



Ćwiczenie A2

Prawa Kirchhoffa

Streszczenie

W tym ćwiczeniu poznajemy zasady rządzące łączeniem elementów elektronicznych w obwody. przede wszystkim są to prawa Kirchhoffa. Znajomość prostych praw wykorzystamy do zapoznania się z niepewnościami pomiarowymi: napięć, natężeń prądów oraz oporów. Biorąc pod uwagę te niepewności sprawdzamy, czy uzyskane wyniki pomiarów prądów i napięć w prostych obwodach prądu stałego (szeregowe lub równoległe połączenie oporników) są zgodne z prawami Kirchhoffa. Poznajemy także zasady wyznaczania niepewności wielkości złożonej, będącej sumą lub różnicą dwu lub więcej zmierzonych wielkości. W drugim etapie ćwiczenia jest wyznaczamy opór wewnętrzny ogniwa elektrochemicznego – baterii R6 - korzystając z dopasowania prostej do wyników pomiaru napięć i prądów w obwodzie z baterią. Następnie poznajemy zasadę pomiaru 4-kontaktowego i wyznaczamy opór właściwy drutu.

Wstęp

I prawo Kirchhoffa dotyczy natężeń prądu i jest rezultatem zasady zachowania ładunku elektrycznego. Ma szczególne znaczenie w węzłach obwodu elektrycznego, tzn. w punktach, gdzie zbiega się kilka przewodów. Stwierdza ono, że suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów z niego wypływających. Dla sytuacji przedstawionej na rysunku 1 ma ono postać:

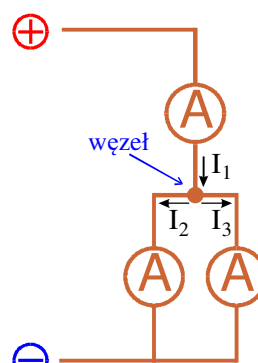
$$I_1 = I_2 + I_3$$

(1)

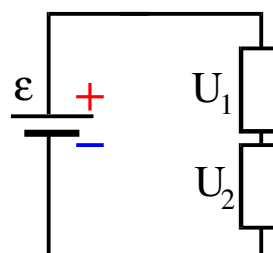
II prawo Kirchhoffa dotyczy napięć. Treść tego prawa brzmi następująco: w dowolnym obwodzie zamkniętym algebraiczna suma sił elektromotorycznych, ε_n , (tj. napięć generowanych np. przez znajdujące się w obwodzie baterie lub zasilacze) jest równa sumie spadków napięć na elementach obwodu, U_m . Co zapisujemy wzorem:

$$\sum_n \varepsilon_n = \sum_m U_m ,$$

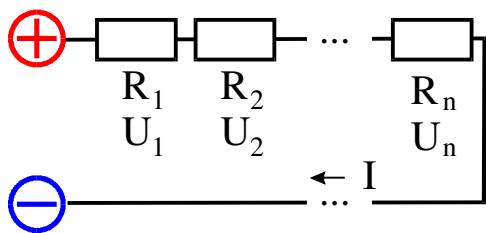
(2)



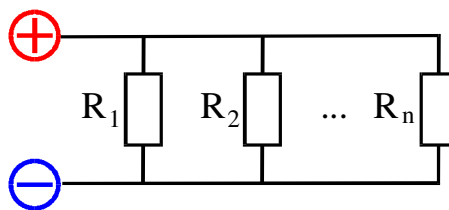
Rys. 1 Węzeł w obwodzie elektrycznym.



Rys. 2 Obwód z ogniwem.



Rys 3 Szeregowe połączenie oporników



Rys. 4. Oporniki połączone równolegle.

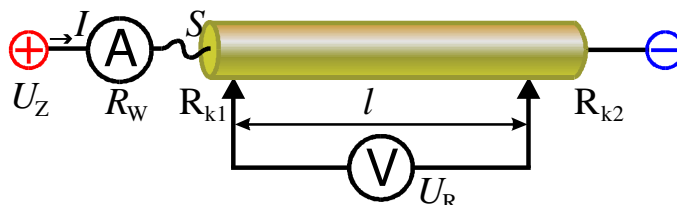
Z praw Kirchhoffa wynika, że sumaryczny spadek napięcia na opornikach połączonych szeregowo U_s , jest równy sumie napięć $U_1 + U_2 + \dots + U_n$ (rys. 3). Ponieważ przez wszystkie oporniki płynie ten sam prąd, I , możemy wszystkie napięcia podzielić przez ten prąd. Otrzymujemy wtedy równanie mówiące, że całkowity opór, R_s , przewodników połączonych szeregowo jest równy sumie oporów, R_n , tych przewodników:

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i \quad (3)$$

Analogicznie można pokazać, że efektywny opór, R_E , przewodników połączonych równolegle (rys. 4), spełnia zależność:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (4)$$

Z rozważań związanych z łączeniem oporników łatwo wysnuć wniosek, że im dłuższy przewodnik, tym większy ma opór. Z kolei poszerzając przewodnik zmniejszymy opór. Oczywiście, aby opór będzie zależał też od rodzaju użytego materiału.



Rys. 5 Wyznaczanie oporu właściwego przewodnika.

Aby opisać dany materiał posługujemy się jego oporem właściwym, ρ , - trochę podobnie jak ciężarem właściwym. Opór przewodnika o długości l i powierzchni przekroju S będzie wynosił:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (5)$$

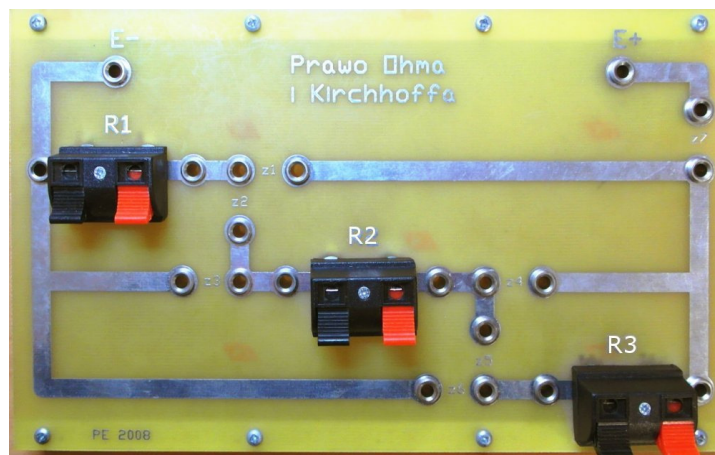
Aby wyznaczyć opór właściwy, należy zmierzyć natężenie prądu, I , napięcie na fragmencie przewodnika o długości l oraz znać pole powierzchni jego przekroju S i skorzystać ze wzoru:

$$\rho = \frac{U_R}{I} \frac{S}{l} \quad (6)$$

Układ pomiarowy

Do dyspozycji masz:

- dwa mierniki uniwersalne,
- zasilacz napięcia stałego,
- przewody z końcówkami,
- 3 zestawy pomiarowe.



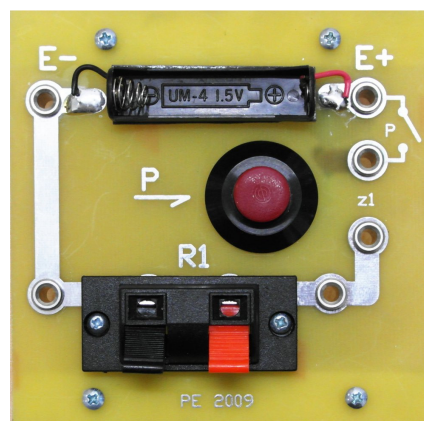
Rys. 6. Widok płytki drukowanej do badania praw Kirchhoffa. Przerwy w obwodzie, zaznaczone jako R1, R2 oraz R3, to miejsca, gdzie można wpiąć oporniki, zaś przerwy z1 do z7 służą do wpinania zworek pozwalających uzyskać połączenia szeregowe lub równoległe tych oporników lub do przyłączania mierników. Punkty E- oraz E+ to miejsca przyłączenia zasilania.

Zestaw pomiarowy 1:

- płytka drukowana do testowania praw Kirchhoffa (rys. 6),
- oporniki o oporach w zakresie od kilku do kilkudziesięciu k Ω .

Zestaw pomiarowy 2:

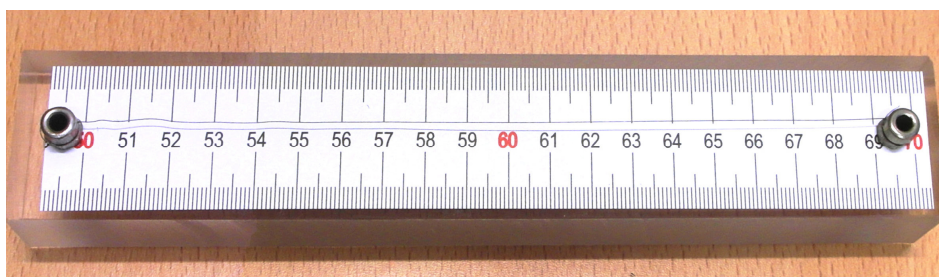
- płytka drukowana z baterią (rys. 7),
- oporniki o oporach w zakresie od kilkudziesięciu do 200 Ω .



Rys. 7. Układ pomiarowy do wyznaczenia oporu wewnętrznego baterii.

Zestaw pomiarowy 3:

- płytka z drutem konstantanowym i miarką (rys. 8),



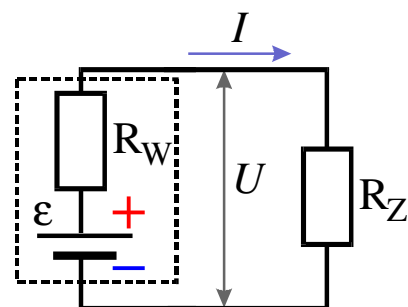
Rys. 8. Układ do wyznaczenia oporu właściwego drutu konstantanowego, $\varnothing = 0,20 \pm 0,01$ mm.

Wykonanie ćwiczenia

1. Zmierz omomierzem wartości oporów oporników w zestawie pomiarowym 1 oraz wyznacz ich niepewności pomiarowe na podstawie tabeli 3.
2. Zbuduj obwód szeregowy, jak na rysunku 3. Wykorzystaj zasilacz jako źródło napięcia.
Uwaga praktyczna: do dobrej praktyki (wymaganej przez normy) należy przestrzeganie zasady: czerwony kabel podłączamy zawsze do „gorącego” zacisku na zasilaczu.
3. Włącz zasilacz i zmierz napięcia U_1 , U_2 , U_3 na każdym z oporników oraz na wszystkich trzech opornikach łącznie U_S , czyli napięcie (siłę elektromotoryczną) źródła. Notuj dokładnie format liczb, w jakim miernik wyświetla wartości (także w przypadku wyboru automatycznego zakresu pomiarowego miernika), gdyż format ten określa zakres, na którym wykonano pomiar, a więc określa też dopuszczalny błąd graniczny pomiaru.
4. Wyznacz dla zmierzonych wartości napięć U_1 , U_2 , U_3 i U_S dopuszczalne błędy graniczne wskazań woltomierza oraz wartości niepewności pomiaru σ . Wyznacz także niepewność sumy $U_{123} = U_1 + U_2 + U_3$. W tym celu skorzystaj z opisanej wyżej metody sumowania wariancji składników dla wyznaczenia wariancji sumy tych składników.
5. Zastosuj metodę testu 3σ dla rozstrzygnięcia, czy otrzymane z pomiarów wartości U_{123} i U_S są ze sobą zgodne, a więc czy pomiary są zgodne z II prawem Kirchhoffa.
6. Zbuduj obwód równoległe połączonych oporników, jak na rysunku 4. Zastosuj zasilacz jako źródło napięcia.
7. Po podłączeniu zasilacza, zmierz natężenia prądu I_1 , I_2 oraz I_3 w kolejnych gałęziach z opornikami R_1 , R_2 i R_3 obwodu z równoległym połączeniem oporników oraz zmierz wartość całego prądu, I , płynącego ze źródła napięcia.
8. Wyznacz niepewności danych uzyskanych w pomiarach w punkcie 7 i sprawdź zgodność wyników pomiaru prądu, I_S , oraz sumy $I_1 + I_2 + I_3$ stosując kryterium testu 3σ . W ten sposób sprawdzamy zgodność pomiarów z I prawem Kirchhoffa.

Wyznaczanie oporu wewnętrznego baterii.

9. Zmierz omomierzem wartości oporników z zestawu pomiarowego 2 oraz wyznacz ich niepewności pomiarowe. Nie wymieszaj oporników z zestawów 1 i 2.
10. Korzystając z elementów zestawu pomiarowego 2 zbuduj według rysunku 7 obwód, w którym źródłem siły elektromotorycznej, ϵ , będzie bateria o nieznanym oporze wewnętrznym R_W , a opór R_Z to jeden z oporników z zestawu 2.
11. Za pomocą mierników zmierz napięcie na zaciskach baterii oraz natężenie prądu płynącego w obwodzie. Wykonaj taki pomiar dla każdego opornika z zestawu 2 zmieniając w ten sposób prąd płynący w obwodzie.
Czy obserwujesz zmiany mierzonego napięcia?
Czy w tym doświadczeniu zmienia się siła elektromotoryczna baterii?



Rys. 9. Obwód do pomiaru oporu wewnętrznego baterii.

Uwaga: czerwony okrągły przycisk służy do zamykania obwodu; wykorzystuj go tylko na czas odczytywania wskazań mierników – nie trzymaj baterii włączonej przez dłużej niż przez kilka sekund, bo powoduje to rozładowywanie baterii, a więc zmianę jej parametrów w czasie doświadczenia.

12. Z praw Kirchhoffa wynika, że jeśli do zacisków baterii o siłę elektromotorycznej ε i oporze wewnętrznym R_w podłączymy opór zewnętrzny R_z (rys. 9), to natężenie I prądu płynącego przez baterię i napięcie U na jej zaciskach spełniają zależność: $U = \varepsilon - R_w I$. Zakładając, że siła elektromotoryczna i opór wewnętrzny baterii są stałe, wykorzystaj dane uzyskane w punkcie 11 do wyznaczenia obu wielkości ε oraz R_w . W tym celu wykonaj wykres $U = f(I)$ i dopasuj do niego linię prostą przy pomocy metody najmniejszych kwadratów. Następnie wyznacz z tego dopasowania wartości ε oraz R_w .

Wyznaczanie oporu właściwego drutu.

13. Do drutu konstantanowego, zamocowanego jak na rys. 8 (zestaw 3), należy podłączyć szeregowo zasilacz i amperomierz. Na zasilaczu należy ustawić ograniczenie prądowe 50 mA. Zapisujemy prąd pokazywany przez amperomierz. Następnie przykładamy dwie sondy podłączone do woltomierza. Zapisujemy napięcie i odległość pomiędzy sondami. Pomiar należy powtórzyć dla kilku odległości pomiędzy sondami.
14. Z zależności napięcia od odległości wyznaczamy stosunek U/l . Następnie wiedząc, że średnica drutu wynosi $d = 0,20 \pm 0,01$ mm, na podstawie wzoru (6) wyznaczamy opór właściwy ρ .

Sprawozdanie

W sprawozdaniu opisz przebieg doświadczeń oraz:

- Przedstaw w tabelach wyniki pomiarów i obliczeń niepewności z punktów 1, 3, i 7.
- Przedstaw wyniki pomiarów z punktu 11 i wykres wraz z dopasowaniem z punktu 12.
- Na podstawie wzoru (6), oblicz opór właściwy dla każdego z pomiarów z punktu 13. Oblicz wartość średnią otrzymanych wyników i odchylenie standardowe.
- Opisz krótko uzyskane wyniki i sformułuj wnioski z pomiarów.

Wersja z dnia 26 II 2023, K. Korona

(na podst. materiałów z Prac. Fiz. i Elektronicznej, WF UW)