

Ćwiczenie E3

Pomiar oporu elektrycznego za pomocą mostka Wheatstone'a

E3.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar oporu elektrycznego pojedynczych rezystorów oraz układu rezystorów połączonych szeregowo i równoległe z wykorzystaniem mostka prądu stałego (mostek Wheatstone'a).

E3.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Pojęcie prądu elektrycznego,
- opór elektryczny i prawo Ohma,
- opór elektryczny odcinka przewodnika,
- potencjał elektryczny i napięcie elektryczne,
- I i II prawo Kirchhoffa,
- szeregowe i równoległe łączenie rezystorów.

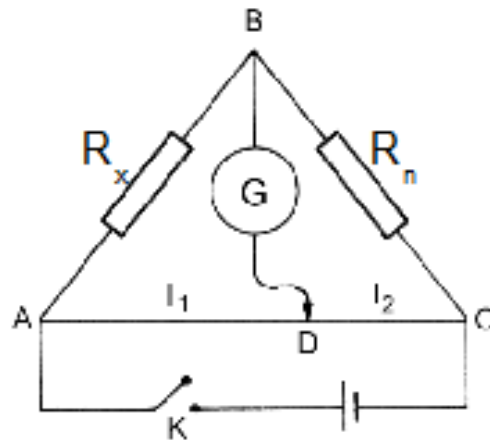
E3.3. Literatura

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz. 3*, PWN, Warszawa.
- [2] Bobrowski Cz.: *Fizyka – krótki kurs*, WNT, Warszawa.
- [3] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*, <http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

E3.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

Układ doświadczalny

Rysunek E3.1 przedstawia schemat mostkowego układu pomiarowego.



Rysunek E3.1. Schemat układu pomiarowego

W pracowni mamy do dyspozycji dwa stanowiska pomiarowe, różniące się nieznacznie zestawem elementów, z których zestawia się mostek – w obu przypadkach według schematu z rysunku E3.1.

Fotografię zestawu nr 1 wraz z zaznaczonymi podstawowymi elementami przedstawia rysunek E3.2: **1** — zasilacz prądu stałego, **2** — zestaw rezystorów o znanej i nieznannej rezystancji, **3** — rezystor dekadowy, **4** — struna z drutu oporowego z ruchomym ślizgaczem i podziałką milimetrową, **5** — wskaźnik równowagi mostka (miernik uniwersalny), **6** — płytkę połączeniową.

Fotografię zestawu nr 2 przedstawia rysunek E3.3: **1** — zasilacz prądu stałego, **2** — płytkę połączeniową z rezystorami o nieznannej wartości, **3** — rezystor dekadowy, **4** — struna z drutu oporowego z ruchomym ślizgaczem i podziałką milimetrową, **5** — wskaźnik równowagi mostka (galwanometr z zerem pośrodku skali), **6** — wyłącznik zasilania mostka.

Przebieg doświadczenia

Eksperyment z zestawem nr 1

1. Zestawić układ pomiarowy według schematu, wykorzystując płytkę z gniaздkami (**6**) do podłączenia rezystora o nieznannej wartości R_x . Dla wygody rezystor ten powinien być włączony w lewej gałęzi mostka. Rezystancję opornika dekadowego (**3**) i niektórych rezystorów z zestawu (**2**), R_n , uważamy za znaną



Rysunek E3.2. Zdjęcie układu pomiarowego: zestaw nr 1



Rysunek E3.3. Zdjęcie układu pomiarowego: zestaw nr 2

- jest to opór wzorcowy mostka. **UWAGA: należy wykorzystać zaciski stałoprądowe zasilacza, oznaczone jako 5 V/1 A.**
- Zrównoważyć mostek kolejno dla kilku oporników o nieznanym oporze (wyboru oporników dokona osoba prowadząca ćwiczenie). W tym celu, po włączeniu zasilacza i miernika uniwersalnego, należy przesuwając ślizgacz po drucie oporowym do momentu gdy miernik wskaże najniższą możliwą wartość. Uwaga: położenie punktu równowagi mostka na strunie oporowej zależy od stosunku rezystancji rezystorów R_x i R_n . Należy pamiętać, że pomiar będzie najdokładniejszy, gdy mostek da się zrównoważyć w centralnej części struny. Stąd też pomiar należy przeprowadzać etapowo, zbliżając sukcesywnie wartość rezystora wzorcowego R_n do rzędu wielkości wartości rezystora mierzonego R_x ; wówczas mostek będzie się równoważył w pobliżu środka struny. Ostateczne równoważenie mostka powinno nastąpić przy mierniku ustawionym na zakres 2 mA lub 200 mV. Należy wówczas odczytać opór rezystora wzorcowego R_n i położenie ślizgacza na skali milimetrowej listwy (wartości l_1 i l_2 na rysunku E3.1).
 - Powtórzyć powyższe czynności w przypadku kilku układów rezystorów połączonych szeregowo i równoległe (połączenia zestawiamy wykorzystując płytkę (6)). Można w tym celu użyć rezystorów o wyznaczonych już wartościach, wybranych przez osobę prowadzącą ćwiczenie.
 - Po zakończeniu pomiarów należy wyłączyć zasilanie mostka.

Eksperyment z zestawem nr 2

- Zestawić układ pomiarowy według schematu, wykorzystując jako rezystor o nieznannej wartości jeden z rezystorów R_x umieszczonych na płytce (2). Dla wygody rezystor ten powinien być włączony w lewej gałęzi mostka. Rezystancję opornika dekadowego (3), R_n , uważamy za znaną – jest to opór wzorcowy mostka. **UWAGA: przed włączeniem zasilacza należy upewnić się, że wyłącznik (6) jest otwarty.** Po włączeniu zasilacza należy nastawić jego napięcie na ok. 5–6 V; pokrętkę ogranicznika prądowego ustawiamy w położeniu środkowym.
- Zrównoważyć mostek kolejno dla oporników umieszczonych na płytce. Na wstępie należy zamknąć wyłącznik (6) obserwując jednocześnie wskazówkę galwanometru ustawionego na najmniejszą czułość. Jeśli wychyli się ona gwałtownie poza skalę, należy natychmiast otworzyć wyłącznik. Takie zachowanie wskazówki oznacza niewłaściwą proporcję rezystancji R_x i R_n . Konieczna jest wówczas korekta wartości rezystora dekadowego, którą należy przeprowadzać każdorazowo zamykając i otwierając wyłącznik – aż wskazówka miernika przestanie wychylać się poza skalę. W celu zrównoważenia mostka należy przesuwac

ślizgacz po drucie oporowym do momentu gdy miernik wskaże najniższą możliwą wartość prądu. Uwaga: położenie punktu równowagi mostka na strunie oporowej zależy od stosunku rezystancji rezystorów R_x i R_n . Należy pamiętać, że pomiar będzie najdokładniejszy, gdy mostek da się zrównoważyć w centralnej części struny. Stąd też pomiar należy przeprowadzać etapowo, zbliżając sukcesywnie wartość rezystora wzorcowego R_n do rzędu wielkości wartości rezystora mierzonego R_x ; wówczas mostek będzie się równoważył w pobliżu środka struny. Ostateczne zrównoważenie mostka powinno nastąpić przy mierniku ustawionym na największą czułość. Należy wówczas odczytać opór rezystora wzorcowego R_n i położenie ślizgacza na skali milimetrowej listwy (wartości l_1 i l_2 na rysunku E3.1).

3. Powtórzyć powyższe czynności w przypadku układów rezystorów R_x połączonych szeregowo i równoległe.
4. Po zakończeniu pomiarów należy wyłączyć zasilanie mostka.

Zadania do wykonania

- E3.1. Obliczyć rezystancje pojedynczych rezystorów o nieznannej wartości.
- E3.2. Obliczyć rezystancje układów rezystorów połączonych szeregowo i równoległe. Wyniki porównać z rezultatami obliczeń oporów wypadkowych na podstawie odpowiednich wzorów.
- E3.3. Korzystając z zestawu drutów konstantanowych o różnej średnicy (zestaw nr 1) wyznaczyć zależność oporu drutu od jego średnicy. Wykreślić zależność $R = f\left(\frac{1}{d^2}\right)$ i porównać otrzymany wynik z zależnością teoretyczną.
- E3.4. Wykorzystując wyniki pomiarów z powyższego zadania wyznaczyć opór właściwy konstantanu (metodą graficzną i/lub metodą najmniejszych kwadratów).

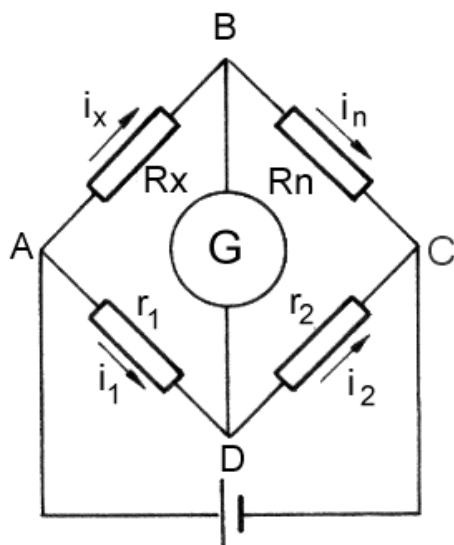
Uzupełnienie do zadań E3.1 i E3.2

W stanie równowagi mostka położenie suwaka D na strunie jest takie, że przez miernik G nie płynie prąd (rysunek E3.1). Wówczas napięcie pomiędzy punktami B i D równe jest zeru (ich potencjał jest jednakowy). Zachodzą wówczas równości następujących napięć:

$$U_{AB} = U_{AD}, \quad U_{BC} = U_{DC} \quad (\text{E3.1})$$

(U jest różnicą potencjałów między odpowiednimi punktami). Korzystając z równości (E3.1), prawa Ohma oraz ze schematu na rysunku E3.4 można napisać, że

$$U_{AB} = i_x R_x, \quad U_{AD} = i_1 r_1, \quad U_{BC} = i_n R_n, \quad U_{DC} = i_2 r_2, \quad (\text{E3.2})$$



Rysunek E3.4. Pomocniczy schemat mostka Wheatstone'a

gdzie r_1 jest oporem odcinka struny o długości l_1 , zaś r_2 — oporem odcinka struny o długości l_2 . Ostatecznie

$$i_x R_x = i_1 r_1, \quad i_n R_n = i_2 r_2. \quad (\text{E3.3})$$

Na podstawie I prawa Kirchhoffa otrzymuje się następujące równości:

$$i_x = i_n + i_G, \quad i_2 = i_1 + i_G. \quad (\text{E3.4})$$

W stanie równowagi mostka $i_G = 0$, więc

$$i_x = i_n, \quad i_2 = i_1. \quad (\text{E3.5})$$

Podstawiając równości (E3.5) do równań (E3.3) otrzymujemy zależności

$$i_x R_x = i_1 R_1, \quad i_x R_n = i_1 R_2. \quad (\text{E3.6})$$

Z powyższych równości, po podzieleniu ich stronami i pomnożeniu przez R_n mamy

$$R_x = R_n \frac{r_1}{r_2}. \quad (\text{E3.7})$$

Ponieważ r_1 i r_2 są oporami odcinków tego samego, jednorodnego przewodnika (struny), ze wzoru (E3.7) wynika, że

$$R_x = R_n \frac{l_1}{l_2}. \quad (\text{E3.8})$$

E3.5. Rachunek niepewności

Niepewność pomiaru l_1 i l_2 oceniamy w czasie wykonywania pomiarów na podstawie podziałki użytego przymiaru liniowego. Ponieważ opornik dekadowy R_n jest bardzo precyzyjny, w warunkach ćwiczenia jego niepewność można uważać za równą zero.

Niepewność wyznaczenia wartości rezystancji i oporu właściwego konstantanu liczymy jako niepewność wielkości złożonej (lub z zastosowaniem odpowiednich wzorów metody najmniejszych kwadratów).