

Українська державна академія залізничного транспорту

Кафедра „Фізика”

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3-9

„Визначення ЕРС джерела електричного струму методом компенсації”

Роботу виконав: студент(ка)

_____ (прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (курс)

_____ (група)

” ” _____ 20 р.

Роботу прийняв:

_____ (прізвище та ініціали викладача)

_____ (посада)

Оцінка:

за знання теорії

_____ (оцінка, бал)

за провед. експер.

_____ (оцінка, бал)

підсумкова

_____ (оцінка, бал)

_____ (дата і підпис викладача)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3-9

ВИЗНАЧЕННЯ ЕРС ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦІЇ

Мета роботи: ознайомлення з методом компенсації, та визначення ЕРС джерела електричного струму цим методом.

Прилади і матеріали: лабораторна установка.

Теоретичні відомості

Якщо в провіднику створити електричне поле, та не прийняти жодних заходів для його підтримання, то рух зарядів під дією цього поля приведе до того, що поле швидко зникне і струм припиниться. Для підтримання постійного електричного струму в провіднику, необхідно щоб на ділянці 1-2 (рис.1) носії струму рухались з точки з потенціалом φ_2 до точки з потенціалом φ_1 , ($\varphi_1 > \varphi_2$), тобто рухались в бік, протилежний напрямку електричного поля (для простоти міркувань припускаємо, що носії струму позитивні). Таке перенесення зарядів є можливим тільки під дією сил не електростатичного походження. Такі сили, які здатні переміщувати електричні заряди називаються – *сторонні сили*. Таким чином, для підтримання струму в ланцюгу необхідні сторонні сили, які діють або на окремих ділянках (зосереджене джерело ЕРС), або на всьому її протягу (розповсюджене джерело ЕРС). При цьому необхідно розуміти, що сили діють тільки всередині джерела.

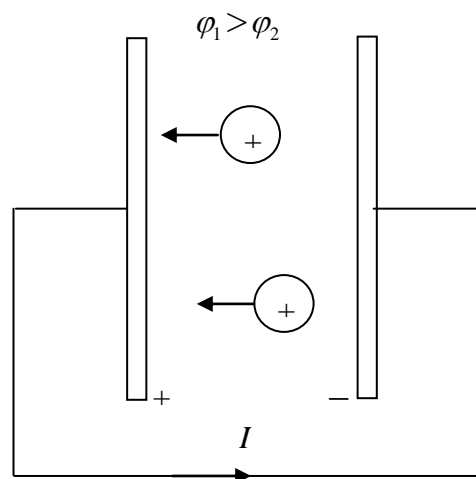


Рис.1

ЕРС є феноменологічною характеристикою джерел електричного струму, яку ввів Ом в 1827 році для ланцюгів постійного електричного струму. В 1857 році Кірхгоф визначив це поняття через роботу сторонніх сил A_{cm} , яка виконується при перенесенні одиничного позитивного заряду вздовж замкнутого контуру, тобто

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q} . \quad (9.1)$$

Зараз поняття ЕРС трактується більш ширше, як міру питомих перетворень енергій, які відбуваються у квазістаціонарних ланцюгах

електричного струму не тільки сторонніми джерелами, але і „навантажними” елементами (електродвигунами, дроселями, трансформаторами).

ЕРС є інтегральною характеристикою замкненого контуру, і в загальному випадку неможливо вказати місце її прикладання. Але досить часто ЕРС наближено можливо локалізувати в певних пристроях, або елементах ланцюга. В таких випадках її вважають характеристикою пристрою.

По типу перетворень енергії розрізняють наступні види ЕРС: *хімічна ЕРС*, у гальванічних елементах, акумуляторах і т.п.; *фотоелектрична ЕРС*, яка виникає при внутрішньому або зовнішньому фотоелефекті; *електромагнітна ЕРС*, яка використовується у динамо машинах, трансформаторах, дроселях, електричних двигунах і т.п.; *п'єзоелектрична ЕРС*, яка виникає при розтягуванні або стисканні п'єзоелектриків; *термоіонна ЕРС*, яка пов'язана з термічною емісією заряджених частинок з поверхні розігрітих електродів; *термоелектрична ЕРС*, яка виникає при контакті двох різнорідних провідників.

Величина, яка чисельно дорівнює роботі сторонніх і електростатичних сил при переміщенні одиничного позитивного заряду на даній ділянці ланцюга має назву „напруга U на даній ділянці”

$$U = \frac{A_{12}}{q} = \varepsilon_{12} + (\varphi_1 - \varphi_2). \quad (9.2)$$

Ділянка ланцюга, на якій не діють сторонні сили (тобто не має джерел) має назву *однорідна ділянка*. Для цієї ділянки

$$U = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (9.3)$$

Ділянка, на якій на носії струму діють сторонні сили (присутні джерела) має назву *неоднорідна ділянка*

$$U = \varepsilon_{12} + (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Якщо ділянка замкнена, то $\varphi_1 = \varphi_2$, звідси $U = \varepsilon$. По закону Ома

$$I = \frac{U}{R^*}, \quad (9.4)$$

де $R^* = R + r$ - повний опір ланцюга, R - опір зовнішнього ланцюга, r - внутрішній опір джерела.

Для замкненого ланцюга

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

звідси маємо, що ЕРС визначається як $\varepsilon = IR + Ir$, тобто дорівнює сумі напруг на зовнішньому та внутрішньому опорах. Напруга на зовнішньому опорі завжди менш ЕРС на напругу $U = Ir$. Тому вимірювання ЕРС не можна проводити звичайним вольтметром магнітоелектричної системи, який для своєї роботи вимагає наявності струму в ланцюгу вольтметра. Для вимірювання ЕРС використовують або статистичні вольтметри, або використовують непрямі методи, наприклад, такі як метод компенсації. Сенс методу компенсації полягає в тому, що підключаються два гальванічних елементи назустріч друг другу та домагаються щоб струм через деякий з них

дорівнював нулю. При цьому напруга на його клеммах буде дорівнювати ЕРС, тобто спад напруги на внутрішньому опорі буде прагнути до нуля і не буде відігравати суттєвої ролі.

В даній лабораторній роботі пропонується виміряти ЕРС джерела методом компенсації. За еталон джерела, з яким буде порівнюватися ЕРС невідомого джерела беремо нормальний елемент Вестона, як елемент зі тривалою постійною ЕРС рівною 1,019 В.

Принципова схема установки зображена на рис. 2. Якщо ЕРС невідомого елемента ε_x більше ніж ЕРС елемента Вестона ε_1 , то між точками М та N завжди знайдеться таку точку L, щоб

$$\varphi_L - \varphi_M = \varepsilon_1,$$

де φ_L - потенціал крапки L, φ_M - потенціал точки М. Тоді гальванометр G, який грає роль нульового пристрою, не виявить струму в ланцюгу $L\varepsilon_1M$.

Опір ділянці LN позначимо як R_1 , ML – R_2 . В цьому випадку, за законом Ома для повного ланцюга маємо

$$I = \frac{\varepsilon_x}{R_1 + R_2 + r_x}, \quad (9.5)$$

де I - струм в ланцюгу ε_x , r_x - внутрішній опір елемента ε_x . Різниця потенціалів $\varphi_L - \varphi_M = R_2 I$ дорівнює ЕРС нормального елемента ε_1 . Використовуючи (9.6) знаходимо

$$\varepsilon_1 = R_2 \frac{\varepsilon_x}{R_1 + R_2 + r_x}.$$

Таким чином

$$\varepsilon_1 (R_1 + R_2 + r_x) = R_2 \varepsilon_x. \quad (9.6)$$

Рівняння (9.7) має два невідомих параметри ε_x та r_x . Для того, щоб знайти невідому ЕРС потрібно врівноважити ланцюг іншими опорами R_1' та R_2' , для яких маємо також саме рівняння

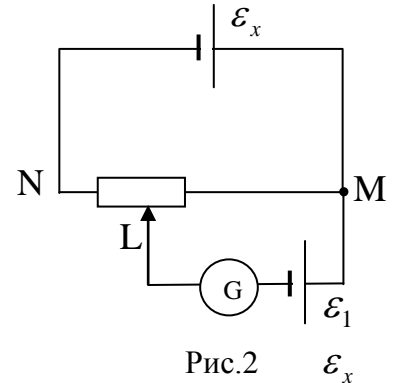
$$\varepsilon_1 (R_1' + R_2' + r_x) = R_2' \varepsilon_x. \quad (9.7)$$

Відніmemo з (9.6) рівняння (9.7)

$$\varepsilon_1 (R_1 - R_1') + \varepsilon_1 (R_2 - R_2') = \varepsilon_x (R_2 - R_2').$$

Невідому ЕРС знаходимо за формулою

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1 \left(1 + \frac{R_1 - R_1'}{R_2 - R_2'} \right). \quad (9.8)$$



Послідовність виконання роботи

1. Вивчити електричний ланцюг зображений на рис.3.
2. Включити ключ K_1 .
3. Встановити магазин опорів R_2 в положення 1000 Ом.
4. Підібрати значення опору R_1 , таке щоб струм через гальванометр дорівнював нулю. Ланцюг гальванометра треба включати на короткий час, щоб не змінити значення ЕРС еталонного елемента Вестона.
5. Занести значення R_1 до таблиці.
6. Повторити знаходження опору R_1 для наступних значень опору $R_2 = 2000, 3000, 4000$ Ом та заповнити таблицю.
7. Обчислити ЕРС невідомого елемента.
8. Обчислити відносну та абсолютну похибки.

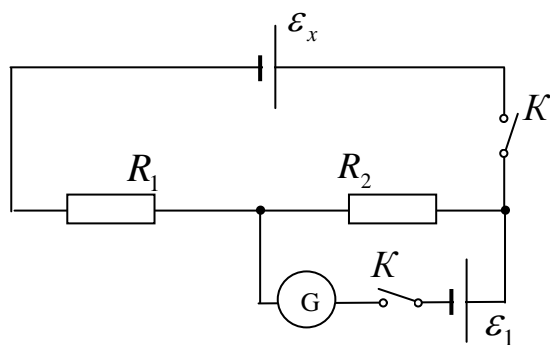


Рис.3

ε_x
 ε_x

Контрольні питання

1. Як визначається ЕРС, в чому вона вимірюється?
2. Які сили називають сторонніми?
3. Як визначається напруга, в чому вона вимірюється?
4. Що таке неоднорідна ділянка?
5. Яке поле має назву потенційне? Чи є потенційним поле сторонніх сил?
6. Чому дорівнює робота сторонніх сил?
7. Запишіть закон Ома для однорідної та неоднорідної ділянки ланцюга.
8. Чому ЕРС неможливо виміряти звичайним вольтметром?
9. Як визначається потенціал, в чому він вимірюється?
10. В чому полягає суть методу компенсації?

Звіт про виконану роботу

1. Робоча формула:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1 \left(1 + \frac{R_1 - R_1'}{R_2 - R_2'} \right) - \text{невідома ЕРС.}$$

- 1.1 Величини, що вимірюються:
 R_1 - електричний опір. $[R] = \text{Ом.}$

- 1.2 Табличні величини:

$$R_2 = 1000, 2000, 3000, 4000 \text{ Ом.}$$

- 1.3 Величина, що обчислюється:

ε_x - ЕРС; $[\varepsilon_x] = B$.

2. Результати експерименту

$R_2, \text{ Ом}$	1000	2000	3000	4000
$R_1, \text{ Ом}$				

Результати експерименту підтверджую _____
(дата і підпис викладача)

2. Обробка результатів експерименту

Обчислити невідому ЕРС у трьох випадках

$$\varepsilon_{x1} = \varepsilon_1 \left(1 + \frac{R_1 - R_1'}{R_2 - R_2'} \right) = 1,019 \left(1 + \frac{R_1 - R_1'}{1000 - 2000} \right) =$$

$$\varepsilon_{x2} = \varepsilon_1 \left(1 + \frac{R_1 - R_1'}{R_2 - R_2'} \right) = 1,019 \left(1 + \frac{R_1 - R_1'}{1000 - 3000} \right) =$$

$$\varepsilon_{x3} = \varepsilon_1 \left(1 + \frac{R_1 - R_1'}{R_2 - R_2'} \right) = 1,019 \left(1 + \frac{R_1 - R_1'}{1000 - 4000} \right) =$$

Знайти середнє значення ЕРС та обчислити відносну і абсолютну похибки.

3. Висновки:
