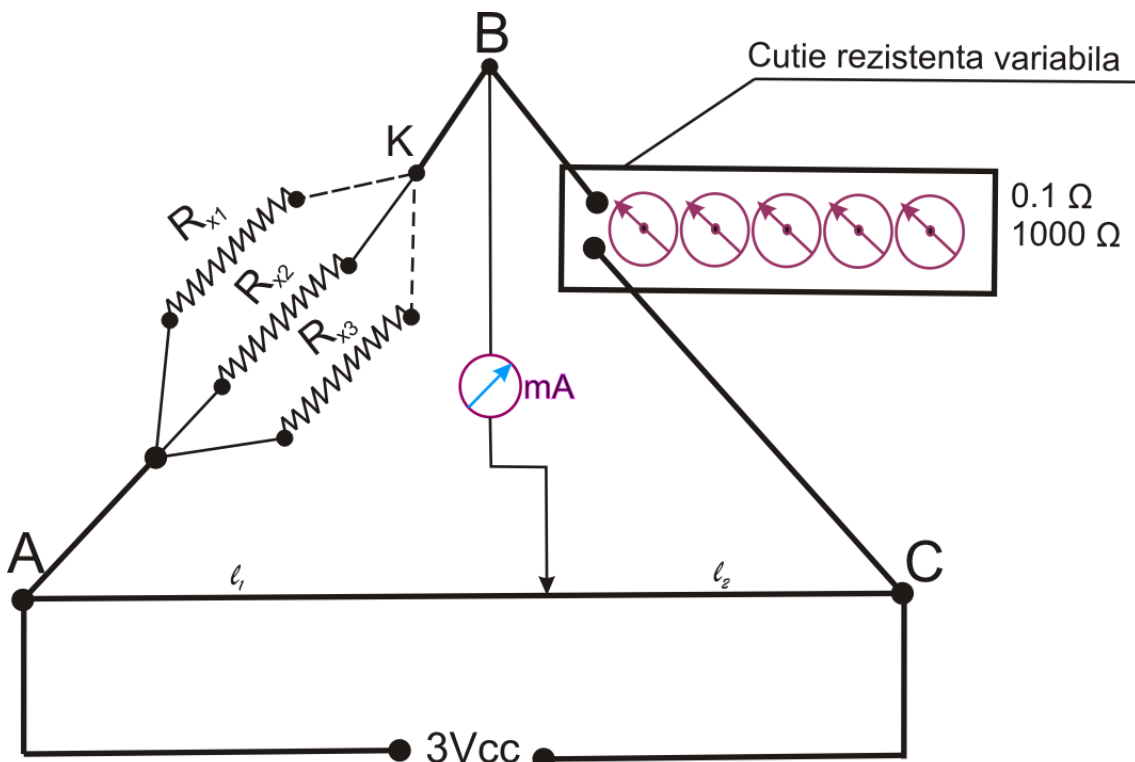


Fig. 2

În acest caz rezistențele R_1 și R_2 sunt proporționale cu lungimile l_1 și l_2 în care cursorul D împarte firul conductor AC. Relația (2) devine deci:

$$R_x = R \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (3)$$

unde R , numită rezistență etalon, este o rezistență cunoscută.

Puntea Wheatstone 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.

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

II. Metodica experimentală

II.1 Dispozitivul experimental

Pe o planșetă este întins firul calibrat AC (fig.2) suprapus peste o riglă gradată. Ca rezistență cunoscută se folosește o cutie de rezistențe, iar rezistențele necunoscute sunt niște fire conductoare de diferite dimensiuni.

II.2. Modul de lucru

1. Se realizează montajul din fig. 2;
2. Se închide circuitul și se deplasează cursorul D până când acul galvanometrului indică zero;
3. Se citesc în această poziție valorile l_1 și l_2 ;
4. Pentru fiecare rezistență necunoscută se fac trei determinări, folosind diferite rezistențe cunoscute. Aceste se aleg astfel ca echilibrarea punții să se realizeze când cursorul D se plasează în apropiere de mijlocul firului AC, eroarea relativă a determinării fiind în acest caz minimă;
5. Se măsoară lungimea L și diametrul d pentru fiecare rezistență necunoscută.

II.3. Prelucrarea datelor experimentale

1. Utilizând relația (3) se determină valorile rezistențelor necunoscute;
2. Se calculează valorile medii a rezistențelor necunoscute: $\bar{R}_x = \frac{R_{x1} + R_{x2} + R_{x3}}{3}$;
3. Se calculează secțiunea S a rezistențelor necunoscute: $S = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$;
4. Cu ajutorul relației: $\rho = \bar{R}_x \cdot \frac{S}{L}$ se calculează rezistivitățile conductorilor ale căror rezistențe s-au determinat.

Calculul erorilor

În conformitate cu regulile calculului erorilor, pornind de la relația (3) rezultă:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} \quad (4)$$

Admițând că $\Delta R = 0$ și $\Delta l_1 = \Delta l_2 = \Delta l$ rezultă

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{l_1 + l_2}{l_1 \cdot l_2} \cdot \Delta l \quad (5)$$

Ținând cont că $l_1 + l_2 = l$ (lungimea totală a firului calibrat) și notând $l_1 - l_2 = x$ din (4) rezultă

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{4 \cdot l}{l^2 - x^2} \cdot \Delta l \quad (6)$$

Rezultă că eroarea relativă e cu atât mai mică cu cât x e mai mic, deci cu cât cursorul e mai apropiat de mijlocul firului calibrat la echilibrare.

