

## Ćw. 35. Wyznaczanie temperatury rozgrzanego rezystora z przyrostu jego rezystancji

### Wprowadzenie

Jednym z istotnych elementów obwodów elektrycznych są oporniki, nazywane też w języku technicznym rezystorami. Ich podstawowym zadaniem jest ograniczenie prądu płynącego w tej gałęzi obwodu, w którą są podłączone. Mogą też być źródłem energii cieplnej (np. grzejniki oporowe), która wytwarza się w nich podczas przepływu prądu.

Podstawowym parametrem opornika jest opór elektryczny/rezystancja  $R$ . Jest on wielkością definiowaną jako stosunek przyłożonego do końców opornika napięcia  $U$  i natężenia prądu  $I$  płynącego przez ten opornik:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1)$$

Gdy tak obliczona wartość  $R$  jest stała, tzn. nie zależy od wartości  $U$  czy  $I$ , mamy do czynienia z materiałem przewodzącym spełniającym prawo Ohma, czyli przewodnikiem liniowym. Taki materiał jest często uformowany w obiekt o dobrze określonych parametrach geometrycznych jak długość  $l$  i pole przekroju poprzecznego  $S$ . Gdy obiekt ma jednorodny skład chemiczny, stałą gęstość oraz jednakowe pole przekroju na całej długości, możliwe jest podanie prostego wzoru wyrażającego jego opór:

$$R = \rho \frac{l}{S}. \quad (2)$$

Parametr  $\rho$  jest wielkością fizyczną charakterystyczną dla danego materiału i nazywany jest oporem właściwym/rezystywnością. Jego wartość podajemy w jednostkach  $\Omega \cdot \text{m}$  lub używając bardziej praktycznej w przypadku metali wielkości  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$  pozwalającej na wygodne obliczanie oporu typowych przewodów elektrycznych. Jak pokazuje tabela 1 wśród czystych metali najmniejszy opór właściwy ma srebro, a największy ołów. Znacznie większą oporność mają stopy konstantan i kanthal, z których ostatni używany jest do produkcji drutów oporowych.

Tabela 1. Parametry elektryczne różnych materiałów uszeregowanych w kolejności rosnącego oporu właściwego na podstawie danych z [1].

Materiał	Opór właściwy $\rho$ [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ]	Temperaturowy współczynnik oporu $\alpha$ [ $1/^\circ\text{C}$ ]
Srebro	0,0159	0,0038
Miedź	0,0168	0,0039
Glin	0,0265	0,0039
Wolfram	0,0560	0,0045
Żelazo	0,0971	0,0065
Ołów	0,220	0,0039
Konstantan	0,490	0,00003
Kantal A1	1,45	0,00006

Opór właściwy  $\rho$  metali rośnie nieco wraz temperaturą. Wynika to z faktu, że ruch nośników prądu w metalach, czyli swobodnych elektronów, jest zaburzany coraz silniej przez drgania termiczne jonów sieci krystalicznej. Opór przewodnika metalowego w temperaturze pokojowej oraz nieco wyższej zmienia się liniowo z temperaturą i może być zapisany następująco:

$$R(t) = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)], \quad (3)$$

gdzie poszczególne symbole oznaczają:  $R_0$  – opór przewodnika w temperaturze  $t_0$  (zwykle  $t_0 = 20$  °C),  $t$  – temperatura przewodnika w stopniach Celsjusza,  $\alpha$  – temperaturowy współczynnik oporu. Jak pokazuje to Tabela 1, współczynnik  $\alpha$  dla czystych metali przyjmuje wartość ok.  $4 \div 6 \cdot 10^{-3}$  °C<sup>-1</sup>, ale dla niektórych szczególnych stopów może być on znacznie mniejszy, np. skrajnie mały jest dla konstantanu  $\alpha = 3 \cdot 10^{-5}$  °C<sup>-1</sup>.

## Metoda pomiaru

Wzór 3 wiąże w sposób jednoznaczny wartość oporu z jego temperaturą. Można go wykorzystać do pomiaru temperatury  $t$  opornika, gdyby z pomiarów były znane jego wartości  $R$  i  $R_0$ . Najczęściej dokonuje się jednak pomiaru oporu  $R_1$  tego opornika w temperaturze pokojowej  $t_1$  jaka występuje w laboratorium. Następnie wykonuje się pomiar oporu  $R_2$  tego opornika rozgrzanego do nieznanej temperatury  $t_2$ . Stosując wzór 3 do tych dwóch pomiarów uzyskujemy układ równań:

$$\begin{cases} R_1 = R_0 [1 + \alpha(t_1 - t_0)] \\ R_2 = R_0 [1 + \alpha(t_2 - t_0)] \end{cases}, \quad (4)$$

w którym występują dwie niewiadome  $R_0$  i  $t_2$ . Dzieląc stronami otrzymujemy równanie z jedną tylko niewiadomą  $t_2$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha(t_1 - t_0)}{1 + \alpha(t_2 - t_0)}. \quad (5)$$

Rozwiązując równanie 5 uzyskujemy wynik

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + \frac{R_2}{R_1} (t_1 - t_0) + t_0. \quad (6)$$

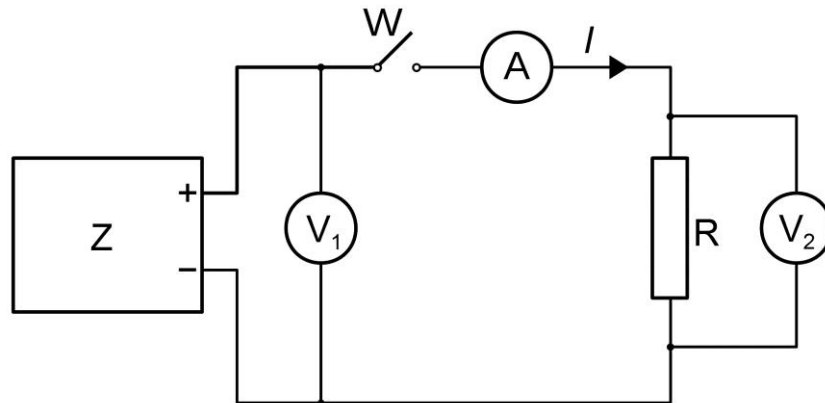
Wzór 6 da się zapisać w wygodniejszej do obliczeń postaci:

$$t_2 = \frac{R_2}{R_1} \left( \frac{1}{\alpha} + t_1 - t_0 \right) - \frac{1}{\alpha} + t_0. \quad (7)$$

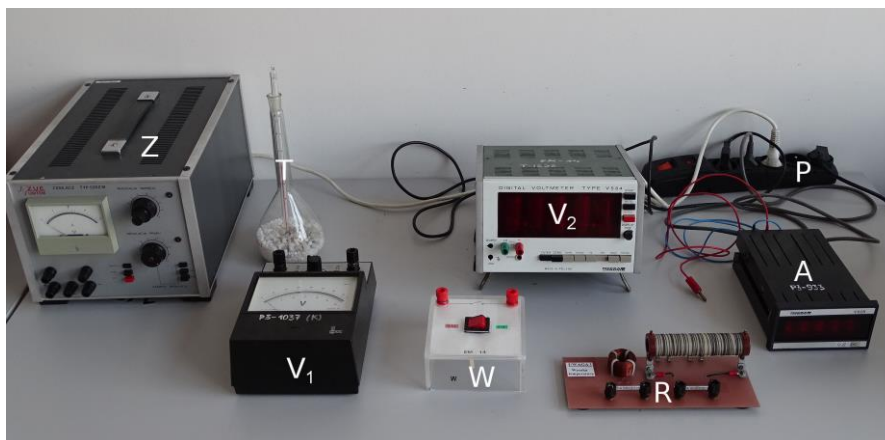
Żeby obliczyć temperaturę  $t_2$  rozgrzanego opornika, wykonanego z materiału o znanym temperaturowym współczynniku oporu  $\alpha$ , należy zmierzyć termometrem temperaturę początkową  $t_1$  opornika albo przyjąć, że jest to temperatura jego otoczenia. Następnie trzeba zmierzyć jego opór  $R_1$  i  $R_2$ . Korzystając z układu pomiarowego pokazanego na rys. 1, wartości tych oporów możemy obliczyć ze wzoru 1:  $R_1 = U_1/I_1$  i  $R_2 = U_2/I_2$ , gdzie  $U_1$  i  $I_1$  oraz  $U_2$  i  $I_2$  to zmierzone napięcie na tym oporniku i natężenie płynącego w nim prądu, odpowiednio dla opornika zimnego (w temperaturze pokojowej) oraz rozgrzanego. Podstawiając te wyrażenia do wzoru 7 na temperaturę końcową rozgrzanego opornika, możemy przekształcić go do postaci, gdzie występują tylko pomiary bezpośrednie:

$$t_2 = \frac{U_2 I_1}{U_1 I_2} \left( \frac{1}{\alpha} + t_1 - t_0 \right) - \frac{1}{\alpha} + t_0. \quad (8)$$

## Wykonanie ćwiczenia



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do badania temperatury rezystora R.



Rys. 2. Zestaw przyrządów potrzebnych do pomiaru temperatury rezystora: Z – zasilacz prądu stałego, W – wyłącznik, V<sub>1</sub> i V<sub>2</sub> – woltomierze, A – amperomierz, R – rezystor badany, T – termometr, P – przedłużacz.

1. Połączyć układ pomiarowy wg. schematu z rys. 1 korzystając z przyrządów pokazanych na rys. 2. Zgodnie z poleceniem prowadzącego podłączyć badany rezystor w postaci cewki z drutu wolframowego nawiniętego na ceramicznym rdzeniu albo z drutu miedzianego bez rdzenia.
2. Włączyć przedłużacz. Włączyć zasilanie woltomierza cyfrowego V<sub>2</sub> przyciskiem MAINS, ustawić jego zakres pomiarowy na 10 V (przyciski FILTER, AUTO – wciśnięte, ZERO – wyciśnięte, regulator DISPLAY TIME ustawiony w lewe skrajne położenie).
3. Odczytać wartość temperatury powietrza ze wskazań termometru. Przyjąć tę wartość jako t<sub>1</sub>.
4. Przy otwartym wyłączniku W włączyć zasilanie zasilacza, a następnie ustawić zadaną przez prowadzącego wartość napięcia wyjściowego U<sub>z</sub> na zasilaczu. Dla cewki miedzianej powinna ona leżeć w przedziale 4,5 V ÷ 5,6 V, a dla cewki z drutu wolframowego 5,0 V ÷ 6,0 V. Wartość napięcia U<sub>z</sub> odczytujemy z woltomierza V<sub>1</sub>.
5. Załączyć wyłącznik W i niezwłocznie odczytać oraz zanotować wskazania amperomierza oraz woltomierza cyfrowego V<sub>2</sub>.
6. Kontynuować przepływ prądu dla ustalonego napięcia U<sub>z</sub> przez maksymalnie około 20:-30 minut. Najlepiej w równych odstępach czasu t, np. co 3 minuty, notować w tabeli 2 wskazania amperomierza A i woltomierza V<sub>2</sub> jako, odpowiednio, I<sub>2</sub> i U<sub>2</sub>.

Tabela 2.

Parametry pomiaru		Zimna				
Materiał cewki	$U_z$ [V]	$t$ [min]	$U_1$ [V]	$I_1$ [A]	$R_1$ [ $\Omega$ ]	$t_1$ [ $^{\circ}$ C]
		0				
		Rozgrzana				
		$t$ [min]	$U_2$ [V]	$I_2$ [A]	$R_2$ [ $\Omega$ ]	$t_2$ [ $^{\circ}$ C]

### Opracowanie wyników

1. Na podstawie otrzymanych wyników, korzystając z definicji 1 oporu elektrycznego, obliczyć opór/rezystancję  $R_1$  cewki w temperaturze pokojowej oraz jego wartość  $R_2$  podczas rozgrzewania w kolejnych momentach pomiaru.
2. Wykorzystując zależność 7 lub 8, obliczyć temperaturę  $t_2$  rozgrzanej cewki.
3. Niepewność pomiaru  $\Delta t_2$  określić najlepiej metodą różniczkową zastosowaną do wzoru 8 różniczkując go po wszystkich wielkościach mierzonych:  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  oraz  $t_1$ .
4. Wykonać wykres temperatury cewki od czasu zaznaczając przy punktach doświadczalnych odcinek niepewności pomiaru temperatury o długości  $2\Delta t_2$ .

### Zagadnienia do kolokwium:

1. Zależność oporu elektrycznego od kształtu przewodnika i rodzaju materiału.
2. Co to jest opór właściwy i jaką wartość (rzęd wielkości i jednostka) przyjmuje dla metali.
3. Wpływ temperatury na opór elektryczny – scharakteryzować zjawisko i podać wzór.
4. Sposób pomiaru temperatury z wyprowadzeniem wzoru końcowego do obliczeń  $t_2$ .

### Literatura:

1. S. J. Ling, J. Sanny, W. Moebs, *Fizyka dla szkół wyższych*, tom 2, rozdz.9 (OpenStax Poland, 2018). Darmowy dostęp: <https://openstax.org/details/books/fizyka-dla-szkół-wyższych-tom-2>.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, tom 3, rozdz. 27 (Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2003).
3. W. Pietrzyk (red), *Laboratorium z elektrotechniki* (Wydawnictwa Uczelniane PL, 2003) str. 41-42.

Opiekun ćwiczenia: dr hab. Wiesław Polak