

## Лабораторна робота № 301 Перевірка правил Кірхгофа.

**Завдання:** ознайомлення з роботою блоку живлення лабораторного стола, перевірка першого правила Кірхгофа для паралельного з'єднання, перевірка другого правила Кірхгофа для послідовного з'єднання.

**Приладдя:** вольтметр постійного струму 50В, амперметр постійного струму 300мА, цифровий мультиметр, резистори  $R_2, R_3, R_4$ .

**Теоретичний матеріал:** постійний струм, закони Ома для ділянки кола та для повного кола, закон Ома в диференціальній формі, правила Кірхгофа.

### Ідея роботи та виведення робочої формули:

Використання законів (правил) Кірхгофа дозволяє найпростішим методом розрахувати струми і спади напруг на всіх ділянках розгалужених електричних кіл. Суть правил Кірхгофа зводиться до наступного:

1. У кожній точці розгалуження провідників (вузлі) алгебраїчна сума струмів рівна нулю. Струми, які входять у точку розгалуження і струми, що виходять з неї, потрібно вважати величинами різних знаків. Ця закономірність є фактично проявом закону збереження заряду: щоб зберігся незмінний потенціал вузла, необхідно, щоб заряд, який вноситься струмом у вузол дорівнював заряду, який за цей же час виноситься з вузла.
2. Для будь-якого замкнутого контура, вибраного у колі, сума спадів напруг на елементах контура рівна сумі електрорушійних сил (ЕРС), які діють у цьому контурі.

Дана закономірність є узагальненням закону Ома для повного кола і відрізняється від закону Ома для ділянки кола тим, що в межах замкнутого контура струми на окремих ділянках можуть бути різні.

Застосовуючи правила Кірхгофа на практиці, напрямки протікання струмів на всіх ділянках кола вибирають довільно. Потім складають систему лінійних рівнянь, розв'язуючи яку визначають величини струмів. Якщо отримують негативні значення деяких величин струмів, то попередньо вибрані напрямки струмів змінюють на протилежні.

Для ілюстрації сказаного запишемо систему рівнянь для схеми, показаної на рис. 1:

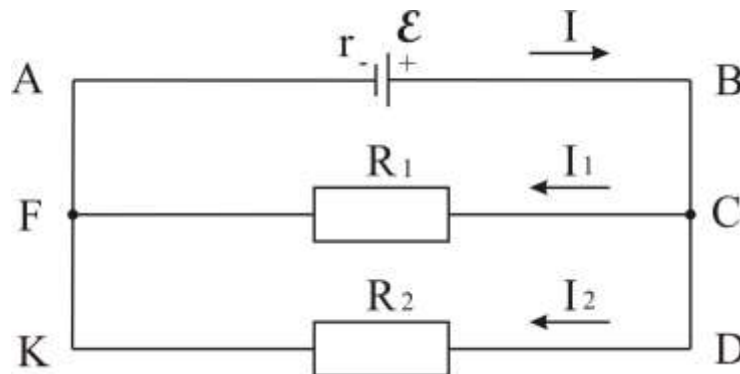


Рис.1.

Застосуємо перше правило Кірхгофа для вузла С. У вузол С входить струм  $I$ , а виходить  $I_1$  та  $I_2$ , тобто рівняння запишемо так:

$$I - I_1 - I_2 = 0 \quad (1.1)$$

Для вузла F:  $I_1 + I_2 - I = 0$  (цей вираз тотожний до виразу (1.1)).

Запишемо декілька рівнянь з використанням другого закону Кірхгофа. Для контура ABCFA отримаємо: сума спадів напруг на  $r$  та  $R_1$  рівна ЕРС джерела  $\varepsilon$ . Тобто:

$$Ir + I_1 R_1 = \varepsilon. \quad (1.2)$$

Аналогічно для контура ABCDKFA: сума спадів напруг на опорах  $r$  та  $R_2$  рівна  $\varepsilon$ :

$$Ir + I_2 R_2 = \varepsilon. \quad (1.3)$$

Запис другого правила Кірхгофа для контура FCDKF тотожний виразам (1.2) та (1.3):

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 = 0. \quad (1.4)$$

Вираз (1.4) описує рівність спадів напруг на двох паралельно увімкнених у коло опорах (у контурі FCDKF джерело ЕРС відсутнє, а спади напруг на опорах  $R_1$  та  $R_2$  протилежні за напрямками при даному обході контура).

Розв'язуючи системи рівнянь (1.1)-(1.4), можна визначити струми  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ . Зауважимо, що один із виразів (1.2)-(1.4) є лінійно залежним від інших, і при розв'язанні його можна відкинути. Тому перевірка першого правила Кірхгофа зводиться до перевірки рівності:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

для обох вузлів у колі.

Перевірка другого правила Кірхгофа полягає у справедливості виразу

$$\sum_{i=2}^5 I \cdot r_i = \varepsilon.$$

## 1. Перевірка першого правила Кірхгофа Порядок виконання роботи

1. Ознайомтеся з розміщенням і призначенням тумблерів та потенціометрів блоку живлення лабораторного столу.
2. Складіть схему, подану на рис. 2.

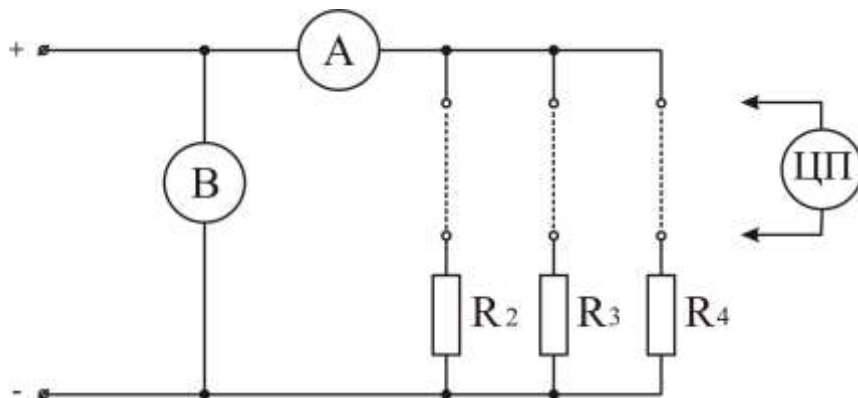


Рис.2. Експериментальна схема для перевірки I правила Кірхгофа.

3. Під'єднайте схему до клем «0 – 30 В» лабораторного столу.

4. Поставте перемикач «0 – 30 В», що є на блоці живлення, у положення «←».
5. Увімкніть блок живлення (поверніть перемикач «Схема зібрана» у верхнє положення і натисніть чорну кнопку пускача). Потенціометром «0 – 30 В» на блоці живлення встановіть задану викладачем напругу живлення схеми.
6. За допомогою амперметра виміряйте загальний струм у колі  $I$ , а за допомогою цифрового мультиметра виміряйте струми  $I_2, I_3, I_4$ , що протікають через кожний з резисторів.
7. Перевірте перше правило Кірхгофа:  $I=I'$ ;  $I' = I_2 + I_3 + I_4$ .
8. Цифровим мультиметром виміряйте значення опорів  $R_2, R_3, R_4$ .
9. Повторіть п.6-9 для інших заданих значень напруги живлення.

### Обробка результатів вимірювань

1. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю:

| №<br>П/П | I  | ΔI | U  | ΔU | I <sub>2</sub> | ΔI <sub>2</sub> | I <sub>3</sub> | ΔI <sub>3</sub> | I <sub>4</sub> | ΔI <sub>4</sub> | I' | ΔI' | R <sub>2</sub> ' | ΔR <sub>2</sub> ' | R <sub>3</sub> ' | ΔR <sub>3</sub> ' | R <sub>4</sub> ' | ΔR <sub>4</sub> ' |
|----------|----|----|----|----|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----|-----|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|          | мА | мА | В  | В  | мА             | мА              | мА             | мА              | мА             | мА              | мА | мА  | Ом               | Ом                | Ом               | Ом                | Ом               | Ом                |
| 1        |    |    | 10 |    |                |                 |                |                 |                |                 |    |     |                  |                   |                  |                   |                  |                   |
| 2        |    |    | 15 |    |                |                 |                |                 |                |                 |    |     |                  |                   |                  |                   |                  |                   |
| 3        |    |    | 20 |    |                |                 |                |                 |                |                 |    |     |                  |                   |                  |                   |                  |                   |
| с/з      | ⊗  | ⊗  | ⊗  | ⊗  | ⊗              | ⊗               | ⊗              | ⊗               | ⊗              | ⊗               | ⊗  | ⊗   | ⊗                | ⊗                 | ⊗                | ⊗                 | ⊗                | ⊗                 |

2. За законом Ома обчисліть значення опорів  $R_2', R_3', R_4'$  за формулами:

$$R'_{2i} = \frac{U}{I_{2i}}; \quad R'_{3i} = \frac{U}{I_{3i}}; \quad R'_{4i} = \frac{U}{I_{4i}},$$

та знайдіть середні значення цих опорів.

3. За класом точності приладу знайдіть похибки вимірювання струмів  $I, I_2, I_3, I_4, I'$ , та напруги  $U$  за формулами:

$$\Delta I_i = I_{i \max} \cdot k / 100\%,$$

$$\Delta U = U_{\max} \cdot k / 100\%,$$

$$\Delta I'_i = I'_i \sqrt{\frac{(\Delta I_{2i})^2 + (\Delta I_{3i})^2 + (\Delta I_{4i})^2}{(I_{2i} + I_{3i} + I_{4i})^2}}$$

$k$  (%) – клас точності приладу, а  $I_{i \max}$  та  $U_{\max}$  – верхні межі вимірювання струму та напруги відповідними приладами.

4. Обчисліть абсолютну та відносну похибки опорів  $R_2', R_3', R_4'$  за формулами:

$$\Delta R'_{2i} = R_{2i} \sqrt{\left(\frac{\Delta I_{2i}}{I_{2i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad \delta R_2 = \frac{\Delta R'_{2 \max}}{R'_2}$$

$$\Delta R'_{3i} = R_{3i} \sqrt{\left(\frac{\Delta I_{3i}}{I_{3i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad \delta R_3 = \frac{\Delta R'_{3 \max}}{R'_3}$$

$$\Delta R'_{4i} = R_{4i} \sqrt{\left(\frac{\Delta I_{4i}}{I_{4i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad \delta R_4 = \frac{\Delta R'_{4 \max}}{R'_4}$$

$\Delta R'_{2 \max}, \Delta R'_{3 \max}, \Delta R'_{4 \max}$  – максимальні значення похибок, отримані для опорів  $R_2', R_3', R_4'$ .



2. За законом Ома обчисліть значення опорів  $R_2'$ ,  $R_3'$ ,  $R_4'$  за формулами:

$$R_{2i}' = \frac{U_{2i}}{I}; \quad R_{3i}' = \frac{U_{3i}}{I}; \quad R_{4i}' = \frac{U_{4i}}{I},$$

знайдіть середні значення цих опорів та порівняйте їх із значеннями, вимірними за допомогою цифрового мультиметра.

3. За класом точності приладу знайдіть похибки вимірювання напруг  $U$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ ,  $U'$ , та струму  $I$  за формулами:

$$\Delta I = I_{\max} \cdot k / 100\%,$$

$$\Delta U_i = U_{i \max} \cdot k / 100\%,$$

$$\Delta U_i' = U_i' \sqrt{\frac{(\Delta U_{2i})^2 + (\Delta U_{3i})^2 + (\Delta U_{4i})^2}{(U_{2i} + U_{3i} + U_{4i})^2}}$$

$k$  (%) – клас точності приладу, а  $I_{\max}$  та  $U_{\max}$  – верхні межі вимірювання струму та напруги відповідними приладами.

4. Обчисліть абсолютну та відносну похибки опорів  $R_2'$ ,  $R_3'$ ,  $R_4'$  за формулами:

$$\Delta R_{2i}' = R_{2i}' \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{2i}}{U_{2i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \quad \delta R_2 = \frac{\Delta R_{2 \max}'}{R_2'}$$

$$\Delta R_{3i}' = R_{3i}' \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{3i}}{U_{3i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \quad \delta R_3 = \frac{\Delta R_{3 \max}'}{R_3'}$$

$$\Delta R_{4i}' = R_{4i}' \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{4i}}{U_{4i}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \quad \delta R_4 = \frac{\Delta R_{4 \max}'}{R_4'}$$

$\Delta R_{2 \max}'$ ,  $\Delta R_{3 \max}'$ ,  $\Delta R_{4 \max}'$  – максимальні значення похибок, отримані для опорів  $R_2'$ ,  $R_3'$ ,  $R_4'$ .

5. Кінцеві результати запишіть у вигляді

$$U_i = \bar{U}_i \pm \Delta U_i; \quad \delta U = \% \quad U_i = \bar{U}_i' \pm \Delta U_i'; \quad \delta U' = \%$$

$$R_2 = \bar{R}_2 \pm \Delta R_2; \quad \delta R_2 = \% \quad R_2 = \bar{R}_2' \pm \Delta R_2'; \quad \delta R_2' = \%$$

$$R_3 = \bar{R}_3 \pm \Delta R_3; \quad \delta R_3 = \% \quad R_3 = \bar{R}_3' \pm \Delta R_3'; \quad \delta R_3' = \%$$

$$R_4 = \bar{R}_4 \pm \Delta R_4; \quad \delta R_4 = \% \quad R_4 = \bar{R}_4' \pm \Delta R_4'; \quad \delta R_4' = \%$$

6. Зробіть висновки про виконану роботу.

Контрольні запитання:

1. Дайте визначення поняття сили струму.
2. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола та для повного кола.
3. Запишіть закон Ома в диференціальній формі.
4. Сформулюйте правила Кірхгофа.
5. Як зміниться провідність ділянки кола, якщо замість одного опору  $R$  під'єднати в коло паралельно чотири опори  $R$ ?