

Wydział Fizyki UW

Pracownia fizyczna i elektroniczna (w tym komputerowa)

dla Inżynierii Nanostruktur (1100-1INZ27)
oraz Energetyki i Chemii Jądrowej (1100-1ENPRFIZELEK2)

Ćwiczenie A1

Zależności prąd-napięcie (I-V).

Streszczenie

W ramach tego ćwiczenia badane są podstawowe prawa dotyczące elektryczności oraz zapoznajemy się z oprogramowaniem do sporządzania wykresów naukowych. W czasie zajęć wykonana będzie seria pomiarów prądu, I , płynącego przez przewodnik elektryczny w funkcji napięcia, U , panującego między końcami tego przewodnika, a następnie sprawdzona zostanie słuszność prawa Ohma dla przewodnika (opornika elektrycznego) oraz odstępstwa od tego prawa dla świecącej żarówki. Wyniki pomiarów $I(U)$, będą przedstawiane na wykresach. Następnie do punktów pomiarowych na wykresach zostaną dopasowane funkcje najlepiej opisujące wyniki pomiaru. Na ich podstawie zostanie wyznaczona wartość oporu elektrycznego mierzonego opornika oraz wykładnik funkcji potęgowej $I = U^p$ dla żarówki.

Wstęp

Zgodnie z prawem Ohma różnica potencjałów, czyli napięcie elektryczne U , między dwoma końcami przewodnika jest proporcjonalne do natężenia, I , prądu płynącego przez przewodnik, czyli

$$U = R \cdot I, \quad (1)$$

gdzie współczynnik proporcjonalności R zwany jest oporem przewodnika. Jednostką oporu w układzie SI jest 1 Om (1 Ω). Opór jednorodnego przewodnika w kształcie drutu o jednakowym przekroju wzdłuż całej jego długości L jest proporcjonalny do długości L drutu i odwrotnie proporcjonalny do jego pola przekroju poprzecznego:

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

Wielkość ρ nazywamy oporem właściwym i wyrażamy w jednostkach Ωm (lub Ωcm). Zależy ona od rodzaju materiału, z jakiego wykonany jest opornik. Wielkość ta na ogół zależy od temperatury, może też zależeć od oświetlenia i innych parametrów. W przypadku półprzewodników opór maleje z temperaturą, a w przypadku metali rośnie. W wielu przypadkach możemy założyć, że wzrost oporu $\Delta R = R - R_0$ proporcjonalny jest do wzrostu temperatury $\Delta T = T - T_0$:

$$\Delta R = \alpha \Delta T R_0, \quad (3)$$

gdzie α to temperaturowy współczynnik oporu, T_0 - temperatura odniesienia, $R_0 = R(T_0)$.

Wrażliwość oporu na temperaturę nieco komplikuje przewidywania zależności pomiędzy prądem, a napięciem, bo przepływ prądu powoduje wydzielanie się mocy $P = I \cdot U$, a więc grzanie elementu

przewodzącego prąd. Na ogół pomijamy ten efekt. Nie sposób jednak nim zapomnieć w przypadku żarówki, która rozgrzewa się przecież do białości. Jednak w przypadku ciał, które tracą ciepło głównie przez promieniowanie wiemy z prawa Stefana-Boltzmana, że $P = \sigma ST^4$ (σ - stała Stefana-Boltzmana, S - powierzchnia włókna). Zakładając, że temperatura zależy tylko od równowagi mocy dostarczanej przez prąd i wypromieniowanej oraz upraszczając równanie (3) do postaci linowej $R = aT = U/I$, otrzymamy zależność $I \cdot U = \sigma S(U/aI)^4$, a z tego:

$$I = c U^{3/5}, \quad (4)$$

gdzie c jest współczynnikiem proporcjonalności. Skorzystaliśmy tu z pewnych przybliżeń. Na zajęciach sprawdzimy czy zależność otrzymana w doświadczeniu rzeczywiście da się opisać funkcją potęgową.

Układ pomiarowy

Do dyspozycji mamy:

- mierniki uniwersalne;
- regulowany zasilacz napięcia stałego;
- płytkę drukowaną z gniazdami służącą do połączenia obwodu;
- przewody łączeniowe z wtyczkami i zworki do płytki;
- oporniki o oporach około 1 k Ω ,
- żarówka na napięcie 14 V, natężenie prądu 40 mA,

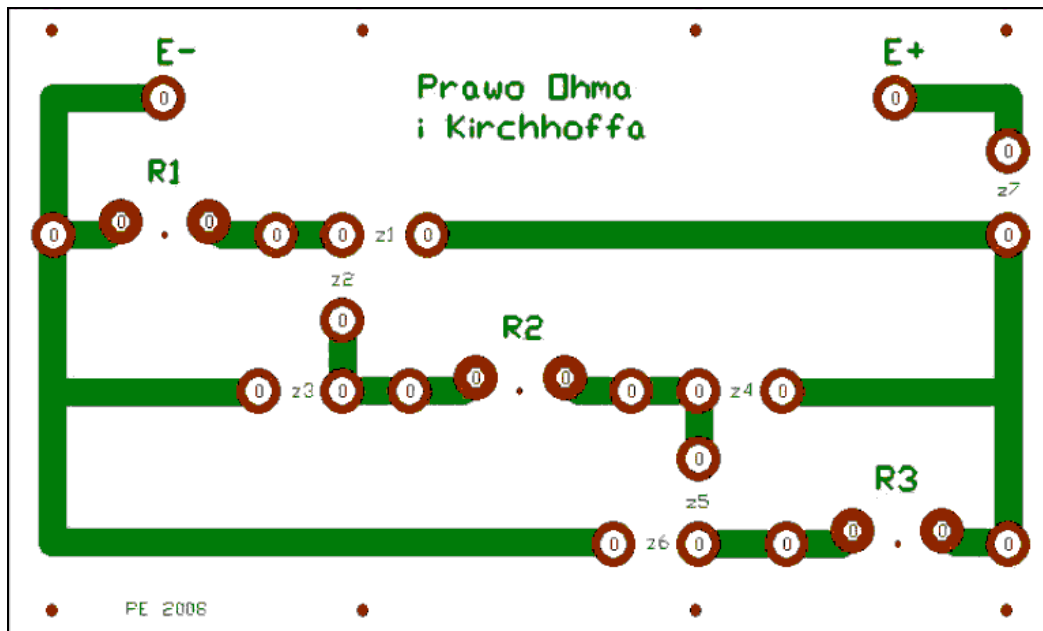


Rys. 1. Przenośny miernik służy m.in. do pomiaru napięcia stałego lub zmiennego, natężenia prądu stałego lub zmiennego oraz oporu elektrycznego. Cztery gniazdką u dołu służą do podłączania miernika do obwodu pomiarowego. Do pomiaru napięcia i oporu wykorzystuje się gniazdką COM (wspólne) i ΩV , do pomiaru natężenia prądu rzędu miliamperów - gniazdką COM i mA, a dla dużych prądów - gniazdką COM oraz A.

Uwaga! Przy pomiarach natężeń należy zachować dużą ostrożność. Amperomierz łatwo ulega uszkodzeniu.

Wykonanie ćwiczenia

1. Korzystając z omomierza zmierz opory otrzymanych oporników.
2. Korzystając z woltomierza napięcia stałego zmierz napięcie uzyskiwane z regulowanego zasilacza stałego napięcia i zobacz, w jakim zakresie może być zmieniane napięcie wyjściowe z zasilacza.



Rys. 2. Widok płytki drukowanej do badania prawa Ohma. Punkty E- oraz E+ to miejsce przyłączenia zasilania. Przerwa w obwodzie, zaznaczona jako R2, to miejsca, gdzie można wpiąć opornik, przerwy z3 do z4 należy zamknąć zworkami, zaś przerwa z7 służy do wpinania amperomierza.

3. Przy użyciu kabli z końcówkami „bananowymi”, otrzymanej płytki montażowej (rys. 2) oraz zwerek, podłącz opornik do wyjścia zasilacza.
4. Podłącz do obwodu szeregowo amperomierz i równolegle do opornika woltomierz. Następnie zmierz napięcie i natężenie prądu płynącego przez opornik. Przed podłączeniem mierników ustaw odpowiednio przełączniki obrotowe i wybierz odpowiednie gniazdka podłączeniowe w miernikach. Pamiętaj, że omyłkowe podłączenie amperomierza równolegle do źródła napięcia powoduje uszkodzenie amperomierza. Zawsze odłączaj miernik od obwodu przed planowaną zmianą ustawienia miernika woltomierz – amperomierz !
5. Zanutuj schemat układu pomiarowego. Na następne zajęcia trzeba będzie przygotować na komputerze rysunek przedstawiający ten schemat.
6. Każdy student powinien wybrać jeden opornik i przeprowadzić pomiary z punktu 4 dla kilkunastu różnych napięć zasilania (zakres 0 - 9 V).

7. Przedstaw w programie Scidavis wyniki pomiaru na wykresie $I = f(U)$ gdzie: U – napięcie mierzone na oporniku, I – prąd płynący przez opornik.

Czy punkty pomiarowe układają się wzdłuż linii prostej?

Wyznacz równanie prostej, $y = a \cdot x + b$, dopasowanej do punktów pomiarowych korzystając z funkcji z menu 'Analysis'; 'Quick Fit'; 'Fit Linear'; programu Scidavis mając aktywne okno z wykresem punktów z pomiaru. Ze współczynników równania tej prostej odczytaj wartość oporu opornika. Porównaj tę wartość ze zmierzoną omomierzem. Program Scidavis posiada możliwość dopasowania wybranej zależności funkcyjnej tak, aby była „najlepiej” zgodna z przebiegiem punktów z pomiaru. Wykorzystuje do tego metodę najmniejszych kwadratów, czyli dla funkcji wybranego przez nas typu (np. funkcja liniowa, wielomian stopnia n , ...) program dobierze takie wartości współczynników tej funkcji, aby jej wykres był „najmniej odległy” od wszystkich punktów pomiarowych. Dokładniej suma kwadratów odległości musi być jak najmniejsza. Metodę najmniejszych kwadratów poznasz szczegółowo na wykładzie ze Wstępu do analizy danych.

8. Podobne pomiary zależności $I(U)$ przeprowadź dla żarówki. Zaczynj zasilac żarówkę od napięć około 0,1 V, zwiększaj napięcie zasilające kolejno o ok. 0,1 V do wartości ok. 2 V, a następnie o ok. 0,5 – 1 V do napięcia ok. 10 V.

Ważna uwaga: Nie przekrocz napięcia maksymalnego dozwolonego dla żarówki podanego przez osobę prowadzącą ćwiczenie, aby nie spalić żarówki (14 V w naszym przypadku, dla ok. 10 V żarówka już mocno świeci).

9. Przedstaw na wykresie punkty pomiarowe $I(U)$, dla żarówki. Czy układają się one na linii prostej?

10. Aby przyjrzeć się dokładniej zależności $I(U)$, zmierzonej dla żarówki wykonamy wykres logarytmu natężenia prądu w funkcji logarytmu napięcia.

W tym celu w programie Scidavis w tabeli wartości U oraz I z pomiarów dla żarówki utwórz dwie nowe kolumny dla przeliczenia danych liczbowych – użyj komendy 'Add Columns' albo 'Insert Empty Columns' z menu kontekstowego kolumny danych. Wpisz do nowych kolumn wartości logarytmów napięć i logarytmów prądów zmierzonych dla żarówki. Należy skorzystać z zakładki 'Formuła' tabeli danych oraz utworzyć z dostępnych tam funkcji wyrażenie $\log_{10}(\text{col}("1"))$, które wstawi do wybranej nowej kolumny wartości logarytmów dziesiętnych liczb z kolumny "1" (i podobnie aby wstawić logarytmy wartości z kolumny „2” należy wpisać $\log_{10}(\text{col}("2"))$). Wcześniej wybierz i usuń puste końcowe wiersze tabeli (komenda Remove Rows z menu kontekstowego dla numeracji wierszy tabeli), aby wykorzystując funkcję \log_{10} , która oblicza wartości dla wszystkich komórek z kolumny, nie liczyć wartości logarytmu dla pustych komórek tabeli (prowadzi to do błędu, gdyż zapewne program przyjmuje, że w komórkach pustych są zera).

Dla większej czytelności tabeli możesz zmienić nazwy kolumn tabeli w zakładce Description. Sporządź z tych danych nowy wykres $\log(I)$ w funkcji $\log(U)$. W tym celu trzeba nową kolumnę $\log(U)$ zdefiniować komendą Set Columns As (z menu kontekstowego nagłówka kolumny) jako kolumnę zmiennej X oraz podobnie kolumnę $\log(I)$ jako zmienną Y .

Program Scidavis zakłada, że gdy mamy dwie kolumny zdefiniowane jako zmienne niezależne X (pojawi się wtedy $X1$ oraz $X2$ w nagłówkach kolumn), to kolumny Y znajdujące się na prawo od kolumny $X2$ będą wykreslane na wykresie w funkcji zmiennej $X2$, a kolumny Y między kolumnami $X1$ i $X2$ będą wykreslane w funkcji zmiennej $X1$. Następnie należy wybrać kolumnę $\log I$ i wykonać komendę Plot.

Czy teraz punkty leżą w przybliżeniu na prostej?

11. Jeżeli zlogarytmujemy stronami równanie (4) i podstawimy $y = \log(I/I_1)$ oraz $x = \log(U/U_1)$, to otrzymamy zależność liniową:

$$y = \frac{3}{5}x + b, \quad (5)$$

gdzie b jest stałą. W naszym przypadku $U_1 = 1 \text{ V}$, $I_1 = 1 \text{ mA}$. Należy tutaj zauważyć, że dowolna funkcja potęgowa, $f(r) = ar^p$, narysowana w skali log-log, będzie przedstawiała prostą, $y = px + b$, której współczynnik nachylenia będzie równy wykładnikowi p .

Zatem, aby sprawdzić przedstawioną teorię, dopasuj linię prostą do punktów $\log(I)$ w funkcji $\log(U)$, wykorzystując tą samą, co poprzednio procedurę. Otrzymany współczynnik nachylenia porównaj z teoretyczną wartością $3/5$.

Na następne zajęcia należy przynieść schemat układu pomiarowego i wykresy pomiarów z tego ćwiczenia z dopasowaniami funkcji, aby omówić je z prowadzącym przed wykonaniem sprawozdania z obwodów prądu stałego.

*Wersja z dnia 18 III 2018, K. Korona, B. Piętka
(na podst. materiałów z Prac. Fiz. i Elektronicznej, WF UW)*