

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗГАЛУЖЕНОГО ЛІНІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: вивчення законів, методів розрахунку параметрів і основних властивостей розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму.

Обладнання: джерела живлення постійного струму Б5-44А, вольтметр універсальний цифровий В7-35, осцилограф універсальний С1-83, резистори типу МЛТ.

1. Теоретичні відомості

Розгалуженим вважається коло з паралельним або змішаним з'єднанням його ділянок, у складі якого є гілки, вузли та контури.

Гілка - це ділянка кола, що складається з послідовно з'єднаних елементів, через які тече однаковий струм.

Вузол - це місце з'єднання трьох і більше гілок в електричній схемі кола.

Електрична схема - це графічне зображення електричного кола за допомогою умовних позначок його елементів.

Електричний контур - будь-який замкнутий шлях, який охоплює декілька ділянок кола.

Незалежним називається контур, що містить хоча б одну гілку, яка не входить в інший контур.

Лінійні електричні кола розраховуються за допомогою законів Кірхгофа:

I закон - сума струмів, що притікають до вузла, дорівнює сумі струмів, що витікають із вузла

$$\sum_j I_j = 0, \quad (3.1)$$

II закон - алгебраїчна сума ЕРС у замкнутому контурі дорівнює алгебраїчній сумі падів напруг на елементах контуру

$$\sum_j^n E_j = \sum_i^m I_i R_i, \quad (3.2)$$

Знак ЕРС залежить від напрямку струму в джерелі і напрямку обходу контуру. Знак спаду напруги також визначається напрямком струму в елементі кола й напрямком обходу контуру.

1.1 Метод безпосереднього використання законів Кірхгофа

Даний метод доцільний у таких випадках:

- якщо відома величина частини струмів, але невідомі величини такої ж кількості джерел або елементів кола;
- для визначення спаду напруги між якими-небудь двома точками електричного кола;
- для перевірення правильності розрахунків, проведених будь-яким іншим методом.

Розрахунок розгалуженого кола за законами Кірхгофа полягає у визначенні сили струмів у всіх гілках кола. Порядок розрахунку:

- а) довільно вибирають напрямки невідомих струмів;
- б) довільно вибирають напрямки обходу контурів.

Контури вибирають так, щоб наступний контур містив мінімум одну гілку, що не входила ні в один із уже обраних контурів. Число рівнянь повинно дорівнювати числу невідомих струмів p , де p - кількість гілок. Спочатку за I законом складають $(q-1)$ рівнянь, де q - кількість вузлів, а потім за II законом $(p-q+1)$ відсутніх рівнянь.

1.2. Метод еквівалентних структурних перетворень

В основі різних методів перетворення електричних схем лежить поняття еквівалентності, відповідно до якого напруги і струми в гілках схеми, яких не торкнулися перетворення, залишаються незмінними. Перетворення електричних схем застосовуються для спрощення розрахунків.

Розглянемо найбільш типові методи перетворення.

1.2.1 Послідовне з'єднання опорів

При послідовному з'єднанні елементів через них протікає той самий струм I . Відповідно до другого закону Кірхгофа, напруга, прикладена до всього кола

$$U = \sum_k U_k, \quad (3.3)$$

де k - кількість елементів.

Для послідовно з'єднаних опорів $r_1, r_2, \dots, r_n$, з врахуванням (3.3) будемо мати

$$U = I \sum_k r_k = I r_{\text{екв}}, \quad (3.4)$$

Струм у колі з послідовним з'єднанням елементів дорівнює:

$$I = \frac{U}{r_{\text{екв}}}, \quad (3.5)$$

а напруга на n -ому елементі дорівнює

$$U = \frac{U}{r_{\text{екв}}} r_n, \quad (3.6)$$

1.2.2 Послідовне з'єднання джерел напруги

При послідовному з'єднанні джерел напруги вони замінюються одним еквівалентним джерелом з напругою $U_{\text{екв}}$, рівною алгебраїчній сумі напруг окремих джерел.

1.2.3 Паралельне з'єднання елементів

З'єднання груп елементів, при якому всі елементи перебувають під тою самою напругою, називається **паралельним**. Відповідно до першого закону Кірхгофа, струм всього кола I дорівнює алгебраїчній сумі струмів у паралельних гілках, тобто

$$I = \sum_k I_k, \quad (3.7)$$

На підставі цього рівняння для паралельного з'єднання резистивних елементів одержуємо:

$$I = U \sum_k g_k = U g_{\text{екв}}, \quad (3.8)$$

де $g_{\text{екв}} = \sum_k g_k$ - еквівалентна провідність.

Струми паралельно з'єднаних гілок при $U = \text{const}$ не залежать один від одного і визначаються за формулою:

$$I_k = \frac{U}{r_k} = U \cdot g_k, \quad (3.9)$$

При збільшенні числа паралельних гілок еквівалентна провідність електричного кола зростає, а еквівалентний опір відповідно зменшується. Це приводить до збільшення струму I . Якщо напруга залишається постійною, то збільшується також загальна потужність P . Струми і потужності попередніх гілок не змінюються.

1.3 Метод контурних струмів

Даний метод дає можливість спростити розрахунок електричних кіл у порівнянні з методом розрахунку за законами Кірхгофа за рахунок зменшення числа рівнянь, які доводиться вирішувати спільно. Цей метод полягає в тому, що на підставі другого закону Кірхгофа визначаються так звані контурні струми які замикаються в незалежних контурах, в яких відсутні внутрішні гілки. Число рівнянь, що записуються для контурних струмів за другим законом Кірхгофа, дорівнює числу незалежних контурів, тобто для електричної схеми із числом вузлів q і числом гілок p завдання знаходження контурних струмів зведеться до рішення системи $p-q+1$ рівнянь. Напрямки контурних струмів задаються довільно. Напрямок обходу кожного контуру приймається, як правило, співпадаючим з обраним напрямком контурного струму; тому при складанні рівняння за другим законом Кірхгофа спад напруги від заданого контурного струму в опорах, що входять у контур, береться зі знаком „+”. Спад напруги від струму суміжного контуру в загальному опорі береться зі знаком „-”, якщо контурні струми в цьому опорі спрямовані зустрічно.

1.4 Метод вузлових напруг

Полягає в тому, що на підставі першого закону Кірхгофа визначаються напруги у вузлах електричного кола щодо деякого базисного вузла. Ці визначені напруги називаються вузловими напругами, причому додатний напрямок їх вказується стрілкою від розглянутого вузла до базисного.

Напруга на будь-якій гілці дорівнює різниці вузлових напруг кінців даної гілки; добуток же цієї напруги на провідність даної гілки дорівнює струму в ній. Таким чином, знаючи вузлові напруги в електричному колі, можна знайти струми в гілках.

Якщо прийняти потенціал базисного вузла рівним нулю, то напруги між іншими вузлами і базисним вузлом будуть рівні також потенціалам цих вузлів. Тому даний метод називається також методом вузлових потенціалів.

При наявності однієї гілки з ЕРС і нескінченною провідністю доцільно прийняти за базисний вузол один з вузлів, до якого примикає дана гілка, тоді напруга даного вузла стає відомою і число невідомих скорочується на одне.

Число невідомих у методі вузлових напруг дорівнює числу рівнянь, які треба скласти для схеми за першим законом Кірхгофа. Метод вузлових напруг має перевагу перед методом контурних струмів у тому випадку, коли число рівнянь, записаних за першим законом Кірхгофа, менше числа рівнянь, записаних за другим законом Кірхгофа, або якщо $(q-1) < (p-q+1)$, або, що те ж $2(q-1) < p$, де q - кількість вузлів, p - кількість гілок.

1.4.1 Метод двох вузлів

У випадку двох вузлів (рисунок 3.1) необхідність в рішенні системи рівнянь відпадає: $q-1=2-1=1$.

Загальний вираз для розрахунку міжвузлової напруги має вид:

$$U_{bd} = \frac{\sum E_k g_k}{\sum g_k}, \quad (3.10)$$

де k - кількість гілок;

$\sum E_k g_k$ - алгебраїчна сума струмів у вузлі b (вузол d - загальний);

$\sum g_k$ - сума провідностей гілок, які з'єднуються в цьому вузлі, тобто вузлова провідність.

Після розрахунку U_{bd} визначаються струми в гілках згідно з законом Ома для гілки з ЕРС.

1.5 Метод накладення

При розрахунку за методом накладення струм у будь-якій гілці електричного кола визначається як алгебраїчна сума струмів, викликаних у даній гілці кожною з ЕРС окремо, у припущенні рівності нулю всіх інших ЕРС.

Порядок розрахунку кола методом накладення такий. В електричному колі закорочують всі джерела ЕРС, крім одного. На їх місці лишається внутрішній опір джерел ЕРС. Виконують розрахунок електричного кола. Подібним чином роблять стільки разів, скільки знаходиться в колі джерел. Результуючий струм кожної гілки визначають як алгебраїчну суму струмів від всіх джерел.

Метод накладення досить зручний для аналізу процесів, що відбуваються в електричних колах при зміні їх параметрів.

1.6 Метод еквівалентного генератора

Даний метод використовується для розрахунку струму та напруги в опорі (провідності) однієї гілки складного кола. Опір цієї гілки замінюється еквівалентною ЕРС

$$E = -R \cdot I = -U, \quad (3.11)$$

де I та U - шукані струм і напруга, що співпадають за напрямком.

Після цього використовується метод накладення у два етапи. Спочатку враховують всі джерела енергії активного двополюсника, до якого

приєднується досліджувана гілка, а джерело ЕРС E закорочується. Тоді струм гілки I' дорівнює струму короткого замикання $I_{кз}$ активного двополюсника і співпадає за напрямком зі струмом I . На другому етапі враховується лише ЕРС E , при цьому в джерелах напруги активного двополюсника закорочують ЕРС, а в джерелах струму розмикають кола їх внутрішніх струмів. Таким чином, активний двополюсник перетворюється в пасивний. Він містить лише внутрішні опори джерел і всі інші опори гілок. А його еквівалентна провідність відносно клем - g_b . Тоді струм для другого етапу I'' , якщо вважати його напрям, який співпадає з I' , дорівнює

$$I'' = g_b \cdot E = -g_b \cdot U$$

Реальний струм досліджуваної гілки з провідністю $g = 1/R$

$$I = g \cdot U = I' + I'' = I_{кз} - g_b \cdot U$$

Звідки

$$U = \frac{I_{кз}}{g + g_b}, \quad (3.12)$$

При $g = 0$ (режим холостого ходу) напруга на вихідних клеммах U_{xx} двополюсника буде:

$$U_{xx} = \frac{I_{кз}}{g_b} = R_b \cdot I_{кз}$$

Тоді струм

$$I = \frac{U}{R} = \frac{I_{кз}}{R(g + g_b)} = \frac{I_{кз}}{1 + \frac{R}{R_b}} = \frac{R_b \cdot I_{кз}}{R + R_b}$$

$$\text{або} \quad I = \frac{U_{xx}}{R + R_b}, \quad (3.13)$$

Таким чином, замість звичайного розрахунку заданого кола визначається U_{xx} при розімкнутій або $I_{кз}$ при короткозамкнутій гілці, що спрощує коло, і визначення R_b або g_b при відсутності джерел; після чого знайдені величини підставляють в вираз (3.12) або (3.13).

1.7 Принцип взаємності

Принцип взаємності заснований на теоремі взаємності, що сформулюємо без доказу: для лінійного кола струм I_k в k -ій гілці, викликаний єдиною в схемі ЕРС E_i , що перебуває в i -ій гілці,

$$I_k = g_i E_i, \quad (3.15)$$

дорівнює струму I_i в i -ій гілці, викликаному ЕРС E_k , чисельно рівній ЕРС E_i , що перебувала б в k -ій гілці,

$$I_i = g_k E_k, \quad (3.16)$$

Звідси зокрема впливає зазначене вище співвідношення $g_i = g_k$.

Іншими словами, принцип взаємності говорить: якщо ЕРС E , діючи в деякій гілці схеми, що не містить інших джерел, викликає в іншій гілці струм I , то принесена в цю гілку ЕРС E викличе в першій гілці такий же струм.

1.8 Рівняння енергетичного балансу

Рівняння енергетичного балансу при живленні від джерел ЕРС (без врахування їх внутрішніх опорів) має вигляд

$$\sum I_i^2 R_i = \sum U_j I_j, \quad (3.14)$$

де U_j - напруга j -го джерела живлення;

I_j - струм j -го джерела живлення;

$\sum U_j I_j$ - сумарна потужність джерел живлення;

j - нумерація джерел ЕРС;

I_i - струм i -го приймача;

R_i - опір i -го приймача;

$\sum I_i^2 R_i$ - сумарна потужність приймачів;

i - нумерація приймачів.

2. Завдання

2.1 Зібрати електричну схему розгалуженого електричного кола.

2.2 Виміряти падіння напруги на резисторах за допомогою вольтметра В7-35 або осцилографа С1-83.

2.3 Розрахувати електричні струми кожної вітки електричного кола за результатами вимірювань, виконаних у п. 2.2.

2.4 Визначити алгебраїчні суми струмів у вузлах й алгебраїчні суми падінь напруг у замкнутих контурах, використовуючи експериментальні дані з табл.. 3.2 - 3.4.

2.5. Зробити розрахунок струмів у кожній вітці схеми за законами Кірхгофа, користуючись даними таблиці 3.1.

2.5 Провести перевірку методу двох вузлів для схеми рис.3.1.

2.7 Скласти енергетичний баланс схеми рис.3.1. відповідно з варіантом.

3. Порядок виконання роботи

3.1 Зібрати електричну схему наведену на рис. 3.1. Значення номіналів резисторів і напруг джерел живлення взяти з табл.. 3.1, відповідно до свого варіанту.

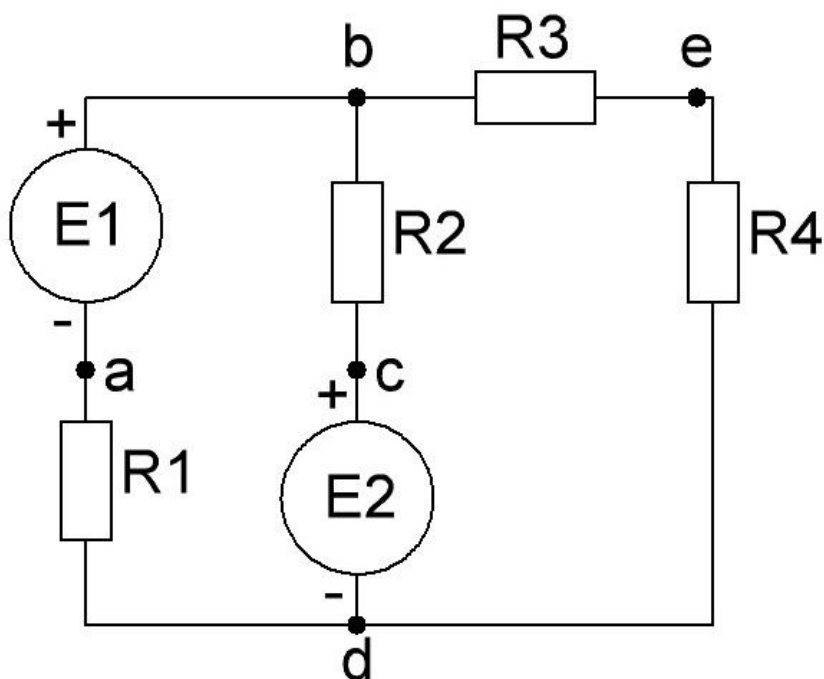


Рисунок 3.1

Таблиця 3.1 Варіанти завдань

Варіант	U_1 , В	U_2 , В	R_1 , кОм	R_2 , кОм	R_3 , кОм	R_4 , кОм
1	5	10	0,2	11,0	1,0	1,0
2	5	20	0,2	11,0	2,2	1,0
3	10	10	2,2	11,0	0,2	1,0
4	10	5	11,0	2,2	1,0	0,2
5	15	5	11,0	2,2	1,0	0,12
6	10	20	2,2	11,0	1,0	0,2
7	10	10	2,2	11,0	0,2	1,0

Примітка. Нумерація резисторів схеми не збігається з нумерацією їх на набірному полі, на якому здійснюється монтаж досліджуваної схеми. Номінали резисторів набірного поля такі: $R_2 = 11 \text{ кОм}$; $R_4 = 1 \text{ кОм}$; $R_5 = 0,2 \text{ кОм}$; $R_6 = 0,12 \text{ кОм}$; $R_8 = 2,2 \text{ кОм}$; $R_9 = 1,0 \text{ кОм}$.

3.2 Після зібрання кола перевірити його. На одному з джерел живлення виставити значення напруги $U_1 = 1 \text{ В}$, перемкнути джерело у струмовий режим роботи регулятором „I” і перевірити наявність струму в електричному колі. Повільно змінюючи напругу до 3 В , переконатися у відповідній зміні значень струму.

3.3 Для вимірювань використати осцилограф у режимі роботи з відкритим входом підсилювача (перемикач роду робіт встановити в положення „ $\cong$ ”) або вольтметр універсальний цифровий В7-35, настроєний на вимірювання напруги постійного струму з допомогою перемикача передньої панелі. Вхід „*” вольтметра В7-35 з’єднати з загальним електродом „ $\perp$ ”.

3.4 Виставити значення напруг U_1 і U_2 джерел живлення E_1 і E_2 згідно з даними таблиці 3.1. Виміряти спад напруги на кожному опорі таким чином: вставляти потенціальний кінець кабелю вимірювального приладу у гнізда праворуч від опору, а загальний - ліворуч (орієнтуючись за годинниковою стрілкою). Результати вимірювання занести в таблицю 3.2. Окремо виміряти різницю потенціалів точок **b** і **d** та занести результати в таблицю 3.5.

Таблиця 3.2 Результати вимірювання падінь напруги на резисторах

$U_1 = \text{ В}$ $U_2 = \text{ В}$	$R_1 =$	$\varphi_a - \varphi_d =$	$I_1 =$
	$R_2 =$	$\varphi_c - \varphi_b =$	$I_2 =$
	$R_3 =$	$\varphi_e - \varphi_b =$	$I_3 =$
	$R_4 =$	$\varphi_d - \varphi_e =$	$I_4 =$

3.5 Повторити вимірювання згідно п. 3.4. при напругах на джерелі E_1 рівному «0», і на джерелі E_2 рівному U_2 з табл. 3.1. Результати вимірювання занести в табл. 3.3.

3.6 Повторити вимірювання згідно п. 3.4. при напругах на джерелі E_1 рівному U_1 з табл. 3.1, і на джерелі E_2 рівному «0». Результати вимірювання занести в табл. 3.4.

3.7. Зробити розрахунок струмів у кожній вітці схеми за законами Кірхгофа користуючись даними таблиці 3.1. та порівняти з значеннями струмів таблиць 3.2, 3.3., 3.4.

3.8 Для перевірки методу двох вузлів виміряти різницю потенціалів між точками **b** й **d** (Рис. 3.1). Порівняти виміряне значення U_{bd} з розрахунковим.

Таблиця 3.3 Результати вимірювання падінь напруги на резисторах

$U_1 \neq 0\text{В}$ $U_2 = 0$	$R_1 =$	$\varphi_a - \varphi_d =$	$I_1 =$
	$R_2 =$	$\varphi_c - \varphi_b =$	$I_2 =$
	$R_3 =$	$\varphi_e - \varphi_b =$	$I_3 =$
	$R_4 =$	$\varphi_d - \varphi_e =$	$I_4 =$

Таблиця 3.4 Результати вимірювання падінь напруги на резисторах

$U_1 = 0\text{В}$ $U_2 \neq 0\text{В}$	$R_1 =$	$\varphi_a - \varphi_d =$	$I_1 =$
	$R_2 =$	$\varphi_c - \varphi_b =$	$I_2 =$
	$R_3 =$	$\varphi_e - \varphi_b =$	$I_3 =$
	$R_4 =$	$\varphi_d - \varphi_e =$	$I_4 =$

Для цього за допомогою схеми на рис.3.1 і даних табл. 3.1 розрахувати значення провідностей віток bad, bcd й bed за формулою:

$$g_b = \frac{1}{R_b}, \text{ де}$$

g_b - провідність вітки; R_b - загальний опір вітки.

Напругу U_{bd} розрахувати за формулою:

$$U_{bd} = \frac{U_1 \times g_{bad} + U_2 \times g_{bcd}}{g_{bad} + g_{bcd} + g_{bed}}$$

3.8 Для перевірки енергетичного балансу використати дані з табл. 3.1 і результати розрахунку струмів з табл. 3.5.

Таблиця 3.5 Результати перевірки методу двох вузлів

	$U_{bd}, \text{В}$	
	виміряна	розрахована
$U_1 \neq 0\text{В}$ $U_2 \neq 0\text{В}$		
$U_1 \neq 0\text{В}$ $U_2 = 0\text{В}$		
$U_1 = 0\text{В}$ $U_2 \neq 0\text{В}$		

Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Початкові дані для розрахунку.
3. Попередній розрахунок.
4. Принципова схема лабораторної установки.
5. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
6. Графіки залежностей, отриманих в результаті експерименту і розрахунку.
7. Короткі висновки за результатами розрахунку і експерименту.

Контрольні запитання

1. Дати означення розгалуженого електричного кола і його основних елементів.
2. Сформулювати закон Ома для ділянки кола з ЕРС.
3. Сформулювати перший і другий закони Кірхгофа.
4. Скільки незалежних рівнянь можна скласти, використовуючи перший і другий закони Кірхгофа для схеми, яка складається з трьох вузлів і шести гілок?
5. Пояснити сутність методу вузлових потенціалів.
6. Що таке контурний струм?
7. У чому різниця між контурним струмом і струмом гілки?
8. Викласти сутність методу контурних струмів.
9. Назвати основні властивості електричних кіл постійного струму.
10. Сформулювати принцип накладення (суперпозиції).
11. Розповісти про баланс потужностей для електричного кола.