

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-286М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт №1-5 з навчальної дисципліни
«Теоретичні основи електротехніки»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійними
програмами «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» та «Smart-енергетика та електромобільність»
спеціальності 144 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» усіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІАКОТ
Протокол № 1 від 08.10.2020 р.

Рівне – 2020

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт № 1-5 з навчальної дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та «Smart-енергетика та електромобільність» спеціальності 144 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання [Електронне видання] / Рудик А. В., Кулик Н. І. – Рівне : НУВГП, 2020. – 60 с.

Укладачі: Рудик А. В., доктор технічних наук, доцент, професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій;

Кулик Н. І., кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: В. В. Древецький, доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник освітньої програми
"Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

Василець С. В.

Керівник освітньої програми
«Smart-енергетика та
Електромобільність»

Давиденко В. А.

© Рудик А. В.,

Кулик Н. І., 2020

© Національний університет
водного господарства

та природокористування, 2020

ВСТУП

Дисципліна «Теоретичні основи електротехніки» відноситься до дисциплін фундаментальної підготовки.

Метою вивчення навчальної дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» є формування у студентів спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» сучасного рівня знань, умінь і навичок з електротехніки як наукової основи сучасного електротехнічного обладнання, сучасного рівня знань про методи аналізу і синтезу лінійних та нелінійних електричних і магнітних кіл постійного та змінного струму, принципи побудови сучасних електротехнічних систем та ліній електропередачі[13].

Вивчення теоретичних основ електротехніки є однією з важливих складових у підготовці фахівців з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки. Під час вивчення даної дисципліни студенти здобудуть знання, які допоможуть застосовувати сучасні розробки в галузі проектування електричних мереж та електротехнічного обладнання, що застосовуються в промисловій сфері України.

Дисципліна «Теоретичні основи електротехніки» носить важливий характер при здобутті студентами знань та навичок аналізу і синтезу електричних та магнітних кіл. Міждисциплінарні зв'язки: дисципліна «Теоретичні основи електротехніки» є складовою частиною циклу загальної підготовки для студентів спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Вивчення дисципліни передбачає наявність систематичних та ґрунтовних знань із суміжних курсів - «Вища математика», «Інформатика та комп'ютерна техніка», «Основи метрології та електричних вимірювань», «Фізика», а також цілеспрямованої роботи над вивченням спеціальної літератури, активної роботи на лекціях, лабораторних та практичних заняттях, самостійної роботи та виконання поставлених завдань.

Вимоги до знань та умінь визначаються галузевими стандартами вищої освіти України та освітньо-професійними програмами [14,15].

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. Знайомство з навчально-дослідним лабораторним стендом. Дослідження електричних кіл з послідовним, паралельним та змішаним з'єднанням резисторів.....	5
Лабораторна робота № 2. Дослідження складних кіл постійного струму	26
Лабораторна робота № 3. Дослідження впливу навантаження на режими роботи джерела постійного струму.....	36
Лабораторна робота № 4. Дослідження еквівалентного перетворення «зірка-трикутник».....	43
Лабораторна робота № 5. Дослідження параметрів лінійних чотириполюсників.....	47
Перелік літератури.....	59

Лабораторна робота №1

Знайомство з навчально-дослідним лабораторним стендом.
Дослідження електричних кіл з послідовним, паралельним та змішаним з'єднанням резисторів

1.1. Мета роботи

Вивчити будову навчально-дослідного лабораторного стенда для дослідження електричних кіл, ознайомитися з методикою складання електричних схем, навчитись користуватися вимірювальними приладами. Вивчити основи техніки електробезпеки при виконанні лабораторних робіт. Вивчити експериментальні методи дослідження електричних кіл з послідовним, паралельним і змішаним з'єднанням опорів. Навчитись визначати еквівалентні опори при різних способах їх з'єднання та потужності, що споживають окремі опори та електричні кола.

1.2. Будова лабораторного стенда

Навчально-дослідний лабораторний стенд УИЛС-1 призначений для проведення лабораторних занять з курсу електротехніки.

До складу стенда входять стіл, на якому закріплений пульт, що складається з активних і пасивних блоків, набірного поля, 29 набірних елементів, що розміщені в дерев'яному ящику, і з'єднувальних провідників зі штекерами. При виконанні лабораторних робіт на набірному полі складають електричні кола з набірних елементів, вимірювальних приладів, провідників та перемичок.

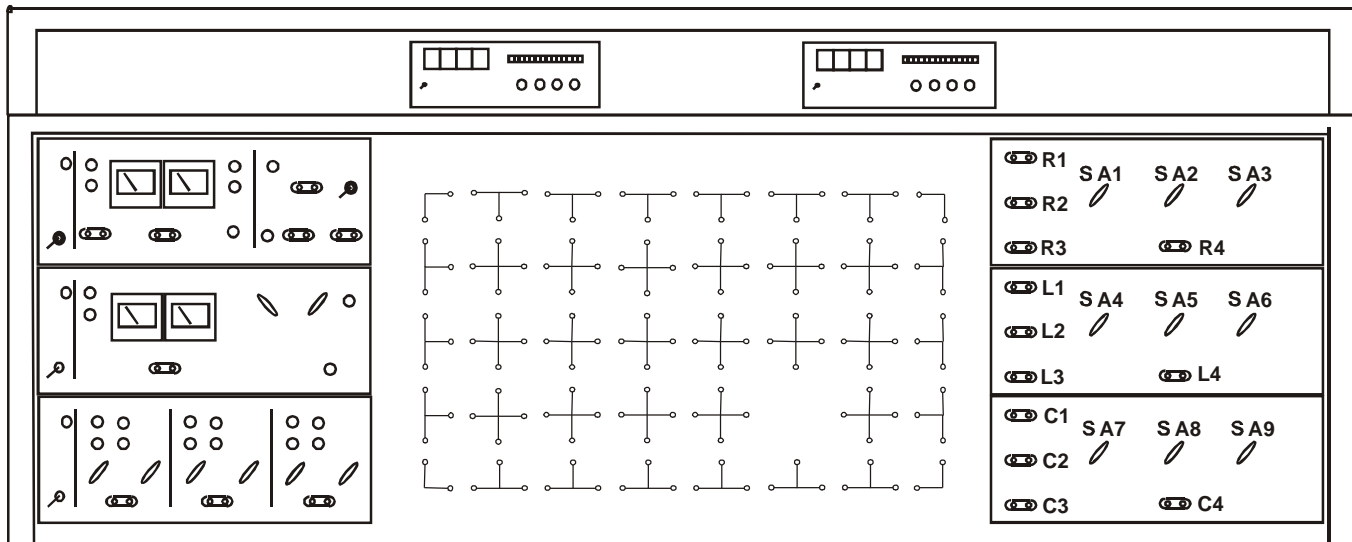


Рисунок 1.1. Зовнішній вигляд пульта УІЛС-1

Пульт (рис.1.1) представляє собою металевий корпус, в якому розміщені блок постійної напруги БПН, блок змінної напруги БЗН, блок трифазної напруги БТН; блок опорів БО, блок індуктивностей БІ, блок ємностей БЄ і набірне поле НП.

До БПН входять :

- регульоване джерело постійної стабілізованої напруги 2...30 В;
- нерегульоване джерело постійної напруги 20 В;
- пристрій «електронний ключ».

Пристрій «електронний ключ» використовують для аналізу пере-хідних процесів. Живлять його від зовнішньої мережі постійного струму напругою 5...15 В, частотою 5...1000 Гц або внутрішньої мережі постійного струму напругою 11...13 В частотою 50 Гц. Для живлення «електронного ключа» від зовнішнього джерела необхідно підключити його до розетки «ВХ.ВНЕСН.СИНХР», а тумблер «СИНХРОНИЗАЦІЯ» - перевести в положення «ВНЕСН.СИНХР» (джерелом зовнішньої син хронізації може бути і БПН). Обидва джерела мають схему захисту від короткого замикання і перевантажень. Струм спрацювання захисту $I_{сп} = I А.$

Блок змінної напруги БЗН являє собою джерело однофазної змінної напруги синусоїдної, прямокутної і трикутної форм регульованої частоти. Вихідну напругу регулюють плавно в межах 5...20 В, частоту змінюють ступінчасто перемикачем через 1 кГц і плавно - потенціометром. Коли птенціометр «ЧАСТОТА ПЛАВНО» знаходиться в крайньому правому положенні, то частота напруги відповідає величині, вказаній на перемикачі ступінчастого регулювання. Точність регулювання частоти складає $\pm 2\%$. Блок має захист від короткого замикання і перевантажень. Струм спрацювання захисту $I_{сп} = I А.$ Для включення БЗН необхідно тумблер «СЕТЬ» поставити в положення «ВКЛ», при цьому засвітиться індикатор «СЕТЬ».

Вимірювальні прилади БПН і БЗН призначені для вимірювання струму і напруги регульованих джерел. Регулювання здійснюють за допомогою потенціометрів.

Блок трифазної напруги БТН є джерелом трифазної напруги промислової частоти. Кожна фаза електрично незалежна одна від одної. Вихідну напругу кожної фази регулюють ступічно в межах 0...40 В ($\Delta=10\text{В}$) і 1...9 В ($\Delta=1\text{В}$). Кожна фаза має схему захисту від короткого замикання і перевантажень, струм спрацювання захисту $I_{\text{сп}} = I \text{ А}$.

При виникненні короткого замикання або перевантаженні (параметри схеми занижені) у блоках спрацьовує електронний захист, і вмикається індикатор «ЗАЩИТА». Після усунення причин виникнення короткого замикання або перевантаження необхідно натиснути кнопку «ЗАЩИТА», схема перейде у вихідне положення, погасне індикатор.

Блок опорів БО складається з трьох нерегульованих резисторів R1, R2, R3 і регульованого резистора R4. Регулювання опору R4 здійснюють ступінчасто за допомогою перемикачів SA1, SA2, SA3. Діапазон регулювання R4 складає 1...999 Ом.

Блок індуктивностей БІ складається з трьох нерегульованих котушок L1, L2, L3 і регульованої індуктивності L4. Регулювання індуктивності здійснюють ступінчасто за допомогою перемикачів SA4, SA5, SA6. Діапазон регулювання індуктивності L4 - 0.1...90 мГн.

Блок ємностей БЄ складається з трьох нерегульованих конденсаторів C1, C2, C3 і регульованої ємності C4. Регулювання ємності здійснюють ступінчасто з допомогою перемикачів SA7, SA8, SA9. Діапазон регулювання ємності C4 - 0.01...9.0 мкФ.

На передніх панелях блоків розташовані засоби сигналізації, органи управління (ручки перемикачів, тумблери, кнопки) та вимірювальні прилади. Кожне джерело живлення та всі пасивні елементи мають виходи на відповідні розетки.

Набірне поле НП містить 67 пар певним способом з'єднаних гнізд, призначених для підключення та установки набірних елементів, з яких складають досліджувані кола. Вони

виготовлені у вигляді прозорих пластмасових коробочок з вилками. На коробці вказані параметри елемента, які необхідно враховувати при складанні кіл, щоб не перевантажувати струмом як самі елементи, так і джерела живлення.

Над набірним полем розташовані два цифрові універсальні вольтметри РВ7-22А. Вони призначені для вимірювання постійних і змінних напруг та струмів, а також опорів в таких межах: 0,2; 2; 20; 200; 2000 (В, мА, кОм). Функції, межі і вид струму при вимірюваннях встановлюють за допомогою кнопочних перемикачів та комбінацією вхідних гнізд на передній панелі приладу.

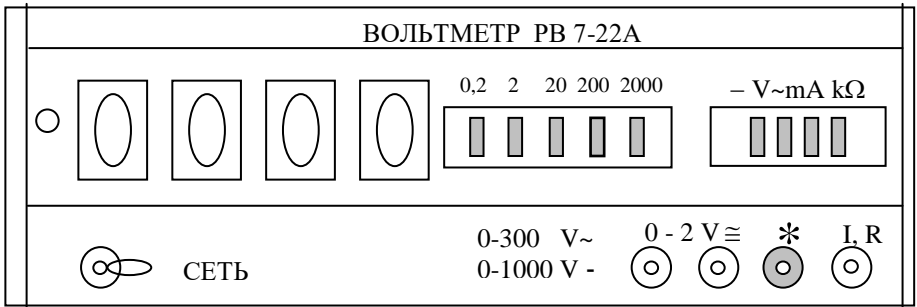


Рисунок 1.2. Передня панель цифрового вольтметра РВ7-22А

На задній стороні стенда розташовані розетки блока комутації електроживлення універсальних приладів (ампервольтметра, осцилографа, частотоміра, фазометра), які необхідні для проведення лабораторних робіт. Прилади встановлюють на верхній кришці стенда.

До складу УИЛС входить прилад комбінований Ф4372 (рис.1.3) з цифровою і електронно-променевою індикацією, призначений для вимірювання постійних струмів і напруг, діючих значень синусоїдних струмів і напруг, опорів постійному струмові, частоти електричних сигналів, візуального спостереження сигналів та визначення їх параметрів за осцилограмою, генерації коливань низької частоти. Прилад складається з розміщених в одному корпусі чотирьох основних блоків:

- блока живлення Б1;
- осцилографа Б2;
- мультиметра і частотоміра Б3;
- блока генераторів Б4.

Елементи блока живлення розміщені на задній стінці приладу, тумблер вмикання живлення «СЕТЬ» знаходиться в ніші верхньої кришки разом з перемикачем живлення блоків Б3-Б4. Живиться прилад від мережі змінної напруги 220 V, 50 Гц.

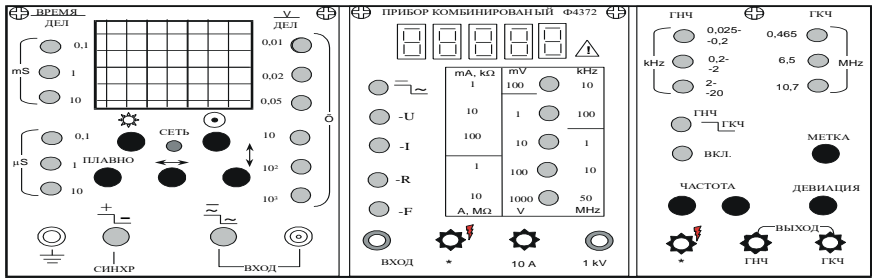


Рисунок 1.3. Видя передньої панелі приладу Ф4372

Предня панель приладу поділена на три частини, на які виведені органи керування та індикації блоків; осцилографа Б2, мультиметра Б3 та генераторів Б4.

На передній панелі Б2 знаходиться екран електроннопроменевої трубки з нанесеною масштабною сіткою і ручки керування променем:

- ☀ - регулювання яскравості променя;
- ⊙ - фокусування променя;
- ↔ - переміщення променя по горизонталі;
- ↑↓ - переміщення променя по вертикалі.

Коефіцієнт передачі каналу вертикального відхилення осцилографа змінюється ступінчасто шляхом натискання однієї з кнопок перемикача, позначеного «V/дел», та кнопок додаткових множників коефіцієнтів відхилення на 10, 10², 10³.

Установка тривалості (частоти) розгортки променя по осі Х здійснюється ступінчасто за допомогою кнопок перемикача”

ВРЕМЯ/ДЕЛ”, а також плавно з допомогою ручки ”ПЛАВНО”. Вказаній біля кнопок тривалості розгортки в мікросекундах μS (чи мілісекундах mS) відповідає крайнє праве положення ручки ПЛАВНО. За цей час промінь проходить віддаль, яка рівна довжині великої клітинки, що нанесена на екран осцилографа. За допомогою перемикача входів \approx вхід осцилографа можна зробити "відкритим" для дослідження сигналів з постійною складовою частотного спектру або "закритим" для спостереження лише змінних складових сигналів. Синхронізація досліджуваних сигналів здійснюється автоматично. Вибір полярності сигналу для синхронізації здійснюється перемикачем „ \pm ”

Досліджуваний сигнал за допомогою коаксіального кабеля подається на гніздо “ВХОД”. Вибором значення коефіцієнта передачі каналу вертикального підсилення та тривалості розгортки добиваються стабільного зображення сигналу на екрані осцилографа, зручного для візуального спостереження. Використовуючи великі поділки масштабної сітки та значення коефіцієнтів передачі по осях X і Y, визначають амплітуду та період досліджуваного сигналу.

На передній панелі мультиметра (блок Б3) розташований п'ятирозрядний цифровий індикатор та органи керування мультиметром:

\approx -кнопка перемикача постійного чи змінного вимірюваних струмів;

- кнопки перемикача виду роботи - I,U,R,F;

- кнопки вибору діапазону вимірюваної величини - mA , $\text{k}\Omega$, mV , kHz , A , $\text{M}\Omega$, V , MHz ;

- вхідні гнізда: ВХОД, *, 10 A , 1 kV .

В процесі роботи за допомогою кнопки перемикача “ \approx ” вибирається вид струму (постійний або змінний) , вид та діапазон зміни вимірюваної величини. Вимірювана величина залежно від її значення і виду подається на відповідний вхід мультиметра.

Передня панель блока Б4 відноситься до генераторів низької та плавно-змінної частот. При їх використанні

необхідно враховувати, що вони мають малу потужність та великий вихідний опір.

Як відомо, опори в електричному колі можуть бути з'єднані послідовно (рис.1.4,а), паралельно (рис. 1.4,б) та змішано (рис. 1.4,в).

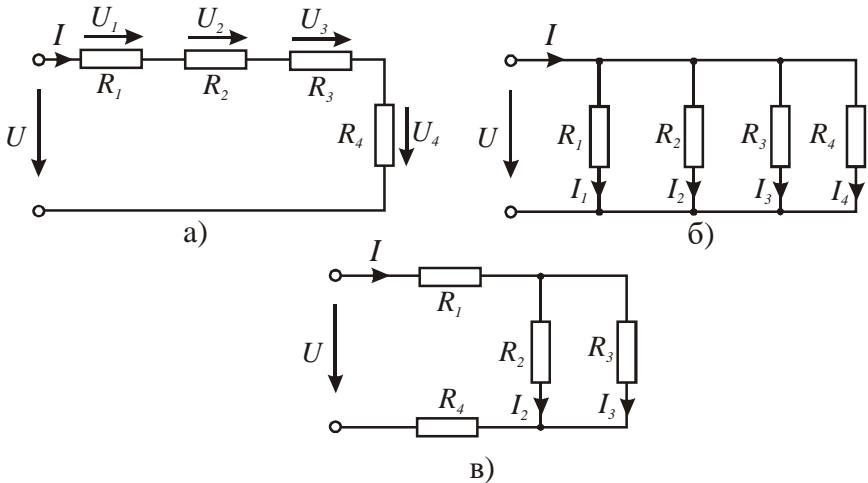


Рисунок 1.4. З'єднання опорів в електричному колі: послідовно (а), паралельно (б), змішано (в)

При послідовному з'єднанні кінець одного опору з'єднується з початком другого, кінець другого – з початком третього і т.д. При цьому струм у всіх послідовно з'єднаних опорах має однакову величину, а спад напруг на кожному опорі - пропорційний цьому струму.

Струм у колі з послідовним з'єднанням опорів згідно закону Ома

$$I = \frac{U}{R_{екв}}, \quad (1.1)$$

Де $R_{екв} = \sum_{i=1}^n R_i$ – еквівалентний опір кола, який у загальному випадку, дорівнює арифметичній сумі n послідовно з'єднаних опорів.

Спад напруги на кожному опорі

$$U_i = IR_i. \quad (1.2)$$

Напруга на вході електричного кола дорівнює арифметичній сумі напруг на окремих опорах :

$$U = \sum_{i=1}^n U_i = I \sum_{i=1}^n R_i. \quad (1.3)$$

Потужність i -того споживача у послідовному колі

$$P_i = I^2 R_i = \frac{U_i^2}{R_i}, \quad (1.4)$$

а всього кола

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = I^2 \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{U_i^2}{R_i}. \quad (1.5)$$

Паралельне з'єднання опорів (рис.1.4,б) – це таке з'єднання, коли умовні початки всіх опорів з'єднані в одну точку, а кінці – в другу. При паралельному з'єднанні на всіх опорах однакова напруга, яка дорівнює напрузі джерела живлення U . Струм у кожному опорі пропорційний цій напрузі:

$$I_i = \frac{U}{R_i} = U g_i, \quad (1.6)$$

де $g_i = \frac{1}{R_i}$ – провідність i -того опору.

Сила струму в нерозгалуженій частині кола

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = \sum_{i=1}^4 I_i \quad (1.7)$$

або

$$I = U g_{екв}, \quad (1.8)$$

де $g_{екв} = g_1 + g_2 + g_3 + g_4 = \sum_{i=1}^4 g_i = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{R_i}$ – еквівалентна провідність кола.

Потужність, що споживається при паралельному з'єднанні опорів i -ою віткою [8],

$$P_i = U^2 g_i = \frac{1}{R_i} U^2, \quad (1.9)$$

а - усім колом

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = U^2 \sum_{i=1}^n g_i = U^2 g_{екв}. \quad (1.10)$$

Змішане з'єднання опорів (рис.1.4,в) – це таке з'єднання, коли частина з них з'єднана паралельно (опори R_2, R_3), а інші - послідовно.

Еквівалентний опір всього кола (рис1.4,в) дорівнює

$$R_{екв} = R_1 + R_{23} + R_4, \quad (1.11)$$

$$\text{де } R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

Сила струму джерела живлення дорівнює

$$I = I_2 + I_3 = \frac{U}{R_{екв}} = U g_{екв}. \quad (1.12)$$

Остання рівність дає можливість експериментально підтвердити перший закон Кірхгофа.

Електрична енергія, що виробляється джерелом живлення (генератором), перетворюється в інші види енергії: теплову, світлову, механічну тощо. При цьому виконується баланс потужностей [8],

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (1.13)$$

де $P = UI$ – потужність джерела живлення, $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ – потужності споживачів.

Для електричного кола (рис.2.1,а) баланс потужностей можна записати так:

$$P = UI = I^2 R_1 + I^2 R_2 + I^2 R_3 + I^2 R_4 = I^2 \sum_{i=1}^4 R_i = I^2 R_{екв}. \quad (1.14)$$

Для електричного кола, наведеного на рис.2.1,б,

$$\begin{aligned}
 P = UI &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 = g_1 U^2 + g_2 U^2 + g_3 U^2 + g_4 U^2 = \\
 &= U^2 \sum_{i=1}^4 g_i = U^2 g_{екв}
 \end{aligned}
 \tag{1.15}$$

і при змішаному з'єднанні опорів

$$\begin{aligned}
 P = UI &= I^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I^2 R_4 = I^2 (R_1 + R_4) + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 = \\
 &= I^2 \left(R_1 + R_4 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_4} \right).
 \end{aligned}
 \tag{1.16}$$

1.3. Програма роботи

1. Вивчити правила техніки електробезпеки при виконанні лабораторних робіт.

2. Вивчити будову навчально-дослідного лабораторного стенда.

3. Ознайомитися з органами керування та порядком роботи вимірювальних приладів.

4. Провести вимірювання опору, постійної та змінної напруг.

5. Вивчити методики одержання коливань трикутної, прямокутної і синусоїдної форм та зміни їх частоти і амплітуди.

6. Навчитися визначати амплітуду і період коливання за допомогою осцилографа.

7. Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням опорів.

8. Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням опорів.

9. Дослідження електричного кола зі змішаним з'єднанням опорів.

1.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчення УИЛС-1 ведеться при відключеному живленні. Читаючи уважно опис наведеної вище будови стенда, знаходять відповідні написи на лицевих панелях блоків, вмикають та вимикають відповідні перемикачі, кнопки та інші засоби комутації, запам'ятовують їх призначення. Під керівництвом викладача знайомляться з порядком включення приладів, спостерігають за світловою індикацією.

2. Знайомляться з положенням кнопок вибору виду напруг, перемикачів виду і діапазонів вимірюваної величини, вивчають надписи над входними гніздами вимірювальних приладів.

3. Для вимірювання опору резистора за допомогою універсального цифрового вольтметра РВ7-22А включіть тумблер "СЕТЬ", натисніть кнопку $k\Omega$ і виберіть відповідну межу вимірювань, наприклад, $2\ k\Omega$,

натиснувши кнопку "2". Вставте одні кінці провідників зі штекерами у гнізда приладу "*" і в "I,R", а інші - в гнізда набірного поля НП. В гнізда НП вставте резистор з опором $0,5...2\ k\Omega$ і проведіть його вимірювання.

4. Для вимірювання постійної напруги натисніть кнопку "V" і виберіть максимальну межу вимірювання, наприклад, $200\ V$ або $2000\ V$. З'єднайте провідниками гнізда приладу "*" та ліве крайнє з межею вимірювання " $0 - 1000\ V$ " з вихідними гніздами регульованого джерела постійної напруги БПН. Увімкніть тумблер "СЕТЬ" і, повертаючи ручку потенціометра "НАПРЯЖЕНИЕ" за годинниковою стрілкою, слідкуйте за показами приладу. Для більш точного вимірювання перейдіть на меншу межу. Визначте max і min значення регульованої напруги БПН. Дані вимірювання занесіть до звіту.

5. Для вимірювання змінної напруги натисніть кнопку "V ~" і виберіть максимальну межу вимірювання. З'єднайте провідниками гніздо приладу "*" і ліве крайнє з межею вимірювання " $0 - 300\ V\sim$ " і вихідними гніздами регульованого джерела змінної напруги БЗН. Переведіть перемикач в положення "~", що відповідає синусоїдній формі напруги.

Встановіть частоту вихідної напруги, наприклад 1кГц. Увімкніть тумблер “СЕТЬ” і, повертаючи ручку потенціометра “НАПРЯЖЕНИЕ” за годинниковою стрілкою, слідкуйте за показами приладу. Для більш точного вимірювання перейдіть на меншу межу. Визначають max і min значення регульованої напруги. Дані занесіть до звіту.

6. Вивчення форми напруг проводять у такій послідовності. Під'єднують вихідні клеми генератора сигналів до гнізда "ВХОД" осцилографа за допомогою коаксіального кабеля так, щоб гніздо \perp було з'єднане з "холодним" кінцем кабеля. Вмикають живлення осцилографа. Задають тривалість розгортки 1 mS, ручку плавної зміни тривалості “ПЛАВНО” переводять в крайнє праве положення. Ручками \leftrightarrow і \updownarrow встановлюють лінію розгортки по середині екрану. Поступово виставляють чутливість каналу вертикального відхилення 1 V на поділку, натискаючи почергово кнопки “0.01” та “10²”. При необхідності регулюють яскравість та фокусують промінь ручками “⚙” і “⊙”. Натискають кнопку “⏏”, щоб зробити вхід осцилографа закритим. При цьому на екрані повинна відобразитись лише змінна складова досліджуваного сигналу. Вмикають генератор сигналів БЗН.

Встановлюють ручку“НАПРЯЖЕНИЕ” в положення min. Повертаючи ручку плавної зміни вихідної напруги, слідкують за появою зображення на екрані осцилографа. Ручкою плавної зміни частоти генератора добиваються стійкого зображення сигналу, зручного для спостереження. Слідкують за зміною форми коливань при перемиканні перемикача форми сигналу.

7. Зарисовують зображення гармонічних коливань з екрана осцилографа разом з масштабною сіткою. Визначають відхилення сигналу по вертикалі h та тривалість періоду l у великих поділках сітки на екрані. Використовуючи значення чутливості каналу вертикального відхилення m_v та тривалості установленної розгортки m_t , визначають амплітуду і період коливань сигналу за формулами

$$A = m_v h \quad \text{і} \quad t = m_t l .$$

Потім розраховують діюче значення напруги та частоту сигналу.

8. Не змінюючи установок генератора, під'єднують до його виходу вхід мультиметра з цифровою індикацією приладу Ф4372 (блок Б3). Натискають кнопки U і 100 V на мультиметрі. Записують діюче значення напруги, висвітлене на індикаторі. При цьому необхідно звертати увагу на положення крапки, яка розділює цілу та дробову частину показу.

Для вимірювання частоти натискають кнопки F та 100 kHz (блок Б3 приладу Ф4372). Результат висвітлюється на табло. Для забезпечення нормальної роботи мультиметра слідкують, щоб при вимірюванні частоти сигналів їх напруга була в межах $0,5\dots 1,5\text{ V}$. Порівнюють результати дослідів і розрахунків та роблять висновки про похибки.

Для виконання лабораторних досліджень зібрати електричне коло згідно зі схемою, наведеною на рис.1.4, використавши резистори з опорами, заданими викладачем.

1. Для дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням опорів необхідно:

- зняти перемички P_1, P_2, P_4 і P_5 , що призведе до послідовного з'єднання опорів R_1, R_2 і R_3 ;
- зняти перемичку P і на її місце під'єднати прилад PA для вимірювання струму;
- вольтметр PV під'єднати до вхідних точок кола;
- ввімкнути джерело живлення і, користуючись вольтметром PV , виставити величину напруги, задану викладачем;
- приладом PA поміряти струм у колі;
- користуючись вольтметром PV , виміряти напруги на опорах R_1, R_2 і R_3 ;
- результати вимірювань записати в табл.1;

- на основі результатів вимірювань визначити величину опорів окремих резисторів R_1, R_2 і R_3 ;
- вирахувати еквівалентний опір кола через знайдені опори резисторів, а також $R_{екв}^*$ на підставі закону Ома;
- порівняти отримані величини $R_{екв}$ і оцінити величину похибки експерименту;
- вирахувати величини потужностей, що виділяються в окремих опорах кола (формула 1.4), а також сумарну потужність (формула 1.5), що споживається опорами кола;
- визначити потужність джерела живлення P^* , користуючись значенням струму (формула 1.1) і напруги (формула 1.3) на вході кола;
- перевірити виконання балансу потужностей і зробити належний висновок.

Таблиця 1.

Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням опорів

Вимірювання					Обчислення									
U	I	U_1	U_2	U_3	R_1	R_2	R_3	$R_{екв}$	$R_{екв}^*$	P_1	P_2	P_3	P	P^*
B	A	B	B	B	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	B	B	B	B	B

2. Провести дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням опорів. Для чого необхідно:

- поставити перемички $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ і Π_5 , забезпечивши паралельне з'єднання опорів R_3, R_4 і R_5 ;
- встановити задану викладачем величину вхідної напруги U ;

- знімаючи послідовно перемички P_1, P_2, P_3 і P_4 і під'єднуючи на їх місце кожний раз прилад PA , поміряти струм I в нерозгалуженій частині кола і потім струми I_3, I_4 і I_5 у відповідних опорах;
- результати вимірювань записати до табл. 2.;
- на основі результатів вимірювання вирахувати опори і провідності окремих віток (формула 1.6);
- знайти величину еквівалентної провідності всього кола через провідності окремих віток і визначити загальну провідність кола g^* , користуючись законом Ома (формула 1.8);
- порівняти отримані результати і зробити оцінку величини похибки експерименту;
- вирахувати величини потужностей, що виділяються в окремих опорах (формула 1.9), а також сумарну потужність, що споживається у колі (формула 1.10);
- визначити потужність джерела живлення;
- перевірити виконання балансу потужностей (формула 1.14) і зробити належний висновок.

Таблиця 2.

Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням опорів

Вимірювання					Обчислення														
U	I	I_1	I_2	I_3	R_3	R_4	R_5	$R_{ек}$	$R_{ек}^*$	g_3	g_4	g_5	$g_{ек}$	$g_{ек}^*$	P_3	P_4	P_5	P	P^*
B	A	A	A	A	Om					Sim					Vm				

3. Провести дослідження електричного кола зі змішаним з'єднанням опорів. Для цього необхідно:

- зняти перемички $П_1$ і $П_5$, здійснивши таким чином послідовне з'єднання опору R_1 з паралельно з'єднаними опорами R_3 і R_4 ;

- провести вимірювання струмів в опорах і всіх напруг;

- результати вимірювань занести до табл.3.

Таблиця 3.

Дослідження електричного кола зі змішаним з'єднанням опорів

Вимірювання						Обчислення									
U	U_1	$U_{3,4}$	I	I_3	I_4	R_1	R_3	R_4	$R_{ек}$	R_{e}^*	P_1	P_3	P_4	P	P^*
B	B	B	A	A	A	Om					Vm				

- на підставі результатів вимірювань вирахувати величини опорів R_1, R_3 і R_4 , а також еквівалентний опір кола (формула 1.11);

- визначити еквівалентний опір кола $R_{екв}^*$, користуючись законом Ома, і порівняти його величину з попереднім значенням;

- зробити висновок про величину похибки експерименту;

- визначити потужності, що виділяються в окремих опорах і в усьому колі (формула 1.13);

- визначити потужність джерела живлення (формула 1.14) і перевірити виконання балансу потужностей. Зробити належний висновок.

1.5.Контрольні запитання

1. Які основні блоки входять до пульта УИЛС-1?

2. Який струм спрацювання захисту блоків живлення?
3. Яким чином здійснюють регулювання опору, індуктивності або ємності?
4. Для чого призначені цифрові універсальні вольтметри РВ7-22А?
5. Для чого призначений прилад комбінований Ф4372?

6. У яких випадках використовують відкритий вхід осцилографа?
7. В якому положенні ручки “ПЛАВНО” тривалість розгортки осцилографа відповідає значенням, вказаним біля кнопок ступінчатої зміни тривалості розгортки?
8. В якій смузі частот лежать сигнали, що їх можна спостерігати на екрані осцилографа?
9. Чому ураження електричним струмом для людини є небезпечним?
10. Які основні правила електробезпеки в електротехнічних лабораторіях?
11. Нарисувати схему послідовного з'єднання трьох опорів і записати величину еквівалентного опору кола.
12. Нарисувати схему електричного кола з паралельним з'єднанням трьох опорів і записати величину еквівалентного опору такого з'єднання.
13. Нарисувати схему електричного кола, що складається із трьох опорів зі змішаним з'єднанням. Чому буде дорівнювати еквівалентний опір такого кола, якщо опори різні, тобто $R_1 \neq R_2 \neq R_3$?
14. Задано електричне коло, схема якого наведена на рис. 1.3. Напруга на затискачах кола $U = 120$ В, струм $I = 24$ А, опір $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 250$ Ом. Визначити опір R_3 і потужність, що виділяється в ньому.

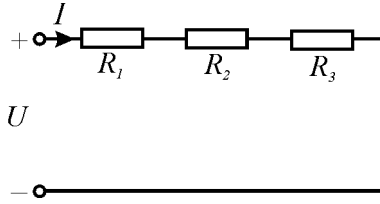


Рисунок 1.3. Схема електричного кола

15. В електричному колі (рис.1.4) з паралельним з'єднанням трьох резисторів $R_1 = R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 40$ Ом, потужність всього кола $P = 32$ Вт. Визначити напругу на вході кола, загальний струм I , а також струми у вітках I_1, I_2, I_3 .

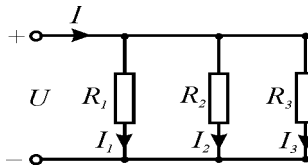


Рисунок 1.4. Схема електричного кола з паралельним з'єднанням трьох резисторів

16. Як формулюється баланс потужностей для електричних кіл?

17. Визначити еквівалентний опір електричного кола (рис.1.5) за умови, що всі опори рівні між собою.

18. Якщо у колі рис. 1.5 опори $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 0$, а струми $I_2 = 1,8$ А, $I_3 = 3$ А, то чому повинна дорівнювати напруга на вході кола U ?

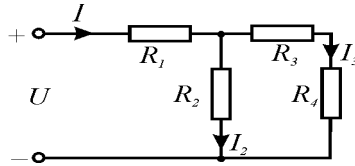


Рисунок 1.5. Схема електричного кола з еквівалентним опором

19. В електричному колі (рис.1.5) опори $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_4 = 0$. Еквівалентний опір кола $R_{екв} = 6$ Ом. Визначити величину опору R_3 .

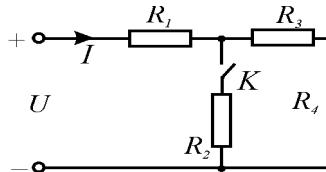


Рисунок 1.6. Схема електричного кола

20. В електричному колі (рис.1.6) в результаті протікання струму має місце падіння напруг на опорах R_1 і R_3 . Як зміниться падіння напруги на опорі R_1 при замиканні ключа K , якщо вхідна напруга U залишається незмінною?

Лабораторна робота №2

Дослідження складних кіл постійного струму

2.1. Мета роботи

Вивчити методи розрахунку складних електричних кіл і експериментально перевірити метод еквівалентного генератора.

2.2. Короткі теоретичні відомості

Електричні кола з послідовним і паралельним з'єднанням елементів і одним джерелом живлення називають простими електричними колами. Електричні кола багатьох пристроїв складаються з декількох джерел живлення і розгалужених схем з'єднання. Такі кола шляхом перетворення схем не можна звести до послідовного або паралельного з'єднання елементів і їх називають складними колами. Розрахунок таких кіл виконують на підставі першого (алгебраїчна сума струмів в будь-якому вузлі кола дорівнює нулю) й другого (алгебраїчна сума ЕРС в будь-якому замкненому контурі дорівнює алгебраїчній сумі напруг на елементах контура) законів Кірхгофа.

Якщо схема має g вузлів, тобто точок, де сходяться три і більше вітки, то за першим законом Кірхгофа можна скласти $g-1$ незалежних рівнянь виду

$$\sum_{i=1}^k I_i = 0, \quad (2.1)$$

де k – кількість віток, що сходяться у вузлі. Якщо схема складається з n незалежних контурів, тобто таких, які відрізняються хоча б однією віткою, то за другим законом Кірхгофа можна скласти n незалежних рівнянь виду

$$\sum_{i=1}^m E_i = \sum_{i=1}^k I_i R_i, \quad (2.2)$$

де m, k - відповідно кількість ЕРС і опорів у контурі.

Цих рівнянь завжди достатньо, щоб визначити струми у всіх вітках кола, бо число віток $p=n+g-1$.

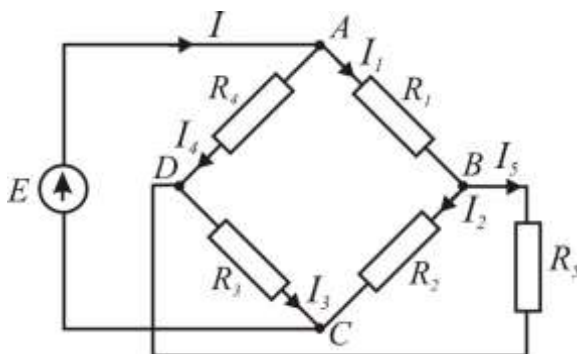


Рисунок 2.1.

Схема, що на рис. 2.1, має чотири вузли і три незалежні замкнені контури. Для цієї схеми згідно законів Кірхгофа можна скласти $p = 3 + 4 - 1 = 6$ рівнянь. Для складання рівнянь спочатку необхідно вибрати умовно-додатні напрямки струмів у вітках схеми. Якщо в результаті розрахунків який-небудь струм буде від'ємним, то напрям цього струму потрібно змінити на протилежний. При складанні рівнянь видів (2.1) і (2.2) користуються такими правилами:

- струми, які направлені до вузла, записують зі знаком плюс, а від вузла – зі знаком мінус;
- при складанні рівнянь виду (2.2) обхід контурів проводять за годинниковою стрілкою з врахуванням правила знаків: якщо напрямок ЕРС і струму збігаються з напрямком обходу, то їх беруть зі знаком плюс. В протилежному випадку їх беруть зі знаком мінус.

Згідно схеми рис. 2.1 невідомими є струми $I, I_1, I_2, I_3, I_4,$ і I_5 . Для їх визначення за першим законом Кірхгофа складають

$g - I = 4 - I = 3$ рівняння (для вузлів A, B і D) та $n = 3$ рівняння за другим законом Кіргофа (контури $EAДCE, ABDA, ВСДВ$):

$$\begin{aligned} I - I_1 - I_4 &= 0; \\ I_1 - I_2 - I_5 &= 0; \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} I_4 + I_5 - I_3 &= 0. \\ E &= I_4 R_4 + I_3 R_3; \\ I_1 R_1 + I_5 R_5 - I_4 R_4 &= 0; \\ I_5 R_5 + I_3 R_3 - I_2 R_2 &= 0. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Розв'язок системи рівнянь (2.3) і (2.4) дозволяє визначити струми у всіх вітках, але ці обчислення досить громіздкі. Дещо простішим є метод контурних струмів, коли визначають умовні струми в контурах. Тоді складають лише систему рівнянь виду (2.2) для незалежних контурів, обчислюють контурні струми і, знаючи їх, визначають струми у вітках.

Для перевірки правильності розрахунків описаними методами, зазвичай, використовують енергетичну умову: алгебраїчна сума потужностей, яку віддають джерела ЕРС, дорівнює сумі потужностей, яку споживають споживачі. Для схеми, наведеної на рис. 2.1, ця умова буде такою:

$$EI = \sum_{i=1}^5 I_i^2 R_i. \quad (2.5)$$

При розрахунках електричних кіл інколи потрібно визначити струми не у всіх вітках, а тільки в одній. Використовувати описані вище методи у цьому випадку недоцільно, бо розроблено метод еквівалентного генератора, користуючись яким визначають струму в одній вітці.

Нехай потрібно визначити струм у вітці з опором R_5 (рис.2.1). Згідно з цим методом струм

$$I_5 = \frac{E_{екв}}{R_{вн} + R_5}, \quad (2.6)$$

де $E_{екв}$ – ЕРС еквівалентного генератора, яка дорівнює напрузі $U_{ВД}$ при $R_5 = \infty$, тобто при розімкненій вітці з опором R_5 ; $R_{вн}$ – внутрішній опір еквівалентного генератора, тобто опір кола, яке одержують, закоротивши джерело живлення E і розімкнувши вітку з опором R_5 . Отже, розрахунок струму I_5 зводиться до розрахунків $E_{екв}$ і $R_{вн}$.

На рис. 2.2 показана схема для розрахунку $E_{екв} = U_{ВД}$ згідно визначення. Щоб знайти напругу $U_{ВД}$, запишемо за другим законом Кірхгофа для контура $ВДАВ$:

$$U_{ВД} - I_4^* R_4 + I_1^* R_1 = 0. \quad (2.7)$$

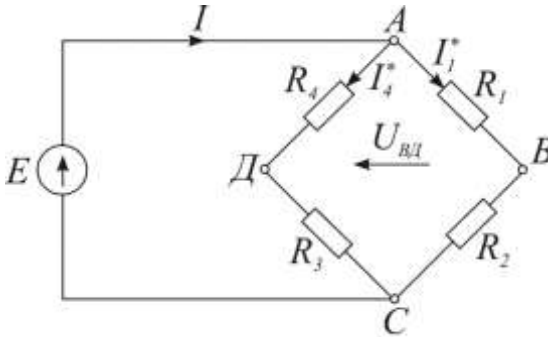


Рисунок 2.2.

Струми у вітках

$$I_1^* = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad \text{і} \quad I_4^* = \frac{E}{R_3 + R_4}. \quad (2.8)$$

Підставимо вирази (2.8) в (2.7) за умови, що $U_{BD}=E_{екв}$. Тоді одержимо

$$E_{екв} = E \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right). \quad (2.9)$$

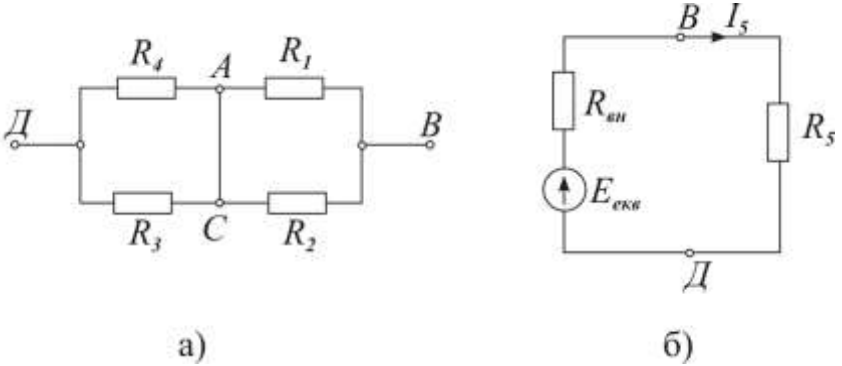


Рисунок 2.3.

Для розрахунку внутрішнього опору еквівалентного генератора $R_{вн}$ згідно визначення потрібно в схемі рис.2.2 закортити ЕРС E , тобто з'єднати точки AC . В результаті отримаємо розрахункову схему, зображену на рис. 2.3, а. Опір цієї схеми відносно точок $ДB$

$$R_{ДB} = R_{вн} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2.10)$$

Отже, згідно методу еквівалентного генератора отримали еквівалентну розрахункову схему для визначення струму у вітці з опором R_5 (рис.2.3,б). Для цієї схеми

$$I_5 = \frac{E_{екв}}{R_{вн} + R_5}, \quad (2.11)$$

що підтверджує розрахункову формулу (2.6). За аналогічною методикою можна визначити струм у будь-якій вітці кола.

Метод еквівалентного генератора широко застосовують для експериментального визначення внутрішнього опору складних електричних схем.

Користуючись цим методом, визначимо експериментально внутрішній опір схеми, яка показана на рис. 2.1, відносно опору R_5 . Для цього потрібно від'єднати опір R_5 і вольтметром виміряти напругу між точками B і D . Виміряна напруга U_{BD} і буде рівною ЕРС еквівалентного генератора $E_{екв}$. Далі потрібно до точок B і D приєднати амперметр і виміряти струм. Якщо знехтувати опором амперметра, то вимірний струм буде струмом короткого замикання $I_{к.з.}$. Тоді внутрішній опір еквівалентного генератора [12]

$$R_{вн} = \frac{U_{BD}}{I_{к.з.}} = \frac{E_{екв}}{I_{к.з.}}. \quad (2.12)$$

З врахуванням опору амперметра $R_{вн} = \frac{E_{екв}}{I_{к.з.}} - R_A$.

Оскільки $E_{екв} = U_{BD}$, то за формулою (2.6) можна визначити струм I_5 .

Таку методику можна використати для експериментальної перевірки розрахунків за методом еквівалентного генератора.

Для випадку $0 < I_5 < I_{к.з.}$ можна записати, що

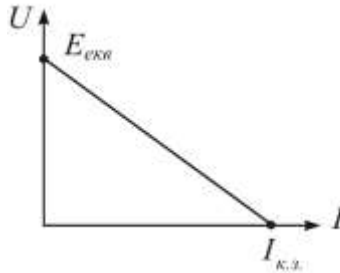


Рисунок 2.4.

$$U_{ВД} = E_{екв} - I_5 R_{вн}. \quad (2.13)$$

За рівнянням (2.13) будують вольтамперну характеристику (рис.2.4), яка необхідна для аналізу режимів роботи кола від холостого ходу ($I=0$) до короткого замикання ($I=I_{к.з.}$) при зміні опору вітки [12]. Такими характеристиками користуються при розрахунках кіл з нелінійними керованими елементами.

2.3. Програма роботи

1. Виконати методом еквівалентного генератора розрахунки струму у вітці з опором R_5 .
2. Провести досліди холостого ходу та короткого замикання і визначити внутрішній опір еквівалентного генератора.
3. За даними дослідів визначити струм у вітці і побудувати вольтамперну характеристику.
4. Виміряти амперметром струм у вітці з опором R_5 .
5. Побудувати вольтамперні характеристики на підставі розрахунків та експериментів.

6. Порівняти результати розрахунків струму у вітці з опором R_5 аналітичним і експериментально-розрахунковим методами з прямим вимірюванням струму та визначити похибки.

2.4. Рекомендації до складання електричного кола

Лабораторна робота проводиться на навчально-дослідному лабораторному стенді. Схема електричного кола для проведення дослідів зображена на рис.2.5.

Для живлення схеми використовують регульоване джерело напруги. Резистори та перемички знаходяться в магазинах стенда. Вимірювання напруги та струму здійснюють цифровими приладами, що знаходяться на стенді.

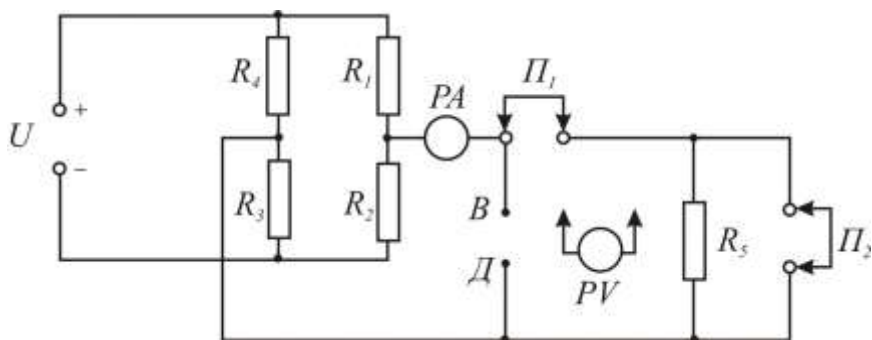


Рисунок 2.5.

2.5. Порядок виконання роботи

При складанні кола, схема якого зображена на рис.2.5, використати резистори з величинами опорів, вказаними викладачем.

1. Розрахунки струму I_5 проводять за формулами (2.6), (2.7) і (2.8).

2. Досліди холостого ходу і короткого замикання проводять так: знімають перемичку $П_1$, і вольтметром PV вимірюють напругу між точками B і D ; потім, поставивши перемички $П_1$ і $П_2$, міліамперметром PA вимірюють струм короткого замикання $I_{к.з.}$. Дані вимірювань заносять до звіту. За цими даними визначають $R_{вн}$ (формула 2.12) і порівнюють з розрахунковим значенням $R_{вн}$ (формула 2.10).

3. Струм I_5 визначають за формулою (2.6). Вольтамперну характеристику будують за точками $I_{к.з.}$ і $E_{екв.}$, як показано на рис. 2.4.

4. Зняти перемичку $П_2$ і виміряти струм і напругу. Дані занести в табл. 1. Повторити вимірювання ще для трьох значень R_5 , заданих викладачем. Обчислити величини, вказані в табл. 1.

Таблиця 1

№ з/п	R, Ом	Вимірювання		Обчислення			
		I, А	U, В	I, А	U, В	$\Delta I, A$	$\Delta U, B$
1.							
2.							
3.							
4.							
5							

5. За експериментальними і розрахунковими даними табл. 1 на одному графіку побудувати вольтамперні характеристики і оцінити похибки.

6. При порівнянні результатів розрахунку струмів у вітці з опором R_5 за істинне значення струму прийняти покази міліамперметра.

2.6. Контрольні запитання

1. Які є методи розрахунку складних електричних кіл?
2. У яких випадках доцільно використовувати метод еквівалентного генератора?
3. Який порядок розрахунку струму у будь-якій вітці кола методом еквівалентного генератора?
4. Чому метод еквівалентного генератора називають ще методом холостого ходу і короткого замикання?
5. Як можна визначити ЕРС еквівалентного генератора аналітичним шляхом?
6. Як визначити ЕРС еквівалентного генератора експериментальним шляхом?
7. Як обчислюють внутрішній опір еквівалентного генератора?
8. На підставі яких дослідів можна визначити внутрішній опір еквівалентного генератора?
9. Запишіть і поясніть формулу для визначення струму у будь-якій вітці методом еквівалентного генератора.
10. Як побудувати вольтамперну характеристику окремої вітки складного електричного кола?

Лабораторна робота №3

Дослідження впливу навантаження на режими роботи джерела постійного струму

3.1. Мета роботи

Дослідити вплив навантаження на величину потужності, що передається джерелом енергії споживачу.

3.2. Короткі теоретичні відомості

Будь-яке електричне коло складається з джерела електричної енергії, споживача та лінії передачі і його можна представити електричною схемою, що зображена на рис.3.1.

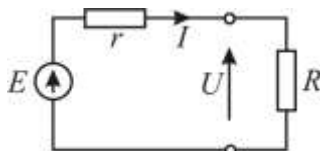


Рисунок 3.1.

На цій схемі позначено:

E – ЕРС джерела енергії; r – внутрішній опір цього джерела; R – зовнішній опір електричного кола або опір навантаження. У випадку передачі енергії на значну відстань опір лінії передачі можна додати до опору r .

За другим законом Кірхгофа можна записати

$$E = I r + U, \quad (3.1)$$

де I – струм у колі; U – напруга на опорі навантаження.

Згідно закону Ома струм I та напругу U можна виразити так:

$$I = \frac{E}{r + R}, \quad (3.2)$$

$$U = IR = \frac{E}{r + R} R. \quad (3.3)$$

Спад напруги на внутрішньому опорі

$$\Delta U = E - U = Ir = \frac{E}{r + R} r.$$

Потужність джерела енергії

$$P_1 = EI = \frac{E^2}{r + R}. \quad (3.4)$$

Враховуючи (3.2), потужність споживача електроенергії

$$P_2 = IU = I^2 R = \left(\frac{E}{r + R} \right)^2 R \quad \text{або} \quad P_2 = EI - I^2 R. \quad (3.5)$$

Рівняння (3.5) показує, що залежність $P_2 = f(I)$ є параболою.

Втрата потужності на внутрішньому опорі

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \Delta U \cdot I = I^2 r = \left(\frac{E}{r + R} \right)^2 r. \quad (3.6)$$

Коефіцієнт корисної дії електричного кола

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I^2 R}{I^2 (r + R)} = \frac{R}{r + R}. \quad (3.7)$$

Розглянемо основні режими роботи електричного кола.

Режим холостого (неробочого) ходу. В цьому випадку $R = \infty$ і тому

$$I = 0; U = E; \Delta U = 0; P_1 = P_2 = 0 \text{ і } \Delta P = 0; \eta = 1.$$

Режим короткого замикання. Коротке замикання утворюється при $R = 0$. Для цього режиму

$$I = I_{к.з} = \frac{E}{r}; U = 0; \Delta U = E; P_1 = I^2 r = \frac{E^2}{r};$$

$$P_2 = 0 \text{ і } \Delta P = P_1; \eta = \frac{0}{P_1} = 0.$$

При короткому замиканні струм у колі досягає максимального значення.

Режим узгодженого навантаження. Оскільки у двох розглянутих режимах корисна потужність $P_2 = 0$, то доцільно знайти умову, за якої ця потужність буде досягати максимального значення. Згідно (3.5) потужність P_2 буде залежити тільки від опору R за умови, що ЕРС E і внутрішній опір r незмінні.

Для цього рівняння (3.5) дослідимо на екстремум:

$$\frac{dP_2}{dR} = E^2 \frac{d}{dR} \cdot \frac{R}{(r + R)^2} = E^2 \frac{(r + R)^2 - 2R(r + R)}{(r + R)^4} = 0;$$

$$(r + R)^2 - 2R(r + R) = 0 \text{ і } R = r.$$

Отже, потужність, яка передається споживачу, буде максимальною, коли його опір R буде дорівнювати внутрішньому опорів джерела.

Такий режим роботи називають узгодженим режимом або режимом узгодженого навантаження. В цьому випадку :

$$I = \frac{E}{2r}; U = \frac{E}{2}; \Delta U = \frac{E}{2}; P_1 = \frac{E^2}{2r};$$

$$P_2 = P_{2max} = \frac{E^2}{4r}; \Delta P = \frac{E^2}{4r} \text{ і } \eta = 0,5.$$

Режим узгодженого навантаження використовують у тих випадках, коли необхідно забезпечити максимально можливе значення вихідної потужності, не беручи до уваги величину ККД.

Такі режими роботи бувають доцільними в електронних пристроях, для яких характерні невеликі рівні потужності. Електричні системи великої потужності, наприклад, системи енергопостачання, працюють в режимі, близькому до режиму холостого ходу, щоб забезпечити високий ККД.

Графіки зміни E , U , ΔU , P_1 , P_2 , ΔP і η в залежності від струму I , зображені на рис.3.2.

$$E, U, \Delta U, P_1, P_2, \Delta P, \eta$$

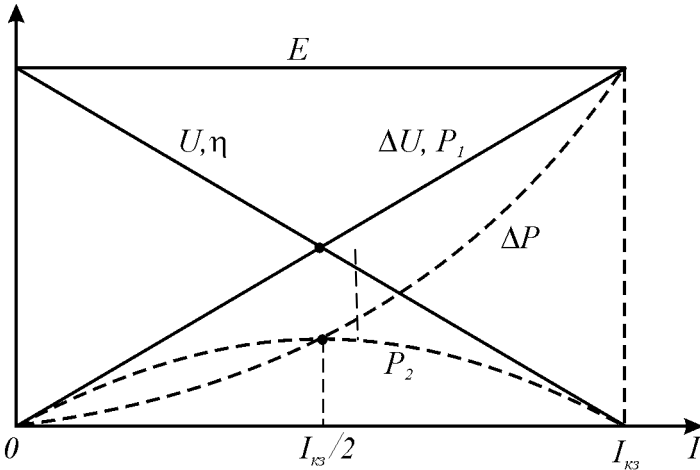


Рисунок 3.2.

Елементи електричних кіл постійного струму можуть бути

3.3. Програма роботи

1. Провести вимірювання напруги і струму при зміні опору R в межах $\infty \dots 0$.
2. За даними вимірювань і обчислень побудувати залежності E , U , ΔU , P_1 , P_2 , ΔP і $\eta = f(I)$.

3.4. Вказівки до складання електричного кола

Для виконання лабораторної роботи використовують обладнання і вимірювальні прилади навчально-дослідного

лабораторного стенда. На набірному полі стенда складають електричне коло, схема якого зображена на рис. 3.3.

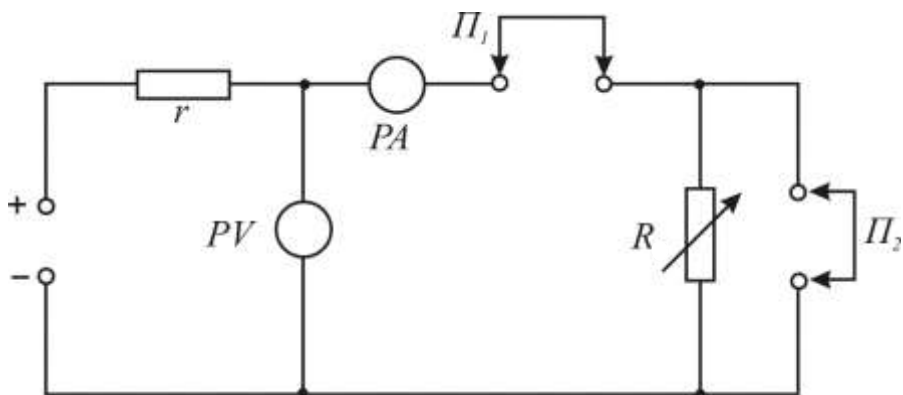


Рисунок 3.3.

Напругу на вході кола, яка прирівнюється до ЕРС E , подають від джерела живлення на стенді. Її величину за вказівкою викладача виставляють в межах 10...20 В поворотом ручки “Напряжение”. Опір r , що відтворює внутрішній опір генератора, слід взяти рівним 51 Ом або 75 Ом. Як опір R використовують магазин опорів, що розташований у верхній правій частині стенда. Приладами PV і PA є цифрові прилади із комплекту стенда.

3.5. Порядок виконання роботи

1. Для дослідження впливу навантаження на режими роботи електричного кола необхідно:
 - зібрати електричне коло згідно зі схемою рис.3.5;
 - зняти перемичку Π_1 і встановити напругу, задану викладачем. Під час дослідів необхідно стежити, щоби напруга

живлення була сталою. При необхідності її регулювати ручкою "Напряжение"

– записати покази приладів в режимі холостого ходу в табл.1;

– створити режим короткого замикання за допомогою перемичок P_1 і P_2 і записати покази приладів;

– зняти перемичку P_2 і приєднати до джерела опір R (магазин опорів);

– змінюючи дискретно за допомогою ручки величину опору R , записати до табл.1 покази вольтметра при струмах (0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8) $I_{кз}$. При цьому поточніше визначити режим узгодженого навантаження;

2. Виконати обчислення величин, вказаних в правій частині табл.1, і побудувати залежності $E, U, \Delta U, P_1, P_2, \Delta P$ і $\eta = f(I)$.

Таблица 1

№ з/п	Режим роботи	Вимірювання			Обчислення						
		E, V	I, A	U, B	$r, Ом$	$R_{np}, Ом$	$\Delta U, B$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$\Delta P, Вт$	$\eta, \%$
1.	Хол.хід					∞					
2.											
3.											
4.	Узг.навант.										
5.											
6.											
7.	КЗ					0					

3.6. Контрольні запитання

1. Поясніть особливості роботи електричного кола у випадках:
 - а) холостого ходу;
 - б) короткого замикання;
 - в) узгодженого навантаження.
2. В якому режимі і чому ККД має максимальне значення?
3. Коли доцільна робота кола в режимі узгодженого навантаження?
4. Дайте пояснення графіків, побудованих на основі результатів вимірювань і обчислень.
5. При якому струмі перетинаються графіки $\Delta P = f(I)$ і $P_2 = f(I)$?
6. Чому системи енергопостачання працюють в режимі, близькому до режиму холостого ходу?
7. Чому буде дорівнювати ККД, якщо $r = 0,5R$?

Лабораторна робота №4

Дослідження еквівалентного перетворення “зірка-трикутник”

4.1. Мета роботи

Дослідити вплив перетворення з'єднання типу “зірка” в з'єднання типу “трикутник” на струми у вітках електричного кола постійного струму.

4.2. Короткі теоретичні відомості

Розрахунок складного електричного кола у багатьох випадках можна значно полегшити і зробити більш наочним шляхом перетворення електричних схем одного виду у схеми іншого виду. Доцільне перетворення схеми зменшує кількість її

віток або вузлів, а отже і кількість рівнянь, що визначають її електричний стан. Виконавши декілька еквівалентних перетворень стосовно окремих ділянок електричного кола, завжди можна одержати одноконтурне електричне коло, струм в якому та напругу на ділянці, що перетворювалась останньою, визначають за законом Ома. Далі, користуючись законами електричного кола, розраховують всі попередні схеми, аж до початкової. При цьому визначають струми віток і напруги окремих елементів.

Сполучення “зірка” - це електричне коло, яке складається з трьох віток, один кінець яких сходиться в одну загальну точку [9] (рис. 4.1 а).

Сполучення “трикутник” - це електричне коло, яке складається з трьох віток, кінці яких з'єднуються в три вузли, та коло має вигляд трикутника (рис.4.1 б).

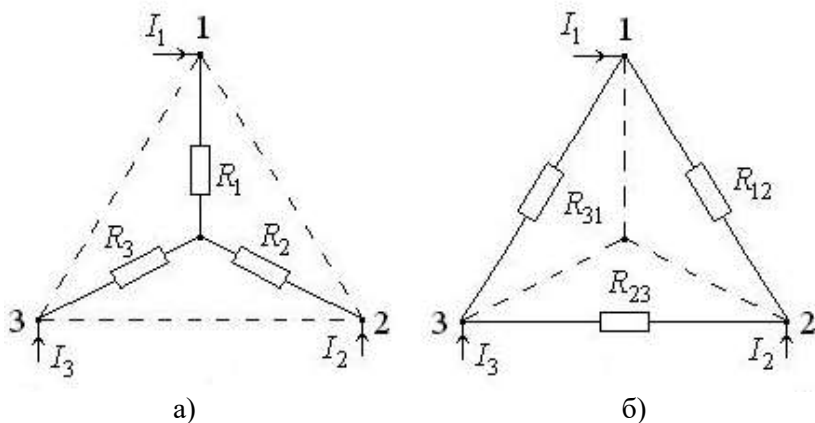


Рисунок 4.1.

Формули перетворення зірки в еквівалентний трикутник:

$$R_{13} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2};$$

$$R_{32} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}; \quad (4.1)$$

$$R_{21} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}.$$

Перетворення трикутника в еквівалентну зірку [9]:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{13} \cdot R_{21}}{R_{13} + R_{21} + R_{32}}; \\ R_2 &= \frac{R_{32} \cdot R_{21}}{R_{13} + R_{21} + R_{32}}; \\ R_3 &= \frac{R_{13} \cdot R_{32}}{R_{13} + R_{21} + R_{32}}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

При перетворенні потрібно, щоб при незмінних значеннях напруги між вершинами трикутника й зірки струми у проводах, які з'єднують ці вершини з іншими ділянками кола, залишалися незмінні. Трикутник й зірка, які відповідають цим вимогам, називаються рівнозначними (або еквівалентними).

4.3. Порядок виконання роботи

Хід роботи

1. Скласти електричне коло зі сполученням зіркою із заданими викладачем параметрами опорів (рис.4.2)
2. Виміряти струми у всіх вітках.
3. Розрахувати за формулами еквівалентного перетворення параметри опорів трикутника.
4. Скласти електричне коло зі сполученням трикутником (рис.4.3.).
5. Виміряти струми у всіх вітках.
6. Зробити висновок про рівнозначність трикутника і зірки в даному електричному колі.

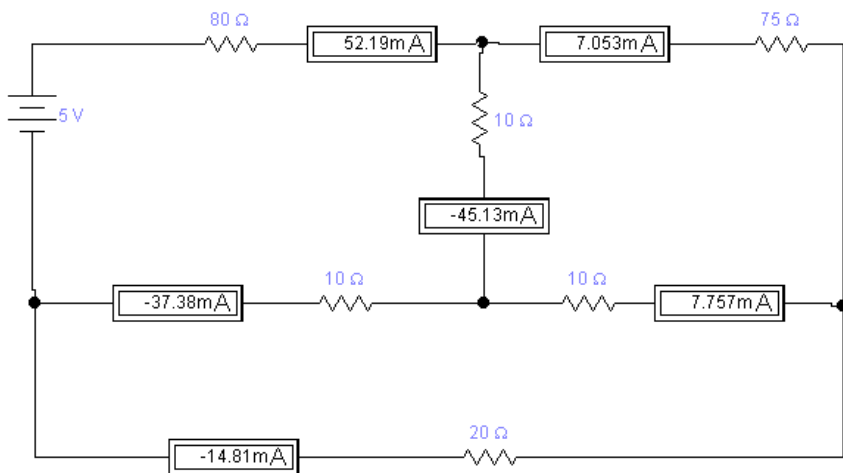


Рисунок 4.2. - Сполучення зіркою

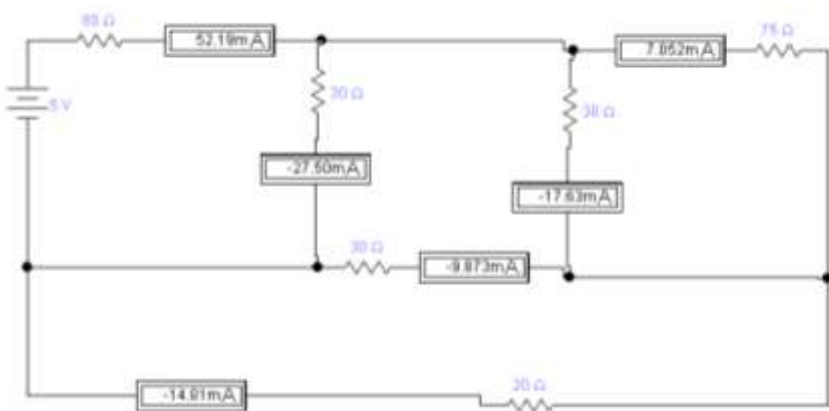


Рисунок 4.3. - Сполучення трикутником

4.4. Контрольні запитання

1. Для чого здійснюють перетворення схеми при її розрахунку?
2. В чому особливість сполучення “зірка”?
3. В чому особливість сполучення “трикутник”?
4. Які перетворення називають еквівалентними?

Лабораторна робота №5

Дослідження параметрів лінійних чотириполіусників

5.1. Мета роботи

Здобути навички дослідження електричних кіл постійного струму за допомогою теорії чотириполіусника.

5.2. Короткі теоретичні відомості

Чотириполіусником називається електротехнічне коло чи його частина, які розглядаються відносно двох пар затискачів. Схематичне зображення чотириполіусника наведено на рис. 5.1.

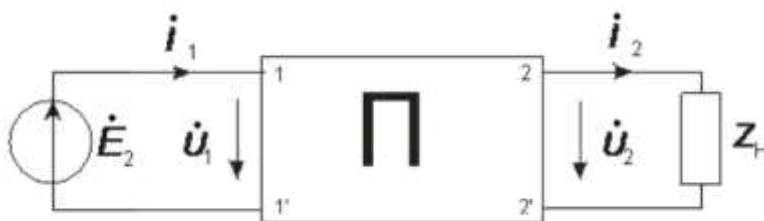


Рисунок 5.1

Затискачі 1-1' називаються вхідними, а затискачі 2-2' - вихідними. Якщо чотириполіусник складається з лінійних

пасивних елементів R, L, C, то він називається пасивним лінійним чотириполосником. Пасивний чотириполосник може містити і джерела електричної енергії, але у такому випадку їх дія повинна бути взаємно скомпенсованою. Існують різні форми рівнянь, які зв'язують вхідні і вихідні струми та напруги чотириполосника. З них рівнянь найчастіше використовують рівняння у формі [A], які відповідають режиму прямої передачі.

При прямому включенні чотириполосника, коли джерело підімкнене до затискачів 1-1', а навантаження – до затискачів 2-2', та при вказаних на рис. 5.1. напрямках струмів і напруг, рівняння чотириполосника, записані у формі [A], мають вигляд:

$$\begin{aligned} U_1 &= A_{11}U_2 + A_{12}I_2; \\ I_1 &= A_{21}U_2 + A_{22}I_2. \end{aligned} \quad (5.1)$$

Сталі комплексні коефіцієнти A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} називаються первинними параметрами чотириполосника. Вони характеризують чотириполосник і залежать тільки від величини активних і реактивних опорів, з яких складається чотириполосник та схеми їх з'єднання між собою. Коефіцієнти A_{11} та A_{22} нерозмірні. Коефіцієнт A_{12} вимірюється в омах [Ом], коефіцієнт A_{21} - в сіменсах [См]. Коефіцієнти системи рівнянь чотириполосника у формі [A] зв'язані між собою співвідношенням [10]:

$$A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} = 1. \quad (5.2)$$

З наведеного випливає, що тільки три коефіцієнти з чотирьох є незалежними. При зворотному включенні чотириполосника, тобто коли джерело підімкнене до затискачів 2-2', а навантаження до затискачів 1-1' (рис. 5.2.), одержимо іншу систему рівнянь в [B] - формі.



Рисунок 5.2

$$U_1 = A_{22}U_1 + A_{12}I_1'; \quad (5.3)$$

$$I_1' = A_{21}U_1 + A_{22}I_1'.$$

Зіставляючи системи рівнянь (5.1) та (5.3), бачимо, що коефіцієнти A_{11} та A_{22} помінялись місцями. Чотириполосники, які мають однакові коефіцієнти A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} , є симетричними, будуть еквівалентними; чотириполосник, у якого A_{11} складний чотириполосник з відомими коефіцієнтами, можна замінити еквівалентним чотириполосником елементарної структури. Такими є Т- та П-подібні схеми заміщення чотириполосників. Параметри елементів Т-подібної схеми заміщення чотириполосника (рис. 5.3) обчислюються за формулами:

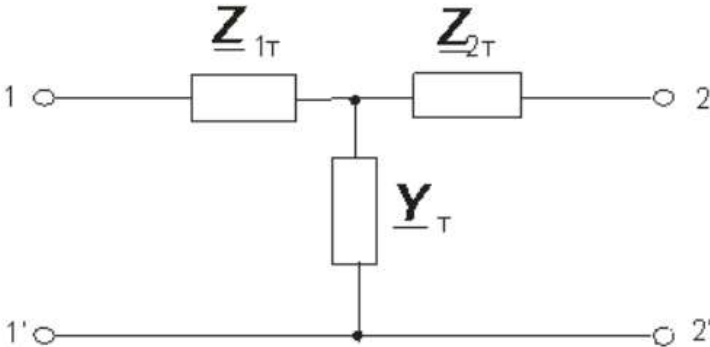


Рисунок 5.3

$$Y_T = A_{21}; Z_{1T} = \frac{(A_{11}-1)}{A_{21}}; Z_{2T} = \frac{(A_{22}-1)}{A_{21}}. \quad (5.4)$$

Параметри елементів П-подібної схеми заміщення чотириполосника (рис. 5.4) обчислюються за іншими формулами [10]:

$$Z_{II} = A_{21}; Y_{1II} = \frac{(A_{22}-1)}{A_{12}}; Y_{2II} = \frac{(A_{11}-1)}{A_{12}}. \quad (5.5)$$

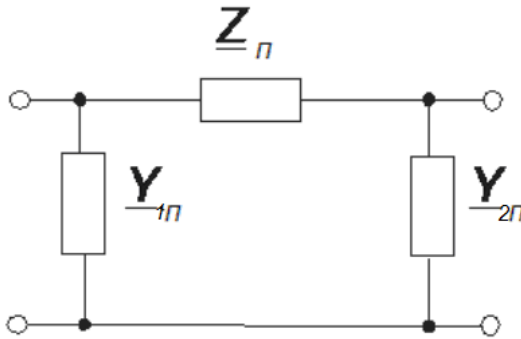


Рисунок 5.4

Якщо відомі комплексні значення струмів і напруг на вході і виході чотириполосника в режимі прямої передачі при неробочому ході ($I_2=0$) та короткому замиканні ($U_2=0$), первинні параметри обчислюються за наведеними нижче формулами:

$$A_{11} = \frac{U_{10}}{U_{20}}; A_{21} = \frac{I_{10}}{U_{20}}; A_{12} = \frac{U_{1K}}{I_{2K}}; A_{22} = \frac{I_{1K}}{I_{2K}}. \quad (5.6)$$

Інший спосіб обчислення первинних параметрів чотириполосника (коефіцієнти A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22}) полягає у попередньому визначенні аналітичним чи дослідним шляхом опорів неробочого ходу (Z_0) та короткого замикання (Z_K):

а) $Z_{10} = \frac{U_{10}}{I_{10}}$ – живлення відносно затискачів 1-1' при розімкнених затискачах 2-2';

б) $Z_{1K} = \frac{U_{1K}}{I_{1K}}$ – живлення відносно затискачів 1-1' при

короткому замиканні затискачів 2-2';

в) $Z_{20} = \frac{U_{20}}{I_{20}}$ – живлення відносно затискачів 2-2' при

розімкнених затискачах 1-1';

г) $Z_{2K} = \frac{U_{2K}}{I_{2K}}$ – живлення відносно затискачів 2-2' при

короткому замиканні затискачів 1-1'.

Зазначені опори зв'язані між собою співвідношенням: $Z_{10}/Z_{1K} = Z_{20}/Z_{2K}$. Виходячи з цього, тільки три з них є незалежними

Тоді:

$$A_{11} = \sqrt{\frac{Z_{10}}{(Z_{20} - Z_{2K})}}; A_{12} = A_{11}Z_{2K}; \quad (5.6)$$

$$A_{21} = \frac{A_{11}}{Z_{10}}; A_{22} = A_{21}Z_{20}.$$

Перевірка виконується за рівнянням (5.2).

Вторинні параметри чотириполюсника характеризують умови проходження сигналу через нього. Тому їх ще називають характеристичними параметрами і визначають за такими формулами:

1) характеристичний опір з боку вхідних затискачів:

$$Z_{C1} = \sqrt{Z_{10}Z_{1K}} = \sqrt{\frac{A_{11}A_{12}}{A_{21}A_{22}}} \quad (5.7)$$

2) характеристичний опір з боку вихідних затискачів:

$$Z_{C2} = \sqrt{Z_{20}Z_{2K}} = \sqrt{\frac{A_{22}A_{12}}{A_{21}A_{11}}} \quad (5.8)$$

При прямій передачі режимі узгодженого навантаження при навантаженні чотириполюсника з боку виходу опором Z_{C2} , його вхідний опір дорівнює Z_{C1} . При зворотній передачі у разі

навантаження чотирьохполюсника з боку затискачів 1-1' опором Z_{c1} , його вхідний опір дорівнює Z_{c2} .

5.3. Порядок виконання роботи

1. Відповідно до варіанту завдання (рис. 5.5 і табл. 5.2) зібрати електричне коло на складальному полі. Підключити джерело напруги і встановити напругу в межах 10 ... 15 V.

2. По черзі застосовуючи режими холостого ходу і короткого замикання з боку вихідних затискачів, виміряти вхідні струми і напруги. Визначити опору R_{10} (за результатами досліду холостого ходу) і R_{1K} (за результатами досліду короткого замикання).

Відключити джерело напруги і виміряти ті ж опори безпосередньо приладом. Результати експериментів і розрахунків занести в табл. 5.3.

3. Провести досліди холостого ходу і короткого замикання з боку вхідних затискачів, підключивши джерело напруги до виходу схеми. Виміряти струму і напруги з боку вихідних затискачів і визначити опору R_{20} і R_{2K} .

Відключити джерело і виміряти той же опір безпосередньо приладом.

Результати експериментів і розрахунків занести в таблицю, аналогічну табл. 5.3.

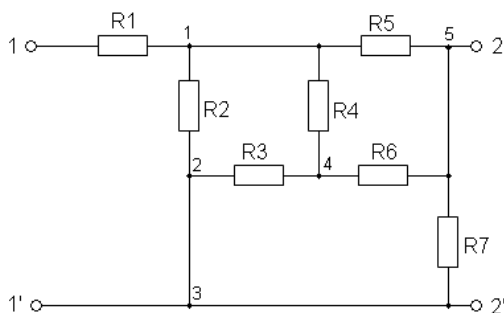


Рисунок 5.5

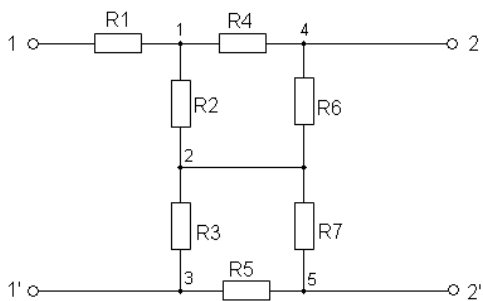


Рисунок 5.6

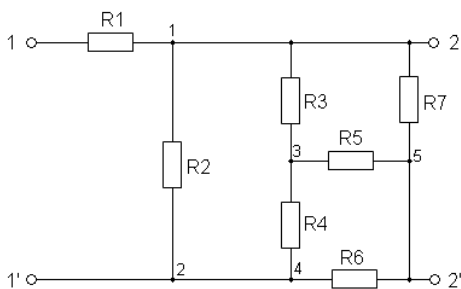


Рисунок 5.7

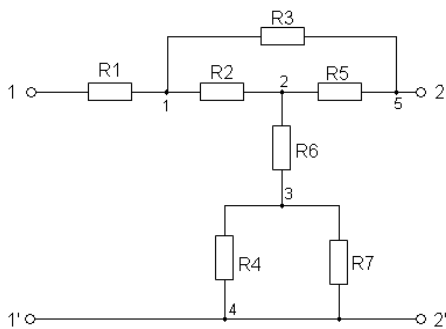


Рисунок 5.8

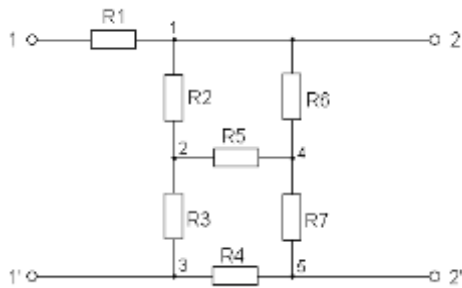


Рисунок 5.9

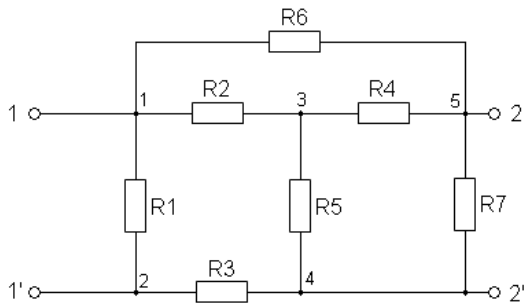


Рисунок 5.10

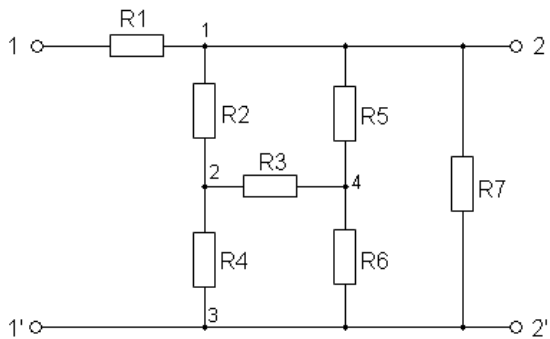


Рисунок 5.11

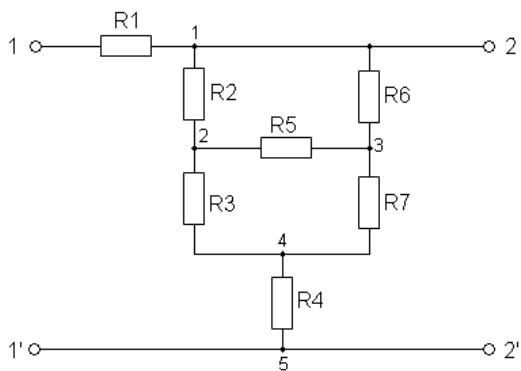


Рисунок 5.12

Таблиця 5.1

Вид і параметри елементів набірного поля

Елемент		Тип	R, Ω	L, mH	C, μF	P _N , W
Номер (позначення)	Вид					
1	2	3	4	5	6	7
01	Резистор	МЛТ-2	51	-	-	4
02	”	”	62	-	-	4
03	”	”	75	-	-	2
04	”	”	100	-	-	2
05	”	”	150	-	-	2
06	”	”	200	-	-	2
07	”	”	300	-	-	2
08	”	”	500	-	-	2
09	”	”	750	-	-	2

Таблиця 5.2

Варіанти завдання

Варіант	Номер схеми (рис 5.5)	Елементи електричного кола							Варіант
		1	2	3	4	5	6	7	
		Елементи набірнього поля							
1	1	01	04	03	05	02	06	07	Т
2	2	02	05	04	03	01	07	06	П
3	3	02	06	03	04	05	01	07	П
4	4	01	03	02	06	04	07	05	Т
5	5	03	06	02	01	07	04	05	Т
6	6	07	02	01	03	05	04	06	П
7	7	03	05	01	04	06	02	07	Т
8	8	03	02	05	07	01	04	06	Т
9	1	02	03	04	05	01	07	06	Т
10	2	01	04	03	05	02	06	07	П
11	3	03	07	04	05	01	02	06	П
12	4	02	01	03	05	04	06	07	Т
13	5	01	03	04	02	05	07	06	Т
14	6	06	01	02	04	05	03	07	П
15	7	02	04	03	05	07	01	06	П
16	8	02	03	04	06	01	05	07	Т

4. За заданою схемою і параметрами елементів (див. табл. 5.1) розрахувати значення опорів R_{10} і R_{1K} . Результати розрахунків занести в табл. 5.3.

При розбіжності значень опорів, визначених різними способами, більш 5 ... 8% після консультації з викладачем повторити експеримент або скорегувати розрахунок.

5. Розрахувати параметри заданої схеми заміщення за коефіцієнтами рівнянь чотириполюсника або по опорам холостого ходу і короткого замикання. Накреслити схему заміщення.

Таблиця 5.3

Результати дослідів холостого ходу та короткого замикання вихідних зажимів

Досліджувана схема	U_1 , V	I_{10} , mА	R_{10}, Ω			U_k , V	I_{1k} , mА	R_{1k}, Ω		
			$\frac{U_{10}}{I_{10}}$	Вимірювання	Розрахунок			$\frac{U_{1k}}{I_{1k}}$	Вимірювання	Розрахунок
Вихідна										
Заміщення										

6. Зібрати на стенді електричне коло за заданою схемою заміщення, використовуючи елементи складального поля № 10-12. Встановити опорні елементи згідно розрахованим в п. 5 значень.

7. Підключити до входу джерело напруги і встановити напругу згідно п. 2. Провести дослід холостого ходу і короткого замикання вихідних затискачів схеми заміщення. Розрахувати за схемою заміщення значення опорів R_{10} і R_{1k} . Результати експериментів і розрахунків занести в табл. 5.3.

Порівняти результати з раніше отриманими для вихідної схеми. При істотній розбіжності з'ясувати причини і при необхідності повторити розрахунок або експеримент.

8. Зробити висновки по роботі, звернувши увагу на роль холостого ходу і короткого замикання при аналізі чотиріполюсника, а також на еквівалентність заміни досліджуваної кола схемою заміщення.

5.4. Контрольні запитання

1. Які технічні пристрої називають чотиріполюсниками?
2. Скільки незалежних параметрів має пасивний чотиріполюсник у загальному випадку і коли він симетричний?
3. Як пов'язані між собою [А] параметри чотиріполюсника?

4. Яке включення чотириполюсника називають прямим, а яке зворотним?
5. Які параметри чотириполюсника можна знайти з досліду холостого ходу та короткого замикання?

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Основи електротехніки та електроніки» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» денної форми навчання / Кулик Н. І., Аврука І. С., Шабловська А. Р. Рівне : НУВГП, 2019. 80 с. <http://ep3.nuwm.edu.ua/15107/> (дата зверення 08.10.2020).
2. Баховець Б. О., Клепач М. І. Електроніка і мікросхемотехніка. Лабораторні роботи. Рівне : Вид. Рівненського державного технічного університету, 1999. 168 с.
3. Малинівський С. М. Загальна електротехніка. Львів : Вид. НУ «Львівська політехніка» 2001. 593 с.
4. Кацман М. М. Электрические машины. М. : Высшая школа, 1990. 462 с.
5. Перхач В. С. Теоретична електротехніка. Лінійні кола. К. : Вища школа, 1992. 436 с.
6. Чабан В. Й. Математичне моделювання електромагнітних процесів. К. : НМК ВО, 1992. 390 с.
7. Руденко В. С., Ромашко В. Я., Трифонюк В. В. Промислова електроніка. К. : Либідь, 1993. 432 с.
8. Рудик А. В. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (розділ «Лінійні кола постійного струму») для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної і заочної форм навчання. Методичні вказівки. Рівне : НУВГП, 2016. 63 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5127/> (дата зверення 08.10.2020).
9. Рудик А. В. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (розділ «Трифазні кола») для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної і заочної форм навчання. Методичні вказівки. Рівне : НУВГП, 2016. 40 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5129/> (дата зверення 08.10.2020).
10. Рудик А. В. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» (розділ «Лінійні пасивні чотириполюсники») для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної і заочної форм навчання. Методичні вказівки. Рівне : НУВГП, 2016. 20 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5131/> (дата зверення 08.10.2020).

11. Рудик А. В. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки. Частина І. Методи розрахунку лінійних кіл постійного струму» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» всіх форм навчання. Методичні вказівки. Рівне : НУВГП, 2016. 56 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5135/> (дата зверення 08.10.2020).

12. Рудик А. В. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи №1 з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної і заочної форм навчання. Методичні вказівки. Рівне : НУВГП, 2016. 28 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/5132/> (дата зверення 08.10.2020).

13. Рудик, А. В. (2018) Робоча програма навчальної дисципліни «Теоретичні основи електротехніки» 1, 2, 3 ч. для студентів, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/8506/> (дата зверення 08.10.2020).

14. Василюк, С. В., Рудик, А. В., Давиденко, В. А., Давиденко, Н. В., Кулик, Н. І., Літковець, С. П., Мельник, Р. І. (2020) Освітньо-професійна програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» першого рівня вищої освіти за спеціальністю № 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка галузі знань № 14 Електрична інженерія. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/18634/> (дата зверення 08.10.2020).

15. Давиденко, В. А., Василюк, С. В., Рудик, А. В., Давиденко, Н. В., Кулик, Н. І., Літковець, С. П. (2019) Освітньо-професійна програма «Smart-енергетика та електромобільність» першого рівня вищої освіти за спеціальністю № 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка галузі знань № 14 Електрична інженерія. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/17086/> (дата зверення 08.10.2020).