

Zad. E 06B	I PRACOWNIA FIZYCZNA Instytut Fizyki US
Temat:	Badanie zależności oporu przewodnika od jego długości, pola powierzchni przekroju poprzecznego, rodzaju metalu

Cel: Nabranie umiejętności montażu prostego obwodu elektrycznego prądu stałego ze źródłem napięcia, miernikami uniwersalnymi, pomiaru wielkości elektrycznych.

Zbadanie zależności oporu elektrycznego przewodnika (druetu oporowego)

A. od jego długości dla pomiarów*

(i) $R = R(U/I)$; (ii) $R = R(l)$ – omomierzem; (iii) $R = R(U)$, $I = \text{const}$;

B. od pola powierzchni przekroju poprzecznego*

(i) $R = R(U/I)$; (ii) $R = R(S)$ – omomierzem; (iii) $R = R(l)$, $U = \text{const}$;

Uwaga: Zmiana pola powierzchni przewodników dla danej długości dokonujemy (symbolicznie ozn. „jednoski” pola przekroju poprzecznego przez S od 1 kS do 5 kS, gdzie kS – ozn. jednostki powierzchni pola przekroju poprzecznego przewodnika.

*Uwaga: zakres realizacji p. A i B dla podpunktów (i) – (iii) zostanie określony przez prowadzącego zajęcia, w szczególności dla podpunktu (iii).

C. Zbadanie oporu przewodnika od rodzaju metalu, pomiar omomierzem.

Przyrządy: Deska z 8 odcinkami drutu oporowego o długości każdego ok. 0,5 m. Źródło napięcia prądu elektrycznego stałego, 2 uniwersalne cyfrowe mierniki elektryczne UT 90A, miernik UT71A dla pomiaru oporu przewodników 3 różnych metali, przewody do połączeń, miarka zwijana do pomiaru długości.

1. ZAGADNIENIA

1. Znajomość zagadnień BHP w zakresie bezpiecznej pracy na stanowisku laboratoryjnym w pracy z prądem elektrycznym. Prąd rażeniowy. Skutki cieplne przepływu prądu elektrycznego.
2. Łączenie mierników i odbiorników prądu elektrycznego, połączenia szeregowo i równoległe.
3. Prąd elektryczny i opór elektryczny. Prawo Ohma.
4. Wielkości elektryczne i ich jednostki. Orientacja w wartościach tablicowych wielkości elektrycznych charakteryzujących metale wykorzystane podczas doświadczenia: chromonikielina, konstantan, miedź, żelazo oraz wartości związanych z porażeniem elektrycznym dla ciała człowieka.

2. OPIS ZAGADNIENIA

A. Wprowadzenie

Opór przewodnika (rezystancja), to wielkość charakteryzująca przewodnik, jest definiowana z prawa Ohma jako:

$$R = \frac{U}{I}, \quad [R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{V}{A} = \Omega, \quad (1)$$

gdzie Ω jest symbolem jednostki oporu elektrycznego (piszemy i czytamy fonetycznie – om).

Opór elektryczny przewodnika, w danej temperaturze zależy od jego długości, pola powierzchni przekroju poprzecznego S i od rodzaju materiału:

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

gdzie ρ – opór właściwy (rezystywność), to stała materiałowa charakteryzująca materiały ze względu na ich zdolność przewodzenia prądu elektrycznego.

$$\rho = R \frac{S}{l}, \quad [\rho] = \Omega \cdot \text{m} \text{ (omometr)}. \quad (3)$$

Opory właściwe metali mogą się dość znacznie różnić, np. dla miedzi – $\rho_{\text{Cu}} = 1,71 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; dla żelaza – $\rho_{\text{Fe}} = 9,71 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; dla konstantanu (stop miedzi i niklu) – $\rho_{\text{CuNi45}} = 52,1 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$; dla chromonikieliny – $\rho_{\text{NiCr15}} = 111,1 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

Odwrotność R jest def. jako konduktancja (przewodność elektryczna) i ozn. literą G , natomiast odwrotność ρ jest def. jako konduktywność (przewodność elektryczna właściwa materiału przewodnika) i oznaczana literą γ lub σ . Jednostką przewodności elektrycznej jest siemens, ozn. S: $1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$, jednostką konduktywności jest siemens na metr.

Zależność oporu przewodnika od temperatury, dla większości metali jest w przybliżeniu liniowa i dla dość szerokiego przedziału temperatur prawdziwy jest wzór:

$$R(T) = R_0 [1 + \alpha_R (T - T_0)], \quad (4)$$

gdzie R_0 oznacza opór przewodnika w temperaturze T_0 , α_R – temperaturowy współczynnik oporu (np. dla miedzi – $\alpha_{R, \text{Cu}} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, dla żelaza – $\alpha_{R, \text{Fe}} = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$; dla konstantanu $\alpha_{R, \text{CuNi45}} = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, dla chromonikieliny – $\alpha_{R, \text{NiCr15}} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$).

3. PRZEBIEG WYKONANIA ĆWICZENIA

A. Metoda pomiarów.

W układzie pomiarowym – rys. 1, dla połączeń przewodów na desce z drutami oporowymi – zdj. 1, odpowiadającym postawionym zadaniom, dokonujemy pomiaru wielkości elektrycznych – natężenia płynącego prądu w obwodzie dla różnych wartości napięcia, które ustalamy na zasilaczu laboratoryjnym. Maksymalne natężenie prądu elektrycznego $I_{\text{Max}} = 150 \text{ mA}$. Ponieważ opór wewnętrzny woltomierza jest dużo większy od wartości oporu wewnętrznego amperomierza oraz badanego przewodnika – drutu oporowego, ozn. pogrubioną niebieską linią, więc mierzona wartość napięcia na woltomierzu jest prawie dokładnie równa spadkowi napięcia na badanym przewodniku, natomiast amperomierz wskazuje wartość natężenia prądu płynącego w badanym przewodniku.

Dla badanego układu doświadczalnego, do ośmiu długości pojedynczego odcinka drutu oporowego (zdj. 1) – dla badania zależności oporu od jego długości i do pięciu długości odcinka drutu oporowego, należy zaplanować pomiary – obliczyć V_{Max} i I_{Max} .

Uwaga: Zwiększanie długości przewodnika o kolejne odcinki drutu oporowego odpowiada łączeniu szeregowemu przewodników. Zwiększanie pola powierzchni przewodników, dla podstawowej długości, dokonujemy łącząc je równoległe – odpowiada to sytuacji przykładania przewodników jeden obok drugiego. Połączenie równoległe przewodników – z jednego do pięciu, z powoduje pięciokrotne zwiększenie natężenia prądu przy danym napięciu, dlatego należy zwrócić baczną uwagę aby nie przegrzać przewodnika.

Zbadanie zależności oporu elektrycznego przewodnika od l i S w przypadku

- (i) $R = R(U/I)$ – jest szczególnie proste, gdyż nie wymaga żadnych ustawień;
- (ii) pomiar omomierzem jest pomiarem bezpośrednim polegającym na odczycie wartości oporu na mierniku, celem nabrania umiejętności i porównania wartości wyznaczanych z p. (i) i (iii);
- (iii) $R = R(U)$, $I = \text{const}$ czy $R = R(I)$, $U = \text{const}$ – wymaga ustawienia tej samej wartości natężenia prądu w obwodzie czy napięcia na końcach badanego układu przewodników, co może stanowić pewną trudność.

Uwaga: Zmiana pola powierzchni przewodników dla danej długości dokonujemy (symbolicznie ozn. „jednostki” pola przekroju poprzecznego przez S od 1 kS do 5 kS , gdzie kS – symboliczne oznaczenie jednostki powierzchni pola przekroju poprzecznego przewodnika.

Uwaga: Policzyc i sprawdzic wartosci maksymalne dla prądu. W przypadku połączenia równoległego przewodników zwrócić uwagę, że natężenia prądu rośnie proporcjonalnie do liczby połączonych odcinków drutu oporowego. Nie może przekroczyć wartości I_{Max} .

5. Zmieniać kolejno połączenia drutów oporowych (rosnąco lub malejąco). Dla połączeń równoległych stosować krótkie czarne przewody.
6. Wyłączyć zasilacz i miernik uniwersalny. Zdemontować układ pomiarowy, zostawić elementy na swoich miejscach.

UWAGA: Ponieważ przy przepływie prądu – przewodnik się nagrzewa, nie należy przedłużać pomiarów na włączonym zasilaczu.

7. Dokonać pomiaru oporu łączonych przewodników – odcinków drutów oporowych (od 1 do 8 dla połączeń szeregowych i od 1 do 5 dla połączeń równoległych) miernikiem uniwersalnym UT 90A ustawionym na omomierz.
8. Zmierzyć długość badanych przewodników z zaplanowaną dokładnością. Przewodnik jest z chromonikieliny o średnicy 0,25 mm (wartości należy zweryfikować przy stanowisku).
9. Dokonać pomiaru oporu przewodników – 3 różne metale, zamontowanych na oddzielnej desce. Zmierzyć długość przewodników z zaplanowaną dokładnością (długości powinny być podobne ok. 2 m). Przewodniki są z miedzi, stali i konstantanu, ew. kanthalu; ich średnice w mm: 0,20; 0,40; 0,60; 0,50; opory właściwe w $n\Omega \cdot m$: 17,1; 149; 521; 470 (wartości należy zweryfikować przy stanowisku).

Uwaga: W tym przypadku pomiaru oporu dokonujemy miernikiem o większej dokładności: multimetr cyfrowy UNI-T UT71A (patrz Instrukcja).

10. Zmierzyć oporność własną – ciała ludzkiego, między kciukiem lewej i prawej dłoni.

4. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

A. Przedstawienie zależności i wyznaczenie wartości pomiarowych.

1. Przedstawić na wykresach zależności $R=f(l)$ i $R=f(1/S)$ – na papierze milimetrowym z zaznaczeniem odcinków niepewności o ile będzie to możliwe. Z wykresu wyznaczyć wartość współczynnika kierunkowego prostej.
2. Stosując metodę regresji liniowej – komputerowo, wyznaczyć współczynniki nachylenia prostej.
3. Z wartości pomiarowych w tabeli wyznaczyć wartość R .
4. Porównać odpowiadające sobie wartości wyznaczone w p. 1, 2 i 3.
5. Z pomiaru oporu przewodników dla różnych metali, ich długości, znajomości średnicy obliczyć opór właściwy. Porównać wartości z podanymi tablicowymi – korzystając z kryterium zgodności.
6. Dla wyznaczonej wartości oporności ciała obliczyć maksymalne bezpieczne natężenie prądu, jakie może przepłynąć przez ciało.

B. Niepewności pomiaru

1. Przedstaw niepewność pomiaru pojedynczego pomiaru na podstawie danych.
2. Oszacuj zgodność badanych zależności z oczekiwaną (liniową).
3. Oszacuj niepewność pomiaru wartości R na podstawie wykresu.
4. Oblicz (oszacuj) niepewność pomiaru oporu właściwego przewodników dla czterech różnych metali badanych przewodników.

Dane z instrukcji dla miernika uniwersalnego UT 90 A

Napięcie DC: 200 mV / 2 V / 20 V / 200 V; $\pm(0,5\%+2)$ / 1000 V; $\pm(0,8\%+3)$

(należy powiększyć o 2 jednostki na ostatnim miejscu cyfry znaczącej)

Przykład. Jeśli wskazanie na zakresie 20 V wynosi 8,5 to dla 0,5 % mamy 0,0425; Dla 2 cyfr na ost. miejscu znaczącym daje 0,2. Zatem niepewność graniczna pojedynczego pomiaru wynosi: 0,3 (z zaokrąglenia liczby 0,2425).

Natężenie prądu stałego DC: 200 μ A / 2 mA / 20 mA / 200 mA; $\pm(1\%+5)$ / 10 A; $\pm(2\%+5)$

(należy powiększyć o 5 jednostek na ostatnim miejscu cyfry znaczącej).

Przykład. Jeśli wskazanie na zakresie 200 mA wynosi 107,7 to dla 1 % mamy 1,077. Dla 5 cyfr na ost. miejscu znaczącym daje 0,5. Zatem niepewność graniczna pojedynczego pomiaru wynosi: 1,6 (z zaokrąglenia liczby 1,577).

Dane z instrukcji dla miernika uniwersalnego UT71A

Rezystancja – zakresy: 200 Ω / 2 k Ω / 20 k Ω / 200 k Ω / 2 M Ω / 20 M Ω , dokładność $\pm(1\% + 20)$

C. Zestawienie wyników i niepewności pomiarowych.

5. Dokonać dyskusji wyników, porównać otrzymane zależności i wartości, zapisać wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.

Porównać zgodność wartości oporów dla połączeń szeregowych i równoległych przewodników z wartościami na podstawie znanych wzorów dla oporu zastępczego.

LITERATURA

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: *Podstawy fizyki*. Warszawa, PWN, 2007 lub inne wydanie.
2. T. Molenda, J. Stelmach: *Fizyka – prościej, jaśniej*. Szczecin, Interbook, 2003 (lub inne wydanie).
3. H. Szydłowski: *Pracownia fizyczna*. Wyd. IX, PWN, Warszawa 1999 (lub inne wydanie).
4. Instrukcja obsługi dla „Miernik uniwersalny UT 90A”: www.dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf_216.pdf
5. Instrukcja obsługi dla „Regulowany zasilacz prądu stałego M10-SP serii SPM18-3E”
www.dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf_217.pdf
lub SP – 305E: http://www.dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf_219.pdf
6. Instrukcja obsługi dla „Multimetr cyfrowy UNI-T UT71A” <http://www.barcom.pl/instrukcje/ut71a.pdf>