

Лабораторна робота № 3.30.

Вимірювання опорів методом моста

Мета роботи: ознайомитися з мостовим методом вимірювання опорів, знайти невідомі опори декількох резисторів, експериментально перевірити справедливість 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.

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

Мостова схема (місток Уїтстона, англ. фізика) складається з чотирьох опорів R_1 , R_2 , R_x , R , з'єднаних послідовно у вигляді чотирикутника (рис. 1), причому точки A , B , C , D називають *вершинами*. Протилежні вершини з'єднують діагоналями. Опори R_1 , R_2 , R_x , R , що включені між двома сусідніми вершинами, утворюють так звані *плечі* містка.

Назва «мостове коло» пояснюється тим, що діагоналі, як містки, з'єднують дві протилежні вершини. В одну діагональ цього чотирикутника включене джерело живлення \mathcal{E} , в іншу - гальванометр G .

Гальванометром називається високочутливий електровимірювальний прилад для вимірювання малих струмів, напруг і зарядів.

Нуль розміщений на середині шкали гальванометра, що дозволяє фіксувати струми протилежних напрямків.

Опір R_x , що вимірюється, утворює ділянку AB , а в ділянку BD включають магазин опорів, що дозволяє підбирати еталонний опір R з великою точністю.

Суть методу полягає в тому, що, знаючи три опори R , R_1 , R_2 (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 прохідиме струм I , який в точці A буде розгалужуватися на дві частини - струми I_1 і I_2 .

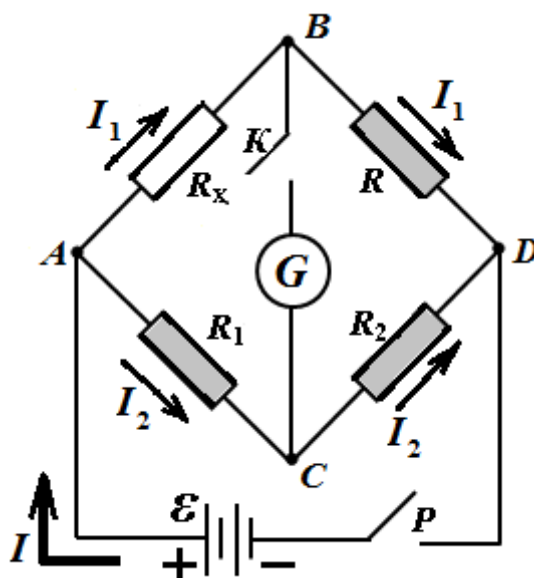


Рис.1.

При замиканні кнопки K через гальванометр також піде струм, напрям якого залежить від того, яка з точок (B або C) знаходиться під більшим потенціалом.

Особливий інтерес представляє випадок, коли струм в діагоналі BC дорівнює нулю. У цій ситуації говорять, що міст «збалансований». З'ясуємо, при яких співвідношеннях між опорами резисторів можливий баланс моста.

Оскільки на ділянці BC струму немає, через ділянки AB і BD проходить однаковий струм. Позначимо його I_1 . Струм через ділянку ACD позначимо I_2 .

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

$$\varphi_A - \varphi_B = \varphi_A - \varphi_C,$$

або

$$U_{AB} = U_{AC}$$

Використовуючи закон Ома, можна написати

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

Оскільки ділянки BD і CD сходяться в одній точці D (с потенціалом φ_D), то падіння потенціалу на цих ділянках буде однаковим

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

тобто

$$U_{BD} = U_{CD},$$

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

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

Для зручності вимірювань ділянку ACD (R_1 і R_2) замінюють *реохордом*, який являє собою калібрований за діаметром сталевий або ніхромовий дріт, натягнутий вздовж лінійки із шкалою AD (рис 2). Вздовж реохорда переміщується рухомий контакт C , який ділить дріт на два опори R_1 і R_2 .

Оскільки опір однорідного дроту пропорційний його довжині, опори R_1 і R_2 пропорційні довжинам ділянок AC (l_1) і CD (l_2) відповідно.

Тоді для невідомого опору R_x зі співвідношення (3), замінюючи відношення опорів відношенням довжин, отримаємо *робочу формулу*:

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

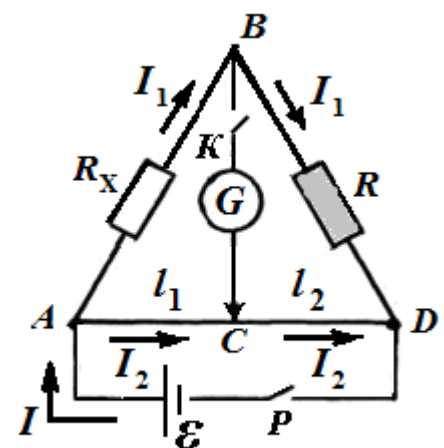


Рис.2.

Таким чином, вимір опорів за допомогою мостової схеми зводиться до вимірювання довжин.

Вимірювання

1. Збирають електричне коло за схемою рис. 2) і після її перевірки його викладачем **замикають коло ключем P** .

2. Окремо доводиться (див. нижче Додаток), що вимір опору за допомогою моста буде тим точніше, чим ближче до середини реохорда встановлюється рухомий контакт C при балансі моста. Тому, заздалегідь поставивши рухомий контакт C посередині реохордної лінійки, **підбирають в еталонному магазині опір такий R** , при якому після замикання на короткий час кнопки K стрілка гальванометра **НЕ БУДЕ відхилятися**.

Це означає, що на ділянці BC струм дорівнює нулю. Якщо за допомогою магазину опорів цілком врівноважити міст не можна, то остаточно його врівноважують шляхом незначного пересування контакту C в ту чи іншу сторону.

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

4. Ставлячи інші опори в магазині R , які відрізняються від початкового на 10 – 20 %, знову домагаються балансу моста за допомогою реохорда. Значення R , отримані при цьому, заносяться в таблицю.

5. За робочою формулою (4) **розраховують невідомий опір R_x** .

6. Вимірявши опір одного резистора R_{X1} три рази, переходять до вимірювань опору R_{X2} іншого резистора.

7. Після цього **з'єднують невідомі опори R_{X1} і R_{X2}** спочатку послідовно, потім паралельно. Визначають загальний опір в обох випадках за викладеною методикою.

8. Для оцінки отриманих результатів визначають теоретичне значення опорів послідовного і паралельного з'єднань за формулами:

$$R_{\text{послід}} = R_{X1} + R_{X2}; \quad R_{\text{паралел}} = \frac{R_{X1}R_{X2}}{R_{X1} + R_{X2}}.$$

(У формули підставляють середні значення $\langle R_{X1} \rangle$ і $\langle R_{X2} \rangle$).

Таблиця.

№	Опір	Результати вимірювань			R_{x_i} Ом	$\langle R_x \rangle$ Ом	ΔR_{x_i} Ом	$\Delta R_{x_i}^2$, Ом	$S\langle R_x \rangle$ Ом	α	$t_{\alpha,n}$	ΔR_x Ом	E, %
		l_1	l_2	R									
1 2 3	R_{x_1}												
1 2 3	R_{x_2}												
1 2 3	Послідовне з'єднання												
1 2 3	Паралельне з'єднання												

Остаточний результат записують у вигляді:

$$R_{x_1} = \left(\langle R_{x_1} \rangle \pm \Delta R_{x_1} \right) \text{ Ом при } \alpha = \quad ; R_{x_2} = \left(\langle R_{x_2} \rangle \pm \Delta R_{x_2} \right) \text{ Ом при } \alpha = \quad ;$$

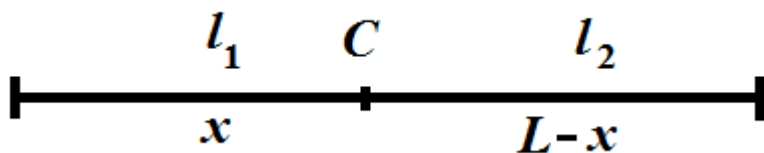
Контрольні питання

1. Яка фізична величина називається електричним потенціалом? Напругою?
2. Сформулюйте закон Ома для однорідної ділянки кола.
3. Яка фізична величина називається ЕРС?
4. При якому положенні повзунка реохорда точність вимірювання мостової схеми є максимальною?
5. У чому полягає особливість вимірювань опорів мостовою схемою?
6. Поясніть принцип роботи містка Уїтстона.
7. Чи зміниться робота мосту, якщо поміняти місцями джерело струму і гальванометр?

Додаток

Як було показано, невідоме опір визначається за формулою

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



Вимірювання можна проводити при будь-якому співвідношенні плечей l_1 і l_2 реохорда. Однак,

Рис. 3.

точність вимірювань буде залежати від положення контакту C .

Покажемо це. Позначимо загальну довжину реохорда через L , довжину відрізка $l_1 = x$, $l_2 = L - x$. (рис . 3). Тоді робоча формула переписеться так:

$$R_x = \frac{R \cdot x}{L - x} .$$

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 Уїтстона буде тим точніше, чим ближче до середини реохорда встановлюється рухомий контакт C при балансі мосту.

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. - К.: Техніка, 2001. - Т.2.
2. Савельєв І.В. Курс фізики. Учеб: У 3-х т. Т. 2 Електрика. Коливання і хвилі. - М.: Наука, 1989.

Укладачі А.С.Зайцкв, Л.І.Барташевская, І.П.Гаркуша