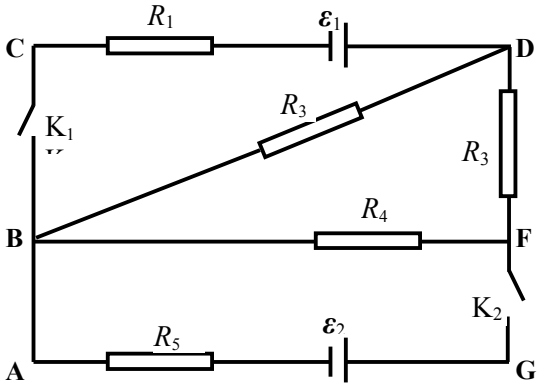
4.3.1 Закономірності розгалужених електричних кіл та їхнє застосування

Детальний опис роботи подано в [3, (робота 11); 8, (робота Е-11)].

Метою роботи є експериментальна перевірка правил Кірхгофа, що дають змогу визначити сили струмів в усіх вітках розгалуженого електричного кола, якщо відомі опори всіх його елементів (резисторів і джерел струму) і електрорушійні сили (ЕРС) джерел струму.



Рисvнок 9

Для перевірки законів Кірхгофа використовується електричне коло, схема якого подана на рис. 9. Коло містить п'ять резисторів, опори яких R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 зазначені безпосередньо на установці, два джерела постійного струму (акумулятори з ЕРС ε_1 та ε_2 та внутрішніми опорами, що є істотно меншими від опорів резисторів) і два перемикачі K_1, K_2. Для вимірювання напруги на окремих ділянках кола використовується вольтметр (на схемі не показаний), внутрішній опір якого є значно більшим від опору всіх елементів кола. Тому підключення вольтметру практично не змінює розподілу струмів у колі. Цей вольтметр також вимірює ЕРС акумуляторів ε_1, ε_2.

☝ Зверніть увагу!

Слід пам'ятати, що згідно з прийнятим в електротехніці правилом струм в ділянці електричного кола завжди тече від точки з вищим електричним потенціалом ("+") та точки з нижчим електричним потенціалом ("-").

Застосований в роботі вольтметр дає змогу не тільки виміряти чисельне значення напруги на тій чи іншій ділянці кола, а й напрям струму у цій ділянці. Для цього на стенді установки біля клем вольтметра нанесено позначки "+" та "-". Вольтметр показує вимірювану напругу тільки тоді коли його підімкнено до кінцевих клем резистора відповідно до цих позначок. У випадку зворотного підмикання вольтметра його стрілка взагалі не відхиляється.

Мети роботи досягають через вимірювання ЕРС джерел струму, чисельних значень та напрямів струмів в усіх гілках кола з наступним підставлянням цих величин у рівняння, які відповідають правилам Кірхгофа для досліджуваного кола.

Спосіб та послідовність вимірювань детально подані у посібниках [3, 8]. Результати вимірювань рекомендовано занотувати у таблицю, голівка якої має такий вигляд:

ε_1 =_____В, ε_2 =_____В			
№	*R,* Ом	*U,* В	*I,* А
1	2	3	4

Стовпчик 2 містить опори резисторів (указані на установці), у стовпчик 3 занотовують напруги на клемах відповідних резисторів, стовпчик 4 містить значення сил струмів у резисторах, які розраховують за законом Ома.

Алгоритм опрацювання результатів експерименту

Результатами експериментальної частини роботи є заповнені стовпчики 1 - 3 таблиці вимірювань та відомі напрями струмів у всіх гілках кола. *Ці напрями слід обов'язково указати стрілками на схемі установки (рис. 9), що нарисована у робочому зошиті*.

☝ Зверніть увагу!

За вимірювання ЕРС джерел струму ключі K_1, K_2 мають бути вимкненими, а за вимірювання струмів – увімкненими!

Наступні дії є такими

- Визначити сил струмів у кожній гілці з використанням закону Ома, та занотувати їх у стовпчик 4 таблиці вимірювань.
- Використовуючи правила Кірхгофа, укласти систему рівнянь, яка дає змогу вирахувати сили струмів у всіх гілках кола. Досліджуване коло має 5 гілок, отже слід укласти 2 рівняння за першим правилом Кірхгофа для двох вузлів кола та 3 рівняння за другим правилом Кірхгофа для трьох замкнених контурів. Вибір вузлів і контурів є довільним.
- Перевірку отриманих рівнянь виконати за алгоритмом, поданим у п. 2.4 Вступу цього видання.

Як приклад, наведемо перевірку чинності рівняння другого правила Кірхгофа для замкненого контуру BFGAB (рис. 9). *Уважатимемо*, що струм I_4 у гілці BF напрямлено від точки B до точки F, а струм I_4 у гілці BAGF – так само від точки B до точки F *(ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ НАПРЯМИ СТРУМІВ МОЖУТЬ БУТИ ІНШИМИ!).* Тоді, з урахуванням знаків полюсів джерела струму ε_2, перевірне рівняння матиме вигляд:

$$U_4 - U_5 = -\varepsilon_2. \qquad (3.1.1)$$

☝ Зверніть увагу!

При перевірянні рівнянь, укладених за другим правилом Кірхгофа доцільно використовувати саме напруги, а не струми на ділянках кола.

Перенесемо $\mathcal{E}_2$ у ліву частину рівняння (3.1.1) та введемо позначення

$$a = U_4 - U_5 + \mathcal{E}_2 . \qquad (3.1.2)$$

Оскільки згідно з другим правилом Кірхгофа має виконуватися рівність $a = 0$, то перевірка цього правила полягає в з'ясуванні того, чи потрапляє 0 в довірчий інтервал для експериментального значення величини a.

Чинниками похибок є насамперед кінцеві значення опорів вольтметра та джерела струму, якими ми нехтували при записуванні рівняння (3.1.1). Урахування цих факторів, що зазвичай є незначними, потребує додаткових досліджень і в умовах лабораторної роботи не проводиться.

Джерелом найпомітнішої похибки при вимірюванні напруг U_4, U_5 та ЕРС $\mathcal{E}_2$ є приладова похибка вольтметра $\theta_{пр}$. Як зазначено у п. 2.1.3 Вступу у навчальних лабораторних роботах приладову похибку $\theta_{пр}$ можна наближено вважати такою, що дорівнює подвійній ціні найменшої поділки шкали приладу: $\theta_{пр} \approx 2d$. Для застосованих у лабораторному практикумі вольтметрів $d = 0{,}1$ В. Отже $\theta_{пр} \approx 0{,}2$ В, й оцінка абсолютної похибки непрямого вимірювання величини $\Delta a = 0{,}2 \cdot \sqrt{3} \approx 0{,}34$ В.

Якщо значення a потрапляє в інтервал ($-\Delta a$, Δa), то перевірку чинності рівняння другого правила Кірхгофа для замкненого контуру BFGAB проведено успішно. У цьому випадку мірою якості перевірки можна вважати наближеність a до його теоретичного значення 0 у порівнянні з довжиною довірчого інтервалу Δa:

$$\delta = \frac{|a|}{\Delta a} \cdot 100\% . \qquad (3.1.3)$$

☝ Зверніть увагу!

Якщо a НЕ ПОТРАПЛЯЄ в інтервал ($-\Delta a$, Δa), дослід слід повторити!

Як другий приклад, розглянемо перевірку чинності рівняння першого правила Кірхгофа для вузла F (рис. 9). *Як і раніше, вважатимемо*, що струм I_4 у гілці BF напрямлено від точки B до точки F, струм I_4 у гілці BAGF так само від точки B до точки F, а струм I_3 у гілці DF – від точки F до точки D *(ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ НАПРЯМИ СТРУМІВ МОЖУТЬ БУТИ ІНШИМИ!).*

Перевірне рівняння матиме вигляд:

$$I_3 - I_4 - I_5 = 0. \qquad (3.1.4)$$

☝ Зверніть увагу!

При запису цього рівняння використане електротехнічне правило, за яким струми, що *виходять* з вузла слід уважати *додатними* (I_3), а ті, що *входять* у нього (I_4, I_5), - *від'ємними*.

Уведемо позначення $b = I_3 - I_4 - I_5$. Тоді задача знов полягає у визначенні межі довірчого інтервалу Δb, до якого має потрапити експериментальне значення b. При цьому слід пам'ятати, що силу кожного струму визначає закон Ома:

$$I_i = \frac{U_i}{R_i} \ (i = 3,4,5)\,, \qquad (3.1.5)$$

тобто вираз для величини b слід записати у вигляді

$$b = \frac{U_3}{R_3} - \frac{U_4}{R_4} - \frac{U_5}{R_5}\,. \qquad (3.1.6)$$

Як і в попередньому прикладі, знехтуємо впливом конечності опорів вольтметра та джерела струму на похибку вимірювань. Тоді визначальними чинниками межі довірчого інтервалу Δb є приладова похибка вольтметра $\theta_{пр} \approx 0{,}2$ В та похибки у визначенні опорів резисторів ΔR_i (i = 3, 4, 5). Максимальні значення ΔR_i (у вигляді відсотка від номінального значення опору) вказані на самих резисторах і, як правило, мало впливають на кінцеву похибку вимірювань. Отже для шуканої межі довірчого інтервалу Δb, як похибки непрямого вимірювання, маємо

$$\Delta b = \theta_{пр} \cdot \sqrt{\frac{1}{R_3^2} + \frac{1}{R_4^2} + \frac{1}{R_5^2}}\,. \qquad (3.1.7)$$

Якщо значення b потрапляє в інтервал (- Δb, Δb), то перевірку чинності рівняння першого правила Кірхгофа для вузла F проведено успішно. У цьому випадку мірою якості перевірки можна вважати наближеність b до його теоретичного значення 0 у порівнянні з довжиною довірчого інтервалу Δb:

$$\delta = \frac{|b|}{\Delta b} \cdot 100\%\,. \qquad (3.1.8)$$

☝ <u>Зверніть увагу!</u>

Якщо b НЕ ПОТРАПЛЯЄ в інтервал (-Δb, Δb), дослід слід повторити!