

Лабораторна робота № 3. 31

ВИМІРЮВАННЯ ЕРС МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦІЇ

Мета роботи: ознайомлення з методом компенсації та вимірювання ЕРС методом компенсації

Теоретичний вступ

Що таке ЕРС?

Нехай у провіднику AB (рис. 1) створено електричне поле E , спрямоване у бік падіння потенціалу від φ_A до φ_B . Для зручності міркувань припустимо, що носіями струму є позитивні заряди. Насправді у металевих провідниках струм провідності створюється рухом негативних зарядів - електронів. (Така заміна не змінює суті міркувань).

Протягом дуже короткого часу відбуватиметься переміщення зарядів у бік поля E від A до B доти, доки у провіднику не встановиться однаковий потенціал; при цьому напруженість електричного поля всередині провідника дорівнюватиме нулю, і струм I припиниться.

Таким чином, провідник, у якому діють лише електростатичні сили, згодом переходить у рівноважний стан.

Для того щоб підтримувати струм тривалий час, потрібно здійснити **круговорот зарядів** (див. рис. 2), за якого вони рухалися б по замкненому шляху.

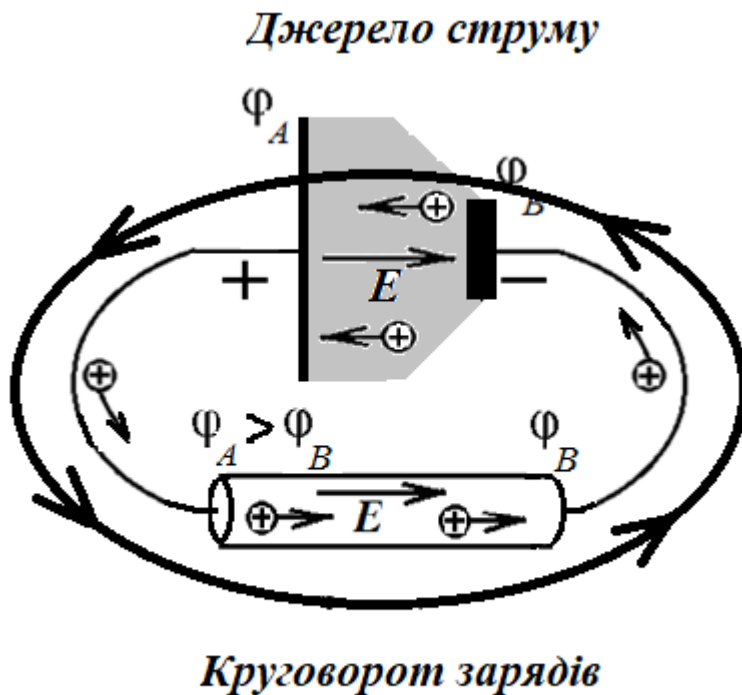


Рис. 2.

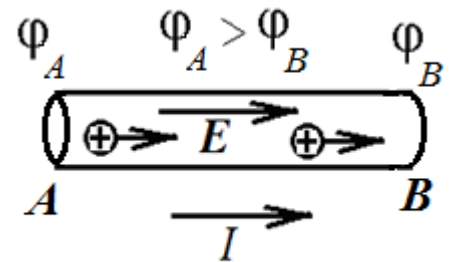


Рис. 1.

Пристрій, що створює та підтримує різницю потенціалів $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B$ на кінцях провідника називається **джерелом струму**.

Струм проходить у зовнішній частині кола по провіднику, й у внутрішній – по джерелу струму.

Джерело струму має два полюси (рис. 2): позитивний, з більш високим потенціалом (на схемі позначається тонкою довгою рисою), і негативний, з нижчим потенціалом (на схемі позначається короткою жи-

рною рисою).

Заряди у зовнішній частині рухаються у бік зменшення потенціалу ϕ , тобто. від плюсу до мінусу, а всередині джерела – від мінусу до плюсу.

Але, як відомо, однойменні заряди відштовхуються (на рис. 2 «плюс» заряду та «плюс» полюса джерела), різнойменні – притягуються (на рис. 2 «плюс» заряду та «мінус» полюса джерела). Тому для переміщення зарядів усередині між полюсами повинні існувати сили *не кулонівського* походження, які називаються **сторонніми силами**.

Походження сторонніх сил може бути різним. У батареях та акумуляторах вони обумовлені хімічними процесами. У сонячних батареях – енергією фотонів. В електричних генераторах це сили, що діють на заряди, які рухаються в магнітному полі.

Переміщуючи електричні заряди, сторонні сили виконують роботу проти кулонівських сил за рахунок енергії, що витрачається в джерелі струму.

Величина, що дорівнює роботі сторонніх сил по переміщенню одиничного позитивного заряду, називається **електрорушійною силою (ЕРС) ε** , що діє в замкнутому колі або на його ділянці. Отже, якщо робота сторонніх сил над зарядом q дорівнює $A_{ст}$, то

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q} . \quad (1)$$

Оскільки робота вимірюється в Дж = Кл В, то ЕРС вимірюється в тих же одиницях, що і потенціал, тобто у вольтах (В).

Чи можна виміряти ЕРС вольтметром?

Відповідно до закону Ома для замкнутого кола постійного струму (рис.3)

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} , \quad (2)$$

де I - сила струму в колі, ε - ЕРС джерела струму, r – внутрішній опір джерела струму, R – зовнішній опір.

Добуток $IR = U$ називається падінням напруги на зовнішньому колі чи напругою на затискачах джерела. Як впливає з формули (2) напруга на затискачах працюючого джерела

$$U = \varepsilon - Ir \quad (3)$$

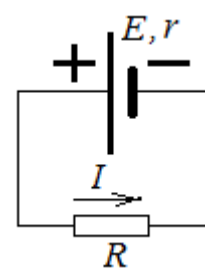


Рис.3.

ε величиною змінною, що залежить від сили струму, тобто навантаження джерела. Напруга на затискачах U менша за ЕРС ε на величину Ir , яка є падінням напруги на внутрішньому опорі джерела.

З формули (3) видно, що використовувати вольтметр для вимірювання ЕРС джерела, підключивши його безпосередньо до клем джерела, не можна, так як сам вольтметр при цьому утворює зовнішню ділянку кола з опором R і його показання будуть відрізнятися від ЕРС на величину Ir .

Очевидно, чим вищий опір вольтметра в порівнянні з опором джерела, тим менша відмінність між показаннями вольтметра $U = IR$ та ЕРС ε джерела, і ця відмінність принципово не можна звести до нуля

Висновок. Вимірювання ЕРС ε не можна здійснити звичайним вольтметром.

Зауваження. Оскільки внутрішній опір джерела r має порядок десятих часток ома, а опір вольтметра R - сотні кОм, а то і десятки МОм, то на практиці для оцінки ЕРС джерел з невеликим внутрішнім опором можна користуватися вольтметром, підключивши його до затискачів джерела струму без навантаження

Суть методу компенсації

З рівняння (3) видно, що для визначення ЕРС необхідно, щоб у момент вимірювання сила струму через джерело з вимірюваною ЕРС дорівнювала нулю. Це є основою всіх методів визначення ЕРС.

Сутність методу компенсації полягає в тому, що вимірювана ЕРС (рис. 4) компенсується (урівноважується) відомою компенсуючою напругою U_K .

Джерела вимірюваної ЕРС ε_x та компенсуючої напруги U_K з'єднуються однойменними полюсами (рис 4). При цьому два полюси з'єднують безпосередньо, а два інші – через індикатор рівності (гальванометр).

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

Сила та напрямок струму, що проходить через гальванометр, визначатиметься різницею ε_x та U_K (див. рис. 4). При рівності цих величин *сила струму в колі дорівнює нулю*, і «індикатор рівності» дає нульове показання. Таким чином, плавно регулюючи U_K , можна досягти нульового показання гальванометра. Тоді невідома вимірювана ЕРС ε_x дорівнює відомій напрузі U_K , що компенсує.

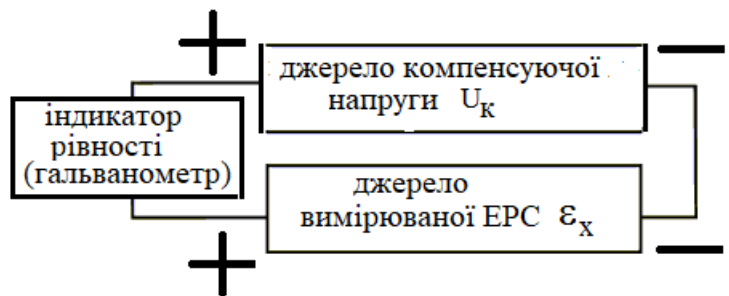


Рис. 4.

Електрична схема установки для вимірювання ЕРС методом компенсації

Компенсуюче джерело струму з ЕРС ε_0 , яка більша, ніж ЕРС ε_x досліджуваного елемента, $\varepsilon_0 > \varepsilon_x$, замикають на реохорд (рис. 5). *Реохордом* називається однорідний ніхромовий провід (AB на рис. 5) у вигляді струни, укріпленій на панелі з вимірювальною лінійкою та рухомим контактом C .

До кінця A реохорда, до якого підключений позитивний полюс джерела ε_0 , приєднують позитивний полюс досліджуваного елемента ε_x . Негативний полюс елемента ε_x через *гальванометр* G з нулем на середині шкали підключа-

ють до рухомого контакту реохорду C . Таким чином, компенсуюче джерело ε_0 включене назустріч досліджуваному джерелу ε_x .

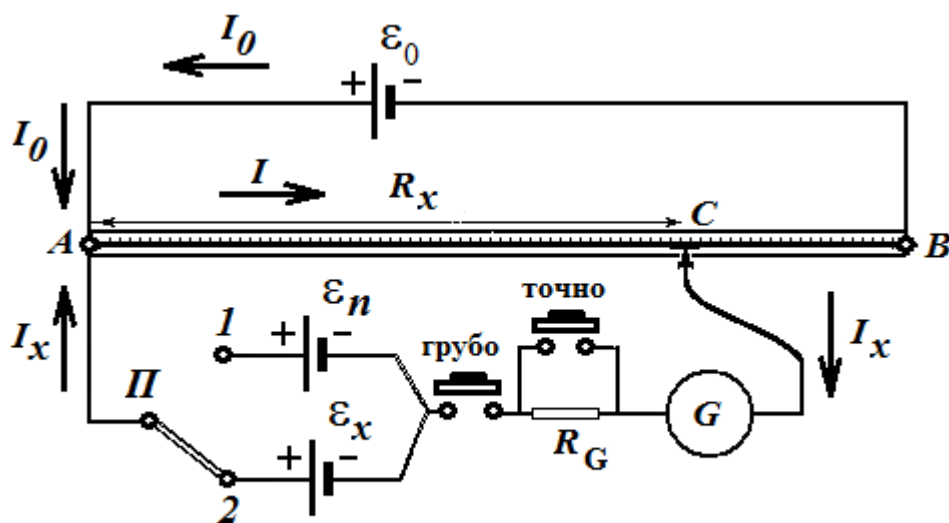


Рис. 5.

При переміщенні рухомого контакту змінюється різниця потенціалів $\varphi_A - \varphi_C$ на ділянці AC реохорда і струм, що проходить через підключене паралельно до цієї ділянки джерело ε_x .

Якщо різниця потенціалів $\varphi_A - \varphi_C$ не буде дорівнювати ЕРС досліджуваного елемента, то по гілці з гальванометром потече струм, унаслідок чого стрілка гальванометра відхилиться.

Якщо різниця потенціалів у точках A і C буде меншою за ЕРС елемента ε_x , струм буде проходити в одному напрямку (стрілка гальванометра відхилиться в один бік); якщо більше, то – у протилежну (стрілка відхилиться в інший бік).

Якщо різниця потенціалів у точках A і C дорівнюватиме ЕРС елемента ε_x , струму не буде (стрілка гальванометра не відхилиться).

Оскільки $\varepsilon_0 > \varepsilon_x$, то на реохорді AB завжди буде така точка, різниця потенціалів між якою і точкою A дорівнюватиме електрорушійній силі досліджуваного елемента. Переміщуючи контакт C вздовж реохорда, шукають таке його положення, при якому в контурі з елементом ε_x струму не буде.

Тим самим досягається **компенсація** падіння напруги на ділянці AC реохорда і підключеної до цієї ділянки електрорушійної сили ε_x , і **джерело ε_x виявляється знеструмленим**, а його ЕРС дорівнюватиме різниці потенціалів $\varphi_A - \varphi_C$.

Якщо позначити ЕРС компенсуючого джерела через ε_0 , а через R – опір всього реохорда, то сила струму через реохорд буде

$$I = \frac{\varepsilon_0}{R}, \quad (4)$$

Якщо R_x - опір ділянки АС, то різниця потенціалів

$$\varphi_A - \varphi_C = IR_x = \frac{\varepsilon_0}{R} R_x . \quad (5)$$

Отже, ЕРС ε_x випробуваного елемента буде

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon_0}{R} R_x . \quad (6)$$

Потім замінюють випробуваний елемент так званим *нормальним*, ЕРС ε_n якого відома дуже точно, і знову шукають таке положення рухомого контакту С, за якому в гілці з елементом струму не буде. Як і в попередньому випадку,

$$\varepsilon_n = \frac{\varepsilon_0}{R} R_n . \quad (7)$$

Розділивши вираз (6) на вираз (7), отримаємо

$$\varepsilon_x = \varepsilon_n \frac{R_x}{R_n} . \quad (8)$$

Оскільки опір ділянки реохорда пропорційний до його довжини

$$R = \rho \frac{l}{S} ,$$

то в отриманій формулі можна замінити відношення опорів на відношення довжин $\frac{l_x}{l_n}$:

$$\varepsilon_x = \frac{l_x}{l_n} \varepsilon_n . \quad (9)$$

Таким чином, вимірювання ЕРС ε_x зводиться до відліку за шкалою реохорду показань l_x при компенсації невідомої ЕРС ε_x та показань l_n при компенсації відомої ЕРС ε_n з подальшим розрахунком за формулою (9).

До складу установки входять:

- Джерело постійного струму В5-46 з ЕРС ε_0 ;
- *ртутно-кадмієвий нормальний елемент Вестона* ε_n з ЕРС = 1,0183, за $t = 20^\circ\text{C}$;
- Досліджуваний гальванічний елемент (лужний акумулятор) з ЕРС ε_x ;
- Високочутливий гальванометр G з нулем на середині шкали;
- реохорд з повзунком C , довжина струни реохорда 100 см;
- перемикач $П$, що служить для послідовного підключення до реохорду джерела ε_0 і елемента ε_n ;
- кнопка «грубо» дозволяє замикати та розмикати коло на короткий час;
- послідовно в коло гальванометра включений великий опір R_G (приблизно 10 кОм) з метою захисту гальванометра від великих струмів при грубій установці стрілки на нуль;
- кнопка «точно» шунтує опір R_G в колі гальванометра при точній установці стрілки гальванометра на нуль.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись зі схемою лабораторної установки (зібрана на панелі).
2. Встановити повзунок реохорда на позначці 10-15 см.
3. Включити джерело з ЕРС ε_0 .
4. Замкнути перемикач Π у положення ε_x . При цьому стрілка гальванометра G відхилиться в той чи інший бік
5. Натиснути кнопку "грубо" і, переміщуючи повзунок реохорда C , встановити стрілку гальванометра G на нуль (грубо). Не віджимаючи кнопки «грубо», натиснути кнопку «точно» і встановити стрілку гальванометра G на нуль (точно).
6. Відрахувати довжину ділянки реохорду l_x (у мм) і записати в таблицю. Вимірювання провести не менше 3 разів за вище викладеною методикою, попередньо зміщуючи повзунок реохорда від встановленого значення в ту чи іншу сторону.
7. Перевести перемикач у положення ε_n (тобто від'єднати досліджуваний елемент з ЕРС ε_x та приєднати замість нього елемент Вестона ε_n). За методикою, викладеною в пунктах 5,6 знайти умову компенсації для ε_n . Записати в таблицю довжину ділянки струни реохорду l_n , яка відповідає умові компенсації відомої ЕРС.
8. Визначити невідому ЕРС та зробити статистичну обробку результатів вимірювань.

Таблиця

i	l_{xi} , мм	l_n , мм	$\varepsilon_{xi} =$ $\varepsilon_n(l_{xi}/l_n)$	$\langle \varepsilon_x \rangle$, В	$\Delta \varepsilon_{xi} =$ $\langle \varepsilon_x \rangle - \varepsilon_{xi}$	$(\Delta \varepsilon_{xi})^2$	S	$\langle \Delta \varepsilon_x \rangle$
1								
2								
3								
4								
5								

Остаточний результат записати у вигляді

$$\varepsilon_x = (\langle \varepsilon_x \rangle \pm \Delta \langle \varepsilon_x \rangle), \text{ В}$$

Контрольні питання

- Які сили називають сторонніми? Дайте визначення ЕРС джерела струму.
- Сформулюйте закон Ома для замкненого кола.
- Чому звичайним вольтметром неможливо виміряти ЕРС джерела струму?
- У чому полягає метод компенсації?

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.С.. – 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.