

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Приазовський державний технічний університет»
Кафедра фізики

Цветкова О.В.

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ
ДЖЕРЕЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ
МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦІЇ**

Методичні вказівки
по виконанню лабораторної роботи № 42
по курсу «Фізика»
для студентів усіх спеціальностей
всіх форм навчання

Маріуполь
2019

УДК 621.317/32

Визначення електрорушійної сили джерела постійного струму методом компенсації [Електронний ресурс]: методичні вказівки по виконанню лабораторної роботи №42 з курсу «Фізика» для студентів усіх спеціальностей всіх форм навчання / Сост. Е.В.Цветкова.-Маріуполь: ПДТУ, 2019-9с.

Містять основні теоретичні положення щодо умов існування електричного струму (наявність ЕРС в колі), а також основні положення методу компенсації вимірювання електрорушійної сили, опис електричної схеми та методики вимірювання.

Составник

доц. Цветкова О.В.

Рецензент

проф. Єфременко В.Г.

Затверджено

на засіданні кафедри фізики,
протокол № 4 від 29 жовтня 2019 р.

Затверджено

на засіданні методичної комісії
факультету інформаційних технологій,
протокол № 4 від 11 листопада 2019 р.

©ДВНЗ «ПДТУ», 2019

©О.В.Цветкова, 2019

ВСТУП

«Електродинаміка» один з великих розділів курсу фізики, який є фундаментом не тільки для електротехнічних спеціальностей, а й для будь-якої спеціальності, що використовує електрику. Тому дана робота актуальна при вивченні таких основних понять, як електрична схема, струм, напруга, опір, джерело струму і вимірювальні прилади.

1 ЦІЛЬ РОБОТИ

На практиці ознайомитися з класичним методом вимірювання електрорушійної сили джерела струму – методом компенсації.

Вказівки з підготовки до роботи: опрацюйте дане керівництво; вивчіть лекційний матеріал по темі «Постійний електричний струм»; самостійно виведіть робочу формулу і дайте відповідь на контрольні питання.

2 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Електрорушійна сила джерела струму

Електричним струмом називається впорядкований рух електричних зарядів під дією електричного поля. Для створення постійного струму в провіднику потрібно підтримувати постійну різницю потенціалів на його кінцях. Отже, в колі струму необхідним є пристрій, в якому рух зарядів відбувається в напрямку, протилежному напрямку цього руху в зовнішньому колі (від «мінуса» до «плюса»). Подібний пристрій, що зветься джерелом струму (або генератором) має діяти на електрони (або інші заряди) силами неелектростатичного походження. Ті сили, крім електростатичних, які діють на заряди і змушують їх рухатися проти сил електричного поля, називаються сторонніми силами. Якби цих сил в замкнутому колі не існувало, то робота

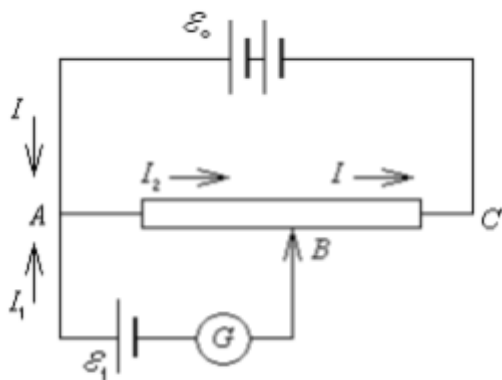
по переміщенню зарядів по замкнутому колу тільки за рахунок електростатичних сил дорівнювала б нулю. Однак досліди показують, що в провіднику зі струмом виділяється певна кількість теплоти. Отже, необхідно існування джерела енергії, що підтримує струм в колі і заповнює спад енергії на нагрівання провідника. Фізична величина, яка визначається роботою, яку здійснюють сторонні сили $A_{ст}$ при переміщенні одиничного позитивного заряду q , називається *електрорушійною силою* (ЕРС) джерела струму, що діє в ланцюзі

$$\mathcal{E} = \frac{A_{cm}}{q} \quad (2.1)$$

Знайомий усім приклад пристрою, що підтримує постійний струм в колі, – джерело живлення для кишенькового ліхтаря, або автомобільний акумулятор, де сторонніми силами є хімічні сили. В цих пристроях сили виникають за рахунок енергії хімічних реакцій між електродами та електролітами.

2.2 Теорія метода компенсації

Суть методу можна зрозуміти, аналізуючи принципову схему, зображену на рис. 1. У цій схемі два елементи з електрорушійними силами $\mathcal{E}_0$ і $\mathcal{E}_1$, і внутрішніми опорами r і r_1 ,



відповідно, приєднані до деякого опору $R = R_{AB} + R_{BC}$, де R_{AB} і R_{BC} відповідно опору ділянок ланцюга AB і BC. Звернемо увагу на те, що джерела електрорушійних сил в схемі з'єднані один з одним однойменними полюсами. У разі, якщо $\mathcal{E}_0$ більше $\mathcal{E}_1$, можна

4 Рисунок 1 – Електрична схема метода компенсації

змінюю опорів R_{AB} і R_{BC} домогтися варіанта, коли струм через гальванометр текти не буде. Відсутність струму в колі гальванометра показує, що електрорушійна сила елемента ε_1 цілком врівноважується або компенсується падінням потенціалу між точками А і В, тобто при відсутності струму в колі гальванометра різниця потенціалів між точками А і В дорівнює електрорушійній силі невідомого елемента.

Розглянемо умови, при яких сила струму I_1 в ланцюзі елемента ε_1 і гальванометра G буде дорівнювати нулю. Для цього напишемо рівняння першого і другого законів Кірхгофа. Для розгалуження в точці А маємо

$$I + I_1 - I_2 = 0$$

Для контура $ABC\varepsilon_oA$:

$$I(r + R_{BC}) + I_2 R_{AB} = \varepsilon_o$$

Для контура $A\varepsilon_1GBA$:

$$I_1(r_1 + r_G) + I_2 R_{AB} = \varepsilon_1$$

Якщо $I_1=0$ струм $I = I_2$, а останні рівняння дають рішення

$$\varepsilon_1 = \frac{R_{AB} \varepsilon_o}{r + R_{AB} + R_{BC}} . \quad (2.2)$$

Якщо замість ε_1 підключити елемент ε_2 умова рівності нулю струму через гальванометр буде досягнуто при деякому відмінному опорі $R'_{AB'}$, а останнє рівняння запишеться у вигляді

$$\varepsilon_2 = \frac{R'_{AB'} \varepsilon_o}{r + R_{AB'} + R_{B'C}} . \quad (2.3)$$

Поділив формулу (2.2) на (2.3) отримаємо

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{R_{AB}}{R'_{AB'}} . \quad (2.4)$$

Якщо електрорушійна сила елемента ε_1 відома, то, знаючи опори R_{AB} і $R'_{AB'}$, можна визначити електрорушійну силу елемента ε_2 :

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{R'_{AB'}}{R_{AB}} \quad (2.5).$$

Таким чином, порівняння електрорухомих сил двох елементів може бути практично зведено до порівняння двох опорів, використаних при компенсаційних вимірюваннях.

Метод компенсації для вимірювань електрорухомих сил має низку істотних переваг. По-перше, сила струму через елементи, електрорушійні сили яких порівнюються між собою, близькі до нуля. Тому падіння напруги всередині елемента, що знижує значення різниці потенціалів, яку вимірюють на полюсах елемента, практично немає. У цьому методі, якщо використовувать чутливий гальванометр, струм через елемент може бути зменшений до 10^{-9} А. Відповідно не грає також ролі і падіння напруги в проводах, що з'єднують елемент з вимірювальною схемою. По-друге, при компенсаційному методі вимірювань гальванометр працює як нульовий прилад і градування його шкали в результат вимірювань не входить. Опори, що входять в остаточний вираз (2.5) можуть бути виміряні з точністю до сотих часток відсотка. Нарешті, величина електрорушійної сили допоміжної батареї ε_0 також не входить в остаточний результат. Необхідно лише, щоб значення її електрорушійної сили під час вимірювань було постійним.

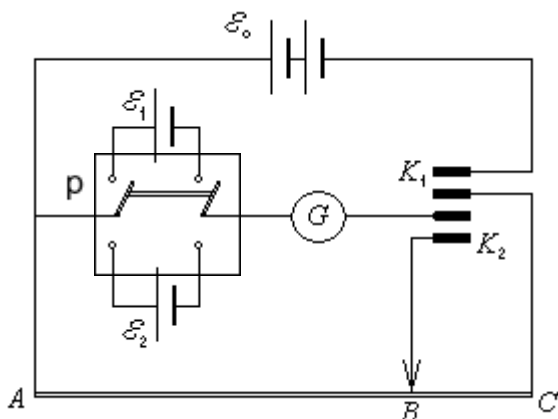
В якості опору беруть реохорд – високоомний калібрований дріт. Опір ділянок реохорда можна пов'язати з їх

довжиною l за формулою $R = \rho \frac{l}{S}$, де ρ – питомий опір, S – площа перетину дроту. З урахуванням останнього факту робочу формулу (2.5) можна переписати у вигляді

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{l_2}{l_1}, \quad (2.6)$$

де l_1 и l_2 – довжини ділянок реохорда при відсутності струму в колі гальванометра після ε_1 та ε_2 , відповідно.

3 ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ



Електричне коло має:

1. Акумуляторну батарею з ЕРС ε_0 .
2. Комутатор ρ , за допомогою якого можна включати в коло потрібний елемент ε_1 або ε_2 .
3. Гальванометр G .
4. Подвійний ключ K , призначення якого спочатку замикати основне коло з батареєю акумуляторів, а потім – коло гальванометра (це необхідно для того, щоб оберегти гальванометр від миттєвих імпульсних струмів, які виникають в перший момент в ланцюзі батареї ε_1 , так як в перший момент компенсуючий струм відсутній).

5. Реохорд (ділянка ланцюга ABC), на якому є рухливий контакт В.

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

Робоча формула:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{l_2}{l_1}, \quad (4.1)$$

де l_1 и l_2 – довжини ділянок реохорда при відсутності струму в ланцюзі гальванометра після включення ε_1 і ε_2 , відповідно.

1. Складіть електричну схему.
2. Встановіть контакт В посередині реохорда.
3. Підключіть за допомогою комутатора Р елемент з відомою ε_1 і при короткочасному натисканні на ключ К добийтеся пересуванням движка реохорда В відсутності струму в колі гальванометра (стрілка гальванометра при натисканні на ключ повинна залишатися нерухомою).
4. Виміряйте довжину l_1 плеча АВ.
5. Аналогічно п.3 підключіть елемент ε_2 , добийтеся відсутності струму в колі гальванометра. Виміряйте довжину плеча l_2 .
6. Дослід (п.3-5) повторіть ще 6 разів. Результати вимірювань занесіть в таблицю 4.1 даних.

Таблиця 4.1

$\varepsilon_1 =$						
№	$l_{1i}, \text{см}$	$l_{1i} - \langle l_1 \rangle$	$(l_{1i} - \langle l_1 \rangle)^2$	$l_{2i}, \text{см}$	$l_{2i} - \langle l_2 \rangle$	$(l_{2i} - \langle l_2 \rangle)^2$
1						
2						
3						

4						
5						
6						
7						
Σ		----			----	

- Визначте вибіркові середні плечей $\langle l_1 \rangle$ і $\langle l_2 \rangle$, як середнє арифметичне вимірювань в дослідах.
- Задайтесь довірчою ймовірністю P_α , визначте довірчі інтервали Δl_1 та Δl_2 [3].
- Розрахуйте за формулою (4.1) невідоме ЕРС $\langle \varepsilon_2 \rangle$.
- Розрахуйте довірчий інтервал $\Delta \varepsilon_2$ за схемою обробки результатів непрямих вимірювань. Запишіть результат у вигляді:

$$\varepsilon_2 = \langle \varepsilon_2 \rangle \pm \Delta \varepsilon_2, \text{ за } P_\alpha = \dots\dots\dots$$

Зробіть висновки по роботі.

4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- Сформулюйте умови існування електричного струму.
- Дайте пояснення поняттям: сторонні сили, електрорушійна сила, джерело струму. В яких одиницях вимірюється ЕРС?
- Поясніть принцип вимірювань компенсаційним методом.
- Що таке комутатор і яке призначення його в електричному колі?
- Яку роль виконує реохорд в електричному колі?
- Сформулюйте правила Кірхгофа.
- Виведіть робочу формулу. Сформулюйте переваги вимірювань методом компенсації.
- Виведіть формулу для розрахунку довірчого інтервалу $\Delta \varepsilon_2$.

5 СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Савельев И.В. Курс общей физики, т.2/И.В.Савельев-М.:Наука,1982.-496с. §31-36.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: Учебник для студентов вузов/Т.И.Трофимова-М.:Высш.шк.,1985.-432с. §95-100.
3. Математические методы обработки результатов физических измерений: методические указания по выполнению лабораторного практикума по курсу «Физика» для студентов всех специальностей всех форм обучения / Сост. В.И. Федун. - Мариуполь: ПГТУ, 2017 - 31 с.