

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота № 2-2
**ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ
МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦІЇ**

Виконана студ. групи _____

Київ-2022

Лабораторна робота № 2-2

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦІЇ

Мета роботи: ознайомитися з компенсаційним методом вимірювання електрорушійної сили (напруги).

Прилади та пристрої: нормальний елемент Вестона, елемент із невідомою електрорушійною силою (ЕРС) типу Лекланше, джерело сталого струму УИП-2, реохорд, обмежувальний опір, гальванометр типу М314 або М2031, перемикач.

Теоретичні відомості

Робота кулонівських (інакше – електростатичних) сил при переміщенні заряду по замкнутому контуру дорівнює нулю. Тому електростатичне поле не може підтримувати сталий струм у колі. Енергія носіїв струму розсіюється (відбувається нагрівання провідника), її втрати треба компенсувати. Для цієї мети використовується довільне джерело сил неелектростатичного походження або, як кажуть, джерело сторонніх сил.

Якщо E^{ct} – напруженість поля сторонніх сил, то робота переміщення заряду q по усьому колу $A = q \oint E^{ct} dl \neq 0$. Відношення работ до величини перенесеного заряду, тобто робота, яка *чисельно* дорівнює роботі переміщенню одиничного заряду по замкнутому контуру, або ж на ділянці електричного кола від точки 1 до точки 2, називається **електрорушійною силою джерела (ЕРС)**:

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q} = \oint E^{ct} dl.$$

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q} = \int_1^2 E^{ct} dl.$$

ЕРС джерела вимірюють у тих самих одиницях, що і різницю потенціалів. У міжнародній системі одиниць (СІ) цією одиницею є вольт (В).

Створювати ЕРС можуть дифузія іонів в електролітах, зміна магнітного поля, що пронизує контур (електромагнітна індукція) тощо. Ділянка кола, яка включає джерело сторонніх сил, називається **неоднорідною**. Для такої ділянки має місце узагальнений закон Ома (див. п.15.6):

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}. \quad (2.1)$$

тут I – сила струму, що тече в напрямку від точки 1 до точки 2 (див. рис. 2.1), \mathcal{E}_{12} – ЕРС джерела, R – загальний опір ділянки, φ_1, φ_2 – потенціали точок 1 і 2. Як I , так і \mathcal{E}_{12} – величини алгебраїчні. Якщо ЕРС сприяє рухові додатних зарядів у вибраному напрямі (1→2 на рис.2.1), то $\mathcal{E}_{12} > 0$, якщо ж протидіє, то $\mathcal{E}_{12} < 0$.

Сума різниці потенціалів на кінцях ділянки та ЕРС, що діє на цій ділянці, називається напругою:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}. \quad (2.1)$$

З формули (2.1) для електрорушійної сили матимемо:

1. Якщо коло розімкнуте ($I = 0$), то

$$\mathcal{E}_{12} = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (2.2)$$

тобто ЕРС джерела дорівнює різниці потенціалів на клеммах ненавантаженого джерела.

2. Для замкнутого кола $\varphi_1 = \varphi_2$ (точки 1 і 2 співпадають), маємо

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}. \quad (2.3)$$

Урахувавши, що загальний опір кола R складається із зовнішнього опору r_e та внутрішнього опору r_i джерела струму: $R = r_e + r_i$, вираз (2.3) перепишемо так:

$$\mathcal{E} = Ir_e + Ir_i \Rightarrow U = Ir_e = \mathcal{E} - Ir_i. \quad (2.4)$$

Звідси видно, що напруга $U = Ir_e$ на зовнішній ділянці кола менша за ЕРС на величину падіння напруги на внутрішньому опорі джерела струму – Ir_i . Тому виміряти ЕРС безпосередньо вольтметром неможливо. Однак, якщо опір вольтметра дуже великий у порівнянні з опором кола (формально можна вважати, що опір вольтметра прямує до нескінченності і в такому разі кажуть, що вольтметр є ідеальним), то струм у колі дорівнює нулю ($I = 0$), і тоді з (2.4) маємо: $U = \mathcal{E}$.

Суть методу, який застосовується для визначення ЕРС, можна пояснити за допомогою схеми, зображеної на рис. 2.1. Два джерела з ЕРС \mathcal{E} та \mathcal{E}_1 (при цьому $\mathcal{E} > \mathcal{E}_1$) вмикаються назустріч один одному. Опори r_1 та r_1' є змінними, однак під час досліду **повинна виконуватись умова:**

$$r_1 + r_1' = \text{const}. \quad (2.5)$$

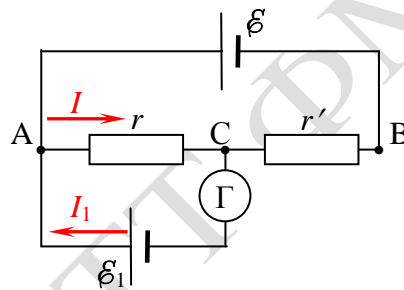


Рис. 2.1

Змінюючи опори r_1 та r_1' можна відрегулювати різницю потенціалів точок А і В так, щоб вона дорівнювала ЕРС джерела \mathcal{E}_1 . При цьому сила струму $I_1 = 0$. Це означає, що

$$\mathcal{E}_1 = Ir_1. \quad (2.6)$$

Із сказаного зрозуміло, чому метод має назву метода компенсації: **відсутність струму у колі елемента \mathcal{E}_1 обумовлена компенсацією ЕРС цього елемента падінням напруг на ділянці АС.**

Якщо джерело \mathcal{E}_1 замінити на джерело, ЕРС якого дорівнює \mathcal{E}_2 , то підібравши відповідним чином опір r_2 ділянки АС, отримаємо

$$\mathcal{E}_2 = Ir_2. \quad (2.7)$$

Пам'ятаймо, що при цьому має змінитися і опір r_1' (позначимо його r_2'), бо повинна виконуватись умова (2.5): $r_1 + r_1' = r_2 + r_2' = r = \text{const}$.

Поділивши почленно (2.6) на (2.7), отримаємо

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{r_1}{r_2}. \quad (2.8)$$

Пропорція (2.8) є робочою формулою, яку використовують для визначення невідомої електрорушійної сили, якщо є джерело з відомою ЕРС. Тому цей метод має ще назву метода порівняння.

За звичай у якості джерела з відомою ЕРС використовують так званий нормальний елемент, або елемент Вестона, ЕРС якого \mathcal{E}_N відома з великою точністю. Електродами нормального елемента служать кадмій і ртуть, а електролітом – розчин сірчанокислового кадмію. Електрорушійна сила \mathcal{E}_N задається до четвертого знаку після коми, також у паспорті наведено температурну поправку.

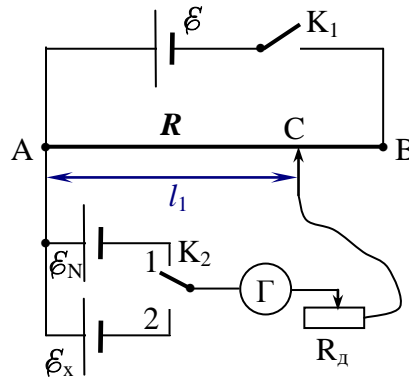


Рис. 2.2

Якщо у формулі (2.8) замінити \mathcal{E}_2 на \mathcal{E}_N , а \mathcal{E}_1 – на \mathcal{E}_x , то отримаємо робочу формулу для визначення невідомої електрорушійної сили елемента \mathcal{E}_x :

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_N \cdot \frac{r_1}{r_2}. \quad (2.9)$$

На практиці (див. рис.2.2) ділянка AB – це однорідна струна, яку називають **реохордом**. Опір ділянки AC , позначений тут R , еквівалентний r_1 (або r_2), а опір ділянки CB – r_1' (r_2'), при цьому вимога (2.5) виконується автоматично.

Опір R частини реохорда AC , падіння напруги на якому компенсує відому ЕРС джерела \mathcal{E}_N , пропорційне довжині l_1 цієї частини реохорда (на рис. 2.2 ключ K_2 знаходиться в позиції 1).

Якщо ми замінимо в електричному колі \mathcal{E}_N на \mathcal{E}_x – на схемі (рис. 2.3) ключ K_2 переключимо в позиції 2, то повинно змінитись і значення падіння напруги на ділянці AC , яке має скомпенсувати тепер вже іншу, невідому електрорушійну силу \mathcal{E}_x . Опір ділянки AC і, відповідно, падіння напруги на цій ділянці змінюють, зміщуючи точку C на реохорді. Позначимо нову довжину AC цієї частини реохорда l_1' . У такому разі відношення опорів (r_1/r_2) у (2.13) можна замінити на відношення відповідних довжин:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{l_1}{l_1'}.$$

Тепер розрахункова формула набере вигляду:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_N \cdot \frac{l_1'}{l_1}. \quad (2.10)$$

Опис експериментальної установки

Для вимірювання ЕРС джерела струму використовується установка, електрична схема якої зображена на рис. 2.2.

Як джерело струму з невідомою ЕРС використовується сухий елемент. Живлення схеми здійснюється від стабілізованого виходу "3-9 В" (джерело з ЕРС \mathcal{E} на схемі) універсального джерела живлення УИП-2. Роль джерела струму з відомою ЕРС \mathcal{E}_N виконує нормальний елемент Вестона, ЕРС якого дорівнює 1,0183 В. Електрорушійні сили елементів \mathcal{E}_N і \mathcal{E}_x компенсуються падінням напруги на ділянці АС реохорда АВ. Перемикач K_2 служить для замикання кола гальванометра Г на елемент з невідомою ЕРС \mathcal{E}_x (поз.2) або на нормальний елемент \mathcal{E}_N (поз.1). Для обмеження струму, який протікає через гальванометр у некомпенсованій схемі, в коло гальванометра введено додатковий обмежувальний опір R_d .

Порядок виконання роботи

1. Скласти коло за схемою, зображеною на рис. 2.2.
2. Поставити перемикач K_2 у нейтральну позицію і встановити повзунок реохорда С, приблизно, посередині.
3. Повністю ввести опір R_d і замкнути вимикач K_1 .
4. Замкнути за допомогою перемикача K_2 гальванічний елемент з відомою ЕРС \mathcal{E}_N і переміщенням повзуна реохорда домогтися відсутності струму в колі гальванометра Г.
5. Вимкнути гальванічний елемент \mathcal{E}_N і зменшити опір R_d . Увімкнути елемент \mathcal{E}_N і, зменшуючи опір R_d до нуля і одночасно уточнюючи положення повзуна на реохорді, знову встановити стрілку гальванометра на нуль. Визначити довжину ділянки реохорда $AC = l_1$, яка забезпечує відсутність струму, і занести її значення до табл. 2.1. Повторити дослід 3-5 разів.
6. Виконати операції, описані в пп. 2 – 5, увівши в коло за допомогою перемикача K_2 досліджуваний елемент \mathcal{E}_x замість \mathcal{E}_N . Занести до табл.2.1 значення довжини плеча реохорда l'_1 .

Таблиця 2.1

Довжина плеча реохорда, см			Еталонна ЕРС \mathcal{E}_N	Невідома ЕРС \mathcal{E}_x	
n	l_1	l'_1	$\mathcal{E}_N = 1,0183 \text{ В}$	n	
1				1	
2				2	
3				3	
4				4	
5				5	

7. Обчислити середнє значення ЕРС невідомого елемента:

$$\langle \mathcal{E}_x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^5 \mathcal{E}_{xi}}{5} =$$

8. Розрахувати середню стандартну похибку вимірювань (див. Теорію похибок, лаб. робота №1-1).

9. Записати кінцевий результат у вигляді:

“шукана величина = середнє значення $\langle \mathcal{E}_x \rangle \pm$ середня стандартна похибка”

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається ЕРС джерела струму?
2. Яка роль сил неелектростатичного походження (сторонніх сил) в електричних колах?
3. Що являє собою неоднорідна ділянка електричного кола? Як записати закон Ома для такої ділянки?
4. У чому полягає метод компенсації?
5. Чому ЕРС \mathcal{E} повинна бути більшою від ЕРС \mathcal{E}_N і \mathcal{E}_x ?
6. Які переваги методу компенсації у порівнянні з безпосереднім вимірюванням ЕРС за допомогою вольтметра? На скільки відрізняються покази вольтметра від ЕРС джерела?
7. Яка будова нормального елемента?
8. Чому елементи \mathcal{E} , \mathcal{E}_N і \mathcal{E}_x повинні бути з'єднані однойменними полюсами?
9. Яке призначення опору R_d у колі гальванометра?

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.2. –К.: “Техніка”, 2001.
2. Бушок Г. В. Венгер. Курс фізики : у 3 кн. Кн. 2. Електрика і магнетизм: Навч. посіб. – К: Вища школа, 2003. §§20-25. С. 53 – 65.
https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Byshok_P2_2003_278.pdf
3. Бригінець В.П., Подласов С.О. ФІЗИКА ДЛЯ БАКАЛАВРІВ. ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ. Електричне коло <https://physics.zfft.kpi.ua/mod/book/view.php?id=297&chapterid=364>