

Električna vodljivost metala

Cilj vježbe

Određivanje koeficijenta električne vodljivosti bakra i aluminija U-I metodom.

Teorijski dio

Eksperimentalno je utvrđeno da otpor ne-ohmskog vodiča raste s porastom temperature. Atomi čistog metala zauzimaju pravilan, periodički prostorni raspored tvoreći kristalnu rešetku. Oni se u kristalnoj rešetki oscilatorno gibaju (titraju) oko svojih ravnotežnih položaja. Povećanjem temperature, amplitude titranja atoma metala se povećavaju. Time se povećava i srednji broj sudara slobodnih elektrona s oscilirajućim atomima rešetke.

Ovisnost otpora metala o temperaturi dan je relacijom:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3 + \dots) \quad (1)$$

gdje je R_t otpor vodiča na temperaturi t , R_0 otpor na temperaturi $t_0 = 0^\circ\text{C}$ i $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ su temperaturni koeficijenti otpora metala. Za uobičajeni temperaturni interval ($0^\circ - 100^\circ\text{C}$), koeficijenti $\beta, \gamma, \dots$ su jako male veličine u odnosu na α , pa se članovi koji ih sadrže mogu zanemariti. Na taj način dobiva se izraz:

$$R_t = R_0(1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (2)$$

Za određivanje električne otpornosti metala ρ na temperaturi t , kada je poznata njegova električna otpornost ρ_0 na temperaturi 0°C i temperaturni koeficijent otpora α u intervalu temperature $0^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$ vrijedi:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad (3)$$

Temperaturni koeficijent otpora je za sve metale približno isti i iznosi $\alpha = \frac{1}{250} [\text{K}^{-1}] = 0.04 [\text{K}^{-1}]$.

Električna svojstva metala, u praksi se prikazuju kao recipročna vrijednost koeficijenta električne vodljivosti metala:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (4)$$

gdje je ρ električna otpornost metala, a σ koeficijent električne vodljivosti metala.

U metalima se električna vodljivost smanjuje povećanjem temperature. Uvrštavanjem izraza (4) u (3) dobije se relacija za električnu vodljivost metala na temperaturi t :

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 + \alpha \cdot \Delta t} \quad (5)$$

U tablici 1 prikazani su koeficijenti električne vodljivosti nekih materijala.

Tablica 1. Koeficijent električne vodljivosti nekih materijala

Materijal	$\sigma \cdot 10^7$ [S/m]
srebro	6.30
bakar	5.96
zlato	4.52
aluminij	3.78
platina	0.952
morska voda	0.50
voda za piće	0.00005-0.005

Eksperimentalni dio

Električna vodljivost metala σ određuje se prema relaciji:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (6)$$

gdje je ρ električna otpornost materijala.

Električna otpornost materijala određuje se iz definicije otpora metala:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (7)$$

gdje je l duljina vodiča, S površina poprečnog presjeka vodiča, a R električni otpor vodiča. Budući da su metalne cijevi koje se koriste u eksperimentalnom postavu Ohmski vodiči, U-I metodom lako se određuje njihov otpor iz Ohmova zakona:

$$R = \frac{U}{I} = \text{konst.} \quad (8)$$

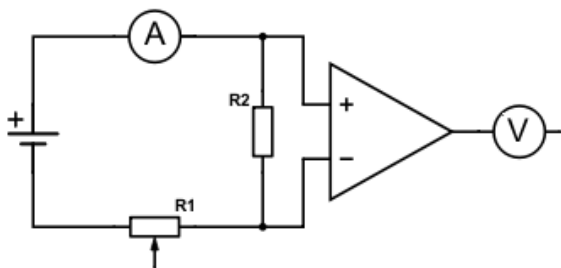
gdje je U napon na krajevima metalnog štapa, a I jakost struje koja prolazi štapom.

Potrebna oprema za izvođenje vježbe Električna vodljivost metala:

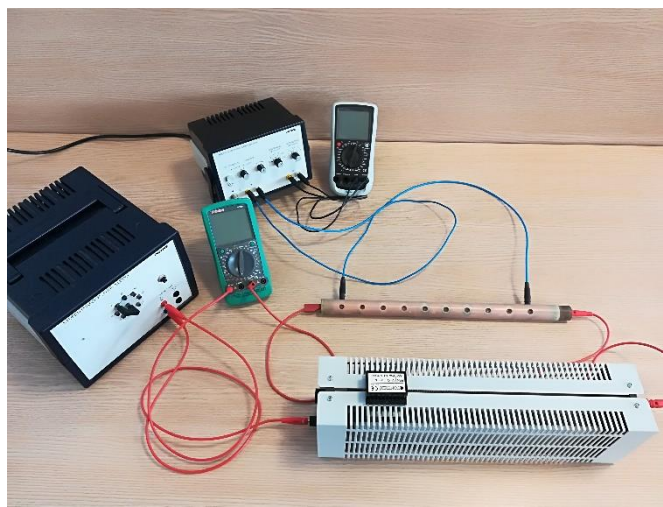
- Bakreni i aluminijski štap
- DC izvor
- Pojačalo
- Promjenjivi otpornik (reostat)
- Voltmetar i ampermetar

Postupak mjerenja:

1. Spojiti strujni krug prema shemi
2. Na pojačalu podesiti slijedeće postavke:
 - input: Low Drift
 - amplification: 10^4
 - time constant: 0
3. Pojačalo postaviti na 0 (bez prisustva vanjskog napona) da bi se izbjegao kolaps izlaznog napona
4. Mjerni postav priključiti na izvor napona
5. Promjenjivi otpornik (reostat) postaviti na najveću vrijednost koju postepeno smanjujete prilikom eksperimenta
6. Napon na krajevima vodiča podesiti reostatom tako da je početna jakost struje 0,1 A
7. Povećavati jakost struje kroz vodič u koracima po 0,1 i očitavati napon



Shema 1. Shema spoja



Slika 1. Eksperimentalni postav

Napomena:

Za metalne štapove u eksperimentalnom postavu, geometrijske veličine su:

$$l = 0.315 \text{ m}$$

$$S = 4.91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Mjerno područje ampermetra je u A!

Napon koji se očitava na voltmetru (u V) pojačan je za 10^4 !

Ime i prezime:

Matični broj:

Grupa:

Datum:

Rad u laboratoriju

Materijal promatranog predmeta je: _____

Zadatak 1:

Pomoću promjenjivog otpornika mijenjajte vrijednosti struje u koracima od 0.1 A i očitajte pripadni napon sa voltmetra. Popunite tablicu 2.

Tablica 2. Mjerni podaci

N	$U [10^{-4} \text{ V}]$	$I [\text{A}]$	$R [\Omega]$	$\rho [10^{-8} \Omega \text{m}]$	$\sigma [10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}]$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

$$l = 0.315 \text{ m}, S = 4.91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Zadatak 2:

a) Koristeći Ohmov zakon izračunajte električni otpor štapa R .

b) Koristeći relaciju (7) izračunajte električnu otpornost štapa ρ . Popunite tablicu 4. Prikažite izvod:

Ime i prezime:

Matični broj:

Grupa:

Datum:

Zadatak 3:

Koristeći relaciju (6) izračunajte vrijednosti koeficijenta električne vodljivosti metala σ . Prikažite jedan izračun:

Izračun:

Analiza i rasprava rezultata mjerenja

Zadatak 4:

Izračunajte maksimalnu apsolutnu i maksimalnu relativnu pogrešku pri eksperimentalnom određivanju koeficijenta električne vodljivosti pri naponu $U = (0,19 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ V, struji $I = (1 \pm 0,1)$ A, $l = (0,315 \pm 0,001)$ m i $S = (4,91 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$ m². Konačne rezultate upišite u tablicu 3.

Izračun:

- maksimalna apsolutna pogreška

- maksimalna relativna pogreška

Tablica 3. *Rezultati statističke analize slučajnih pogrešaka pri posrednom određivanju koef. el. vodljivosti*

Rezultat mjerenja izražen MAKSIMALNOM APSOLUTNOM pogreškom	Rezultat mjerenja izražen MAKSIMALNOM RELATIVNOM pogreškom

Zadatak 5:

a) Podatke iz tablice 2. obradite u MS Excell tako da prikazete ovisnost $U=f(I)$. Ulijepite graf na za to predviđeno mjesto. Istaknite jednadžbu regresije na grafu. Imenujte koordinatne osi!

b) Obrazložite riječima kako napon metalnog štapa U , ovisi o jakost struje I .

c) Navedite moguće izvore pogrešaka pri ovom mjerenju.

d) Napišite dobivenu jednadžbu regresijskog pravca u eksplicitnom obliku:

$$y = ax + b = \underline{\hspace{2cm}}$$

e) Koristeći dobivenu jednadžbu regresijskog pravca i relaciju (7) izračunajte koeficijent električne vodljivosti.

Izračun:

$$\sigma = \underline{\hspace{2cm}}$$

Zadatak 6:

Procijenite točnost mjerenja koeficijenta električne vodljivosti metala σ . Obrazložite odgovor!
Prihvaćenu vrijednost koeficijenta električne vodljivosti metala potražite u tablici 2.

Zadatak 7:

Pri određivanju koeficijent električne vodljivosti σ metalnog štapa izmjerene su vrijednosti električnog otpora $R = (70.72 \pm 1.41) \mu\Omega$, površina poprečnog presjeka $S = (7.07 \pm 0.94) \text{ cm}^2$ i njegova duljina $l = (50 \pm 0.1) \text{ cm}$. Izračunajte koeficijent električne vodljivosti σ te maksimalnu relativnu i apsolutnu pogrešku. Odredite od kojeg je materijala izrađen štapa.