

Лабораторна робота № 3.30

Вимірювання опорів методом містка

Мета роботи: ознайомитися з мостовим методом вимірювання опорів, знайти невідомі опори декількох резисторів, експериментально перевірити справедливність формул для послідовного і паралельного з'єднання опорів.

Прилади й принадлежности: джерело постійного струму, магазин відомих опорів, набір невідомих опорів, реохорд, гальванометр, кнопковий ключ.

Теоретичний вступ

Існують різні методи вимірювання опорів провідників. Опір можна виміряти за допомогою амперметра і вольтметра. Якщо I - сила струму в амперах, який показується амперметром, а U - напруга в вольтах на кінцях провідника, то опір провідника в омах дорівнює $R = U / I$. Ще більш простий метод - пряме вимірювання відповідним приладом - омметром.

Але для точного вимірювання опорів вживають *метод порівняння* опору, що вимірюється, з еталонними (мостовий метод).

Мостова схема (місток Уітстона, англ. фізика) складається з чотирьох опорів R_1, R_2, R_x, R , з'єднаних у вигляді чотирикутника, як вказано на рис.1. Електричний струм джерела розгалужується між паралельними гілками ACB та ADB , між якими включається гілка CD , яка містить гальванометр G . Ця гілка називається *містком*.

Гальванометром називається високочутливий електровимірвальний прилад для вимірювання малих струмів, напруг і зарядів. Нуль розміщений на середині шкали гальванометра (фото 1), що дозволяє фіксувати струми протилежних напрямків.

Опір R_x , що вимірюється, утворює ділянку AC , а в ділянку CB включають магазин опорів.

Магазин опорів (фото 2) являє собою набір відомих опорів, змонтованих в одному корпусі. В магазині опорів закладений принцип послідовного з'єднання резисторів. Повертаючи ручку того чи іншого декадного перемикача, ми додаємо (або зменшуємо) опір на величину, відмічену цифрами на ручці перемикача.

Наприклад, $3 \times 100 + 5 \times 10 + 2 \times 1 = 352$ (Ом).

Суть методу містка полягає в тому, що, знаючи три опори R_1, R_2, R , (на рис. 1 позначені сірим кольором), можна визначити четвертий R_x (на рисунку білого кольору).

Розглянемо принцип роботи цієї схеми. Замкнемо ключ P (див. рис.1). Тоді від джерела проходить струм I , який в точці A буде розгалужуватися на дві частини -

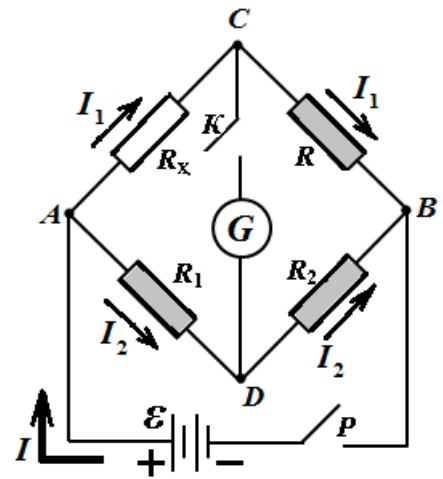


Рис.1.



Фото 2.



Фото 1.

струми I_1 і I_2 .

Під час замикання кнопки K в гілці CD також піде струм, напрям якого залежить від того, яка з точок (C або D) має більш високий потенціал.

Особливий інтерес представляє випадок, коли струм в діагоналі CD дорівнює нулю. У цій ситуації говорять, що міст «збалансований». З'ясуємо, при яких співвідношеннях між опором резисторів можливий баланс моста. Оскільки на ділянці CD струму немає, через ділянки AC і CB проходить однаковий струм. Позначимо його I_1 . Струм через ділянку ADB позначимо I_2 .

Відсутність струму на ділянці CD означає, що потенціали точок C і D є рівними, $\varphi_C = \varphi_D$. Звідси випливає, що від точки A (потенціал якої φ_A) до точок C і D потенціал падає на однакову величину, тобто

$$\varphi_A - \varphi_C = \varphi_A - \varphi_D,$$

або

$$U_{AC} = U_{AD}.$$

Використовуючи закон Ома, можна переписати цю рівність

$$I_1 R_x = I_2 R_1. \quad (1)$$

Оскільки ділянки CB і DB сходяться в одній точці B (с потенціалом φ_B), то падіння потенціалу на цих ділянках буде однаковим

$$\varphi_C - \varphi_B = \varphi_D - \varphi_B,$$

тобто

$$U_{CB} = U_{DB},$$

або за законом Ома

$$I_1 R = I_2 R_2. \quad (2)$$

Поділивши почленно рівності (1) і (2), отримаємо умову балансу моста:

$$\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2},$$

звідки

$$R_x = R \frac{R_1}{R_2}. \quad (3)$$

Отже, знаючи R , R_1 і R_2 , можна визначити невідомий опір R .

Для зручності вимірювань ділянку ADB (R_1 і R_2) замінюють **реохордом**, який являє собою калібрований за діаметром ніхромовий дріт, натягнутий вздовж лінійки із шкалою AB (рис 2). Вздовж реохорда переміщується рухомий контакт D , який ділить дріт на два опори R_1 і R_2 (фото 3).

Оскільки опір однорідного дроту пропорційний його довжині $R = \rho \frac{l}{S}$, опори R_1 і R_2 пропорційні довжинам відповідних ділянок AD (l_1) і DB (l_2).

Тоді відношення опорів можна замінити відношенням довжин цих ділянок (питомий опір ρ та переріз дроту S ділянок l_1 та l_2 однакові), отримаємо розрахункову формулу:

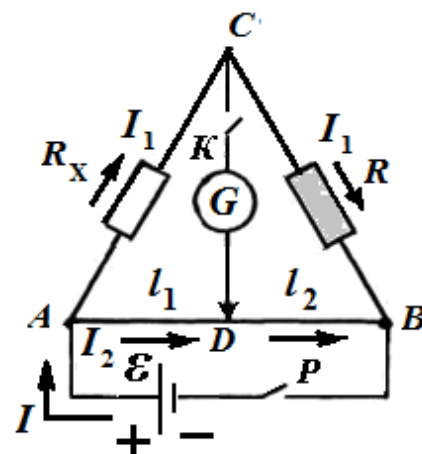


Рис.2.



Фото 3.

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} R \quad (4)$$

Таким чином, вимірювання опорів за допомогою мостової схеми зводиться до вимірювання довжин. Знаючи R , l_1 та l_2 , можна визначити R_x .

Вимірювання

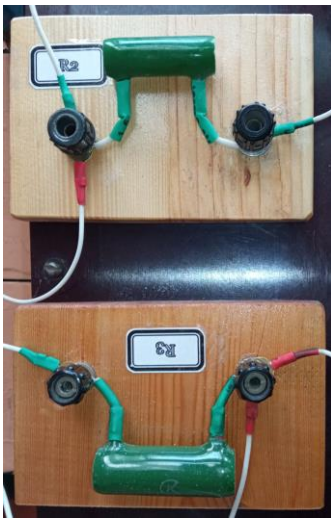


Фото 4.

1. Збирають електричне коло за схемою рис. 2. Обирають один з резисторів (фото 4), опір якого R_x буде визначено, і під'єднують його у відповідне плече містка. Після перевірки кола викладачем замикають коло ключем P .

2. Окремо доводиться у теорії похибок вимірювання (див. Додаток 2 в кінці даної інструкції), що вимір опору за допомогою моста буде тим точніше, чим ближче до середини реохорда встановлюється рухомий контакт D при балансі моста.

Тому у першій частині роботи повзунок реохорду заздалегідь встановлюють посередині реохорду.

Далі поворотом відповідних ручок (показує викладач) **підбирають** в еталонному магазині опорів **такий опір R** , при якому після замикання на короткий час кнопки K **стрілка гальванометра НЕ БУДЕ відхилятися**.

Зауваження! Кнопку K ключа в колі гальванометра натискають короткочасно, щоб уникнути нагріву провідників.

Це означає, що на ділянці CD струм дорівнює нулю.

Як правило, за допомогою магазину опорів цілком врівноважити міст не вдасться.

ся. Тоді, вичерпав можливості магазину опорів, зникнення струму в гальванометрі добиваються шляхом незначного пересування повзуна D .

У таблицю записують величину опору R і довжини плечей l_1 і l_2 реохорда.

3. При будь-якому вимірюванні, як би старанно його не проводили, неминучі похибки. Тому необхідно повторити вимірювання невідомого опору при новій величині опору магазину. Для цього переміщують повзун реохорда вправо або вліво від середнього положення на 1-2 см, Далі підбирають опір на магазині опорів такий, щоб стрілка гальванометра встановлювалась на нуль. Вичерпав можливості магазину опорів зникнення струму в гальванометрі добиваються шляхом незначного пересування повзуна D .

Записують в таблицю нове значення опору магазину R та плечей l_1 і l_2 реохорда.

4. Вимірявши опір одного резистора R_{x1} три рази, переходять до вимірювань опору R_{x2} іншого резистора.

5. Після цього визначають опори послідовно і паралельно з'єднаних резисторів і.

6. За формулою (4) визначають усі значення R_x та заносять їх у таблицю.

За середніми значеннями $\langle R_{x1} \rangle$ і $\langle R_{x2} \rangle$ розраховують $R_{\text{послід}}$ і $R_{\text{парал}}$ за фор-

мулами:

$$R_{\text{посл}}^{\text{теор}} = \langle R_1 \rangle + \langle R_2 \rangle; R_{\text{парал}}^{\text{теор}} = \frac{\langle R_1 \rangle \langle R_2 \rangle}{\langle R_1 \rangle + \langle R_2 \rangle} \quad (5)$$

і порівнюють їх з виміряними.

Таблиця

№ дослі- тку	Опір	Результати вимі- рів			R_{x_i} Ом	$\langle R_x \rangle$ Ом	ΔR_{x_i} Ом	$\Delta R_{x_i}^2$,	$S \langle R_x \rangle$ Ом	α	$t_{\alpha, n}$	ΔR_x Ом	$E, \%$
		l_1 мм	l_2 мм	R Ом									
1 2 3	R_{x1}												
1 2 3	R_{x2}												
1 2 3	Послі- довне з'єд- нання												
1 2 3	Пара- лельне з'єд- нання												

Остаточний результат записують у вигляді:

$$R_{x_1} = \left(\left\langle R_{x_1} \right\rangle \pm \Delta R_{x_1} \right) \text{ Ом при } \alpha = \quad ;$$

$$R_{x_2} = \left(\left\langle R_{x_2} \right\rangle \pm \Delta R_{x_2} \right) \text{ Ом при } \alpha = \quad ;$$

Контрольні питання

1. Яка фізична величина називається електричним потенціалом? Напругою?
2. Сформулюйте закон Ома для однорідної ділянки кола.
3. Яка фізична величина називається ЕРС?
4. Поясніть принцип роботи містка Уїтстона.
5. При якому положенні повзунка реохорда точність виміру мостовою схемою є максимальною?
6. Чи зміниться робота мосту, якщо поміняти місцями джерело струму і гальванометр?
7. Чому гальванометр, який застосовується в роботі, має двосторонню шкалу з нулем посередині?
8. Які переваги має метод визначення опору містком Уїтстона у порівнянні з методом амперметра і вольтметра?

Додаток 1.

Єдина методика обробки результатів вимірювань

1. Проводять n незалежних дослідів і визначають n значень шуканої величини $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

2. Розраховують середнє арифметичне значення шуканої величини:

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

3. Розраховують відхилення кожного результату від середнього значення:

$$\Delta x_i = x_i - \langle x \rangle .$$

4. Визначають стандартне відхилення середнього

$$S_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \Delta x_3^2 + \dots}{n(n-1)}} .$$

5. Задають довірчу ймовірність α . Зазвичай довірчу ймовірність вважають рівною 0,90; 0,95; 0,98; 0,99. За обраним значенням довірчої ймовірності α і для виконаної кількості вимірювань n за таблицею визначають коефіцієнт Стюдента $t_{\alpha, n}$.

6. Обчислюють напівширину довірчого інтервалу (абсолютну похибку середнього)

$$\Delta \langle x \rangle = t_{\alpha, n} S_{\langle x \rangle} .$$

7. Визначають відносну похибку

$$E = \frac{\Delta \langle x \rangle}{\langle x \rangle} \cdot 100\% .$$

8. Остаточний результат вимірювання записують у вигляді:

$x = (\langle x \rangle \pm \Delta \langle x \rangle)$ одиниць виміру, при $\alpha = \dots$

Додаток 2.

Як було показано, невідомий опір визначається за формулою

$$R_x = R \frac{l_1}{l_2}.$$

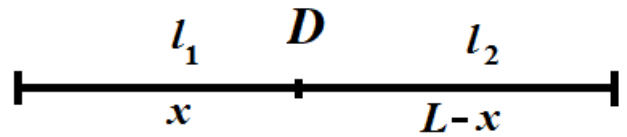


Рис. 3.

. Вимірювання можна проводити при будь-якому співвідношенні плечей l_1 і l_2 реохорда (рис. 3). Однак, точність вимірювань буде залежати від положення контакту D . Покажемо це.

Позначимо загальну довжину реохорда через L , довжину відрізка $l_1 = x$, $l_2 = L - x$.

(рис. 3). Тоді робоча формула (4) переписеться так: $R_x = \frac{Rx}{L - x}$.

Визначимо абсолютну похибку ΔR_x за формулами для непрямих вимірювань. Абсолютна похибка знаходиться за правилами диференціювання.

При цьому позначка диференціала d замінюється позначкою похибки Δ . Абсолютна похибка дробу дорівнює сумі добутку знаменника на абсолютну похибку чисельника і чисельника на абсолютну похибку знаменника, поділений на квадрат знаменника.

$$\Delta R_x = R \frac{(L - x)\Delta x + x\Delta x}{(L - x)^2} = R \frac{L\Delta x}{(L - x)^2}$$

Тут знак "мінус" в абсолютній похибці аргументу Δx замінюється знаком "плюс", так щоб величина похибки була максимальною. Відносна похибка E величини R_x буде дорівнювати

$$E = \frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{L\Delta x}{x(L - x)}$$

Величина E буде найменшою при максимумі знаменника. Максимум можна знайти, взявши похідну від знаменника по x і прирівнявши її нулю:

$$\frac{d}{dx}(x(L - x)) = 0$$

або

$$L - 2x = 0,$$

звідки

$$x = \frac{L}{2}$$

Це означає, що вимірювання опору за допомогою моста Уітстона буде тим точніше, чим ближче до середини реохорда встановлюється рухомий контакт D при балансі мосту.

Рекомендована література

1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т, Луцік П. П. Загальний курс фізики у трьох томах : навч. посіб. Київ: Техніка, 2006. Т. 2 : Електрика і магнетизм. 450 с.
2. Курс фізики (під редакцією Лопатинського І.Є.. – Львів. – ”Бескід Біт”. – 2002.
3. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф.. Курс фізики. У 2 кн.: Кн.1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. – К.:«Либідь», 2001. – 448с.
4. Загальна фізика. Лабораторний практикум.: Навч. посібник./ В.М.Барановський, П.В.Бережний, І.Т.Горбачук. та ін.. За заг. ред.. І.Т.Горбачука. – К. Вища шк., 1992 – 509 с.
5. Гаркуша І.П., Курінний В.П. Фізика. Навчальний посібник у 7 частинах. Ч. 3. Електрика і магнетизм. [Електронне видання]: - Д. Національний гірничий університет, 2018. - 165 с. -

Укладачі Гаркуша І.П., Барташевська Л.І.,Зайцев А.С..