

## Тема 21. Електровимірювальні прилади. Електричне коло. Електрорушійна сила.

### Закони постійного струму

Для виникнення електричного струму необхідно створити на кінцях провідника різницю потенціалів і постійно підтримувати її. Ця умова буде виконана, якщо в електричному колі є джерело струму.

**Джерело струму** має два полюси: позитивний і негативний. При розімкненому зовнішньому колі на негативному полюсі джерела струму буде надлишок електронів, а на позитивному їх не вистачатиме. Зрозуміло, що таке розділення зарядів у межах джерела струму відбувається під дією сил, що мають некулонівську природу. Ці додаткові сили неелектричного походження, що діють у межах джерела струму, називаються **сторонніми**. Природа сторонніх сил може бути хімічною (гальванічні елементи, акумулятори), тепловою (термоелементи) тощо.

Характеризує сторонні сили фізична величина, що називається **електрорушійною силою (ЕРС)**. ЕРС (позначається літерою  $\varepsilon$ ) дорівнює роботі сторонніх сил по переміщенню одиничного позитивного заряду в замкнутому електричному колі:

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{стор}}}{q}.$$

**Одиниця вимірювання електрорушійної сили в СІ – 1 Вольт (В).** Потрібно зазначити, що термін «електрорушійна сила» є досить невдалим, оскільки ЕРС характеризує джерело струму з енергетичного боку.

У разі замкненого електричного кола на будь-якій ділянці його зовнішньої частини є деяка різниця потенціалів  $\varphi_2 - \varphi_1 = U$ , її називають **напругою**, або **спадом напруги**, на цій ділянці кола.

Ділянка кола, що містить ЕРС, називається **неоднорідною** (рис. 1).

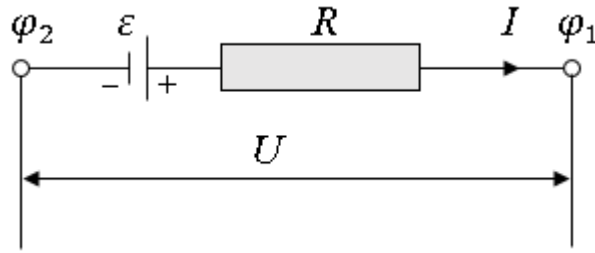


Рис. 1. Неоднорідна ділянка кола.

**Закон Ома для неоднорідної ділянки кола:**

$$U = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon .$$

Якщо замкнене коло складається із джерела струму з ЕРС ( $\varepsilon$ ) і внутрішнім опором  $r$  та зовнішньої частини з опором  $R$  (рис. 2), то силу струму в колі визначають за формулою:

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

Це співвідношення називають **законом Ома для повного кола**: *сила струму в замкненому колі прямо пропорційна величині ЕРС ( $\varepsilon$ ), що діє в цьому колі, й обернено пропорційна його повному опору.*

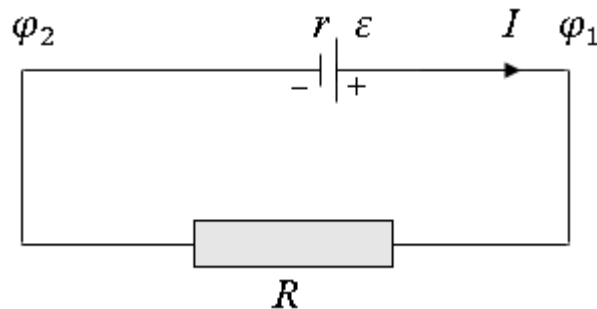


Рис. 2. Закон Ома для повного кола.

Підключення до полюсів джерела струму провідника з нехтовно малим опором називають **коротким замиканням**. В цьому випадку зовнішній опір  $R \rightarrow 0$ . **Сила струму короткого замикання** дорівнює:

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r} .$$

## Вимірювання сили струму та напруги.

Для **вимірювання сили струму** в провіднику **послідовно** з ним вмикають **амперметр**. Зазначимо, що амперметр має деякий опір  $R_a$ . Тому опір ділянки кола з увімкненим амперметром збільшується, і за незмінної напруги сила струму зменшується. Для того, щоб амперметр чинив якомога менший вплив на силу струму, що вимірюється, його внутрішній опір роблять дуже малим. Якщо підключити амперметр напряму до мережі, станеться коротке замикання.

Для розширення меж вимірювання в амперметрах використовують **шунти**, які приєднуються паралельно до амперметра. Нехай амперметр, розрахований на номінальний струм  $I_0$ , має опір  $R_a$ . Визначимо опір шунта, щоб прилад міг виміряти більшу силу струму  $I = nI_0$ , де число  $n$  означає відношення струмів. Враховуючи, що шунт підключено паралельно до амперметра, можна показати, що опір шунта визначається так:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_a}{n - 1}.$$

Для того, щоб **виміряти напругу** на ділянці кола з опором  $R$ , до неї **паралельно** підключають **вольтметр**. Після ввімкнення вольтметра з опором  $R_v$  опір ділянки зміниться, відповідно зменшиться напруга, що вимірюється. Для того, щоб вольтметр не вносив помітних змін до вимірів напруги, його опір повинен бути більшим у порівнянні з опором ділянки кола, на якій проводяться вимірювання.

Для розширення меж вимірювання в вольтметрах використовують **додаткові опори**, які вмикаються послідовно з вольтметром. Нехай вольтметр, розрахований на напругу  $U_0$ , має опір  $R_v$ . Знайдемо значення додаткового опору, щоб прилад міг виміряти більшу напругу  $U = nU_0$ , де число  $n$  означає відношення напруг. Можна показати, що додатковий опір дорівнює:

$$R_d = R_v(n - 1).$$

**Приклад 1.** Від джерела з ЕРС 12 В зарядили конденсатор до заряду  $10^{-3}$  Кл. Яку роботу виконали сторонні сили джерела?

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{стор}}}{q},$$

$$A_{\text{стор}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 12 \text{ мДж}.$$

**Відповідь:** 12 мДж.

**Приклад 2.** До акумулятора з ЕРС 6 В та внутрішнім опором 0,5 Ом під'єднали опір 5,5 Ом. Знайдіть напругу на клеммах акумулятора.

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{6}{5,5 + 0,5} = 1 \text{ А}.$$

$$U = I \cdot R = 1 \cdot 5,5 = 5,5 \text{ В}.$$

**Відповідь:** 5,5 В.

**Приклад 3.** ЕРС батареї акумуляторів дорівнює 6 В, а внутрішній опір 0,25 Ом. Знайдіть силу струму короткого замикання.

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{6}{0,25} = 24 \text{ А}.$$

**Відповідь:** 24 А.

**Приклад 4.** Опір шунта становить 2% від опору амперметра. При включенні в електричне коло зашунтований амперметр показує силу струму 100 мА. Який струм насправді тече в колі?

$$R_{\text{ш}} = 0,02R_a, I_0 = 0,1 \text{ А}.$$

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_a}{n - 1}, \quad n - 1 = \frac{R_a}{R_{\text{ш}}} = \frac{R_a}{0,02R_a} = 50, \quad n = 51.$$

$$I = nI_0 = 51 \cdot 0,1 = 5,1 \text{ А}.$$

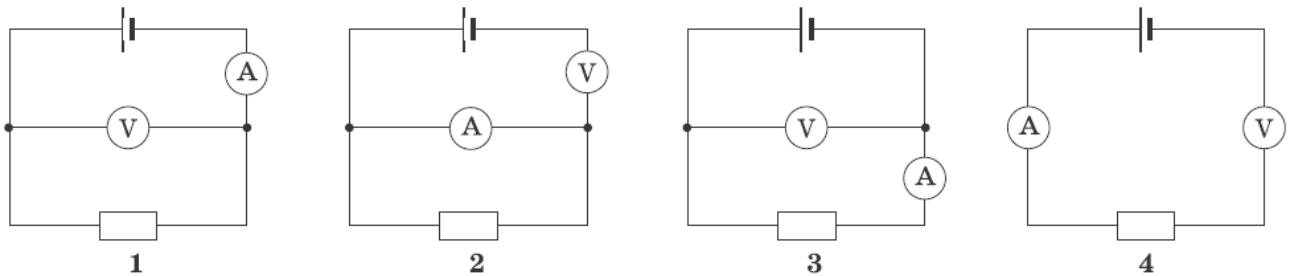
**Відповідь:** 5,1 А.

**Приклад 5.** Вольтметр має:

- А) малий опір і підключається до ділянки кола паралельно;
- Б) великий опір і підключається до ділянки кола паралельно;
- В) малий опір і підключається до ділянки кола послідовно;
- Г) великий опір і підключається до ділянки кола послідовно.

**Відповідь:** Б.

**Приклад 6.** Яка зі схем дозволяє виміряти опір резистора якомога точніше? Амперметр та вольтметр реальні, опір резистора співмірний опору вольтметра.



**Відповідь:** 3.

Якщо опір резистора великий (за умовою він співмірний опору вольтметра, а у вольтметра опір великий), то загальний опір послідовно підключених резистора й амперметра буде мало відрізнятися від опору одного резистора. Тому вольтметр, підключений паралельно до резистора й амперметра показуватиме напругу практично на одному резисторі. Амперметр буде показувати силу струму тільки через резистор.

**Приклад 7.** Під час виготовлення амперметра із гальванометра до останнього було паралельно підключено шунта, який:

- А) зменшив загальний опір та збільшив чутливість приладу;
- Б) зменшив загальний опір та зменшив чутливість приладу;
- В) збільшив загальний опір та зменшив чутливість приладу;
- Г) збільшив загальний опір та збільшив чутливість приладу.

**Відповідь: Б.**

Зменшив загальний опір та зменшив чутливість приладу. Під час виготовлення амперметра з гальванометра шунт до гальванометра потрібно підключати паралельно, для того щоб через нього проходив основний струм. Під час паралельного з'єднання провідників їхній загальний опір зменшується. Чутливість приладу також зменшується, тому що зростає ціна поділки — одній поділці на шкалі гальванометра відповідатиме більша сила струму.

**Приклад 8.** Під час виготовлення вольтметра до гальванометра, опір якого дорівнює  $R$ , було послідовно підключено додатковий резистор опором  $nR$ . Як змінилася ціна поділки отриманого приладу?

**Відповідь:**

Збільшилася в  $n+1$  разів. Під час підключення до гальванометра опором  $R$  послідовно додаткового резистора опором  $nR$  отримуємо вольтметр, опір якого дорівнює  $R_{\text{вольт}} = R + nR = (1+n)R$ . Збільшення опору приладу в  $1+n$  разів приведе до такого ж зменшення сили струму через прилад у разі підключення до ділянки кола з певною напругою на кінцях. Для того щоб стрілка приладу відхилилася на всю шкалу, потрібна напруга, в  $1+n$  разів більша: ціна поділки зросла в  $1+n$  разів.

**Приклад 9.** При короткому замиканні кола:

- А) сила струму через джерело зменшується;
- Б) напруга на затискачах джерела збільшується;
- В) ЕРС джерела струму збільшується;
- Г) падіння напруги на внутрішньому опорі джерела збільшується.

**Відповідь: Г.**

Падіння напруги на внутрішньому опорі джерела збільшується. Під час короткого замикання опір зовнішнього кола наближається до нуля, напруга на клеммах джерела струму також наближається до нуля, сила струму в колі збільшується, падіння напруги на внутрішньому опорі джерела струму наближається до ЕРС джерела.

**Приклад 10.** До джерела струму із внутрішнім опором  $0,4 \text{ Ом}$  та ЕРС  $3,6 \text{ В}$  підключено резистор опором  $11,6 \text{ Ом}$ . Визначте силу струму в колі.

**Відповідь:  $0,3 \text{ А}$ .**

**Приклад 11.** Обчисліть ЕРС джерела струму з внутрішнім опором 0,2 Ом, якщо в разі підключення до нього резистора опором 6,8 Ом сила струму в колі становить 2 А.

$$\varepsilon = I(R + r) = 2(6,8 + 0,2) = 14 \text{ В.}$$

**Відповідь:** 14 В.

**Приклад 12.** До джерела струму спочатку підключили резистор опором 8 Ом, а потім послідовно з ним ще один такий самий. Під час підключення одного резистора сила струму через джерело становила 2 А, а після підключення другого резистора стала рівна 1,2 А. Обчисліть ЕРС джерела струму.

$$R_1 = 8 \text{ Ом}, R_2 = 16 \text{ Ом.}$$

$$\varepsilon = I(R + r) = 2(8 + r) = 1,2(16 + r),$$

$$16 + 2r = 19,2 + 1,2r, 0,8r = 3,2, r = 4 \text{ Ом.}$$

$$\varepsilon = 2(8 + 4) = 24 \text{ В.}$$

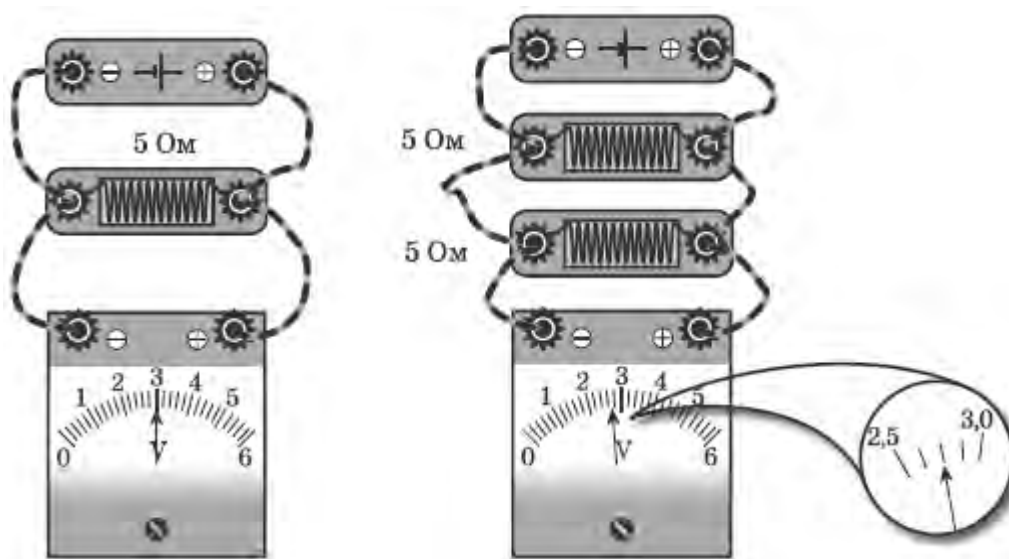
**Відповідь:** 24 В.

**Приклад 13.** Установіть відповідність між елементами електричного кола і їх властивостями або призначенням.

|                                          |                                                                                                |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Джерело струму                         | А Ділянка кола, на якій здійснюється робота кулонівських сил із розділення електричних зарядів |
| 2 Нагрівний елемент електричного чайника | Б Ділянка кола, яка може змінювати опір від найменшого до практично нескінченного              |
| 3 З'єднувальні провідники                | В Ділянка кола, на якій здійснюється робота сторонніх сил з розділення електричних зарядів     |
| 4 Вимикач                                | Г Ділянка кола, яка має помітний опір                                                          |
|                                          | Д Ділянка кола, яка має найменший опір                                                         |

**Відповідь:** 1 – В, 2 – Г, 3 – Д, 4 – Б.

**Приклад 14.** Під час виконання лабораторної роботи учень за допомогою вольтметра двічі визначив напругу на зовнішній ділянці електричного кола (див. рисунок). Визначте за даними досліду ЕРС джерела струму.



$1/R_2 = 1/5 + 1/5 = 0,2 + 0,2 = 0,4$ ,  $R_2 = 1/0,4 = 2,5$  Ом – паралельне з'єднання.

$U_1 = 3$  В,  $U_2 = 2,75$  В,  $R_1 = 5$  Ом,  $R_2 = 2,5$  Ом.

$I_1 = U_1/R_1 = 3/5 = 0,6$  А,  $I_2 = U_2/R_2 = 2,75/2,5 = 1,1$  А.

$\varepsilon = I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$ ,  $0,6(5+r) = 1,1(2,5+r)$ ,

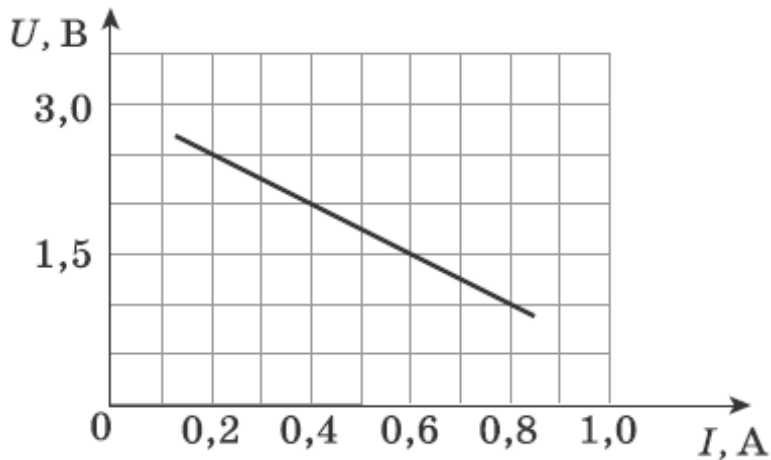
$3 + 0,6r = 2,75 + 1,1r$ ,  $0,5r = 0,25$ ,  $r = 0,5$  Ом.

$\varepsilon = 0,6(5 + 0,5) = 3,3$  В.

**Відповідь:** 3,3 В.



**Приклад 15.** Під час виконання досліду учень отримав вольт-амперну характеристику джерела струму й побудував відповідний графік (див. рисунок). Визначте за графіком внутрішній опір джерела струму.



$$I_1 = 0,8 \text{ A}, U_1 = 1 \text{ V}, I_2 = 0,6 \text{ A}, U_2 = 1,5 \text{ V}.$$

$$R_1 = U_1/I_1 = 1/0,8 = 1,25 \text{ Ом}, R_2 = U_2/I_2 = 1,5/0,6 = 2,5 \text{ Ом}.$$

$$\varepsilon = I(R + r) = 0,8(1,25 + r) = 0,6(2,5 + r),$$

$$1 + 0,8r = 1,5 + 0,6r, 0,2r = 0,5, r = 2,5 \text{ Ом}.$$

**Відповідь:** 2,5 Ом.

**Домашнє завдання:**

основне: 3.86, 3.87, 3.94, 3.95, 3.99, 3.100, 3.102, 3.103, 3.105.

додаткове: 3.93, 3.101, 3.104, 3.106.