

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY

**INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI TEORETYCZNEJ
I SYSTEMÓW INFORMACYJNO-POMIAROWYCH**

ZAKŁAD WYSOKICH NAPIĘĆ I KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

PRACOWNIA MATERIAŁOZNAWSTWA ELEKTROTECHNICZNEGO

ĆWICZENIE 2

**WYZNACZANIE REZYSTYWNOŚCI MATERIAŁÓW
OPOROWYCH I TEMPERATUROWEGO WSPÓŁCZYNNIKA
REZYSTANCJI**

MATERIAŁY OPOROWE

1. Wprowadzenie

Materiały oporowe są specyficznym rodzajem materiałów przewodzących. Oprócz odpowiednich własności elektrycznych muszą także wykazywać dobre własności mechaniczne, a zwłaszcza termiczne. W materiałach tych przewodnictwo ma charakter czysto elektronowy i wyraża się zależnością:

$$\gamma = \underline{n} \underline{e} \underline{k} \quad \left(\frac{S}{m}\right) = \left(\frac{1}{\Omega \cdot m}\right) \quad /1/$$

gdzie: \underline{n} – koncentracja elektronów w materiale [m^{-3}]

\underline{e} – ładunek elektronów [C]

\underline{k} – ruchliwość elektronów w materiale $\left(\frac{m^2}{V \cdot s}\right)$

Wartość przewodności tych materiałów jest uzależniona od kilku czynników, a mianowicie:

- a) rodzaju materiału i jego budowy
- b) czystości materiału, czyli zawartości obcych domieszek
- c) obróbki mechanicznej na zimno
- d) temperatury

We wzorze /1/ zależnie od rodzaju materiału (przyczyna a), jak i w pewnym stopniu na skutek obecności domieszek (przyczyna b) zmienia się koncentracja elektronów (\underline{n}). Natomiast zarówno domieszki (przyczyna b), obróbka mechaniczna na zimno (przyczyna c) jak i wzrost temperatury (przyczyna d) wpływają na zmniejszenie ruchliwości elektronów (\underline{k}), czyli na uzyskiwaną skierowaną prędkość przemieszczania się elektronów, przypadającą na 1kV przyłożonego napięcia.

STE (siła termoelektryczna) jest to różnica potencjałów powstająca na styku dwóch różnych przewodników metalicznych pod wpływem różnicy między temperaturą złącza a temperaturą wolnych końców tych przewodników. Najczęściej mierzona jest względem platyny (złącze metal-platyna) i podawana w $\mu V/^{\circ}C$ lub $\mu V/K$.

2. Podział i charakterystyka ogólna

W przeciwieństwie do materiałów przewodowych materiały oporowe powinny odznaczać się dużą rezystywnością. Warunek ten najlepiej spełniają stopy różnych metali, największe wartości rezystywności uzyskujemy dla stopów jednorodnych. Ze względu na późniejsze zastosowanie materiały oporowe możemy podzielić na:

- Pomiarowe
- Regulacyjne
- Grzejne

Wymagania dla materiałów oporowych możemy scharakteryzować własnościami elektrycznymi, termicznymi, mechanicznymi i chemicznymi.

- **Własności elektryczne** to duża rezystywność ρ , mała wartość współczynnika temperaturowego α , duża obciążalność prądowa, mała wartość siły termoelektrycznej STE.
- **Własności termiczne** to mała wydłużalność termiczna, wysoka temperatura długotrwałej pracy, możliwość lutowania.
- **Własności mechaniczne** to wysoka wytrzymałość na zrywanie i podatność na obróbkę skrawaniem.
- **Własności chemiczne** to odporność na utlenianie i długi czas pracy.

W zależności od zastosowania jedne z tych cech będą ważniejsze lub drugorzędne. Od materiałów na oporniki pomiarowe wymaga się dużej rezystywności, małej wartości α i małej wartości STE i niezmienności tych parametrów w czasie. Materiały na oporniki regulacyjne muszą być tanie w produkcji, a materiały na oporniki grzejne muszą się odznaczać wysoką temperaturą pracy i samoczynnie pokrywać się warstwą nie odpryskujących tlenków, co zabezpiecza je przed korozją.

W tabeli poniżej zestawiono parametry niektórych stopów oporowych.

Lp.	Materiał	Skład stopu	T_{\max}	Rezystywność	Współczynnik α	STE
		[%]	°C	$\mu\Omega\cdot m$	1/deg	$\mu V/deg$
1	Manganin	Cu – 86 Mn – 12 Ni – 2	250	0,46	$3\cdot 10^{-5}$	1
2	Izabelin	Cu – 84 Mn – 13 Al – 3	200	0,5	$2\cdot 10^{-5}$	-0,2
3	Inmet	Cu – 82,5 Mn – 12,0 Al – 4,0 Fe – 1,5	300	0,5	$2\cdot 10^{-5}$	-0,3
4	Konstantan	Cu – 55 Ni – 45	400	0,48	$2\cdot 10^{-5}$	-42,6
5	Nikielina	Cu – 54 Ni – 26 Zn – 20	300	0,43	$23\cdot 10^{-5}$	–
6	Zeliwo Stopowe	Fe – 93,9 Mn – 0,8 Si – 1,7 Zn – 3,6	400	0,45	$100\cdot 10^{-5}$	–
7	Chromonikielina bezżelazowa	Ni – 80 Cr – 20	1150	1,1	$15\cdot 10^{-5}$	–
8	Chromonikielina żelazowa	Ni – 65 Cr – 15 Fe – 20	850	1,03	$20\cdot 10^{-5}$	–
9	Stop KNS12	Ni – 20,0 Cr – 25,0 Fe – 52,5 Mn – 2,5	1000	0,86	–	–
10	Kanthal A1	Fe – 68,0 Cr – 24,0 Al – 5,5 Co – 1,5	1375	1,45	$3,2\cdot 10^{-5}$	–
11	Baildonal 12	Fe – 67,5 Cr – 27,0 Al – 5,5	1150	1,45	$4\cdot 10^{-5}$	–

3. Program badań

W toku ćwiczenia należy wyznaczyć rezystywność oraz wartość temperaturowego współczynnika rezystancji badanych próbek. Po wyznaczeniu wartości tych parametrów należy zidentyfikować badane próbki w oparciu o dane z instrukcji i literatury.

Rezystywność ρ - jest odwrotnością konduktywności, czyli przewodności odcinka przewodnika o jednostkowym przekroju s i jednostkowej długości l . Z pojęcia rezystywności jest wygodnie korzystać przy charakteryzowaniu materiałów oporowych.

$$\gamma = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{s} \quad \left[\frac{S}{m} \right]$$

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \quad [\Omega \cdot m]$$

Temperaturowy współczynnik rezystancji α - jest względną zmianą rezystancji danego materiału oporowego przy zmianie temperatury o 1° .

$$\alpha = \frac{R_{t_w} - R_{t_o}}{R_{t_o} (t_w - t_o)} \quad \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$$

Rezystywność i współczynnik α wyznacza się na odcinku materiału oporowego, zamocowanego w uchwycie wewnątrz komory grzejnej. Pierwszy pomiar wykonuje się w temperaturze otoczenia R_{t_o} . Aby wyznaczyć współczynnik α oraz rezystywność próbki, kolejne pomiary przeprowadzane są w wyższych temperaturach R_{t_w} .

Wielkości mierzone w ćwiczeniu to:

- R_t [Ω] – opór elektryczny zmierzony w temperaturze t ,
- temperatura t [$^\circ\text{C}$],
- długość i średnica próbek (podane dla każdej próbki) [m].

Nr próbki	Długość	Średnica
	[m]	[m]
1	12	$0,80 \cdot 10^{-3}$
2	10	$0,50 \cdot 10^{-3}$
3	2	$0,30 \cdot 10^{-3}$
4	2	$0,11 \cdot 10^{-3}$
5	10	$0,40 \cdot 10^{-3}$
6	2	$0,12 \cdot 10^{-3}$
7	2	$0,15 \cdot 10^{-3}$
8	10	$0,28 \cdot 10^{-3}$

Wielkości obliczane w ćwiczeniu to:

- $\alpha \left[\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right]$ – temperaturowy współczynnik rezystancji

$$\alpha = \frac{R_{t_w} - R_{t_o}}{R_{t_o} (t_w - t_o)}$$

- $R_{20} \text{ [}\Omega\text{]}$ – opór elektryczny odcinka l w temperaturze 20°C

$$R_{20} = \frac{R_{t_o}}{1 + \alpha(t_o - 20)} = \frac{R_{t_w}}{1 + \alpha(t_w - 20)}$$

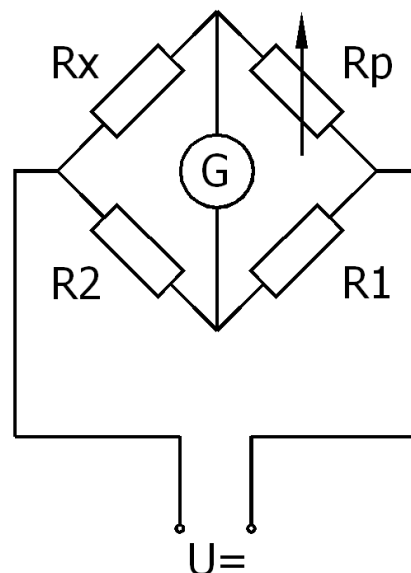
- $\rho \text{ [}\Omega\cdot\text{m]}$ – rezystywność próbki

$$\rho = \frac{R_{20} \cdot s}{l}$$

4. Aparatura

Do wykonania pomiarów wykorzystywane są następujące przyrządy:

- Komora grzejna wraz z termostatem
- Termometr laboratoryjny
- Mostek Wheatstone'a z galwanometrem i zasilaczem



Ze schematu ideowego mostka Wheatstone'a wynika, że przy jego równowadze rezystancja badana wynosi:

$$R_x = R_p \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Gdzie R_p jest rezystancją odczytaną z nastaw poszczególnych dekad mostka, a stosunek R_1/R_2 jest odczytany z nastaw „x” i „:” mostka. Wartości te odczytujemy po sprowadzeniu wskazań galwanometru do zera. Schemat układu pomiarowego przedstawiono poniżej.

