

STUDIUL CONDUCTIBILITĂȚII ELECTRICE A METALELOR

Considerații teoretice

Curentul electric este o mișcare dirijată de sarcini electrice ca urmare a aplicării unui câmp electric. Această mișcare ordonată se suprapune peste mișcarea haotică de agitație termică. La metale, purtătorii de sarcină ce formează curentul de conducție sunt electronii din banda de valență parțial ocupată. Ei creează într-o porțiune din interiorul conductorului de secțiune ΔS , prin care trece sarcina ΔQ în timpul Δt , densitatea de curent "j" a cărei mărime este:

$$j = \Delta Q / (\Delta S \cdot \Delta t) \quad [j]_{SI} = A/m^2 \quad (1)$$

iar sensul dat de sensul de deplasare al sarcinilor pozitive în câmpul E . Pe de altă parte ΔQ este sarcina cuprinsă în volumul $\Delta V = \Delta S \cdot v_d \cdot \Delta t$ și este dată de relația :

$$\Delta Q = n \cdot e \cdot v_d \cdot \Delta S \cdot \Delta t \quad (2)$$

unde:

- v_d – este viteza medie de transport a electronilor în conductor sub acțiunea câmpului E , numită *viteză de drift* sau antrenare;
- $n \cdot e$ – densitatea de sarcină electrică din interiorul conductorului (sarcina electrică elementară, a unui electron, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$).

Atunci din (1) și (2) se obține pentru densitatea de curent expresia:

$$j = n \cdot e \cdot v \quad (3)$$

Viteza de drift este mai mică decât viteza de agitație termică și este imprimată electronilor de câmpul electric E în timpul τ – timpul mediu dintre 2 ciocniri. Conform legii a doua a lui Newton, accelerația imprimată electronului de către câmpul electric E este:

$$a = e \cdot E / m$$

Atunci viteza maximă atinsă de electron înainte de următoarea ciocnire este:

$$v_{max} = a \cdot \tau = (e \cdot \tau / m) \cdot E \quad (4)$$

iar viteza medie a mișcării ordonate (viteza de drift sau transport) va fi:

$$v_d = [e \cdot \tau / (2 \cdot m)] \cdot E \quad (5)$$

Coeficientul de proporționalitate poartă denumirea de *mobilitate* a purtătorilor:

$$\mu = v_d / E = e \cdot \tau / (2 \cdot m) \quad [\mu]_{SI} = m^2 / (V \cdot s)$$

Ținând seama de cele de mai sus, densitatea de curent poate fi exprimată astfel:

$$j = \sigma \cdot E \quad (6)$$

și poartă numele de *forma diferențială a legii lui Ohm*. Constanta de proporționalitate " σ " reprezintă *conductivitatea electrică* și este dată de relația:

$$\sigma = e^2 \cdot n \cdot \tau / (2 \cdot m) = n \cdot e \cdot \mu \quad [\sigma]_{SI} = \Omega^{-1} \cdot m^{-1} \quad (7)$$

Considerând densitatea de curent uniform distribuită în interiorul unui conductor de secțiune S și lungime l obținem din relația (6):

$$I = U \cdot \sigma \cdot S / l = U / (\rho \cdot l / S) = U / R \quad (8)$$

forma finală a legii lui Ohm. La conductorii cu secțiune constantă rezistența electrică se exprimă simplu:

$$R = \rho \cdot l / S \quad [R]_{SI} = \Omega \quad (9)$$

unde $\rho = 1/\sigma$ – *rezistivitatea electrică*, caracterizează capacitatea unei substanțe de a conduce curentul electric $[\rho]_{SI} = \Omega \cdot m$.

Rezistivitatea unui metal conținând atomi de impuritate are forma:

$$\rho = \rho_L + \rho_i \quad (10)$$

unde ρ_L este rezistivitatea produsă de agitația termică a ionilor din nodurile rețelei cristaline a metalului, iar ρ_i este rezistivitatea cauzată de împrăștierea undelor asociate electronilor pe atomii de impuritate ce perturbă periodicitatea rețelei.

Valoarea rezistivității este determinată de natura substanței și de condițiile în care se află ea. Pentru majoritatea metalelor, la temperaturi îndepărtate de zero absolut, rezistivitatea crește cu temperatura aproximativ după legea liniară:

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t) \quad (11)$$

și definește un coeficient termic mediu al rezistivității:

$$\alpha = (1/\rho_0) \cdot \Delta\rho/\Delta T = (1/\rho_0) \cdot (\rho - \rho_0)/(T - T_0) \quad [\alpha]_{SI} = ^\circ\text{C}^{-1} \quad (12)$$

unde $T_0 = 273,16 \text{ }^\circ\text{K}$. Acest coeficient este egal cu $\sim 1/273$ la majoritatea metalelor pure.

Metoda experimentală

Instalația experimentală

Schema de principiu a instalației este prezentată în figura 1. Instalația conține o rezistență bobinată din cupru, sârmă de $\phi 0,1 \text{ mm}$, introdusă într-un vas termorezistent cu ulei, așezat pe plita unui reșou electric. Rezistența se măsoară cu o punte INEB, având clasa de precizie $\gamma = 10^{-2}$. Pentru măsurarea temperaturii se folosește un termometru cu mercur.

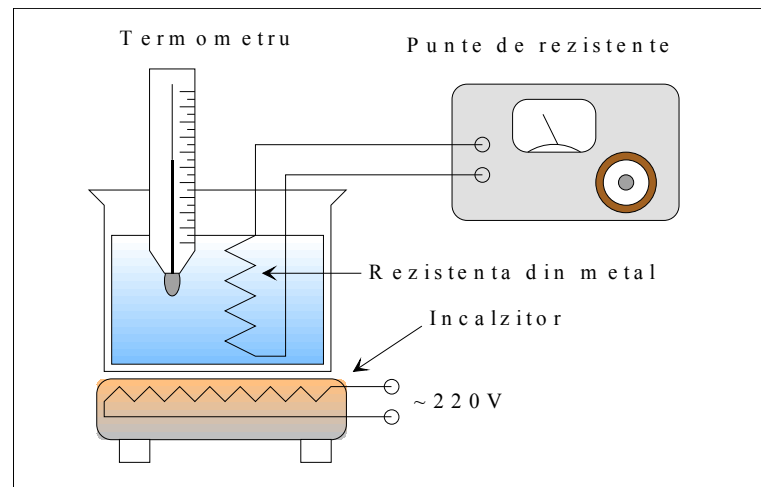


Figura 1. Instalația experimentală.

Mod de lucru

1. Se măsoară cu ohmmetrul rezistența electrică a firului metalic la temperatura camerei.
2. Se conectează plita la rețeaua electrică și se urmărește creșterea rezistenței cu creșterea temperaturii. Citim temperatura din 5 în 5 $^\circ\text{C}$ și valorile corespunzătoare ale rezistenței, trecându-le în tabelul 1.

Prelucrarea datelor experimentale

1. Se calculează rezistivitatea ținând cont că sârma de cupru bobinată pe carcasă are lungimea $\ell = 65 \text{ m}$ și $\phi = 0,12 \text{ mm}$ (pentru rezistența din platină $\ell = 1,85 \text{ m}$ și $\phi = 0,05 \text{ mm}$);

$$\rho = R \cdot S / \ell = R \cdot [\pi \cdot \phi^2 / (4 \cdot \ell)]$$
2. Se calculează conductibilitatea $\sigma = 1/\rho$ pentru temperaturile la care s-au făcut citirile de rezistență.
3. Se calculează mobilitatea $\mu = \sigma / (n \cdot e)$. Pentru cupru concentrația electronilor de conducție fiind de un electron pentru un atom și $A = 63 \text{ kg / kmol}$, $d = 8900 \text{ kg / m}^3$ și $N_A = 6,023 \cdot 10^{26} \text{ atomi / kmol}$, putem scrie: $n = d \cdot N_A / A$ (la Pt $A = 195 \text{ kg / kmol}$, $d = 21450 \text{ kg / m}^3$)
4. Se reprezintă pe același grafic $\rho = \rho(t)$ și $\mu = \mu(t)$.
5. Din panta graficului se determină coeficientul de temperatură al rezistivității cuprului, α , utilizând relația (12) sau $R_1 = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_1)$ și $R_2 = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t_2)$ de unde avem $\alpha = (R_1 - R_2) / (R_2 \cdot t_1 - R_1 \cdot t_2)$.
6. Se calculează durata drumului liber $\tau = \mu \cdot m / e$ la $t_{\text{cameră}}$.
7. Rezultatele se trec în tabelul 1.

Tabelul 1

R [Ω]	
t [$^\circ\text{C}$]	
ρ [$\Omega \cdot \text{m}$]	
σ [$\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$]	
μ [$\text{m}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$]	

Calculul erorii se face cu relația: $\Delta\rho/\rho = \gamma \cdot R_n / R$

unde: $\gamma = 10^{-2}$ – clasa de măsură a aparatului;
 R_n – valoarea capătului de scală;
 R – valoarea măsurată a mărimii fizice.