

Лабораторна робота 1

Закони Ома і Кірхгофа, потенціальна діаграма

1. Мета роботи

Експериментально перевірити закони Ома і Кірхгофа та побудувати потенціальні діаграми.

2. Основні теоретичні положення

Електромагнітні процеси в електричних колах описуються за допомогою понять про струм, напругу (або різницю потенціалів), ЕРС і описуються законами Ома і Кірхгофа. Такий опис є наближеним і вимагає експериментальної перевірки.

Закон Ома встановлює зв'язок між напругою і струмом нерозгалуженої ділянки кола.

В загальному випадку ділянка може містити декілька опорів і ЕРС, які включені послідовно. Приклад такої ділянки на рис.1.1.

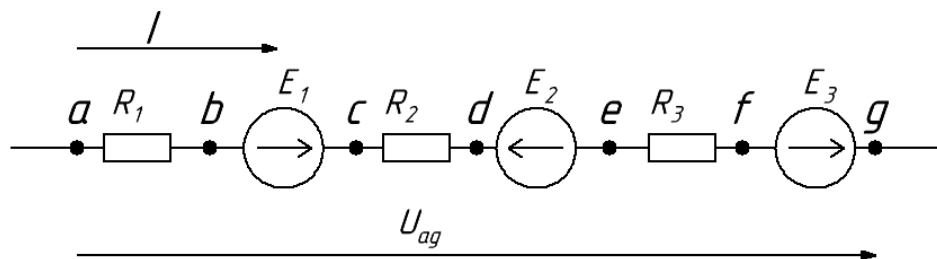


Рис.1.1 – Приклад нерозгалуженої ділянки, що містить декілька ЕРС

Закон Ома для ділянки кола (рис.1.1) запишеться

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_g + E_1 - E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{\varphi_{ag} + E_1 - E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3}, \quad (1.1)$$

де зі знаком «+» беруть ті ЕРС, які спрямовані за струмом, зі знаком «-» інші.

Якщо джерела ЕРС мають внутрішні опори, їх необхідно врахувати в законі Ома як опір ділянки. Нехай джерело E_1 має внутрішній опір R_{01} .

Тоді

$$I = \frac{\varphi_b - \varphi_d + E_1}{R_{01} + R_2}, \quad (1.2)$$

Перший закон Кірхгофа формулюється таким чином, що алгебраїчна сума струмів в вітках, що сходяться у вузлі кола, дорівнює нулю. Для складання алгебраїчної суми струмів необхідно струми, які спрямовані до вузла, брати зі знаком «+» від вузла – зі знаком «-» або навпаки. Для вузла кола (рис.1.2) цей закон запишеться

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 = 0.$$

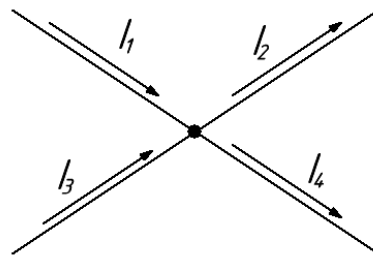


Рис.1.2 – Приклад вузла кола

У загальному випадку перший закон Кірхгофа записують у вигляді

$$\sum_{k=1}^m I_k = 0, \quad (1.3)$$

де \sum – знак алгебраїчної суми; m - число віток, що сходяться у вузлі.

Другий закон Кірхгофа формулюється таким чином, що алгебраїчна сума напруг на всіх ділянках замкнутого контуру дорівнює нулю. Для складання алгебраїчної суми напруг обирають напрям обходу контуру і ті напруги, напрям яких збігається з напрямом обходу, беруть зі знаком «+», зі знаком «-», коли ці напрями протилежні. Для контуру кола (рис.1.3) другий закон Кірхгофа можна записати

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{de} + U_{ef} + U_{fa} = 0. \quad (1.4)$$

Якщо врахувати, що $U_{cd} = E_2, U_{ab} = -E_1, U_{ef} = -E_3$, закон можна записати в іншій відомій формі:

$$U_{bc} + U_{de} + U_{fa} = E_1 - E_2 + E_3. \quad (1.5)$$

У загальному випадку другий закон Кірхгофа записують у вигляді

$$\sum_{k=1}^m U_k = 0, \quad (1.6)$$

і алгебраїчне сумування виконують для всіх ділянок замкнутого контуру, або

$$\sum_{k=1}^m E_k = \sum_{n=1}^p U_n, \quad (1.7)$$

де алгебраїчної сумування зліва проводять по числу ЕРС, а справа – по числу пасивних ділянок контуру.

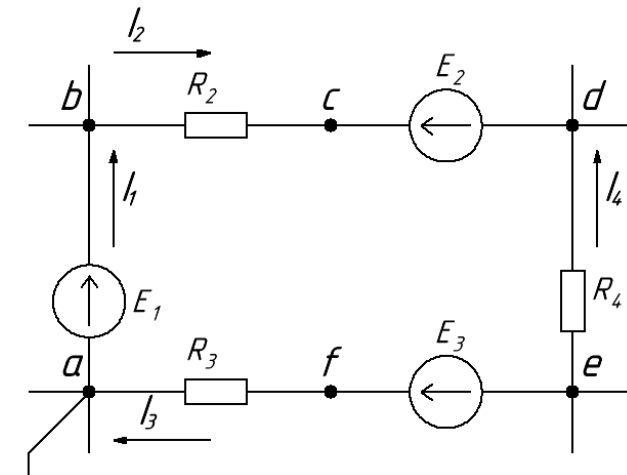


Рис.1.3 – Приклад замкнутого контуру кола

Потенціальна діаграма показує, як змінюється потенціал при обході контуру кола, і є графічною ілюстрацією другого закону Кірхгофа.

На потенціальній діаграмі по осі ординат відкладають потенціали точок, а по осі абсцис – опора.

На рис. 1.4 зображена потенціальна діаграма контуру кола (рис.1.3). Обхід контуру виконують за годинниковою стрілкою.

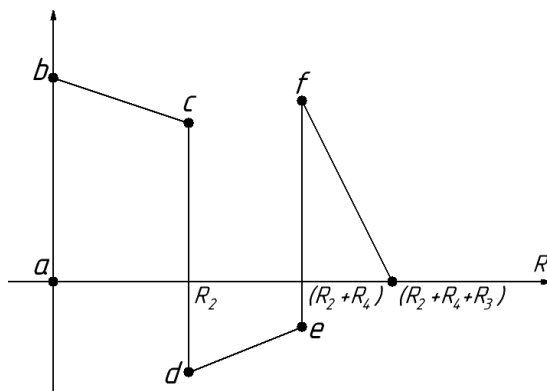


Рис. 1.4 – Потенціальна діаграма контуру кола

Баланс потужностей в електричних колах виражає закон збереження енергії і записується у вигляді

$$\sum_{k=1}^n E_k I_k = \sum_{k=1}^m I_k^2 R_k, \quad (1.8)$$

де n – число ЕРС в колі, m – число опорів в колі.

Зліва знаходиться алгебраїчна сума потужностей джерел $E_k I_k$, а праворуч – арифметична сума потужностей $I_k^2 R_k$, яка втрачається в опорах.

При складанні алгебраїчної суми потужностей джерел зі знаком «+» беруть потужності тих джерел, у яких напрям струму і ЕРС співпадають, а зі знаком «-» інші.

2. Розрахункова частина

Дані для розрахунку знаходяться в таблиці в лабораторії.

1. Для електричного кола (рис.1.5) виконати наступне:
 - 1.1. Розрахувати струми і напруги в колі.
 - 1.2. Прийняти потенціал одної із точок електричного кола рівним нулю.
 - 1.3. Розрахувати потенціали всіх точок в колі.
 - 1.4. Побудувати потенціальну діаграму.
 - 1.5. Виконати перевірку балансу потужностей.

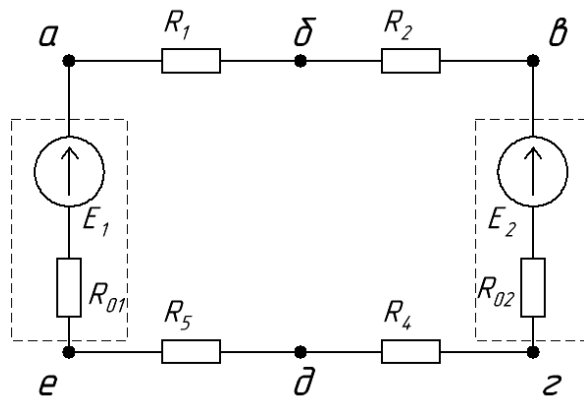


Рис 1.5 – Нерозгалужене електричне коло

2. Для електричного кола (рис.1.6) виконати наступне:

2.1. Прийняти потенціал однієї із точок електричного кола рівним нулю.

2.2. Розрахувати струми в гілках і напруги на ділянках кола.

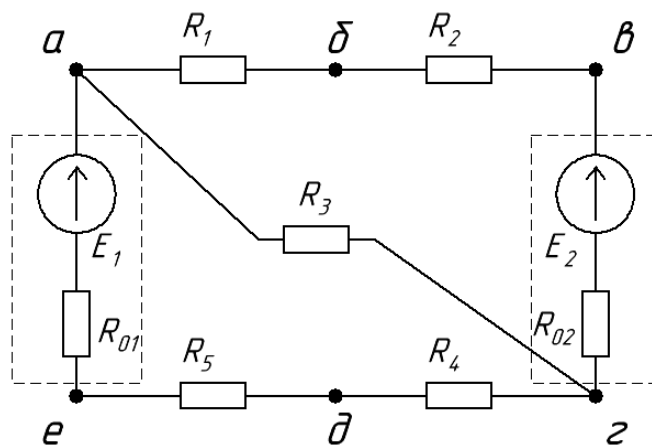


Рис 1.6 – Розгалужене електричне коло

3. Експериментальна частина

1. Зібрати електричне коло згідно рис.1.5.

2. Виміряти струми і напруги. Приймаючи потенціал однієї з точок кола (за вказівкою викладача) рівним нулю, виміряти потенціали інших точок.

2.1. Для вимірювання потенціалів точок клему «-» вольтметра підключають до точки нульового потенціалу, а клему «+» до точки, потенціал якої вимірюють. Напруга, яка виміряна вольтметром, дорівнює потенціалу точки.

Результати вимірювань занести в табл.1.1.

4. Обробка результатів та зміст звіту

1. По відомим із досліду (п.2) значенням потенціалів всіх точок обчислити за формулою $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$ напруги на ділянках кола, записати отримані результати в табл. 1.1 і порівняти із значеннями, які отримані із досліду п.2.

2. По відомим із дослідів пп. 4 і 5 опорам і за отриманими в досліді п.2 значенням напруг обчислити:

- а. струм на ділянках кола, що містять ЕРС;
- б. струм на ділянках кола без ЕРС;
- в. потенціали всіх точок в колі.

Порівнюючи результати дослідів і розрахунків, переконатися в справедливості закону Ома для ділянки кола, що не містить ЕРС, для ділянки кола з ЕРС і для всього кола.

3. За даними досліду (п.2) побудувати потенціальну діаграму.

4. За отриманими в досліді п.3 даними перевірити справедливість першого і другого законів Кірхгофа для дослідженого кола.

5. Зробити перевірку балансу потужностей для нерозгалуженого кола.

6. Зробити висновки по роботі.

5. Контрольні питання

1. Запишіть у загальному виді закон Ома для гілки, що містить джерела ЕРС і резистори.

2. Сформулюйте I та II закони Кірхгофа.

3. Що виражає потенціальна діаграма контуру та як її побудувати?

4. Як вимірюють напруги і потенціали за допомогою вольтметра?

5. Як за дослідними даними перевірити справедливість законів Ома і Кірхгофа?

6. Як дослідним шляхом визначити внутрішній опір джерела?

6. Приклад розрахункової частини

Побудова потенціальної діаграми

Необхідно побудувати потенціальну діаграму для заданої електричної схеми (рис. 1.8). Відомо, що:

$$E_1 = 220 \text{ В}, E_2 = 120 \text{ В}, R_{01} = 0,2 \text{ Ом}, R_1 = 15 \text{ Ом}, R_2 = 22 \text{ Ом}, R_3 = 10 \text{ Ом}$$

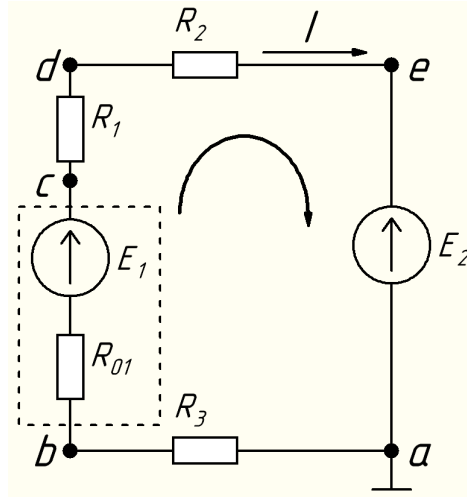


Рис 1.8 – Нерозгалужене електричне коло

Розв'язок.

1. Для того, щоб будувати потенціальну діаграму необхідно розрахувати струм, який протікає по всіх елементах схеми. Вибираємо довільно напрямок струму I в колі. Складаємо рівняння для струму в даному колі відповідно до виразу:

$$I = \frac{\sum E}{\sum R}, \quad (1.10)$$

де $\sum E$ – алгебраїчна сума ЕРС кола; $\sum R$ – арифметична сума опорів кола.

Тоді струм у колі:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_{01} + R_1 + R_2 + R_3} = \frac{100}{47,2} = 2,12 \text{ А}. \quad (1.11)$$

2. Для побудови потенційної діаграми вибирають замкнутий контур. Цей контур розбивають на ділянки таким чином, щоб на ділянці був один споживач або джерело енергії. Граничні точки між ділянками необхідно позначити буквами чи цифрами. Позначимо буквами точки електричної

схеми за кожним елементом (a, b, c, d, e). Прийнемо потенціал точки « a » за нульовий $\varphi_a = 0$ (заземляємо цю точку) та будемо рухатися за контуром, тобто у напрямку струму I .

3. Розраховуємо потенціали всіх точок в колі. Зміна потенціалу ділянки залежить від складу кола між точками. Якщо на ділянці включено споживач енергії (резистор), то зміна потенціалу чисельно дорівнює падінню напруги на цьому резисторі. Знак цієї зміни визначають напрямом струму. При збігу напрямів струму та обходу контуру знак « $-$ », інакше він « $+$ ».

Потенціал точки « b » буде менший потенціалу точки « a » на величину падіння напруги на опорі R_3 , при протіканні по ньому струму I :

$$\varphi_b = \varphi_a - R_3 I = 0 - 10 \cdot 2,12 = -21,2 \text{ В} \quad (1.12)$$

Наступною точкою шляху обходу контуру буде точка « c ». На ділянці « bc » знаходиться джерело E_1 . Оскільки на цій ділянці ми йдемо від негативного полюса джерела до позитивного, то потенціал підвищується на величину E_1 . Джерело E_1 має внутрішній опір $R_{01} \neq 0$ то його необхідно врахувати і тому точка « c » буде зміщена; стрибок напруги від точки « b » до точки « h » очевидно дорівнює E_1 , але реально цієї точки не існує, бо необхідно врахувати падіння напруги на R_{01} джерела E_1 і отримаємо точку « c »:

$$\varphi_c = \varphi_b + E_1 - R_{01} I = -21,2 + 220 - 0,2 \cdot 2,12 = 198,37 \text{ В}, \quad (1.13)$$

При переході від точки « c » до точки « d » відбувається зменшення потенціалу на величину падіння напруги на резисторі R_1 (напрямок обходу контуру збігається з напрямком струму в резисторі R_1):

$$\varphi_d = \varphi_c - R_1 I = 198,37 - 15 \cdot 2,12 = 166,57 \text{ В}, \quad (1.14)$$

При переході від точки « d » до точки « e » відбувається зменшення потенціалу на величину падіння напруги на резисторі R_2 (напрямок обходу контуру збігається з напрямком струму в резисторі R_2):

$$\varphi_e = \varphi_d - R_2 I = 166,57 - 22 \cdot 2,12 = 119,93 \text{ В}, \quad (1.15)$$

Потенціал точки « a » менший за потенціал точки « e » на величину джерела E_2 (напрямок E_2 протилежний напрямку обходу контуру):

$$\varphi_a = \varphi_e - E_2 = 119,930.0 - 120 = 0,07 \text{ В}, \quad (1.16)$$

Правильність побудови потенціальної діаграми перевіряється по тому, що виконавши повний обхід по контуру, потрапляємо в точку з нульовим потенціалом.

4. Результати розрахунку використовують для побудови потенційної діаграми. На осі абсцис відкладаємо опір ділянок у тій послідовності, як вони зустрічаються при обході контуру від точки з нульовим потенціалом. Вздовж осі ординат відкладаємо розраховані раніше потенціали відповідних точок (рис. 1.9).

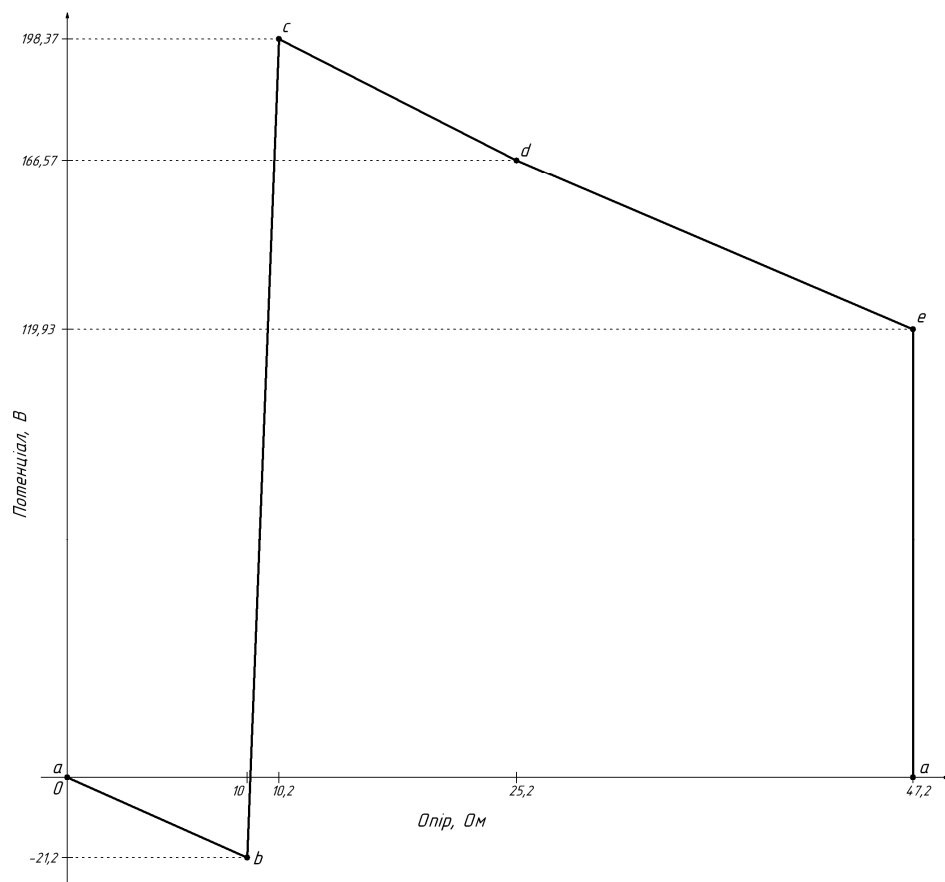


Рис 1.9 – Потенціальна діаграма заданої електричної схеми