

**Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного**

ВОВК О.Ю.

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ
частина 1**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Мелітополь, 2020

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

ВОВК О.Ю.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

частина 1

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

*Рекомендовано Вченою радою
факультету енергетики і комп'ютерних технологій
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
як навчальне видання для підготовки здобувачів
ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання
на основі повної загальної середньої освіти*

Мелітополь, 2020

УДК 621.3

В-61

Укладач:

Вовк О.Ю., доцент кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова Таврійського ДАТУ

Дозвіл до впровадження та видання надано Вченою радою факультету енергетики і комп'ютерних технологій Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (протокол № 5 від «14» січня 2020 р.)

Рецензенти:

Постол Ю.О., к.т.н., доц., зав. кафедри електротехнологій і теплових процесів Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Лобода О.І., к.т.н., ст.викл. кафедри електроенергетики і автоматизації Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Вовк О.Ю.

В-61 Теоретичні основи електротехніки, частина 1: Методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання на основі повної загальної середньої освіти / О.Ю. Вовк. – Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 110 с.

Методичні вказівки призначенні для вивчення та закріплення матеріалу з кіл постійного струму та однофазних кіл змінного синусоїдного струму. У методичних вказівках на базі експериментальних електроустановок розглянуто основні поняття та закони, пов'язані з практичним використанням електричних та магнітних явищ, методи аналізу кіл постійного струму та однофазних електричних кіл синусоїдного струму в ustalених режимах, методи розрахунку електромагнітних процесів і відповідних перетворень енергії.

© Вовк О.Ю.

© Таврійський державний агротехнологічний університет, імені Дмитра Моторного, 2020 рік

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота № 1	8
Лабораторна робота № 2	13
Лабораторна робота № 3	19
Лабораторна робота № 4	24
Лабораторна робота № 5	29
Лабораторна робота № 6	32
Лабораторна робота № 7	36
Лабораторна робота № 8	43
Лабораторна робота № 9	49
Лабораторна робота № 10	56
Лабораторна робота № 11	62
Лабораторна робота № 12	69
Лабораторна робота № 13	74
Лабораторна робота № 14	81
Лабораторна робота № 15	87
Лабораторна робота № 16	97
Критерії оцінювання лабораторних робіт	109
Список літератури	110

ВСТУП

Дисципліна «Теоретичні основи електротехніки», частина 1 є базовою у підготовці фахівців зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» СВО «Бакалавр», а лабораторні заняття з цієї дисципліни, які проводяться в спеціалізованих лабораторіях кафедри електротехніки і електромеханіки в аудиторіях 1.211, 1.212, є одним з основних видів навчальних занять студентів при її вивченні.

Метою лабораторних робіт з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», частина 1 є навчання студентів методам розрахунку електромагнітних процесів і відповідних перетворень енергії, засвоєння основних понять та законів, пов'язаних з практичним використанням електричних та магнітних явищ, оволодіння методами аналізу електричних кіл постійного та змінного струмів

В результаті виконання лабораторних робіт з вказаної дисципліни студент повинен знати: суть фізичних явищ електротехніки; основні закони електротехніки; математичні записи законів електротехніки; одиниці електричних та магнітних величин і співвідношення між цими величинами; сутність фізичних процесів, які відбуваються в електричних і магнітних колах постійного і змінного струмів; методи аналізу електричних кіл; умовні графічні позначення в електричних колах; фізичні явища електротехніки, які протікають в електротехнічних пристроях.

Після проведення даних лабораторних робіт студент повинен уміти: складати принципову і розрахункову схеми кола або електротехнічного пристрою; вимірювати основні електричні величини; розрахувати лінійні електричні кола.

Внаслідок опанування матеріалу наведених лабораторних робіт студент отримує навички застосування фізичних явищ при аналізі фізичних процесів в електричному колі та застосування законів електротехніки при розрахунку електричних кіл, струму, напруги, потужності, електричної енергії.

До початку лабораторної роботи студент повинен підготуватись до виконання роботи. Підготовка складається з виконання певних завдань самостійної роботи студента, зазначених у кожній лабораторній роботі. Ці завдання полягають у вивченні відповідного теоретичного матеріалу з використанням рекомендованої літератури, виконанні навчаюче-контролюючих завдань, вивченні опису лабораторної роботи та заготовленні форми звіту з лабораторної роботи, який обов'язково повинен містити наступне: найменування лабораторної роботи, принципову електричну схему експериментальної установки з розшифровкою літерних позначень, розрахункову схему електричного кола з розшифровкою літерних позначень, таблицю для зняття показань електровимірювальних приладів, алгоритм розрахунку шуканих величин, таблицю для занесення результатів ро-

зрахунку. Алгоритм розрахунку шуканих величин являє собою номер розрахункового пункту, його найменування та прямий математичний вираз для розрахунку.

Студенти, що незадовільно підготувались до виконання лабораторної роботи або значно спізнилися на лабораторне заняття, до роботи не допускаються.

Перевірку підготовки студентів до лабораторного заняття здійснює викладач, що його проводить, на початку заняття. Вона полягає у візуальному контролі наявності у студента заготовленої форми звіту з лабораторної роботи, та його усному опитуванні згідно контрольних запитань.

Після перевірки готовності студента до заняття студенти приступають до виконання лабораторної роботи згідно порядку виконання роботи, який наведено у методичних вказівках. Лабораторні роботи виконуються бригадами, що складаються з 3...4 студентів. Кожну роботу слід виконувати на певному робочому місці, використовуючи призначені для цієї роботи обладнання та апаратуру. Перед збиранням принципової електричної схеми експериментальної установки необхідно ознайомитись з приладами та апаратурою, їх описом та інструкціями до використання. Збирати, розбирати принципову електричну схему експериментальної установки та вносити в неї будь-які зміни можна тільки з дозволу викладача, який проводить лабораторне заняття, при умові, якщо установка вимкнена. Після збирання принципової електричної схеми експериментальної установки необхідно переконавшись в правильному положенні повзунків реостатів та автотрансформаторів. Включати експериментальну установку на робочу напругу необхідно тільки після дозволу викладача, який проводить лабораторне заняття. Експериментальну установку, на яку подано робочу напругу, не можна залишати без нагляду. При виконання робіт члени бригади повинні розподілити робочі функції між собою та змінювати їх для того, щоб у повному об'ємі засвоїти ці функції. У випадку виникнення будь-яких несправностей у роботі приладів та апаратури слід знеструмити установку та негайно повідомити викладача, який проводить лабораторне заняття. Студентам забороняється самостійно усувати несправності, що виникли. Після закінчення лабораторної роботи студент повинен знеструмити експериментальну установку, подати отримані результати викладачу, який проводить лабораторне заняття, і тільки після його дозволу розібрати схему експериментальної установки, а робоче місце необхідно привести у порядок.

Після проведення лабораторної роботи студент здійснює обробку отриманих результатів по алгоритму розрахунку шуканих величин, який він склав до початку заняття, і оформлення звіту за структурою, наведеної у методичних вказівках. Графічні зображення виконуються олівцем за допомогою креслярського приладдя. При побудові графіків масштаби, які ві-

дкладаються на осях координат величин, вибираються таким чином, щоб графік розмістився на площі не менш 100×100 мм.

Звіт оформлюється індивідуально кожним членом бригади на аркушах формату А4. Порядок оформлення звіту з лабораторної роботи:

1. Титульний аркуш, на якому вказується назва кафедри, номер лабораторної роботи, П.І.Б. та номер групи студента.

2. Тема лабораторної роботи.

3. Виконання завдань самостійної роботи студента. Оформлення цих завдань виконують так: вказують номер таблиці завдань. Вказують номер завдання з цієї таблиці, навпроти якого вказують номер правильної відповіді на це завдання. Перед тим, як писати відповіді на завдання практично-стереотипного характеру (тобто задачі) потрібно навести письмове розв'язання цих задач.

4. Принципова електрична схема експериментальної установки.

5. Розрахункова схема експериментальної установки.

6. Алгоритм розрахунку шуканих величин (номер пункту лабораторної роботи, формула для розрахунку).

7. Розрахунок шуканих величин.

8. Графічні побудови.

9. Підсумкова таблиця (підсумкові таблиці) зі значеннями фізичних величин, що характеризують коло.

Наприкінці заняття відбувається захист лабораторної роботи кожним студентом у вигляді письмової роботи розрахункового характеру.

Перед початком лабораторних занять студенти зобов'язані вивчити правила техніки безпеки в лабораторії, розписатись в журналі інструктажу та дотримуватись їх під час перебування в лабораторії. Студенти, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

Основні правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт

1. Лабораторії живляться електроенергією: постійного струму - від джерела з напругою між затискачами "+" і "-" 30 В ; та змінного струму - від симетричного трифазного джерела з напругами: лінійною - 52 В ; фазною - 30 В .

2. Перед збиранням принципової електричної схеми досліджуваного кола переконатися, що автоматичний вимикач, встановлений на робочому місці, розімкнений, а лабораторний автотрансформатор, встановлений на робочому місці, знаходиться у нульовому положенні.

3. При збиранні схеми експериментальної установки додаткові прилади і апарати повинні бути розташовані на лабораторному столі таким чином, щоб робоча схема з'єднань вийшла найбільше простою і наочною, а виконання вимірювань і керування апаратами – найбільш зручним. Надійно приєднувати з'єднувальні проводи до клем та переконуватись в їх спра-

вності. Спостерігати, щоб з'єднувальні проводи не знаходились на шкалах вимірювальних приладів, обмотках реостатів та іншого електрообладнання, яке використовується у лабораторній роботі. Спостерігати, щоб з'єднувальні проводи не були розтягненими. Встановити номінальні або задані викладачем значення параметрів електрообладнання, яке використовується у лабораторній роботі.

4. Приєднання робочої схеми до мережі без дозволу викладача чи лаборанта категорично забороняється.

5. Огляд, підтяжку контактів, заміну елементів експериментальної установки робити тільки при знятій напрузі, для чого необхідно вимкнути автоматичний вимикач, через який подається живлення.

6. Після приєднання робочої схеми до мережі забороняється доторкатися до оголених струмоведучих частин.

7. Забороняється робити які-небудь переключення в робочій схемі, що знаходиться під напругою.

8. При включенні автоматичних вимикачів особливу увагу слід звернути на показання амперметрів й інших вимірювальних приладів. У випадку різкого руху стрілок приладів до кінця їх шкали, робочу схему необхідно негайно відключити від мережі

9. При проведенні експерименту контролювати, щоб параметри електрообладнання, яке використовується в лабораторній роботі, не перевищували номінальних або заданих викладачем значень.

10. Після будь-якої зміни в робочій схемі, включення її знову під напругу може виконуватися тільки з дозволу викладача або лаборанта.

11. Категорично забороняється залишати без нагляду лабораторну установку, що знаходиться під напругою.

12. Перевірку наявності напруги, підведеної до схеми, дозволяється робити тільки за допомогою відповідних приладів.

13. При виявленні несправного стану устаткування, апаратів, вимірювальних приладів, з'єднувальних провідників необхідно негайно відключити схему від мережі і сповістити про це викладачу чи лаборанту.

14. У випадку припинення досліду чи перерви в роботі необхідно обов'язково відключити установку від електричної мережі.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема. Дослідження ділянки кола постійного струму без електрорушійної сили

Мета: придбання практичних навичок при визначенні сили струму, опору, потужності та енергії ділянки лінійного електричного кола постійного струму без електрорушійної сили

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 1 «Лінійні нерозгалужені електричні кола постійного струму» пп.1.1–1.7 [1, с. 8–31].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 1.1 – 1.7 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить генератор постійного струму G_1 , реостат RR_1 , який призначений для регулювання напруги на затискачах кола, реостат RR_2 , що імітує навантаження, амперметр PA_1 , вольтметр PV_1 , включений на затискачі навантаження. Для комутації кола передбачено вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 1.1.

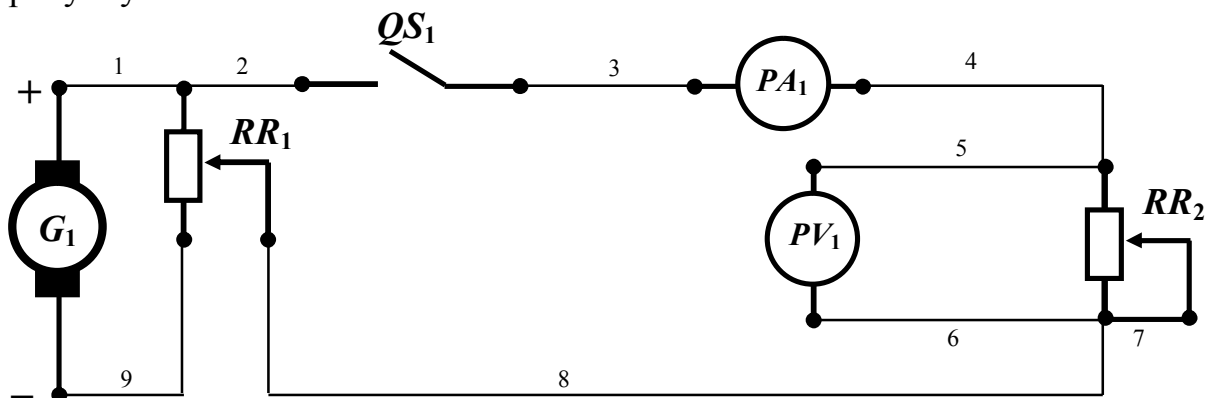


Рисунок 1.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 6 провідників (на схемі позначені номерами 1-6).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- фізичними явищами в джерелі нехтують;
- опори з'єднувальних проводів і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опір обмотки амперметра дорівнює нулю;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ньому не протікає.

Тоді розрахункова схема ділянки електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 1.2.

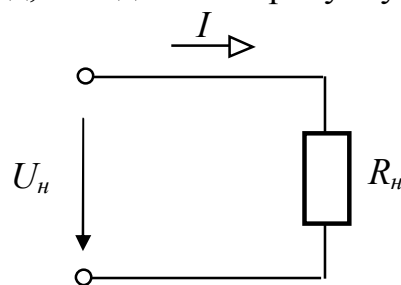


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема ділянки електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

U_n – напруга на затискачах навантаження, B ;

R_n – опір навантаження, Om ;

I – сила струму в колі (на ділянці навантаження), A .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.

5.3 Зняти показання приладів при різних положеннях повзуна реостата RR_1 , результати занести в таблицю 1.1, зняти напругу.

Таблиця 1.1 – Показання приладів

Умови проведення експериментів	Показання приладів	
	I, A	U, B
Вимикач QS_1 розімкнений		
Вимикач QS_1 замкнений (перше положення реостату RR_1)		
Вимикач QS_1 замкнений (друге положення реостату RR_1)		
Вимикач QS_1 замкнений (третє положення реостату RR_1)		

5.4 Визначити за допомогою експериментальних даних опір навантаження (для вказаного викладачем експерименту), використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$I = \frac{U_n}{R_n} \quad (1.1)$$

5.5 Визначити потужність, спожиту навантаженням (для вказаного викладачем експерименту), трьома способами, використовуючи рівняння:

$$P_n = U_n \cdot I; \quad (1.2)$$

$$P_n = R_n \cdot I^2; \quad (1.3)$$

$$P_n = \frac{U_n^2}{R_n} \quad (1.4)$$

5.6 Визначити електричну енергію у джоулях, спожиту навантаженням (для вказаного викладачем експерименту) за _____ годин роботи (час вказує викладач), використовуючи рівняння:

$$Q_n = P_n \cdot t, \quad (1.5)$$

де t – час роботи навантаження, c .

5.7 Визначити електричну енергію у кіловат-годинах, спожиту навантаженням (для вказаного викладачем експерименту) за _____ годин роботи (час вказує викладач), використовуючи рівняння:

$$W_n = P_n \cdot t, \quad (1.6)$$

де t – час роботи електроосвітлювального пристрою, $год.$;

P_n – потужність, споживана електроосвітлювальним пристроєм, $кВт$.

5.8 Побудувати вольт-амперну характеристику навантаження.

5.9 Занести отримані значення в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Фізичні величини, що характеризують ділянку кола

$R_n, Ом$	$P_n, Вт$	$Q_n, Дж$	$W_n, кВт \cdot год$

5.9 Підтвердити за допомогою експериментальних даних закон Ома для ділянки кола без електрорушійної сили, використовуючи його рівняння (1.1) для досліджуваної ділянки кола.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункова схема ділянки електричного кола експериментальної установки.
- 6.4 Таблиця 1.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Вольт-амперна характеристика.
- 6.8 Таблиця 1.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 У чому суть явища електричного струму?
- 7.2 Дайте визначення електрорушійної сили.
- 7.3 Запишіть визначальну формулу електрорушійної сили.
- 7.4 Отримайте одиницю електрорушійної сили з її визначальної формули.
- 7.5 Дайте визначення сили електричного струму.
- 7.6 Запишіть визначальну формулу сили електричного струму.
- 7.7 Отримайте одиницю сили електричного струму з її визначальної формули.
- 7.8 Що таке потенціал електричного поля? Якою літерою він позначається? Яка його одиниця?
- 7.9 Що така напруга електричного поля?
- 7.10 Запишіть визначальну формулу напруги електричного поля.
- 7.11 Отримайте одиницю напруги електричного поля з її визначальної формули.
- 7.12 Запишіть формулу для розрахунку опору провідника через його конструктивні розміри.
- 7.13 Отримайте одиницю опору провідника електричному струму з його визначальної формули.
- 7.14 Сформулюйте закон Ома для ділянки кола без електрорушійної сили.
- 7.15 Виконайте математичний запис закону Ома для ділянки кола без електрорушійної сили.
- 7.16 У чому суть явища теплової дії струму?
- 7.17 Сформулюйте закон теплової дії струму.
- 7.18 Виконайте математичний запис закону Джоуля–Ленца.
- 7.19 Дайте визначення потужності електричного струму.
- 7.20 Запишіть визначальну формулу потужності електричного струму.

- 7.21 Отримайте одиницю потужності електричного струму з її визначальної формули.
- 7.22 Запишіть розрахункові формули потужності електричного струму.
- 7.23 Що є одиницею електричної енергії у системі СІ та у технічній системі?
- 7.24 Як розрахувати кількість спожитої пристроєм електроенергії?
- 7.25 Дайте визначення електричного кола.
- 7.26 Що таке елемент електричного кола?
- 7.27 Які елементи електричного кола є основними?
- 7.28 Яке призначення джерела електричної енергії?
- 7.29 Які існують типи джерел електричної енергії за видом первинної енергії?
- 7.30 Яке призначення приймача електричної енергії (навантаження)?
- 7.31 Які існують типи приймачів електричної енергії (навантажень) за видом вторинної енергії?
- 7.32 Які елементи електричного кола є допоміжними?
- 7.33 Дайте визначення принципової електричної схеми кола.
- 7.34 Що є приймачем (навантаженням) у електричному колі, зображеному на рис.1.1?
- 7.35 Яке призначення вольтметра у електричному колі, зображеному на рис.1.1?
- 7.36 Що таке межа вимірювання вольтметра?
- 7.37 Що таке ціна поділки вольтметра?
- 7.38 Що таке показання вольтметра, як його визначити?
- 7.39 Яке призначення амперметра у електричному колі, зображеному на рис.1.1?
- 7.40 Що таке межа вимірювання амперметра?
- 7.41 Що таке ціна поділки амперметра?
- 7.42 Що таке показання амперметра, як його визначити?
- 7.43 Дайте визначення розрахункової схеми електричного кола.
- 7.44 Перелічте фізичні явища, які спостерігаються на ділянці електричного кола, зображеного на рис.1.2.
- 7.45 Як на розрахунковій схемі (рис.1.2) позначено явище електричного струму?
- 7.46 Як на розрахунковій схемі (рис.1.2) позначено явище теплової дії струму у навантаженні?
- 7.47 Як на розрахунковій схемі (рис.1.2) позначено напругу на навантаженні?
- 7.48 Як розрахувати опір ділянки електричного кола без електрорушійної сили за показаннями вольтметра та амперметра?
- 7.49 Що таке вольт-амперна характеристика елемента електричного кола?
- 7.50 Яка вольт-амперна характеристика називається лінійною?
- 7.51 Яка вольт-амперна характеристика називається нелінійною?
- 7.52 Як побудувати вольт-амперну характеристику?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Тема. Дослідження нерозгалуженого кола постійного струму з однією електрорушійною силою

Мета: придбання практичних навичок при визначенні електрорушійної сили, опорів, сили струму, потужностей, коефіцієнтів корисної дії лінійного нерозгалуженого електричного кола постійного струму з однією електрорушійною силою

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 1 «Лінійні нерозгалужені електричні кола постійного струму п.1.8 [1, с. 26–37].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 1.7 – 1.11 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі холостого ходу.
- 2.4 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.5 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.6 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить генератор постійного струму G_1 , два резистори R_1 і R_2 з однаковими опорами, що імітують прямий та зворотний проводи лінії електропередачі, реостат RR_1 , що імітує навантаження, амперметр PA_1 , два вольтметри PV_1 і PV_2 , включені на початку та наприкінці лінії електропередачі, вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 1.1.

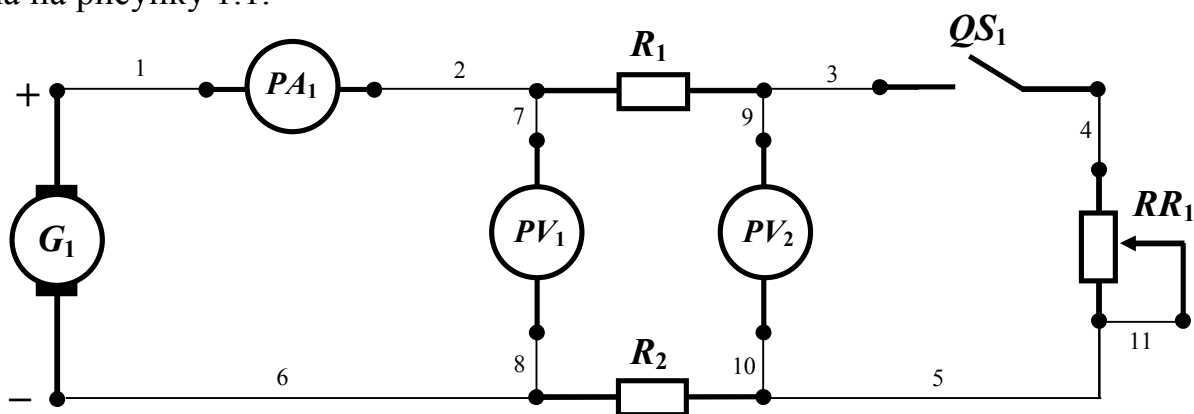


Рисунок 1.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 10 провідників (на схемі позначені номерами 1-10).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

- При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:
- опори з'єднувальних проводів і контактів вимикача дорівнюють нулю;
 - опір обмотки амперметра дорівнює нулю;
 - опори обмоток вольтметрів дорівнюють нескінченності, тобто електричний струм у них не протікає;
 - опір проводів лінії електропередачі зосереджений в одному місці.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 1.2.

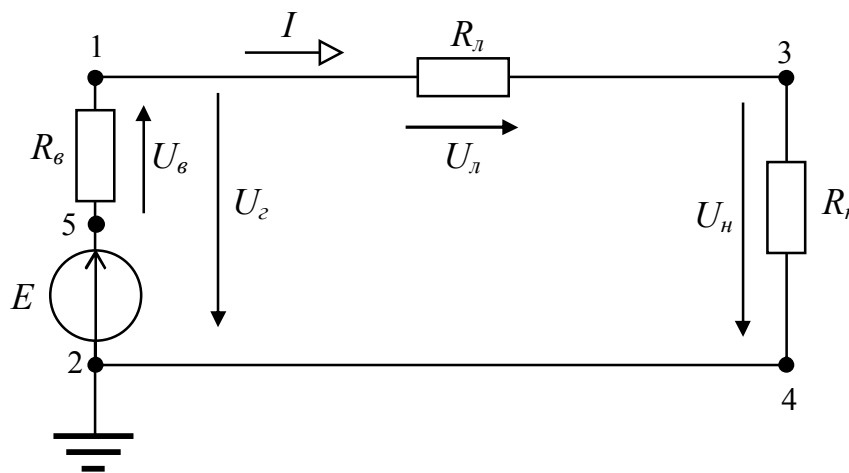


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- E – електрорушійна сила генератора, B ;
- R_g – внутрішній опір генератора, $Ом$;
- R_l – опір проводів лінії електропередачі, $Ом$;
- R_n – опір навантаження, $Ом$;
- U_g – спадання напруги на внутрішньому опорі генератора, B ;
- U_l – спадання напруги у проводах лінії електропередачі, B ;
- U_2 – напруга на затискачах генератора, B ;
- U_n – напруга на затискачах навантаження, B ;
- I – сила струму в колі, A .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 1.1, зняти напругу.

Таблиця 1.1 – Показання приладів

Умови проведення експериментів	Показання приладів		
	I, A	U_1, B	U_2, B
1 Вимикач QS_1 розімкнений			
2 Вимикач QS_1 замкнений			

5.4 Визначити електрорушійну силу генератора, використовуючи показання приладів у досліді холостого ходу (перший експеримент) і рівняння зовнішньої характеристики генератора:

$$U_z = E - R_g \cdot I. \quad (2.1)$$

5.5 Визначити спадання напруги на внутрішньому опорі генератора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння зовнішньої характеристики генератора:

$$U_z = E - U_g. \quad (2.2)$$

5.6 Визначити внутрішній опір генератора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння закону Ома для ділянки кола з внутрішнім опором генератора:

$$I = \frac{U_g}{R_g}. \quad (2.3)$$

5.7 Визначити спадання напруги в лінії електропередачі, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння спадання напруги в лінії:

$$U_l = U_z - U_n. \quad (2.4)$$

5.8 Визначити загальний опір лінії електропередачі, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння закону Ома для ділянки кола з лінією електропередачі:

$$I = \frac{U_l}{R_l}. \quad (2.5)$$

5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних опір навантаження, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння закону Ома для ділянки кола споживача:

$$I = \frac{U_n}{R_n}. \quad (2.6)$$

5.10 Визначити потужність, що розвивається генератором при навантаженні, використовуючи експериментальні й розрахункові дані та рівняння:

$$P = E \cdot I. \quad (2.7)$$

5.11 Визначити потужність, що втрачається в генераторі при навантаженні, використовуючи експериментальні й розрахункові дані та рівняння:

$$P_g = R_g \cdot I^2. \quad (2.8)$$

5.12 Визначити потужність, що віддається генератором при навантаженні в лінію електропередачі, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$P_z = U_z \cdot I. \quad (2.9)$$

5.13 Визначити потужність, що втрачається в лінії електропередачі при навантаженні, використовуючи експериментальні й розрахункові дані та рівняння:

$$P_l = R_l \cdot I^2. \quad (2.10)$$

5.14 Визначити потужність, спожиту навантаженням, використовуючи експериментальні й розрахункові дані та рівняння:

$$P_n = R_n \cdot I^2. \quad (2.11)$$

5.15 Скласти баланс потужностей, використовуючи розрахункові дані та рівняння:

$$P = P_g + P_l + P_n. \quad (2.12)$$

5.16 Визначити кількість електричної енергії, яку споживе навантаження за _____ год. (вказує викладач), використовуючи розрахункові дані та рівняння:

$$W_n = P_n \cdot t. \quad (2.13)$$

5.17 Визначити коефіцієнт корисної дії генератора при навантаженні двома способами, використовуючи розрахункові дані та рівняння:

$$\eta_{\text{г}} = \frac{P_{\text{г}}}{P}; \quad (2.14)$$

$$\eta_{\text{г}} = \frac{U_{\text{г}}}{E}. \quad (2.15)$$

5.18 Визначити коефіцієнт корисної дії лінії електропередачі двома способами, використовуючи розрахункові дані та рівняння:

$$\eta_{\text{л}} = \frac{P_{\text{л}}}{P_{\text{г}}}; \quad (2.16)$$

$$\eta_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{U_{\text{г}}}. \quad (2.17)$$

5.19 Визначити коефіцієнт корисної дії електричного кола двома способами, використовуючи розрахункові дані та рівняння:

$$\eta_{\text{кола}} = \frac{P_{\text{л}}}{P}; \quad (2.18)$$

$$\eta_{\text{кола}} = \frac{U_{\text{л}}}{E}; \quad (2.19)$$

$$\eta_{\text{кола}} = \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{л}}. \quad (2.20)$$

5.20 Занести отримані значення в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$E,$ B	$U_{\epsilon},$ B	$U_{л},$ B	$R_{\epsilon},$ $Ом$	$R_{л},$ $Ом$	$R_{н},$ $Ом$	$P,$ $Вт$	$P_{\epsilon},$ $Вт$	$P_{\epsilon},$ $Вт$	$P_{л},$ $Вт$	$P_{н},$ $Вт$	η_{ϵ}	$\eta_{л}$	$\eta_{кола}$

5.21 Підтвердити за допомогою розрахункових даних закон Ома для замкненого кола з однією електрорушійною силою, використовуючи його рівняння для досліджуваного кола:

$$I = \frac{E}{R_{\epsilon} + R_{л} + R_{н}} \quad (2.21)$$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.
- 6.4 Таблиця 1.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Таблиця 1.2. Перевірка закону Ома.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Дайте визначення електричного кола.
- 7.2 Що таке елемент електричного кола?
- 7.3 Які елементи електричного кола є основними?
- 7.4 Яке призначення джерела електричної енергії?
- 7.5 Яке призначення приймача електричної енергії?
- 7.6 Яке призначення лінії електропередачі?
- 7.7 Які елементи електричного кола є допоміжними?
- 7.8 Дайте визначення принципової електричної схеми кола.
- 7.9 Що є джерелом у електричному колі, зображеному на рис.2.1? Яке його призначення як перетворювача енергії?
- 7.10 Що є приймачем у електричному колі, зображеному на рис.2.1?
- 7.11 Яке електричне коло називають нерозгалуженим?
- 7.12 Яке призначення вольтметрів у електричному колі, зображеному на рис.2.1?
- 7.13 Яке призначення амперметра у електричному колі, зображеному на рис.2.1?
- 7.14 Яке призначення вимикача у електричному колі, зображеному на рис.2.1?
- 7.15 Дайте визначення розрахункової схеми електричного кола.
- 7.16 Перелічіть умови виникнення електричного струму у колі.

- 7.17 Перелічте фізичні явища, які спостерігаються у основних елементах електричного кола, зображеного на рис.2.1, 2.2.
- 7.18 Сформулюйте закон Ома для замкненого кола з однією електрорушійною силою.
- 7.19 Виконайте математичний запис закону Ома для замкненого кола з однією електрорушійною силою.
- 7.20 Як розрахувати сумарний опір нерозгалуженого кола?
- 7.21 Що таке зовнішня характеристика джерела?
- 7.22 Як розрахувати напругу на затискачах джерела?
- 7.23 Що таке режим холостого ходу генератора?
- 7.24 Як експериментально визначити електрорушійну силу джерела?
- 7.25 Що таке режим навантаження генератора?
- 7.26 Як розрахувати спадання напруги в джерелі?
- 7.27 Як розрахувати спадання напруги в лінії електропередачі?
- 7.28 Як розрахувати напругу на навантаженні?
- 7.29 Як розрахувати потужність, що розвивається джерелом?
- 7.30 Як розрахувати втрати потужності в джерелі?
- 7.31 Як розрахувати потужність, що віддається джерелом?
- 7.32 Як розрахувати втрати потужності в лінії електропередачі?
- 7.33 Як розрахувати потужність приймача?
- 7.34 Що таке баланс потужностей електроустановки?
- 7.35 Як скласти баланс потужностей електроустановки?
- 7.36 Як розрахувати енергію, яку споживає приймач?
- 7.37 Що є одиницею електричної енергії у системі СІ та у технічній системі?
- 7.38 Як розрахувати коефіцієнт корисної дії лінії електропередачі?
- 7.39 Як розрахувати коефіцієнт корисної дії джерела?
- 7.40 Як розрахувати коефіцієнт корисної дії електроустановки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Тема. Дослідження розгалуженого кола постійного струму за законами Кірхгофа

Мета: придбання практичних навичок при визначенні сил струмів у лінійному розгалуженому електричному колі постійного струму за законами Кірхгофа

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 2 «Лінійні розгалужені електричні кола постійного струму пп.2.1, 2.2 [1, с. 72–77].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 2.1 – 2.2 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі холостого ходу.
- 2.4 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.5 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.6 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить два паралельно включених генератори постійного струму G_1 і G_2 , до затискачів підключено реостат RR_1 , що імітує навантаження, три амперметри PA_1 , PA_2 , PA_3 , включених послідовно з генераторами та реостатом, два вольтметри PV_1 і PV_2 , включені на затискачі генераторів. Для комутації кола передбачено два вимикачі QS_1 і QS_2 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 3.1.

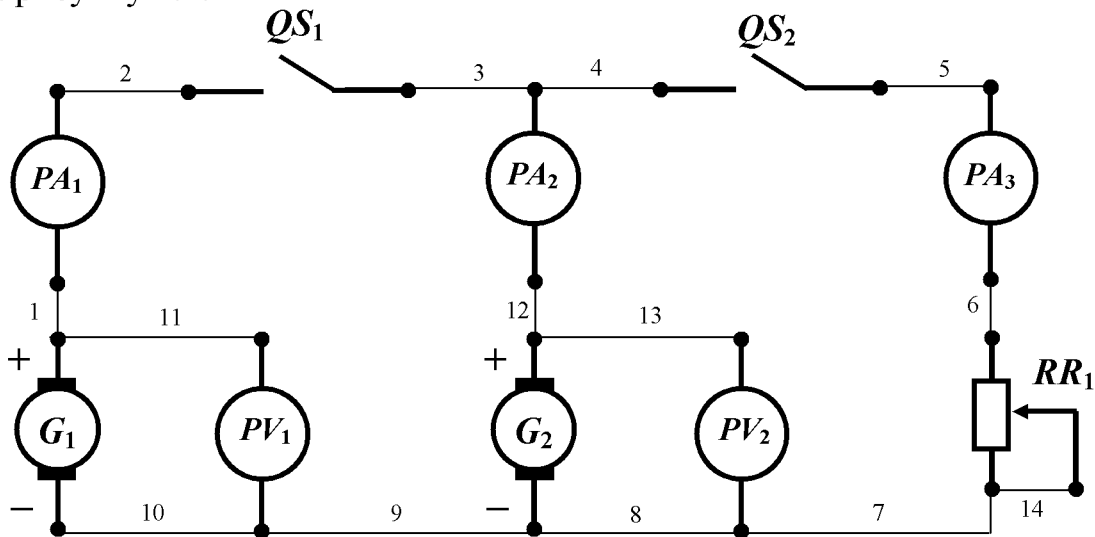


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 14 провідників (на схемі позначені номерами 1-14).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних провідів і контактів вимикачів дорівнюють нулю;
- опори обмоток амперметрів дорівнюють нулю;
- опори обмоток вольтметрів дорівнюють нескінченності, тобто електричний струм у них не протікає.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 3.2.

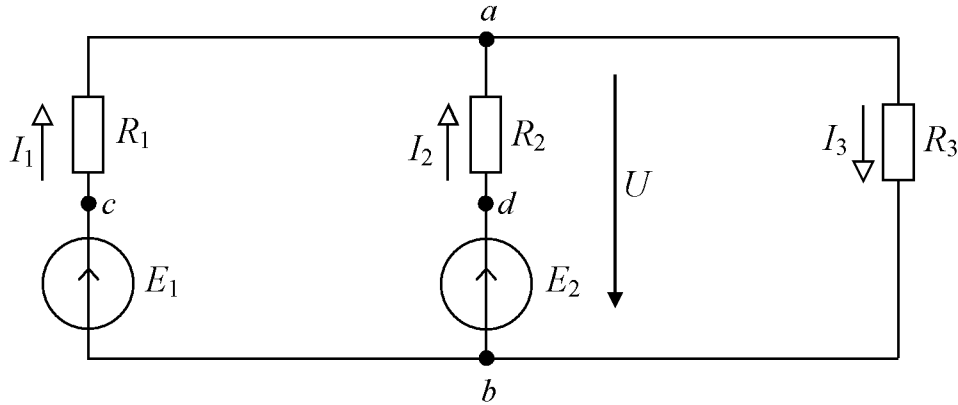


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

E_1 – електрорушійна сила першого генератора, B ;

R_1 – внутрішній опір першого генератора, $Ом$;

I_1 – сила струму першого генератора, $Ом$;

E_2 – електрорушійна сила другого генератора, B ;

R_2 – внутрішній опір другого генератора, $Ом$;

I_2 – сила струму другого генератора, $Ом$;

R_3 – опір навантаження, $Ом$;

U – напруга на затискачах пристроїв, B .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 3.1, зняти напругу.

Таблиця 3.1 – Показання приладів

Умови проведення експериментів	Показання приладів				
	I_1, A	I_2, A	I_3, A	U_1, B	U_2, B
1 Вимикач QS_1 розімкнений					
2 Вимикач QS_1 замкнений					

5.4 Визначити електрорушійну силу першого генератора, використовуючи показання приладів у досліді холостого ходу (перший експеримент) і рівняння його зовнішньої характеристики:

$$U = E_1 - R_1 \cdot I_1. \quad (3.1)$$

5.5 Визначити внутрішній опір першого генератора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння (3.1).

5.6 Визначити електрорушійну силу другого генератора, використовуючи показання приладів у досліді холостого ходу (перший експеримент) і рівняння його зовнішньої характеристики:

$$U = E_2 - R_2 \cdot I_2. \quad (3.2)$$

5.7 Визначити внутрішній опір другого генератора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння (3.2).

5.8 Визначити опір реостата (навантаження), використовуючи показання приладів при навантаженні (другий експеримент) і рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$I_3 = \frac{U}{R_3}. \quad (3.3)$$

5.9 Визначити кількість вузлів і незалежних контурів розрахункової схеми електричного кола, зображеної на рис.3.2.

5.10 Записати рівняння за першим законом Кірхгофа для одного з вузлів розрахункової схеми електричного кола, зображеної на рис.3.2.

5.11 Перевірити складене у пункті 5.10 рівняння за першим законом Кірхгофа, підставивши у нього значення сил струмів із другого експерименту.

5.12 Записати рівняння за другим законом Кірхгофа для незалежних контурів розрахункової схеми електричного кола, прийнявши напрям обходу за годинниковою стрілкою.

5.13 Перевірити складені у пункті 5.12 рівняння за другим законом Кірхгофа, підставивши у нього значення сил струмів із другого експерименту та отримані значення опорів і е.р.с.

5.14 Переписати складені у пунктах 5.10 та 5.12 рівняння, підставивши у них значення опорів та електрорушійної сили, у вигляді системи рівнянь.

5.15 Визначити сили струмів у резисторах, використовуючи систему рівнянь, складену у пункті 5.14.

5.16 Виконати перевірку знайдених значень сил струмів, підставивши їх у систему рівнянь з пункту 5.14.

5.17 Занести отримані значення в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

E_1, B	E_2, B	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	I_1, A	I_2, A	I_3, A

5.18 Порівняти значення сил струмів, отриманих в результаті розрахунку, з вимірними у експерименті при навантаженні. Результати занести у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати порівнянь фізичних величин

I_1, A розрах.	I_1, A вимір.	$\varepsilon_{i1}, \%$	I_2, A розрах.	I_2, A вимір.	$\varepsilon_{i2}, \%$	I_3, A розрах.	I_3, A вимір.	$\varepsilon_{i3}, \%$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.
- 6.4 Таблиця 3.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Таблиця 3.2.
- 6.8 Таблиця 3.3.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Яке електричне коло називається розгалуженим?
- 7.2 Що таке вузол розгалуженого кола?
- 7.3 Що таке вітка розгалуженого кола?
- 7.4 Що таке незалежний контур розгалуженого кола?
- 7.5 Сформулюйте перший закон Кірхгофа.
- 7.6 Виконайте математичний запис першого закону Кірхгофа.
- 7.7 Коли сили струму у рівнянні за першим законом Кірхгофа записуються зі знаком «+», а коли зі знаком «-»?
- 7.8 Сформулюйте другий закон Кірхгофа.
- 7.9 Виконайте математичний запис другого закону Кірхгофа.
- 7.10 Коли електрорушійні сили у рівнянні за другим законом Кірхгофа записуються зі знаком «+», а коли зі знаком «-»?
- 7.11 Коли спадання напруг у рівнянні за другим законом Кірхгофа записуються зі знаком «+», а коли зі знаком «-»?
- 7.12 Скільки рівнянь за першим та другим законами Кірхгофа необхідно скласти для знаходження сил струмів у розгалуженому колі?
- 7.13 Наведіть послідовність розрахунку сил струмів у розгалуженому електричному колі за законами Кірхгофа.
- 7.14 Наведіть розрахункову схему розгалуженого електричного кола з декількома електрорушійними силами.
- 7.15 Скільки вузлів має електричне коло з п.7.14?
- 7.16 Скільки віток має електричне коло з п.7.14?

- 7.17 Скільки незалежних контурів має електричне коло з п.7.14?
- 7.18 Складіть необхідну кількість рівнянь за першим законом Кірхгофа для кола з п.7.14.
- 7.19 Складіть необхідну кількість рівнянь за другим законом Кірхгофа для кола з п.7.14.
- 7.20. Як визначити сили струмів, що протікають у колі з п.7.14?
- 7.21. Як перевірити вірність знайдених значень сил струмів, що протікають у колі з п.7.14?
- 7.22. Що означає, якщо сила хоча б одного струму, що протікає у колі з п.7.14, отримана зі знаком «-»? Що необхідно зробити, щоб це виправити?
- 7.23 Як визначити потужності, що виділяються на ділянках кола з п.7.14?
- 7.24 Як скласти баланс потужностей кола з п.7.14?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема. Дослідження розгалуженого кола постійного струму шляхом еквівалентних перетворень

Мета: придбання практичних навичок при визначенні еквівалентного опору лінійного розгалуженого електричного кола постійного струму та сил струмів у лінійному розгалуженому електричному колі постійного струму методом шляхом еквівалентних перетворень

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 2 «Лінійні розгалужені електричні кола постійного струму» п.2.5 [1, с. 92–101].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 2.5 – 2.6 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить генератор постійного струму G_1 , три резистори, які включені змішано: два резистори R_2 і R_3 – паралельно, а послідовно з ними – резистор R_1 . Для вимірювання сил електричних струмів у вітках електричного кола передбачені амперметри PA_1 , PA_2 і PA_3 . Для вимірювання напруги на затискачах генератора передбачено вольтметр PV_1 , а на ділянках кола передбачено вольтметри PV_1 і PV_2 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 4.1.

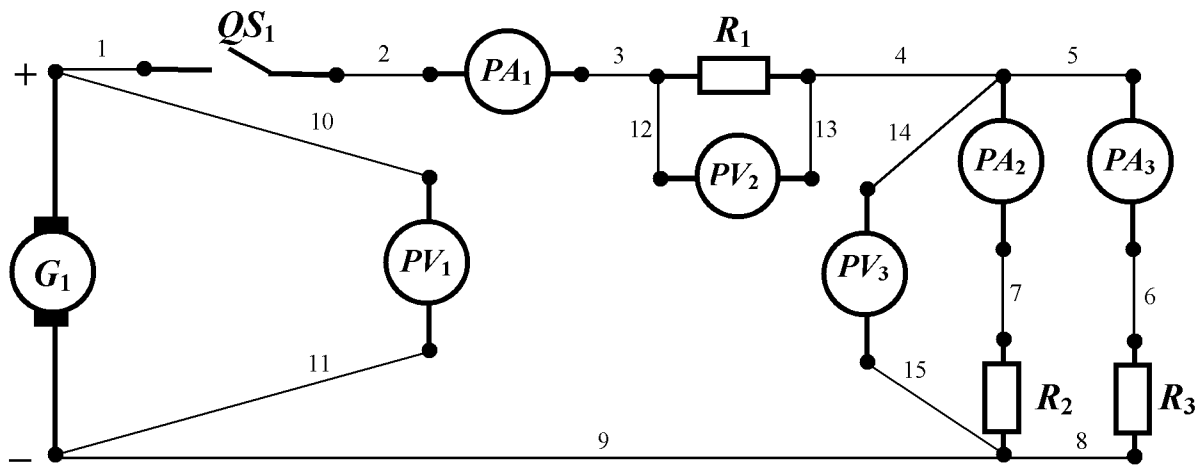


Рисунок 4.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 15 провідників (на схемі позначені номерами 1-15).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмоток амперметрів дорівнюють нулю;
- опори обмоток вольтметрів дорівнюють нескінченності, тобто електричний струм у них не протікає.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 4.2.

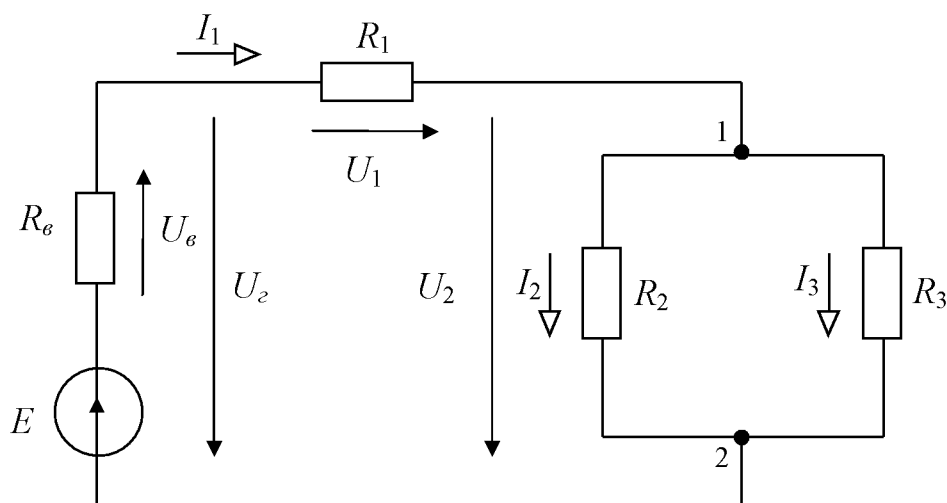


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- E – електрорушійна сила генератора, B ;
- R_g – внутрішній опір генератора, Om ;
- R_1 – опір першого резистора, Om ;
- R_2 – опір другого резистора, Om ;
- R_3 – опір третього резистора, Om ;
- U_z – напруга на затискачах генератора, B ;
- U_g – спадання напруги на внутрішньому опорі генератора, B ;
- U_1 – напруга на затискачах першого резистора, B ;
- U_2 – напруга на затискачах другого і третього резисторів, B ;
- I_1 – сила струму в першому резисторі, A ;
- I_2 – сила струму в другому резисторі, A ;
- I_3 – сила струму в третьому резисторі, A .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 4.1, зняти напругу.

Таблиця 4.1 – Показання приладів

Умови проведення експериментів	Показання приладів					
	I ₁ , A	I ₂ , A	I ₃ , A	U ₁ , B	U ₂ , B	U ₃ , B
1 Вимикач QS ₁ розімкнений						
2 Вимикач QS ₁ замкнений						

- 5.4 Визначити електрорушійну силу генератора, використовуючи показання приладів у досліді холостого ходу (перший експеримент) і рівняння зовнішньої характеристики генератора:

$$U_z = E - R_g \cdot I. \quad (4.1)$$

- 5.5 Визначити внутрішній опір генератора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння (4.1) зовнішньої характеристики генератора.

- 5.6 Визначити еквівалентний опір всього кола, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння закону Ома для замкненого кола з однією електрорушійною силою:

$$I_1 = \frac{E}{R_e}, \quad (4.2)$$

де R_e – еквівалентний опір всього кола, Ом.

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних опір першого резистора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}. \quad (4.3)$$

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних опір другого резистора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}. \quad (4.4)$$

5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних опір третього резистора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3}. \quad (4.5)$$

5.10 Визначити потужність, що розвивається генератором при навантаженні, використовуючи експериментальні й розрахункові дані та рівняння:

$$P = E \cdot I_1. \quad (4.6)$$

5.11 Визначити потужність, що втрачається в генераторі при навантаженні, використовуючи експериментальні й розрахункові дані та рівняння:

$$P_e = R_e \cdot I_1^2. \quad (4.7)$$

5.12 Визначити потужність, що віддається генератором при навантаженні, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$P_e = U_e \cdot I_1. \quad (4.8)$$

5.13 Визначити потужність, спожиту першим резистором, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1. \quad (4.9)$$

5.14 Визначити потужність, спожиту другим резистором, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2. \quad (4.10)$$

5.15 Визначити потужність, спожиту третім резистором, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$P_3 = U_2 \cdot I_3. \quad (4.11)$$

5.16 Скласти баланс потужностей, використовуючи розрахункові дані, згідно рівняння:

$$P = P_e + P_1 + P_2 + P_3. \quad (4.12)$$

5.17 Занести отримані значення в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$E,$ B	$R_e,$ $Ом$	$R_e,$ $Ом$	$R_1,$ $Ом$	$R_2,$ $Ом$	$R_3,$ $Ом$	$P,$ $Вт$	$P_B,$ $Вт$	$P_Г,$ $Вт$	$P_1,$ $Вт$	$P_2,$ $Вт$	$P_3,$ $Вт$

5.18 Підтвердити за допомогою експериментальних даних значення еквівалентного опору кола:

$$R_e = R_e + R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}. \quad (4.13)$$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункова схема експериментальної установки.
- 6.4 Таблиця 4.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Таблиця 4.2.
- 6.8 Перевірка розрахунку еквівалентного опору кола.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Яке з'єднання елементів електричного кола називають послідовним?
- 7.2 Якою є сила струму у всіх послідовно з'єднаних елементах електричного кола?
- 7.3 Яке з'єднання елементів електричного кола називають паралельним?

- 7.4 Якою є напруга на всіх паралельно з'єднаних елементах електричного кола?
- 7.5 Дайте визначення провідності елемента кола.
- 7.6 Запишіть визначальну формулу провідності елемента кола. Що є одиницею провідності?
- 7.7 Для чого виконується еквівалентне перетворення схеми з'єднання елементів електричного кола?
- 7.8 Яка умова еквівалентного перетворення схеми з'єднання елементів електричного кола?
- 7.9 Як розрахувати еквівалентний опір послідовно з'єднаних опорів?
- 7.10 Як розрахувати еквівалентний опір паралельно з'єднаних опорів?
- 7.11 Як перетворити схему з'єднання елементів електричного кола «зірка» у «трикутник»?
- 7.12 Як перетворити схему з'єднання елементів електричного кола «трикутник» у «зірку»?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Тема. Дослідження параметрів змінного синусоїдного струму

Мета: придбання практичних навичок при визначенні фізичних величин, що характеризують змінний синусоїдний струм

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 3 «Нерозгалужені електричні кола змінного синусоїдного струму» п.3.1 [1, с. 128–141].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 3.1 – 3.4 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 5.1 – 5.3 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого підключений навантажувальний резистор $R_{н1}$. У вторинному колі автотрансформатора включено амперметр PA_1 , послідовно з яким включений додатковий резистор $R_{д1}$. Напругу з додаткового резистора подано на вхід осцилографа. Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 5.1.

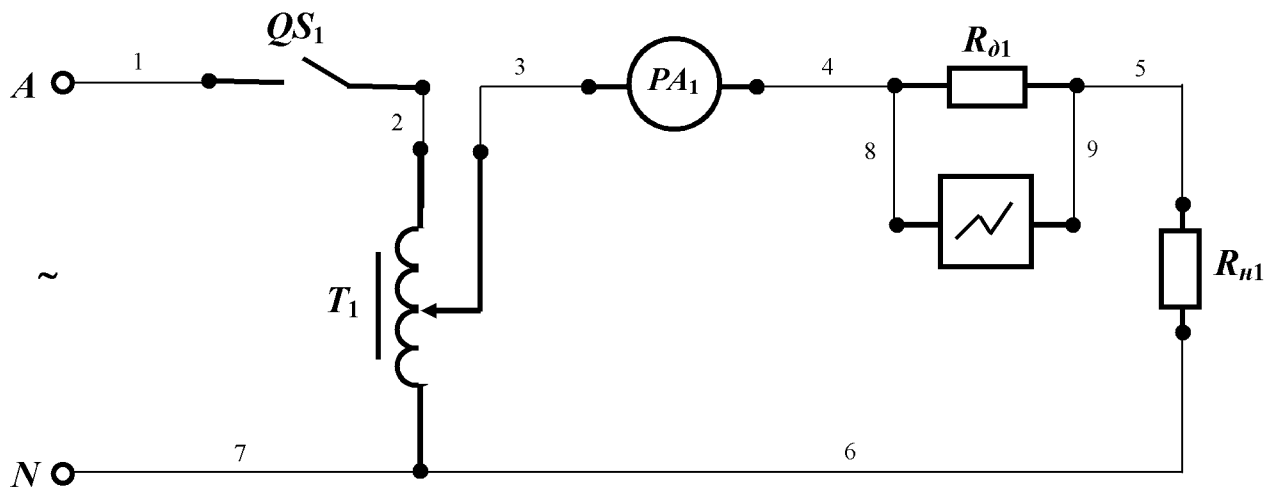


Рисунок 5.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 9 провідників (на схемі позначені номерами 1-9).

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 4.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 4.3 Записати показання амперметра (I).
- 4.4 Здійснити візуальне спостереження миттєвого струму.
- 4.5 Зобразити у масштабі криву струму (синусоїду), зняти напругу.
- 4.6 Визначити з кривої струму амплітуду сили струму (I_m).
- 4.7 Визначити з кривої струму період струму (T).
- 4.8 Визначити частоту струму, використовуючи рівняння:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (5.1)$$

- 4.9 Визначити кругову (циклічну) частоту струму, використовуючи рівняння:

$$\omega = 2\pi \cdot f. \quad (5.2)$$

- 4.10 Визначити з кривої струму початкову фазу струму.
- 4.11 Записати вираз поточної фази струму.
- 4.12 Записати рівняння миттєвого струму, використовуючи його рівняння у загальному вигляді:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \quad (5.3)$$

- 4.13 Побудувати в обраному масштабі вектор амплітуди сили струму.

4.14 Визначити миттєве значення сили струму у початковий момент часу, використовуючи вектор струму та криву струму. Порівняти їх між собою.

4.15 Визначити діюче значення сили струму, використовуючи його амплітудне значення та рівняння:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (5.4)$$

4.16 Занести отримані значення в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Фізичні величини, що характеризують коло

T, c	$f, Гц$	$\omega, рад.$	I_m, A	$\omega t + \psi_i$	i, A	I, A

4.17 Порівняти діюче значення сили струму, отримане у п.4.15, з показанням амперметра з п.4.5.

5 СТРУКТУРА ЗВІТУ

5.1 Тема лабораторної роботи.

5.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.

5.3 Крива струму (синусоїда).

5.4 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

5.5 Розрахунок шуканих величин.

5.6 Векторна діаграма.

5.7 Таблиця 5.1.

5.8 Результат порівняння діючих значень сили струму.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

6.1 У чому суть явища електромагнетизму?

6.2 Сформулюйте закон електромагнетизму.

6.3 Математично запишіть і розшифруйте закон електромагнетизму.

6.4 У чому суть явища електромагнітної індукції?

6.5 Сформулюйте закон електромагнітної індукції.

6.6 Математично запишіть і розшифруйте закон електромагнітної індукції.

6.7 Поясніть фізичну суть знака «мінус».

6.8 Наведіть приклад використання явища електромагнітної індукції в техніці.

6.9 Складіть і опишіть конструктивну схему фізичної моделі машинного генератора змінного синусоїдного струму.

6.10 Опишіть принцип дії фізичної моделі машинного генератора змінного синусоїдного струму.

6.11 Поясніть, чому у фізичній моделі генератора наводиться синусоїдна електрорушійна сила, запишіть і розшифруйте її математичний вираз.

- 6.12 Що являє собою повне коливання е.р.с.?
- 6.13 Запишіть і розшифруйте математичний вираз миттєвої напруги на за- тискачах ідеального генератора.
- 6.14 Що таке амплітуда е.р.с.? Що є її одиницею?
- 6.15 Що характеризує початкова фаза е.р.с.?
- 6.16 Що характеризує поточна фаза е.р.с.?
- 6.17 Як отримати синусоїдний струм?
- 6.18 Запишіть і розшифруйте математичний вираз миттєвого синусоїдного струму.
- 6.19 Що таке повне коливання струму?
- 6.20 Що таке амплітуда струму? Що є її одиницею?
- 6.21 Що таке період струму? Що є його одиницею?
- 6.22 Що таке частота струму? Що є її одиницею?
- 6.23 Запишіть формулу взаємозв'язку між періодом і частотою струму.
- 6.24 Що таке кругова (циклічна) частота струму? Що є її одиницею?
- 6.25 Запишіть математичний вираз кругової (циклічної) частоти струму.
- 6.26 Що характеризує початкова фаза струму?
- 6.27 Що характеризує миттєва фаза струму?
- 6.28 Що розуміється під діючим значенням змінного синусоїдного струму?
- 6.29 Запишіть вираз діючого значення змінного струму.
- 6.30 Як розрахувати діюче значення змінного синусоїдного струму через амплітудне значення струму?
- 6.31 Як розрахувати діюче значення електрорушійної сили через амплітуд- не значення?
- 6.32 Як розрахувати діюче значення напруги через амплітудне значення?
- 6.33 Як розрахувати середнє значення змінного синусоїдного струму через амплітудне значення струму?
- 6.34 Як зобразити струм за допомогою радіус-вектора?
- 6.35 Як знайти миттєве значення струму, використовуючи радіус-вектор струму?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Тема. Дослідження кола синусоїдного струму з резистором

Мета: придбання практичних навичок при визначенні активного опору, амплітудних та миттєвих значень напруги та струму, активної потужності у лінійному нерозгалуженому електричному колі синусоїдного струму з резистором

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 3 «Нерозгалужені електричні кола змінного синусоїдного струму» п.3.2 [1, с. 142–149].

- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 3.5 – 3.6 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого підключений вольтметр PV_1 . У вторинному колі автотрансформатора включено амперметр PA_1 послідовно з навантажувальним резистором R_1 , і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачено вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 6.1.

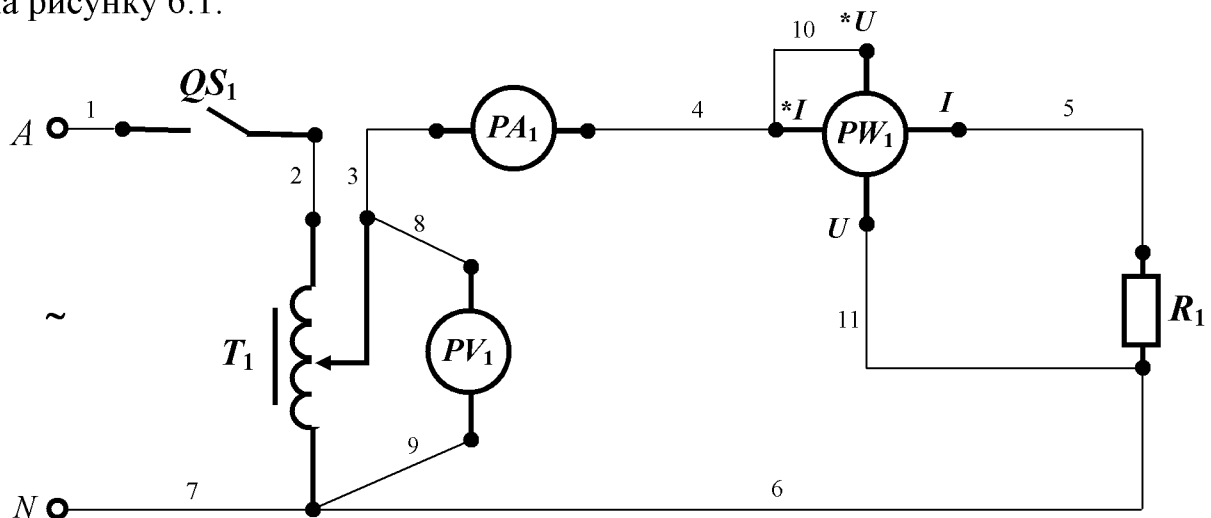


Рисунок 6.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 11 провідників (на схемі позначені номерами 1-11).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункових схем прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 6.2.

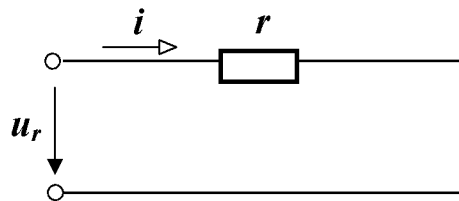


Рисунок 6.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:
 u_r – миттєва напруга на резисторі, B ;
 i – миттєвий струм в електричному колі, A ;
 r – активний опір резистора, Om .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.
- 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 6.1, зняти напругу.

Таблиця 6.1 – Показання приладів

Умова проведення експерименту	Показання приладів		
	U, B	I, A	P, Bm
Вимикач QS_1 замкнений			

- 5.4 Записати діюче значення напруги на затискачах резистора, використовуючи експериментальні дані.
- 5.5 Визначити амплітудне значення напруги на затискачах резистора, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$U_r = \frac{U_{rm}}{\sqrt{2}}. \quad (6.1)$$

- 5.6 Записати рівняння миттєвої напруги на резисторі, прийнявши, що її початкова фаза $\psi_{ur} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи її рівняння у загальному вигляді:

$$u_r = U_{rm} \sin(\omega t + \psi_{ur}). \quad (6.2)$$

5.7 Записати діюче значення сили електричного струму в резисторі, використовуючи експериментальні дані.

5.8 Визначити амплітудне значення синусоїдного електричного струму в резисторі, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (6.3)$$

5.9 Визначити початкову фазу струму у резисторі, використовуючи рівняння:

$$\psi_i = \psi_{ur}. \quad (6.4)$$

5.10 Записати рівняння миттєвого струму в резисторі, використовуючи його рівняння у загальному вигляді:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \quad (6.5)$$

5.11 Записати активну потужність, споживану резистором, використовуючи експериментальні дані.

5.12 Визначити за допомогою експериментальних даних активний опір резистора, використовуючи рівняння активної потужності:

$$P = r \cdot I^2. \quad (6.6)$$

5.13 Побудувати в обраному масштабі векторну діаграму діючих значень напруги та струму кола.

5.14 Занести отримані значення в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

U_r, B	U_{rm}, B	u_r, B	I, A	I_m, A	i, A	P, Bm	$r, Ом$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.3 Розрахункова схема експериментальної установки.

6.4 Таблиця 6.1.

6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.6 Розрахунок шуканих величин.

6.7 Векторна діаграма кола.

6.8 Таблиця 6.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в резисторі в колі синусоїдного струму.

7.2 Що таке поверхневий ефект? Чому він виникає?

7.3 Чи відрізняється опір провідника постійному струму від опору провідника змінному синусоїдному струму? Чому?

7.4 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і резистором.

7.5 Запишіть математичний зв'язок між миттєвою напругою, миттєвим струмом і активним опором.

7.6 Сформулюйте та математично запишіть закон Ома для максимальних і діючих значень напруги й струму на ділянці кола з резистором.

7.7 Запишіть математичний вираз миттєвої напруги на активному опорі, прийнявши, що її початкова фаза дорівнює нулю.

7.8 Запишіть математичний вираз миттєвого струму в активному опорі для зазначеної вище напруги.

7.9 Побудуйте графічно оригінали миттєвої напруги та миттєвого струму на ділянці кола з резистором.

7.10 Зобразіть напругу та струм за допомогою векторів.

7.11 Що таке кут зсуву фаз? Чому він дорівнює на ділянці кола з резистором?

7.12 Наведіть математичний вираз миттєвої потужності в резисторі. З якою частотою коливається миттєва потужність у резисторі?

7.13 Що розуміється під активною потужністю? Як її розрахувати в резисторі? Укажіть її одиницю.

7.14 Який електровимірювальний прилад застосовують для вимірювання активної потужності? Як він вмикається у коло? Як визначити ціну його поділки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема. Дослідження кола синусоїдного струму з реальною котушкою

Мета: придбання практичних навичок при визначенні опорів, амплітудних та миттєвих значень напруг та струму, потужностей у лінійному електричному колі синусоїдного струму з реальною котушкою

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 3 «Нерозгалужені електричні кола змінного синусоїдного струму» пп.3.3, 3.5 [1, с. 150–157; 166–175].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 3.7, 3.8, 3.11, 3.12 [4].

1.3 Відповісти на контрольні запитання.

1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.

2.2 Зібрати схему експериментальної установки.

2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.

2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.

2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого підключений вольтметр PV_1 . У вторинному колі автотрансформатора включено амперметр PA_1 послідовно з котушкою індуктивності K_1 , і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 7.1.

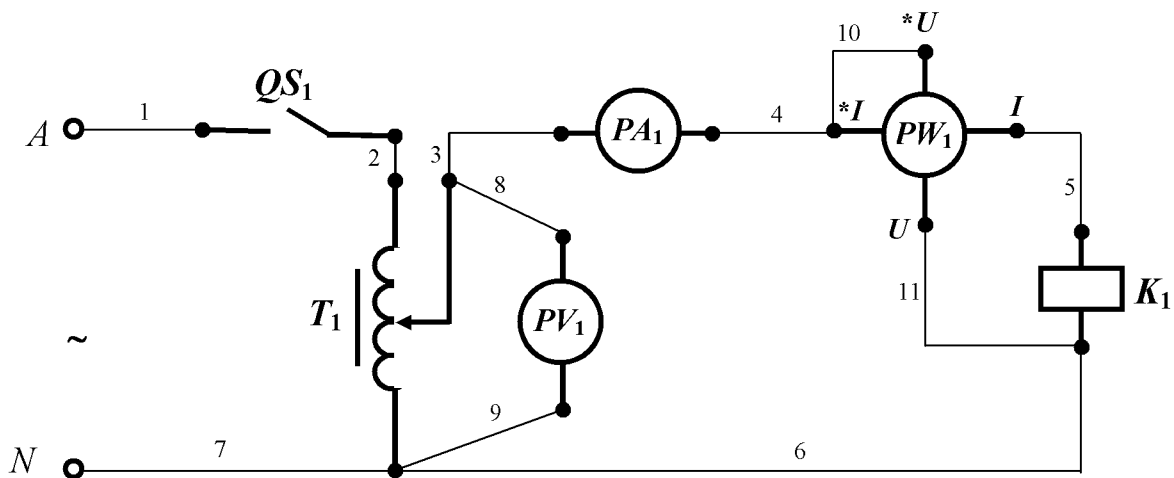


Рисунок 7.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 11 провідників (на схемі позначені номерами 1-11).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 7.2.

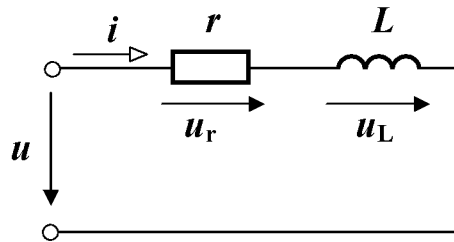


Рисунок 7.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:
u – миттєва напруга на затискачах кола, *B*;
i – миттєвий струм в електричному колі, *A*;
r – активний опір котушки, *Ом*;
L – індуктивність котушки, *Гн*;
u_r – миттєва напруга на активному опорі котушки, *B*;
u_L – миттєва напруга на індуктивності котушки, *B*.

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.
- 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 7.1, зняти напругу.

Таблиця 7.1 – Показання приладів

Умова проведення експерименту	Показання приладів		
	U, B	I, A	P, Вт
Вимикач QS ₁ замкнений			

- 5.4 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на затискачах котушки.
- 5.5 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в котушці.
- 5.6 Записати за допомогою експериментальних даних активну потужність, споживану котушкою.
- 5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних активний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2. \quad (7.1)$$

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних повний опір котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z}. \quad (7.2)$$

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}. \quad (7.3)$$

5.10 Побудувати в обраному масштабі трикутник опорів котушки.

5.11 Визначити індуктивність котушки, прийнявши, що частота струму дорівнює 50 Гц, використовуючи рівняння:

$$x_L = 2\pi \cdot f \cdot L. \quad (7.4)$$

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між прикладеною напругою і струмом котушки, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (7.5)$$

5.13 Визначити амплітудне значення синусоїдного електричного струму в котушці, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (7.6)$$

5.14 Записати рівняння миттєвого струму в котушці, прийнявши, що його початкова фаза $\psi_i = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи його рівняння у загальному вигляді:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \quad (7.7)$$

5.15 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних діюче значення напруги на активному опорі котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_r}{r}. \quad (7.8)$$

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних амплітудне значення напруги на активному опорі котушки, використовуючи рівняння:

$$U_r = \frac{U_{rm}}{\sqrt{2}}. \quad (7.9)$$

5.17 Визначити початкову фазу напруги на активному опорі котушки, використовуючи рівняння:

$$\psi_i = \psi_{ur}. \quad (7.10)$$

5.18 Записати рівняння миттєвої напруги на активному опорі котушки, використовуючи її рівняння у загальному вигляді:

$$u_r = U_{rm} \sin(\omega t + \psi_{ur}). \quad (7.11)$$

5.19 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних діюче значення напруги на індуктивності котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_L}{x_L}. \quad (7.12)$$

5.20 Визначити амплітудне значення напруги на індуктивності котушки, використовуючи розрахункові дані та рівняння:

$$U_L = \frac{U_{Lm}}{\sqrt{2}}. \quad (7.13)$$

5.21 Визначити початкову фазу напруги на індуктивності котушки, використовуючи рівняння:

$$\psi_i = \psi_{uL} - 90^\circ. \quad (7.14)$$

5.22 Записати рівняння миттєвої напруги на індуктивності котушки, використовуючи її рівняння у загальному вигляді:

$$u_L = U_{Lm} \sin(\omega t + \psi_{uL}). \quad (7.15)$$

5.23 Визначити амплітудне значення напруги на затискачах котушки, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (7.16)$$

5.24 Визначити початкову фазу напруги на затискачах котушки, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (7.17)$$

5.25 Записати рівняння миттєвої напруги на затискачах котушки, використовуючи її рівняння у загальному вигляді:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u). \quad (7.18)$$

5.26 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних реактивну потужність котушки, використовуючи рівняння:

$$Q_L = x_L \cdot I^2. \quad (7.19)$$

5.27 Визначити за допомогою експериментальних даних повну потужність котушки, використовуючи рівняння:

$$S = U \cdot I. \quad (7.20)$$

5.28 Побудувати в обраному масштабі трикутник потужностей котушки.

5.29 Визначити коефіцієнт потужності котушки, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (7.21)$$

5.30 Побудувати в обраному масштабі векторну діаграму діючих значень сили струму і напруг котушки.

5.31 Занести отримані значення в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$z,$ <i>Ом</i>	$r,$ <i>Ом</i>	$x_L,$ <i>Ом</i>	$L,$ <i>мГн</i>	$\varphi,$ <i>град</i>	$P,$ <i>Вт</i>	$Q_L,$ <i>ВАр</i>	$S,$ <i>ВА</i>	$\cos \varphi$	$I,$ <i>А</i>	$I_m,$ <i>А</i>	$\psi_i,$ <i>град.</i>	$i,$ <i>А</i>

Продовження таблиці 7.2

$U_r,$ B	$U_{rm},$ B	$\psi_{ur},$ $град.$	$u_r,$ B	$U_L,$ B	$U_{Lm},$ B	$\psi_{uL},$ $град.$	$u_L,$ B	$U_m,$ B	$\psi_u,$ $град.$	$u,$ B

5.32 Перевірити взаємозв'язок між потужностями котушки, використовуючи дані з табл.5.2 та рівняння:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} . \quad (7.22)$$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункова схема електричного кола.
- 6.4 Таблиця 7.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Трикутник опорів.
- 6.8 Трикутник потужностей.
- 6.9 Векторна діаграма.
- 6.10 Таблиця 7.2.
- 6.11 Перевірка взаємозв'язку потужностей кола.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в реальній котушці в колі синусоїдного струму.
- 7.2 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і реальною котушкою.
- 7.3 Поясніть фізичну суть індуктивного опору. Як розрахувати індуктивний опір котушки?
- 7.4 Складіть рівняння електричної рівноваги кола синусоїдного струму з реальною котушкою.
- 7.5 Запишіть вираз миттєвого струму в колі, прийнявши, що його початкова фаза дорівнює нулю.
- 7.6 Одержіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, підставивши в рівняння електричної рівноваги вираз миттєвого струму в колі.
- 7.7 Побудуйте векторну діаграму струму та напруг кола (для діючих значень) та поясніть її.
- 7.8 Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи векторну діаграму, з урахуванням кута зсуву фаз.
- 7.9 Одержіть з векторної діаграми та побудуйте трикутник діючих значень напруг котушки.

- 7.10 Перетворіть трикутник напруг у трикутник опорів, використовуючи закон Ома.
- 7.11 Встановіть зв'язок між параметрами реальної котушки, використовуючи трикутник опорів.
- 7.12 Як розрахувати кут зсуву фаз реальної котушки за допомогою її параметрів?
- 7.13 Одержіть із трикутника опорів трикутник потужностей і побудуйте його.
- 7.14 Встановіть зв'язок між потужностями реальної котушки, використовуючи трикутник потужностей.
- 7.15 Дайте визначення коефіцієнта потужності реальної котушки.
- 7.16 Запишіть і розшифруйте визначальну формулу коефіцієнта потужності котушки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Тема. Дослідження нерозгалуженого кола синусоїдного струму з резистором і конденсатором

Мета: придбання практичних навичок при визначенні опорів, амплітудних та миттєвих значень напруг та струму, потужностей у лінійному нерозгалуженому електричному колі синусоїдного струму з резистором і конденсатором

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 3 «Нерозгалужені електричні кола змінного синусоїдного струму» [1, с. 176–183].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 3.13 – 3.14 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , вольтметр PV_1 , підключений до вторинних затисків лабораторного автотрансформатора T_1 , амперметр PA_1 , включений послідовно з резистором R_1 і конденсатором C_1 постійної ємності, та ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 8.1.

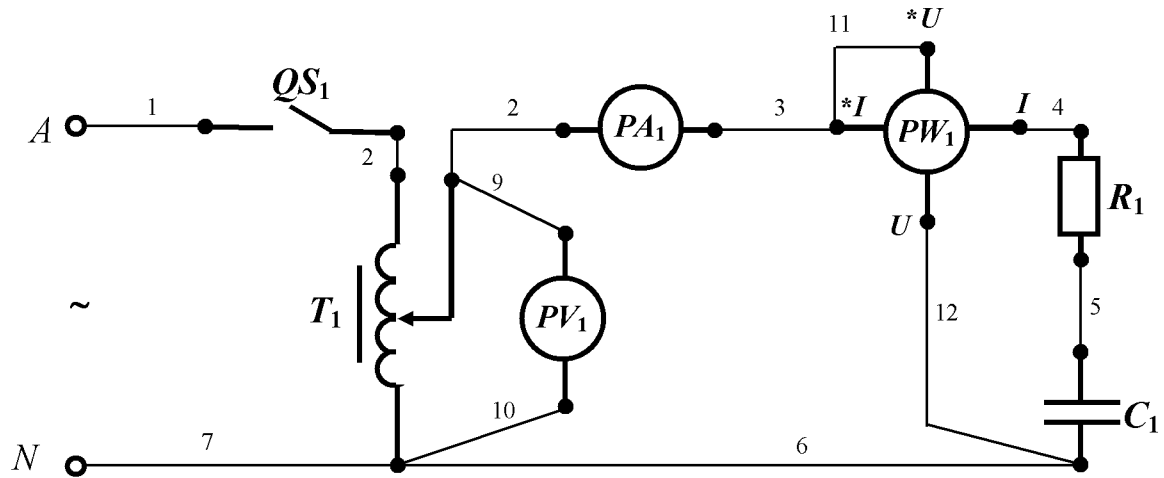


Рисунок 8.1 - Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 12 провідників (на схемі позначені номерами 1-12).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- активний опір конденсатора дорівнює нулю;
- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 8.2.

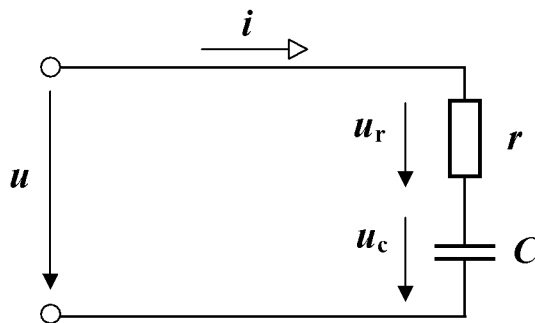


Рисунок 8.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- u – миттєва напруга на затискачах кола, В;
- i – миттєвий струм в електричному колі, А;
- r – активний опір резистора, Ом;

C – ємність конденсатора, Φ ;

u_r – миттєва напруга на активному опорі резистора, B ;

u_c – миттєва напруга на ємності конденсатора, B .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.

5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 8.1, зняти напругу.

Таблиця 8.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	U, B	I, A	P, Bm
Вимикач QS_1 замкнений			

5.4 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на затискачах кола.

5.5 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в колі.

5.6 Записати за допомогою експериментальних даних активну потужність, споживану колом.

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних активний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2. \quad (8.1)$$

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних повний опір котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z}. \quad (8.2)$$

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних ємнісний опір кола, використовуючи рівняння:

$$z = \sqrt{r^2 + x_c^2}. \quad (8.3)$$

5.10 Побудувати в обраному масштабі трикутник опорів кола.

5.11 Визначити ємність конденсатора, прийнявши, що частота струму дорівнює 50 Гц, використовуючи рівняння:

$$x_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}. \quad (8.4)$$

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою і струмом кола, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (8.5)$$

5.13 Визначити амплітудне значення синусоїдного електричного струму в колі, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (8.6)$$

5.14 Записати рівняння миттєвого струму в колі, прийнявши, що його початкова фаза $\psi_i = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи його рівняння у загальному вигляді:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \quad (8.7)$$

5.15 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних діюче значення напруги на активному опорі кола, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_r}{r}. \quad (8.8)$$

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних амплітудне значення напруги на активному опорі кола, рівняння:

$$U_r = \frac{U_{rm}}{\sqrt{2}}. \quad (8.9)$$

5.17 Визначити початкову фазу напруги на активному опорі кола, використовуючи рівняння:

$$\psi_i = \psi_{ur}. \quad (8.10)$$

5.18 Записати рівняння миттєвої напруги на активному опорі кола, використовуючи її рівняння у загальному вигляді:

$$u_r = U_{rm} \sin(\omega t + \psi_{ur}). \quad (8.11)$$

5.19 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних діюче значення напруги на ємності кола, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_c}{x_c}. \quad (8.12)$$

5.20 Визначити амплітудне значення напруги на ємності кола, використовуючи розрахункові дані та рівняння:

$$U_c = \frac{U_{cm}}{\sqrt{2}}. \quad (8.13)$$

5.21 Визначити початкову фазу напруги на ємності кола, використовуючи рівняння:

$$\psi_i = \psi_{uc} + 90^\circ. \quad (8.14)$$

5.22 Записати рівняння миттєвої напруги на ємності кола, використовуючи її рівняння у загальному вигляді:

$$u_c = U_{cm} \sin(\omega t + \psi_{uc}). \quad (8.15)$$

5.23 Визначити амплітудне значення напруги на затискачах кола, використовуючи експериментальні дані та рівняння:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (8.16)$$

5.24 Визначити початкову фазу напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$\psi_i = \psi_u + \varphi. \quad (8.14)$$

5.25 Записати рівняння миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи її рівняння у загальному вигляді:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u). \quad (8.18)$$

5.26 Побудувати в обраному масштабі трикутник діючих значень напруг кола.

5.27 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних реактивну потужність конденсатора, використовуючи рівняння:

$$Q_c = x_c \cdot I^2. \quad (8.19)$$

5.28 Визначити за допомогою експериментальних даних повну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$S = U \cdot I. \quad (8.20)$$

5.29 Побудувати в обраному масштабі трикутник потужностей кола.

5.30 Визначити коефіцієнт потужності кола, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (8.21)$$

5.31 Побудувати в обраному масштабі векторну діаграму діючих значень сили струму і напруг кола.

5.32 Занести отримані значення в таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$z,$ <i>Ом</i>	$r,$ <i>Ом</i>	$x_c,$ <i>Ом</i>	$C,$ <i>мкФ</i>	$\varphi,$ <i>град</i>	$P,$ <i>Вт</i>	$Q_c,$ <i>ВАр</i>	$S,$ <i>ВА</i>	$\cos \varphi$	$I,$ <i>А</i>	$I_m,$ <i>А</i>	$\psi_i,$ <i>град.</i>	$i,$ <i>А</i>

Продовження таблиці 8.2

$U_r,$ <i>В</i>	$U_{rm},$ <i>В</i>	$\psi_{ur},$ <i>град.</i>	$u_r,$ <i>В</i>	$U_c,$ <i>В</i>	$U_{cm},$ <i>В</i>	$\psi_{uc},$ <i>град.</i>	$U_c,$ <i>В</i>	$U_m,$ <i>В</i>	$\psi_u,$ <i>град.</i>	$u,$ <i>В</i>

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Найменування лабораторної роботи.

6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.3 Розрахункова схема електричного кола.

6.4 Таблиця 8.1.

6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.6 Розрахунок шуканих величин.

- 6.7 Трикутник опорів.
- 6.8 Трикутник напруг.
- 6.9 Трикутник потужностей.
- 6.10 Векторна діаграма.
- 6.11 Таблиця 8.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в колі синусоїдного струму з резистором і конденсатором.
- 7.2 Складіть розрахункову схему кола з послідовно з'єднаними ідеальним генератором, резистором і конденсатором.
- 7.3 Складіть рівняння електричної рівноваги кола з п.7.2.
- 7.4 Запишіть вираз миттєвого струму в колі, прийнявши, що його початкова фаза дорівнює нулю.
- 7.5 Одержіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола з п.7.2, підставивши в рівняння електричної рівноваги вираз миттєвого струму в колі.
- 7.6 Побудуйте векторну діаграму струму та напруг кола з п.7.2 (для діючих значень).
- 7.7 Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола з п.7.2, використовуючи векторну діаграму, з урахуванням кута зсуву фаз.
- 7.8 Одержіть з векторної діаграми кола з п.7.2 та побудуйте трикутник діючих значень напруг котушки.
- 7.9 Перетворіть трикутник напруг з п.7.8 у трикутник опорів, використовуючи закон Ома.
- 7.10 Встановіть зв'язок між параметрами кола з п.7.2, використовуючи трикутник опорів.
- 7.11 Як розрахувати кут зсуву фаз кола з п.7.2 за допомогою його параметрів?
- 7.12 Одержіть із трикутника опорів з п.7.9 трикутник потужностей і побудуйте його.
- 7.13 Встановіть зв'язок між потужностями кола з п.7.2, використовуючи трикутник потужностей.
- 7.14 Дайте визначення коефіцієнта потужності кола.
- 7.15 Запишіть і розшифруйте визначальну формулу коефіцієнта потужності кола.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Тема. Дослідження нерозгалуженого кола синусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором

Мета: придбання практичних навичок при визначенні опорів, діючих значень напруг та струму, потужностей у лінійному нерозгалуженому електричному колі синусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 3 «Нерозгалужені електричні кола змінного синусоїдного струму» пп.3.4, 3.7, 3.8 [1, с. 158–167; 184–201].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 3.15 – 3.18 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого підключений вольтметр PV_1 . У вторинне коло автотрансформатора включено амперметр PA_1 послідовно з коштушкою K_1 і конденсатором C_1 регульованої ємності, вольтметр PV_2 , підключений до затискачів конденсатора, і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 9.1.

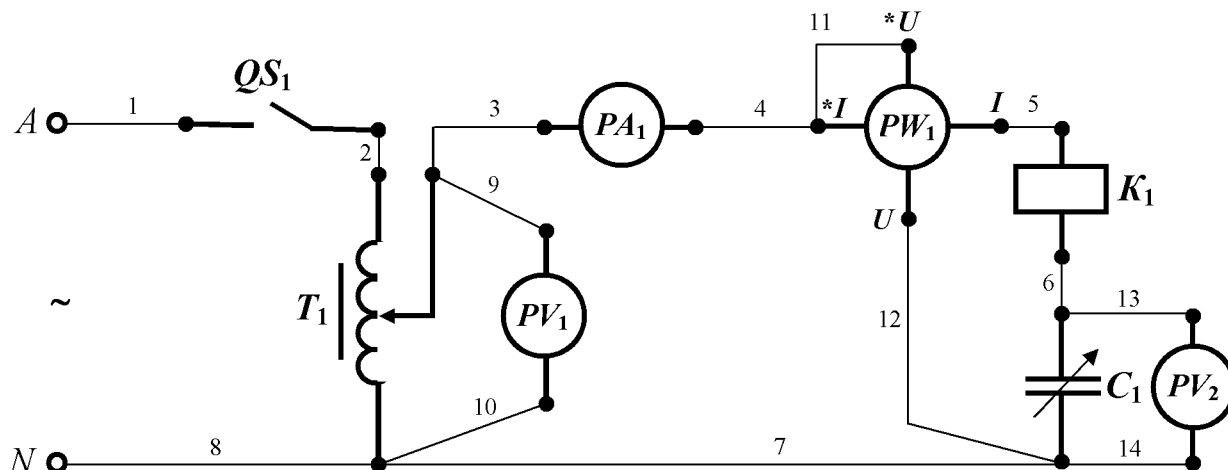


Рисунок 9.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 14 провідників (на схемі позначені номерами 1-14).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- активний опір конденсатора дорівнює нулю;
- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 9.2.

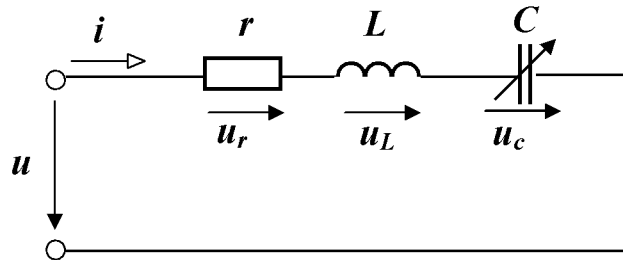


Рисунок 9.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- u – миттєва напруга на затискачах кола, B ;
- i – миттєвий струм в електричному колі, A ;
- r – активний опір котушки, Om ;
- L – індуктивність котушки, $Гн$;
- C – ємність конденсатора, Φ ;
- u_r – миттєва напруга на активному опорі котушки, B ;
- u_L – миттєва напруга на індуктивності котушки, B ;
- u_c – миттєва напруга на ємності конденсатора, B .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.
- 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 9.1.
- 5.4 Зменшити ємність конденсатора, подати напругу на затискачі експериментальної установки, визначити характер реактивного опору кола: якщо сила струму у колі збільшиться, то реактивний опір має індуктивний характер; якщо зменшиться – то ємнісний. Зняти напругу.

Таблиця 9.1 – Показання приладів

Умова проведення експерименту	Показання приладів			
	U_1, B	U_2, B	I, A	$P, Вт$
Вимикач QS_1 замкнений				

- 5.5 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на затискачах кола.

5.6 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на конденсаторі.

5.7 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в колі.

5.8 Записати за допомогою експериментальних даних активну потужність, споживану колом.

5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних активний опір кола, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2. \quad (9.1)$$

5.10 Визначити за допомогою експериментальних даних повний опір кола, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z}. \quad (9.2)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивний опір кола, використовуючи рівняння:

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}. \quad (9.3)$$

5.12 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних ємнісний опір конденсатора, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_c}{x_c}. \quad (9.4)$$

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір катушки, використовуючи рівняння:

$$x = x_L - x_c \text{ (якщо реактивний опір кола має індуктивний характер);} \quad (9.5)$$

$$-x = x_L - x_c \text{ (якщо реактивний опір кола має ємнісний характер).} \quad (9.6)$$

5.14 Зобразити еквівалентну розрахункову схему з урахуванням характеру реактивного опору кола.

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою і струмом кола, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (9.7)$$

5.16 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних діюче значення напруги на активному опорі кола, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_r}{r}. \quad (9.8)$$

5.17 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних діюче значення напруги на індуктивності кола, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_L}{x_L}. \quad (9.9)$$

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення реактивної складової напруги кола, використовуючи рівняння:

$$U_p = U_L - U_c. \quad (9.10)$$

5.19 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних реактивну потужність електричного кола, використовуючи рівняння:

$$Q = x \cdot I^2. \quad (9.11)$$

5.20 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних реактивну потужність котушки, використовуючи рівняння:

$$Q_L = x_L \cdot I^2. \quad (9.12)$$

5.21 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних реактивну потужність конденсатора, використовуючи рівняння:

$$Q_c = x_c \cdot I^2. \quad (9.13)$$

5.22 Визначити за допомогою експериментальних даних повну потужність котушки, використовуючи рівняння:

$$S = U \cdot I. \quad (9.14)$$

5.23 Визначити коефіцієнт потужності кола, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (9.15)$$

5.24 Побудувати в обраному масштабі векторну діаграму діючих значень сили струму і напруг кола, прийнявши, що початкова фаза струму $\psi_i = \underline{\quad}$ (задає викладач).

5.25 Занести отримані значення в таблицю 9.2.

Таблиця 9.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$z, \text{ Ом}$	$r, \text{ Ом}$	$x, \text{ Ом}$	$x_L, \text{ Ом}$	$x_c, \text{ Ом}$	$\varphi, \text{ град.}$	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$U_r, \text{ В}$

Продовження таблиці 9.2

$U_L, \text{ В}$	$U_c, \text{ В}$	$U_p, \text{ В}$	$P, \text{ Вт}$	$Q, \text{ ВАр}$	$Q_L, \text{ ВАр}$	$Q_c, \text{ ВАр}$	$S, \text{ ВА}$	$\cos \varphi$

5.26 Визначити за розрахунковими даними резонансу ємність електричного кола, використовуючи рівняння (попередньо розрахувавши індуктивність котушки:

$$\left. \begin{aligned} \omega \cdot L &= \frac{1}{\omega \cdot C_{\text{рез}}}; \\ \omega &= 2 \cdot \pi \cdot f; \\ f &= 50 \text{ Гц.} \end{aligned} \right\} \quad (9.16)$$

5.27 Установити у експериментальній установці ємність конденсатора, яка дорівнює резонансній. Подати напругу на затискачі експериментальної установки і здійснити спостереження за тим, що відбудеться із силою струму у колі у порівнянні з режимом без резонансу. Надати пояснення.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.3 Розрахункова схема електричного кола.

6.4 Таблиця 9.1.

6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.6 Розрахунок шуканих величин.

6.7 Еквівалентна розрахункова схема кола.

6.8 Векторна діаграма.

6.9 Таблиця 9.2.

6.10 Розрахунок резонансної ємності. Спостереження сили струму (описання зміни сили струму). Пояснення.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в колі синусоїдного струму з реальною котушкою та ідеальним конденсатором.

7.2 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором, реальною котушкою та ідеальним конденсатором.

7.3 Складіть рівняння електричної рівноваги кола синусоїдного струму з реальною котушкою й ідеальним конденсатором.

7.4 Запишіть вираз миттєвого струму в колі, прийнявши, що його початкова фаза дорівнює нулю.

7.5 Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, підставивши в рівняння електричної рівноваги вираз миттєвого струму в колі.

7.6 Побудуйте векторну діаграму струму та напруг кола (для діючих значень) для випадку, коли індуктивний опір більший за ємнісний.

7.7 Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи векторну діаграму, з урахуванням кута зсуву фаз.

7.8 Одержіть з векторної діаграми та побудуйте трикутник діючих значень напруг кола.

7.9 Запишіть визначальну формулу реактивної складової напруги даного кола.

7.10 Перетворіть трикутник напруг у трикутник опорів, використовуючи закон Ома.

7.11 Запишіть визначальну формулу реактивного опору даного кола.

7.12 Коли реактивний опір носить індуктивний характер?

7.13 Коли реактивний опір носить ємнісний характер?

7.14 Як експериментально визначити характер реактивного пору кола? Пояснити.

7.15 Встановіть математичний зв'язок між активним опором, реактивних опором і повним опором даного кола, використовуючи трикутник опорів.

7.16 Запишіть визначальну формулу кута зсуву фаз за допомогою параметрів даного кола.

7.17 Одержіть із трикутника опорів трикутник потужностей і побудуйте його. Запишіть визначальну формулу реактивної потужності даного кола.

7.18 Встановіть зв'язок між потужностями кола з реальною котушкою і конденсатором, використовуючи трикутник потужностей.

7.19 Дайте визначення коефіцієнта потужності кола.

7.20 Запишіть і розшифруйте визначальну формулу коефіцієнта потужності кола.

7.21 Що розуміється під резонансом напруг?

7.22 За якої умови виникає резонанс напруг?

- 7.23 Як досягається умова виникнення резонансу напруг?
- 7.24 Що таке резонансна ємність?
- 7.25 Запишіть математичний вираз для розрахунку резонансної ємності.
- 7.26 Що таке резонансна індуктивність?
- 7.27 Запишіть математичний вираз для розрахунку резонансної індуктивності.
- 7.28 Що таке резонансна частота?
- 7.29 Запишіть математичний вираз для розрахунку резонансної частоти.
- 7.30 Дайте характеристику режиму резонансу напруг.
- 7.31 Укажіть позитивні наслідки резонансу напруг.
- 7.32 Укажіть негативні наслідки резонансу напруг.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

Тема. Дослідження кола синусоїдного струму з реальною котушкою методом провідностей

Мета: придбання практичних навичок при визначенні опорів, провідностей, амплітудних та миттєвих значень напруги та струмів, потужностей у лінійному електричному колі синусоїдного струму з реальною котушкою методом провідностей

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 4 «Розгалужені електричні кола змінного синусоїдного струму» пп.4.1, 4.4 [1, с. 256–259; 268–271].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 4.1,4.2,4.7,4.8 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого підключений вольтметр PV_1 . У вторинному колі автотрансформатора включено амперметр PA_1 послідовно з котушкою індуктивності K_1 , і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 10.1.

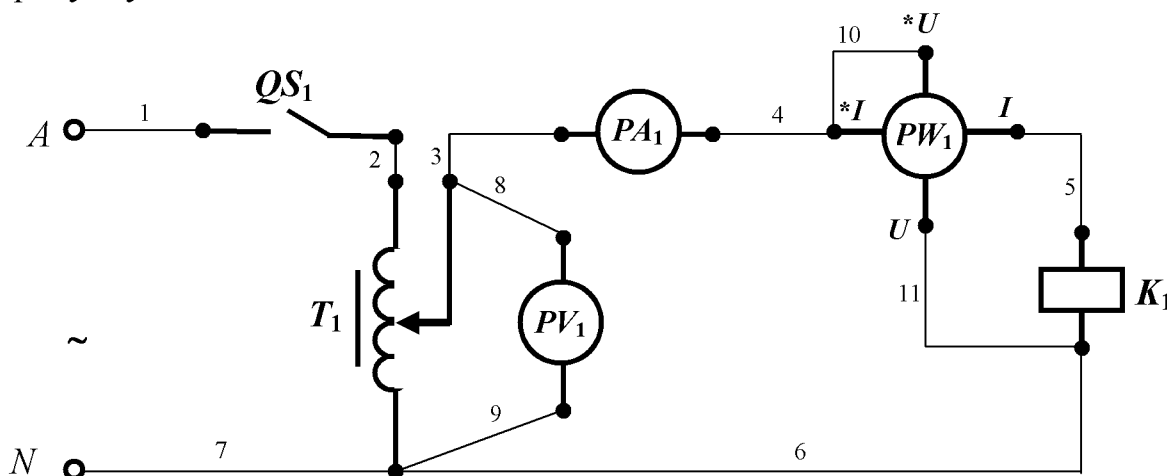


Рисунок 10.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 11 провідників (на схемі позначені номерами 1-11).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності.

Тоді розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки при послідовному та паралельному з'єднанні елементів мають вигляд, наведений на рисунку 10.2.

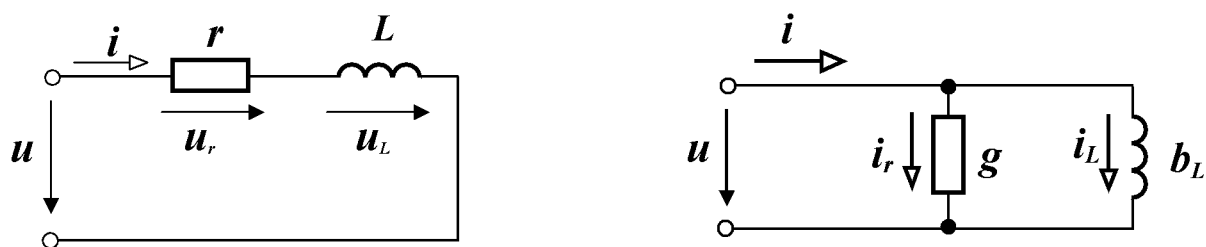


Рисунок 7.2 – Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки при послідовному та паралельному з'єднанні елементів

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- u – миттєва напруга на затискачах котушки, B ;
- i – миттєвий струм в котушці, A ;
- r – активний опір котушки, Ω ;
- L – індуктивність котушки, H ;

u_r – миттєва напруга на активному опорі котушки, B ;
 u_L – миттєва напруга на індуктивності котушки, B ;
 g – активна провідність котушки, Cm ;
 b_L – індуктивна провідність котушки, Cm ;
 i_r – активна складова миттєвого струму в котушці, A ;
 i_L – реактивна складова миттєвого струму в котушці, A .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.
- 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 10.1, зняти напругу.

Таблиця 10.1 – Показання приладів

Умова проведення експерименту	Показання приладів		
	U, B	I, A	P, Bm
Вимикач QS_1 замкнений			

- 5.4 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на затискачах котушки.
- 5.5 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в котушці.
- 5.6 Записати за допомогою експериментальних даних активну потужність, споживану котушкою.
- 5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних активний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2. \quad (10.1)$$

- 5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних повний опір котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z}. \quad (10.2)$$

- 5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}. \quad (10.3)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних активну провідність котушки, використовуючи рівняння:

$$g = \frac{r}{z^2}. \quad (10.4)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивну провідність котушки, використовуючи рівняння:

$$b_L = \frac{x_L}{z^2}. \quad (10.5)$$

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних повну провідність котушки, використовуючи рівняння:

$$y = \frac{1}{z}. \quad (10.6)$$

5.13 Побудувати в обраному масштабі трикутник провідностей котушки.

5.14 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою та струмом котушки, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \arctg \frac{b_L}{g}. \quad (10.7)$$

5.15 Записати рівняння миттєвої напруги на затискачах в котушки, прийнявши, що її початкова фаза $\psi_u = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи експериментальні і розрахункові дані та її рівняння у загальному вигляді:

$$u = \sqrt{2} \cdot U \sin(\omega t + \psi_u). \quad (10.8)$$

5.16 Визначити початкову фазу струму у котушці, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (10.9)$$

5.17 Записати рівняння миттєвого струму в котушці, використовуючи експериментальні і розрахункові дані та його рівняння у загальному вигляді:

$$i = \sqrt{2} \cdot I \sin(\omega t + \psi_i). \quad (10.10)$$

5.18 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних діюче значення активної складової струму в котушці, використовуючи рівняння:

$$I_r = g \cdot U . \quad (10.11)$$

5.19 Визначити початкову фазу активної складової струму в котушці, використовуючи рівняння:

$$\psi_u = \psi_{ir} . \quad (10.12)$$

5.20 Записати рівняння миттєвої активної складової струму в котушці, використовуючи розрахункові дані та її рівняння у загальному вигляді:

$$i_r = \sqrt{2} \cdot I_r \sin(\omega t + \psi_{ir}) . \quad (10.13)$$

5.21 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних діюче значення реактивної складової струму в котушці, використовуючи рівняння:

$$I_L = b_L \cdot U . \quad (10.14)$$

5.22 Визначити початкову фазу реактивної складової струму в котушці, використовуючи рівняння:

$$\psi_u = \psi_{iL} + 90^\circ . \quad (10.15)$$

5.23 Записати рівняння миттєвої реактивної складової струму в котушці, використовуючи розрахункові дані та її рівняння у загальному вигляді:

$$i_L = \sqrt{2} \cdot I_L \sin(\omega t + \psi_{iL}) . \quad (10.16)$$

5.24 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних активну потужність котушки, використовуючи рівняння:

$$P = g \cdot U^2 . \quad (10.17)$$

5.25 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних реактивну потужність котушки, використовуючи рівняння:

$$Q_L = b_L \cdot U^2 . \quad (10.18)$$

5.26 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних повну потужність котушки, використовуючи рівняння:

$$S = y \cdot U^2. \quad (10.19)$$

5.27 Визначити за допомогою розрахункових даних коефіцієнт потужності котушки, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (10.20)$$

5.28 Побудувати в обраному масштабі векторну діаграму діючих значень напруги і струмів котушки.

5.29 Результати розрахунків занести в таблицю 10.2.

Таблиця 10.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$r,$ <i>Ом</i>	$x_L,$ <i>Ом</i>	$z,$ <i>Ом</i>	$g,$ <i>См</i>	$b_L,$ <i>См</i>	$y,$ <i>См</i>	$\varphi,$ <i>градус</i>	$P,$ <i>Вт</i>	$Q_L,$ <i>ВАр</i>	$S,$ <i>ВА</i>	$\cos \varphi$

Продовження таблиці 10.2

U, B	u, B	I, A	i, A	I_r, A	i_r, A	I_L, A	i_L, A

5.30 Перевірити взаємозв'язок між потужностями котушки, використовуючи дані з табл.10.2 та рівняння:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}. \quad (10.21)$$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола.
- 6.4 Таблиця 10.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Трикутник провідностей.
- 6.8 Трикутник потужностей.
- 6.9 Векторна діаграма.
- 6.10 Таблиця 10.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в реальній котушці в колі синусоїдного струму.
- 7.2 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і реальною котушкою.
- 7.3 Перелічіть умови еквівалентного перетворення електричного кола.
- 7.4 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і реальною котушкою через провідності.
- 7.5 Як визначити активну провідність котушки?
- 7.6 Як визначити реактивну провідність котушки?
- 7.7 Як визначити повну провідність котушки?
- 7.8 Складіть рівняння за першим законом Кірхгофа для розрахункової схеми п.7.4.
- 7.9 Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах котушки, прийнявши, що її початкова фаза дорівнює нулю.
- 7.10 Перепишіть рівняння п.7.8 з урахуванням початкових фаз миттєвих струмів.
- 7.11 Побудуйте векторну діаграму напруги та струмів кола (для діючих значень).
- 7.12 Запишіть вираз миттєвого струму у колі, використовуючи векторну діаграму, з урахуванням кута зсуву фаз.
- 7.13 Одержіть з векторної діаграми та побудуйте трикутник діючих значень струмів котушки.
- 7.14 Перетворіть трикутник струмів у трикутник провідностей, використовуючи закон Ома.
- 7.15 Встановіть зв'язок між провідностями реальної котушки, використовуючи трикутник провідностей.
- 7.16 Як визначити кут зсуву фаз котушки через її провідності?
- 7.17 Одержіть із трикутника провідностей трикутник потужностей і побудуйте його.
- 7.18 Встановіть зв'язок між потужностями реальної котушки, використовуючи трикутник потужностей.
- 7.19 Дайте визначення коефіцієнта потужності реальної котушки.
- 7.20 Запишіть і розшифруйте визначальну формулу коефіцієнта потужності реальної котушки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

Тема. Дослідження розгалуженого кола синусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором методом провідностей

Мета: придбання практичних навичок при визначенні опорів, провідностей, амплітудних та миттєвих значень напруги та струмів, потужностей у лінійному розгалуженому електричному колі синусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором методом провідностей

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 4 «Розгалужені електричні кола змінного синусоїдного струму» [1, с. 268–279].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 4.11 – 4.13 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5, 6.9 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого підключено: вольтметр PV_1 , амперметр PA_1 , включений у загальну частину кола, послідовно паралельно з'єднані котушка K_1 і конденсатор C_1 регульованої ємності, послідовно з котушкою включений амперметр PA_2 , послідовно з конденсатором включений амперметр PA_3 , у загальну частину кола також включений ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачено вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 11.1.

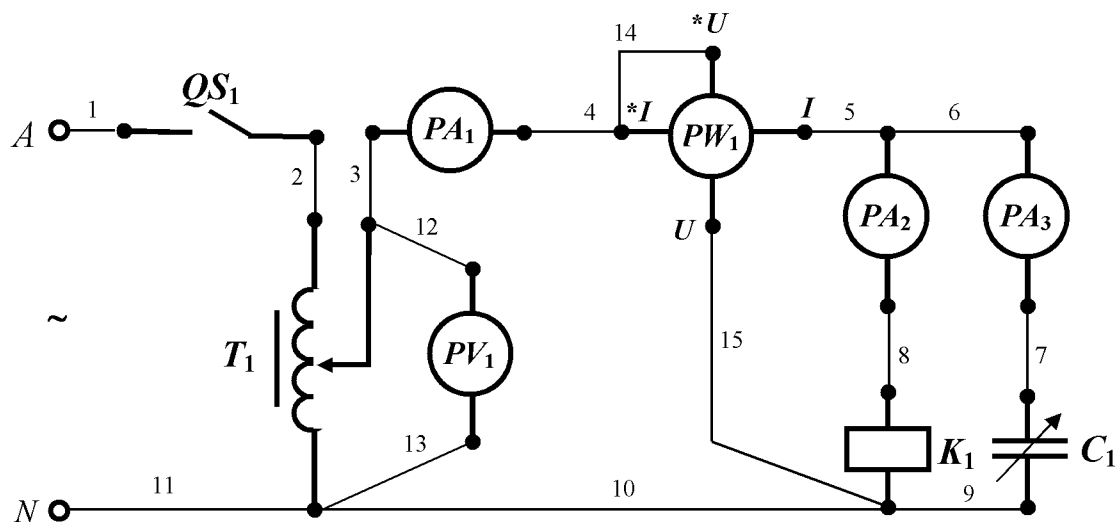


Рисунок 11.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 15 провідників (на схемі позначені номерами 1-15).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункових схем прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикачів дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності;
- активний опір конденсатора дорівнює нулю.

Тоді розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки мають вигляд, наведений на рисунку 11.2.

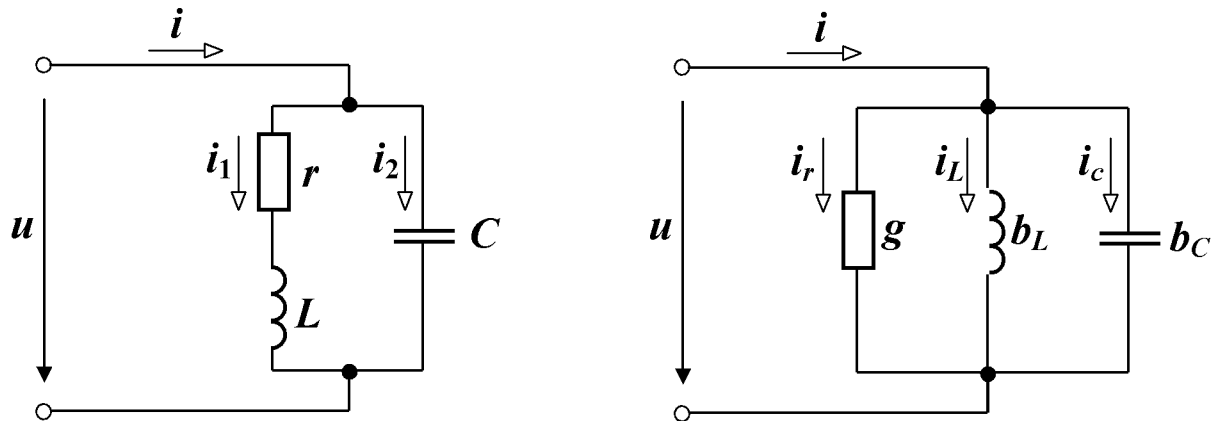


Рисунок 11.2 – Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки при послідовному та паралельному з'єднанні елементів

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- u – миттєва напруга на затискачах кола, B ;
- i – миттєвий струм в електричному колі, A ;
- r – активний опір котушки, Om .
- L – індуктивність котушки, $Гн$;
- C – ємність конденсатора, Φ ;
- g – активна провідність котушки, $См$;
- b_L – індуктивна провідність котушки, $См$;
- b_c – ємнісна провідність конденсатора, $См$.
- i_1 – миттєвий струм в котушці, A ;
- i_2 – миттєвий струм в конденсаторі, A ;
- i_r – активна складова миттєвого струму в електричному колі, A ;
- i_L – індуктивна складова миттєвого струму в електричному колі, A ;
- i_c – ємнісна складова миттєвого струму в електричному колі, A .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.
- 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 11.1, зняти напругу.

5.4 Зменшити ємність конденсатора, подати напругу на затискачі експериментальної установки, визначити характер реактивної провідності кола: якщо сила струму у колі збільшиться, то реактивна провідність має ємнісний характер; якщо зменшиться – то індуктивний. Зняти напругу.

Таблиця 11.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів				
	U, В	I ₁ , А	I ₂ , А	I ₃ , А	P, Вт
Вимикач QS ₁ замкнений					

5.5 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на затискачах кола.

5.6 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в котушці.

5.7 Записати за допомогою експериментальних даних активну потужність, споживану котушкою.

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних активний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I_1^2. \quad (11.1)$$

5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних повний опір котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для замкнутого кола (для діючих значень):

$$I_1 = \frac{U}{z_1}, \quad (11.2)$$

де z_1 – повний опір котушки, Ом.

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$z_1 = \sqrt{r^2 + x_L^2}. \quad (11.3)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних активну провідність котушки, використовуючи рівняння:

$$g = \frac{r}{z_1^2}. \quad (11.4)$$

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивну провідність котушки, використовуючи рівняння:

$$b_L = \frac{x_L}{z_1^2}. \quad (11.5)$$

5.13 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в конденсаторі.

5.14 Визначити за допомогою експериментальних даних ємнісний опір конденсатора, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I_2 = \frac{U}{x_c}. \quad (11.6)$$

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних ємнісну провідність конденсатора, використовуючи рівняння:

$$b_c = \frac{1}{x_c}. \quad (11.7)$$

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивну провідність кола, використовуючи рівняння:

$$b = b_L - b_c \text{ (якщо реактивна провідність кола має індуктивний характер);} \quad (11.8)$$

$$-b = b_L - b_c \text{ (якщо реактивна провідність кола має ємнісний характер);} \quad (11.9)$$

5.17 Зобразити еквівалентну розрахункову схему кола з паралельним з'єднанням елементів з урахуванням характеру реактивної провідності.

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних повну провідність кола, використовуючи рівняння:

$$y = \sqrt{g^2 + b_L^2}. \quad (11.10)$$

5.19 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою та струмом кола, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b}{g}. \quad (11.11)$$

5.20 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення активної складової струму в колі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$I_r = g \cdot U . \quad (11.12)$$

5.21 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення індуктивної складової струму в колі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I_L = b_L \cdot U . \quad (11.13)$$

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення ємнісної складової струму в колі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I_c = b_c \cdot U . \quad (11.14)$$

5.23 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення реактивної складової струму в колі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I_p = b \cdot U . \quad (11.15)$$

5.24 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення струму в колі, використовуючи рівняння закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = y \cdot U . \quad (11.16)$$

Порівняти отримане у розрахунку значення з виміряним.

5.25 Побудувати в обраному масштабі векторну діаграму діючих значень напруги і струмів кола, прийнявши, що початкова фаза напруги $\psi_u = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач). Порівняти кут зсуву фаз між напругою та струмом кола, отриманий на векторній діаграмі та у п.5.19.

5.26 Результати розрахунків занести в таблицю 11.2.

Таблиця 11.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$r,$ <i>Ом</i>	$x_L,$ <i>Ом</i>	$x_c,$ <i>Ом</i>	$z,$ <i>Ом</i>	$g,$ <i>См</i>	$b_L,$ <i>См</i>	$b_c,$ <i>См</i>	$b,$ <i>См</i>	$y,$ <i>См</i>	$\varphi,$ <i>градус</i>

Продовження таблиці 11.2

I_r, A	I_L, A	I_C, A	I_p, A	I, A

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола.
- 6.4 Таблиця 11.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Векторна діаграма.
- 6.8 Таблиця 11.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в колі синусоїдного струму з паралельно з'єднаними реальною котушкою й ідеальним конденсатором.
- 7.2 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і паралельно з'єднаними реальною котушкою й ідеальним конденсатором з послідовним з'єднанням елементів.
- 7.3 Перелічіть умови еквівалентного перетворення електричного кола.
- 7.4 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором і паралельно з'єднаними реальною котушкою й ідеальним конденсатором з паралельним з'єднанням елементів.
- 7.5 Як визначити активну провідність кола?
- 7.6 Як визначити індуктивну провідність кола?
- 7.7 Як визначити ємнісну провідність кола?
- 7.8 Як визначити реактивну провідність кола та її характер?
- 7.9 Як визначити повну провідність кола?
- 7.10 Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола з п.7.4, прийнявши, що її початкова фаза дорівнює нулю.
- 7.11 Складіть рівняння за першим законом Кірхгофа для розрахункової схеми п.7.4.
- 7.12 Перепишіть рівняння п.7.11 з урахуванням початкових фаз миттєвих струмів.
- 7.13 Побудуйте векторну діаграму діючих значень напруги і струмів кола з п.7.4.
- 7.14 Отримайте з векторної діаграми п.7.13 трикутник діючих значень струмів та побудуйте його.
- 7.15 Як визначити діюче значення активної складової струму кола з п.7.4?

- 7.16 Як визначити діюче значення індуктивної складової струму кола з п.7.4?
- 7.17 Як визначити діюче значення ємнісної складової струму кола з п.7.4?
- 7.18 Як визначити діюче значення реактивної складової струму кола з п.7.4?
- 7.19 Як визначити діюче значення струму кола з п.7.4?
- 7.20 Перетворіть трикутник струмів з п.7.14 у трикутник провідностей та побудуйте його.
- 7.21 Запишіть, як пов'язані між собою провідності, використовуючи трикутник провідностей з п.7.20.
- 7.22 Як визначити кут зсув фаз кола з п.7.4?
- 7.23 Перетворіть трикутник провідностей з п.7.20 у трикутник потужностей та побудуйте його.
- 7.24 Як визначити активну потужність кола з п.7.4?
- 7.25 Як визначити індуктивну потужність кола з п.7.4?
- 7.26 Як визначити ємнісну потужність кола з п.7.4?
- 7.27 Як визначити реактивну потужність кола з п.7.4? Який вона може мати характер?
- 7.28 Як визначити повну потужність кола з п.7.4?
- 7.29 Як визначити коефіцієнт потужності кола з п.7.4?
- 7.30 Запишіть, як пов'язані між собою потужності, використовуючи трикутник потужностей з п.7.23.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

Тема. Дослідження змінних синусоїдних струмів символічним методом

Мета: придбання практичних навичок при визначенні фізичних величин, що характеризують синусоїдний струм, та дій над струмами символічним методом

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 5 «Символічний (комплексний) метод розрахунку кіл змінного синусоїдного струму» пп.5.1–5.5 [1, с. 292–303].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 5.1 – 5.5 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 5.1 – 5.3 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого паралельно підключені резистор R_1 та котушка K_1 . У вторинному колі автотрансформатора включений амперметр PA_1 . Для комутації кола передбачені вимикачі QS_1 , QS_2 , QS_3 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 12.1.

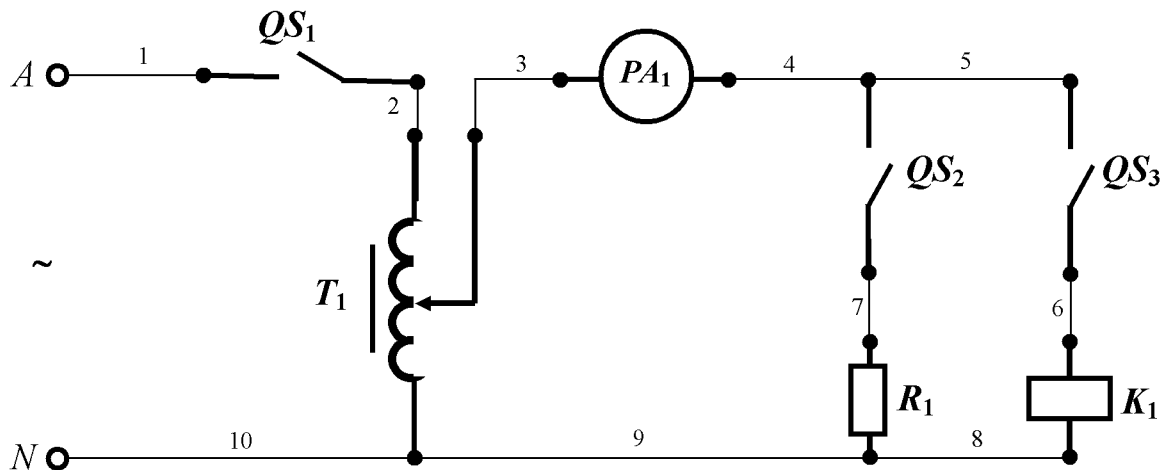


Рисунок 12.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 10 провідників (на схемі позначені номерами 1-10).

4 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1 Зібрати схему експериментальної установки.

4.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки, замкнувши вимикачі QS_1 та QS_2 (вимикач QS_3 залишити розімкненим).

4.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 12.1, зняти напругу.

Таблиця 12.1 – Показання приладів

Умови проведення експериментів	Показання амперметра
	I, A
1 Вимикачі QS_1 , QS_2 замкнені; вимикач QS_3 розімкнений	
2 Вимикачі QS_1 , QS_3 замкнені; вимикач QS_2 розімкнений	

4.4 Записати комплекс діючого значення сили струму в показовій формі, якщо початкова фаза струму дорівнює $\psi_{i1} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи експериментальні дані першого експерименту і рівняння:

$$\dot{I}_1 = I_1 \cdot e^{j\psi_{i1}}. \quad (12.1)$$

4.5 Записати комплекс діючого значення сили струму в тригонометричній формі, використовуючи експериментальні дані першого експерименту і рівняння:

$$\dot{I}_1 = I_1 \cdot \cos \psi_{i1} + jI_1 \cdot \sin \psi_{i1}. \quad (12.2)$$

4.6 Записати комплекс діючого значення сили струму в алгебраїчній формі, використовуючи експериментальні дані першого експерименту і рівняння:

$$\dot{I}_1 = I_1' + jI_1''. \quad (12.3)$$

4.7 Побудувати в обраному масштабі на комплексній площині вектор комплексу діючого значення сили струму \dot{I}_1 .

4.8 Записати комплекс діючого значення сили струму в показовій формі, якщо початкова фаза струму дорівнює $\psi_{i2} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи експериментальні дані другого експерименту і рівняння:

$$\dot{I}_2 = I_2 \cdot e^{j\psi_{i2}}. \quad (12.4)$$

4.9 Записати комплекс діючого значення сили струму в тригонометричній формі, використовуючи експериментальні дані другого експерименту і рівняння:

$$\dot{I}_2 = I_2 \cdot \cos \psi_{i2} + jI_2 \cdot \sin \psi_{i2}. \quad (12.5)$$

4.10 Записати комплекс діючого значення сили струму в алгебраїчній формі, використовуючи експериментальні дані другого експерименту і рівняння:

$$\dot{I}_2 = I_2' + jI_2''. \quad (12.6)$$

4.11 Побудувати в обраному масштабі на комплексній площині вектор комплексу діючого значення сили струму \dot{I}_2 .

4.12 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму, який дорівнює сумі комплексів діючих значень сил

струмів, отриманих в двох експериментах, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = I'_1 + I'_2 + jI''_1 + jI''_2 = I'_3 + jI''_3 = I_3 \cdot e^{j\psi_{i3}}, \\ \text{де } I_3 = \sqrt{(I'_3)^2 + (I''_3)^2}; \\ \psi_{i3} = \arctg \frac{I''_3}{I'_3}. \end{aligned} \right\} \quad (12.7)$$

4.13 Записати рівняння миттєвого знайденого струму, використовуючи його рівняння у загальному вигляді:

$$i_3 = \sqrt{2} \cdot I_3 \sin(\omega t + \psi_{i3}). \quad (12.8)$$

4.14 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму, який дорівнює різниці комплексів діючих значень сил струмів, отриманих в двох експериментах, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_4 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = I'_1 - I'_2 + jI''_1 - jI''_2 = I'_4 + jI''_4 = I_4 \cdot e^{j\psi_{i4}}, \\ \text{де } I_4 = \sqrt{(I'_4)^2 + (I''_4)^2}; \\ \psi_{i4} = \arctg \frac{I''_4}{I'_4}. \end{aligned} \right\} \quad (12.9)$$

4.15 Записати рівняння миттєвого знайденого струму, використовуючи його рівняння у загальному вигляді:

$$i_4 = \sqrt{2} \cdot I_4 \sin(\omega t + \psi_{i4}). \quad (12.10)$$

4.16 Визначити за допомогою розрахункових даних похідну комплексу діючого значення сили струму, отриманого у першому експерименті, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_1}{dt} = j\omega \cdot \dot{I}_1; \\ \omega = 2\pi \cdot f; \\ f = 50 \text{ Гц}. \end{aligned} \right\} \quad (12.11)$$

4.17 Визначити за допомогою розрахункових даних інтеграл комплексу діючого значення сили струму, отриманого у другому експерименті, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} \int i_2 dt &= \frac{I_2}{j\omega}; \\ \omega &= 2\pi \cdot f; \\ f &= 50 \text{ Гц}. \end{aligned} \right\} \quad (12.12)$$

4.18 Результати розрахунків занести в таблицю 12.2.

Таблиця 12.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

i_1, A показова форма	\dot{I}_1, A алгебраїчна форма	i_2, A показова форма	\dot{I}_2, A алгебраїчна форма	i_3, A показова форма	\dot{I}_3, A алгебраїчна форма	i_3, A

Продовження таблиці 12.2

i_4, A показова форма	\dot{I}_4, A алгебраїчна форма	i_4, A	$\frac{di_1}{dt}$	$\int i_2 dt$

5 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 5.1 Тема лабораторної роботи.
- 5.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 5.3 Таблиця 12.1.
- 5.4 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 5.5 Розрахунок шуканих величин.
- 5.6 Векторні діаграми.
- 5.7 Таблиця 12.2.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 6.1 Запишіть формулу Ейлера.
- 6.2 Що розуміється під уявним числом j ?
- 6.3 Як зображується комплексне число e^{ja} на комплексній площині?
- 6.4 Чому дорівнює модуль функції e^{ja} ?
- 6.5 Які існують форми запису комплексних чисел? Як називають їх складові частини?

- 6.6 Запишіть рівняння миттєвого синусоїдного струму та комплекс амплітудного значення сили цього струму в показовій формі.
- 6.7 Зобразіть комплекс амплітудного значення сили електричного струму на комплексній площині і покажіть проєкції струму на дійсну та уявну вісі.
- 6.8 Отримайте з комплексу амплітудного значення сили електричного струму його комплекс діючого значення в показовій формі.
- 6.9 Запишіть комплекс діючого значення сили електричного струму в тригонометричній формі.
- 6.10 Запишіть комплекс діючого значення сили електричного струму в алгебраїчній формі.
- 6.11 Як визначити суму комплексів діючих значень сил струмів?
- 6.12 Як визначити різницю комплексів діючих значень сил струмів?
- 6.13 Як перейти від алгебраїчної форми запису комплексу діючого значення сили струму до показової форми запису?
- 6.14 Як перейти від показової форми запису комплексу діючого значення сили струму до рівняння миттєвого струму?
- 6.15 Як визначити добуток двох комплексних чисел?
- 6.16 Як визначити частку від ділення двох комплексних чисел?
- 6.17 Що дає множення будь-якого вектора на комплексній площині на j ?
- 6.18 Що дає множення будь-якого вектора на комплексній площині на $-j$?
- 6.19 Що дає множення будь-якого вектора на комплексній площині на -1 ?
- 6.20 Як зобразити похідну сили струму комплексом?
- 6.21 Як зобразити інтеграл сили струму комплексом?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

Тема. Дослідження нерозгалуженого кола синусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором символічним методом

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів опорів, діючих значень напруг та струму, потужностей у лінійному нерозгалуженому електричному колі синусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором символічним методом

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 5 «Символічний (комплексний) метод розрахунку кіл змінного синусоїдного струму» пп.5.6–5.10 [1, с. 302–315].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 5.6 – 5.11 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затисків якого підключений вольтметр PV_1 . У вторинне коло автотрансформатора включено амперметр PA_1 послідовно з катушкою K_1 і конденсатором C_1 регульованої ємності, вольтметр PV_2 , підключений до затисків конденсатора, і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 13.1.

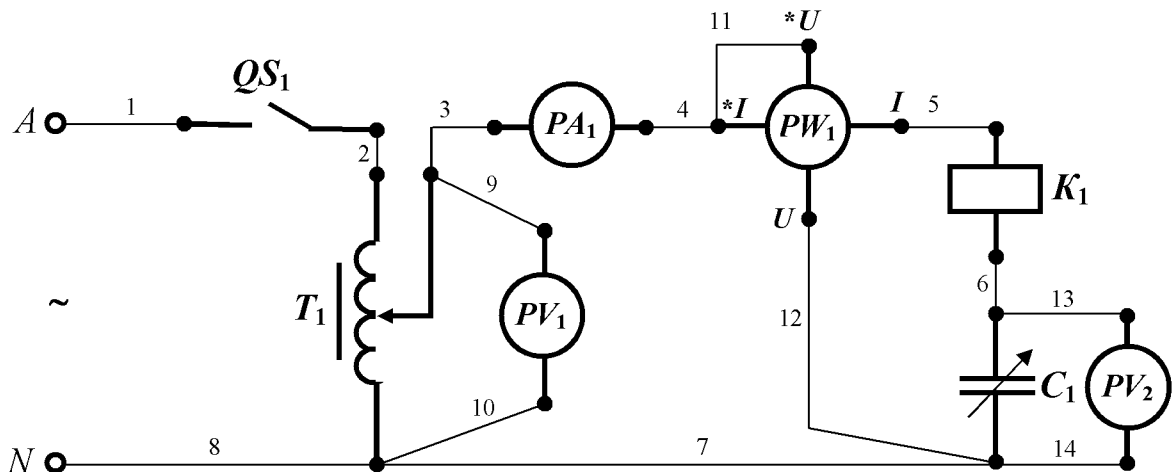


Рисунок 13.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 14 провідників (на схемі позначені номерами 1-14).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- активний опір конденсатора дорівнює нулю;
- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки в комплексній формі для діючих значень має вигляд, наведений на рисунку 13.2.

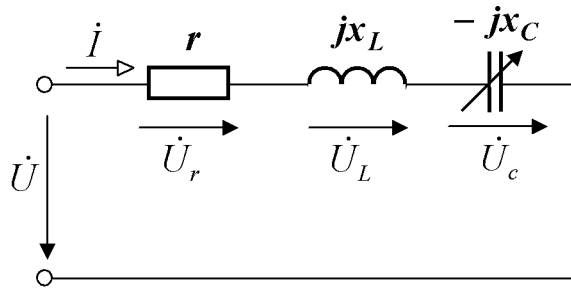


Рисунок 13.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- \dot{U} – комплекс діючого значення напруги затискачах кола, B ;
- \dot{I} – комплекс діючого значення сили струму в електричному колі, A ;
- r – активний опір котушки, Ω ;
- jx_L – комплекс індуктивного опору котушки, ΓH ;
- $-jx_C$ – комплекс ємнісного опору конденсатора, Φ ;
- \dot{U}_r – комплекс діючого значення напруги на активному опорі котушки, B ;
- \dot{U}_L – комплекс діючого значення напруги на індуктивності котушки, B ;
- \dot{U}_c – комплекс діючого значення напруги на ємності конденсатора, B .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.
- 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 9.1.
- 5.4 Зменшити ємність конденсатора, подати напругу на затискачі експериментальної установки, визначити характер реактивного опору кола: якщо сила струму у колі збільшиться, то реактивний опір має індуктивний характер; якщо зменшиться – то ємнісний. Зняти напругу.

Таблиця 13.1 – Показання приладів

Умова проведення експерименту	Показання приладів			
	U_1, B	U_2, B	I, A	$P, Вт$
Вимикач QS_1 замкнений				

- 5.5 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на затискачах кола.
- 5.6 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на конденсаторі.
- 5.7 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в колі.
- 5.8 Записати за допомогою експериментальних даних активну потужність, споживану колом.

5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних активний опір кола, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2. \quad (13.1)$$

5.10 Визначити за допомогою експериментальних даних повний опір кола, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{Z}. \quad (13.2)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивний опір кола, використовуючи рівняння:

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2}. \quad (13.3)$$

5.12 Визначити за допомогою експериментальних даних ємнісний опір конденсатора, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_c}{x_c}. \quad (13.4)$$

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$x = x_L - x_c \text{ (якщо реактивний опір кола має індуктивний характер);} \quad (13.5)$$

$$-x = x_L - x_c \text{ (якщо реактивний опір кола має ємнісний характер);} \quad (13.6)$$

5.14 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою і струмом кола, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \arccos \frac{r}{Z}. \quad (13.7)$$

5.15 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z = r + jx_L - jx_c = r \pm jx. \quad (13.8)$$

5.16 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z = z \cdot e^{\pm j\varphi} . \quad (13.9)$$

5.17 Зобразити еквівалентну розрахункову схему для комплексів з урахуванням характеру реактивного опору кола.

5.18 Записати комплекс діючого значення напруги на затискачах кола у показовій формі, прийнявши, що її початкова $\psi_u = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u} . \quad (13.10)$$

5.19 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму в колі у показовій формі, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} . \quad (13.11)$$

5.20 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги на активному опорі котушки у показовій формі, використовуючи математичний запис закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_r}{r} . \quad (13.12)$$

5.21 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги на індуктивному опорі котушки у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_L}{jx_L} . \quad (13.13)$$

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги на ємнісному опорі конденсатора у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_c}{-jx_c} . \quad (13.14)$$

5.23 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності кола в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^* = U e^{j\psi_u} \cdot I e^{-j\psi_i} = U \cdot I e^{j(\psi_u - \psi_i)} = S e^{\pm j\varphi}. \quad (13.15)$$

5.24 Записати комплекс повної потужності кола в тригонометричній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S} = S \cdot \cos \varphi \pm jS \cdot \sin \varphi. \quad (13.16)$$

5.25 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності кола в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S} = P \pm jQ. \quad (13.17)$$

5.26 Записати за допомогою розрахункових даних значення активної та реактивної потужностей кола. Вказати характер реактивної потужності кола

5.27 Визначити за допомогою розрахункових даних коефіцієнт потужності кола, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (13.18)$$

5.28 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень струму та напруг кола.

5.29 Результати розрахунків у показовій формі занести в таблицю 13.2.

Таблиця 13.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$Z, \text{ Ом}$	$\dot{U}, \text{ В}$	$\dot{I}, \text{ А}$	$\dot{U}_r, \text{ В}$	$\dot{U}_L, \text{ В}$	$\dot{U}_C, \text{ В}$	$\tilde{S}, \text{ ВА}$	$P, \text{ Вт}$	$Q, \text{ ВАр}$	$\cos \varphi$

5.30 Скласти рівняння за другим законом Кірхгофа для досліджуваного кола та перевірити його.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.3 Розрахункові схеми електричного кола.

6.4 Таблиця 13.1.

6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.6 Розрахунок шуканих величин.

- 6.7 Векторна діаграма.
- 6.8 Таблиця 13.2.
- 6.9 Перевірка другого закону Кірхгофа.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в колі синусоїдного струму з реальною котушкою та ідеальним конденсатором.
- 7.2 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором, реальною котушкою та ідеальним конденсатором для діючих значень в комплексній формі.
- 7.3 Запишіть вираз комплексу повного опору кола в алгебраїчній та показовій формах.
- 7.4 Коли реактивний опір кола носить індуктивний характер, а коли ємнісний?
- 7.5 Як експериментально визначити характер реактивного пору кола? Пояснити.
- 7.6 Складіть еквівалентну розрахункову схему кола з п.7.2, якщо реактивний опір кола носить індуктивний характер.
- 7.7 Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, прийнявши, що її початкова фаза дорівнює 15° .
- 7.8 Запишіть вираз комплексу діючого значення напруги на затискачах кола.
- 7.9 Запишіть закон Ома для замкненого кола для діючих значень в комплексній формі.
- 7.10 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення напруги на активному опорі кола.
- 7.11 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення напруги на індуктивному опорі кола.
- 7.12 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення напруги на ємнісному опорі кола.
- 7.13 Як перейти від комплексів діючих значень струму і напруг до рівнянь їх миттєвих значень?
- 7.14 Складіть рівняння електричної рівноваги кола з п.7.2 в комплексній формі.
- 7.15 Що таке спряжений комплекс струму?
- 7.16 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола.
- 7.17 Запишіть комплекс повної потужності кола у показовій, тригонометричній та алгебраїчній формах.
- 7.18 Коли реактивна потужність кола носить індуктивний характер, а коли ємнісний?
- 7.19 Побудуйте векторну діаграму кола для комплексів діючих значень струму та напруг кола з п.7.2.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

Тема. Дослідження розгалуженого кола синусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором символічним методом

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів опорів, діючих значень напруги та струмів, потужностей у лінійному розгалуженому електричному колі синусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором символічним методом

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 5 «Символічний (комплексний) метод розрахунку кіл змінного синусоїдного струму» [1, с. 318–321].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 5.12 – 5.15 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого підключено: вольтметр PV_1 , амперметр PA_1 , включений у загальну частину кола, послідовно паралельно з'єднані котушка K_1 і конденсатор C_1 регульованої ємності, послідовно з котушкою включений амперметр PA_2 , послідовно з конденсатором включений амперметр PA_3 , у загальну частину кола також включений ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачено вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 14.1.

Для складання схеми необхідно мати 15 провідників (на схемі позначені номерами 1-15).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

- При складанні розрахункових схем прийняті наступні допущення:
- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикачів дорівнюють нулю;
 - опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності;
 - активний опір конденсатора дорівнює нулю.

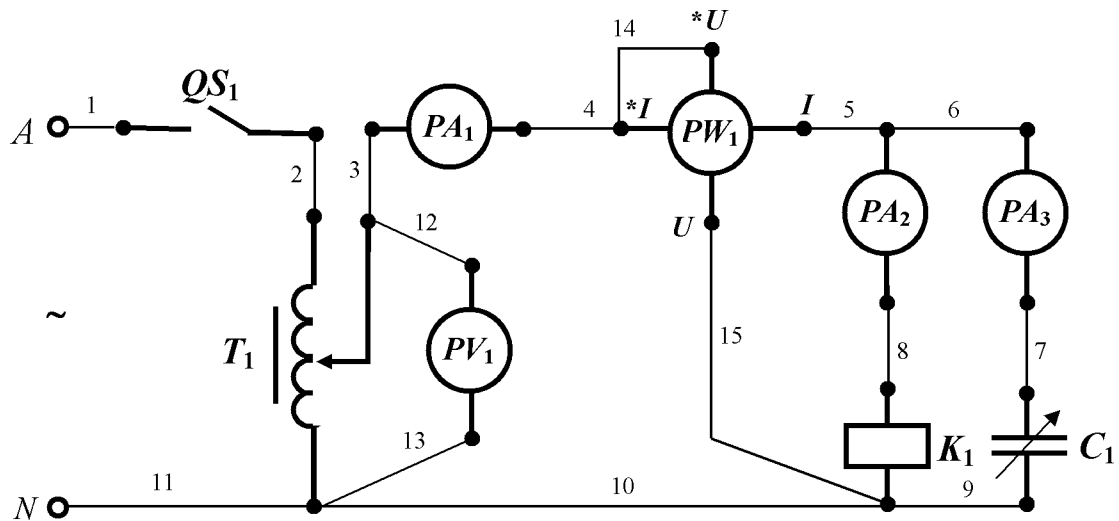


Рисунок 14.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки в комплексній формі має вигляд, наведений на рисунку 14.2.

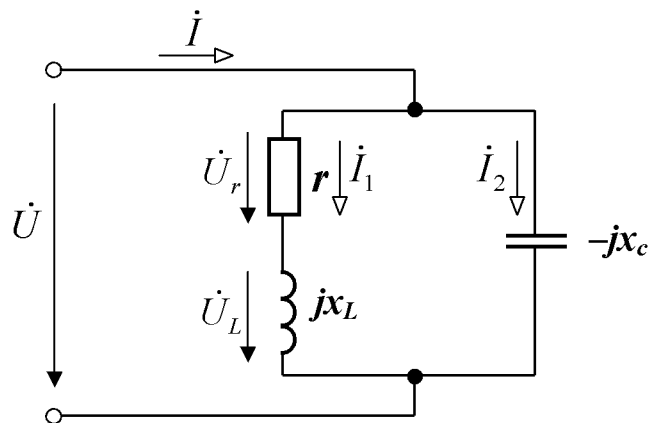


Рисунок 14.2 – Розрахункова схеми електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

\dot{U} – комплекс діючого значення напруги на затискачах кола, B ;

\dot{I} – комплекс діючого значення сили струму в електричному колі, A ;

r – активний опір котушки, Om .

jx_L – комплекс індуктивного опору котушки, Om ;

$-jx_C$ – комплекс ємнісного опору конденсатора, Om ;

\dot{I}_1 – комплекс діючого значення сили струму в котушці, A ;

\dot{I}_2 – комплекс діючого значення сили струму в конденсаторі, A ;

\dot{U}_r – комплекс діючого значення напруги на активному опорі котушки, B ;

\dot{U}_L – комплекс діючого значення напруги на індуктивності котушки, B .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.

5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 14.1, зняти напругу.

Таблиця 14.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів				
	U, B	I ₁ , A	I ₂ , A	I ₃ , A	P, Вт
Вимикач QS ₁ замкнений					

5.4 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення напруги на затискачах кола.

5.5 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в котушці.

5.6 Записати за допомогою експериментальних даних активну потужність, споживану котушкою.

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних активний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I_1^2. \quad (14.1)$$

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних повний опір котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I_1 = \frac{U}{z}, \quad (14.2)$$

де z – повний опір котушки, Ом.

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}. \quad (14.3)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою і струмом котушки, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \arctg \frac{x_L}{r}. \quad (14.4)$$

5.11 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору котушки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z = r + jx_L, \quad (14.5)$$

і у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z = z \cdot e^{\pm j\varphi}. \quad (14.6)$$

5.12 Записати за допомогою експериментальних даних діюче значення сили струму в конденсаторі.

5.13 Визначити за допомогою експериментальних даних ємнісний опір конденсатора, використовуючи математичний запис закону Ома для замкнутого кола (для діючих значень):

$$I_2 = \frac{U}{x_c}. \quad (14.7)$$

5.14 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_e = \frac{Z \cdot (-jx_c)}{Z + (-jx_c)} = \frac{Z \cdot x_c e^{-j90^\circ}}{r + jx_L - jx_c}. \quad (14.8)$$

5.15 Записати комплекс діючого значення напруги на затискачах кола у показовій формі, прийнявши, що її початкова $\psi_u = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u}. \quad (14.9)$$

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму в колі у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для замкнутого кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z_e}, \quad (14.10)$$

і порівняти модуль отриманого значення із вимірним значенням.

5.17 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму в котушці у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$I_1 = \frac{\dot{U}}{Z}, \quad (14.11)$$

і порівняти модуль отриманого значення із вимірним значенням.

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму в конденсаторі у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$I_2 = \frac{\dot{U}}{x_c e^{-j90^\circ}}. \quad (14.12)$$

і порівняти модуль отриманого значення із вимірним значенням.

5.19 Скласти рівняння за першим законом Кірхгофа для одного з вузлів досліджуваного кола та перевірити його.

5.20 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності кола в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot I^*, \quad (14.13)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S} = P \pm jQ. \quad (14.14)$$

5.21 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності котушки в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_1 = \dot{U} \cdot I_1^*, \quad (14.15)$$

і записати його в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_1 = P_1 + jQ_L. \quad (14.16)$$

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності конденсатора в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_2 = \dot{U} \cdot I_2^*, \quad (14.17)$$

і записати його в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_2 = P_2 - jQ_C . \quad (14.18)$$

5.23 Скласти баланс активної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$P = P_1 + P_2 . \quad (14.19)$$

5.24 Скласти баланс реактивної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$Q = Q_L - Q_C . \quad (14.20)$$

5.25 Результати розрахунків занести в таблицю 14.2.

Таблиця 14.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

\dot{U} , B показова форма	\dot{U}_r , B показова форма	\dot{U}_L , B показова форма	$Z, Ом$ показова форма	$-jx_c, Ом$ алгебраїчна форма	$Z_e, Ом$ показова форма	\dot{I} , A показова форма	\dot{I}_1 , A показова форма	\dot{I}_2 , A показова форма

Продовження таблиці 14.2

$\tilde{S} , ВА$ показова форма	$\tilde{S} , ВА$ алгебраїчна форма	$\tilde{S}_1 , ВА$ показова форма	$\tilde{S}_1 , ВА$ алгебраїчна форма	$\tilde{S}_2 , ВА$ показова форма	$\tilde{S}_2 , ВА$ алгебраїчна форма

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункова схема електричного кола.
- 6.4 Таблиця 14.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Таблиця 14.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в колі синусоїдного струму реальною котушкою та ідеальним конденсатором.
- 7.2 Складіть розрахункову схему кола з ідеальним генератором, до якого підключені паралельно з'єднані реальна котушка та ідеальний конденсатор для діючих значень в комплексній формі.
- 7.3 Запишіть вираз комплексу повного опору котушки в алгебраїчній та показовій формах.
- 7.4 Запишіть вираз комплексу повного опору конденсатора в алгебраїчній та показовій формах.

- 7.5 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повного опору кола з п.7.2.
- 7.6 Запишіть вираз миттєвої напруги на затискачах кола, прийнявши, що її початкова фаза дорівнює 65° .
- 7.7 Запишіть вираз комплексу діючого значення напруги з п.7.6.
- 7.8 Запишіть закон Ома для замкненого кола для діючих значень в комплексній формі.
- 7.9 Запишіть закон Ома для ділянки кола з реальною котушкою для діючих значень в комплексній формі.
- 7.10 Запишіть вираз комплексу діючого значення напруги на активному опорі котушки.
- 7.11 Запишіть вираз комплексу діючого значення напруги на індуктивному опорі котушки.
- 7.12 Запишіть закон Ома для ділянки кола з ідеальним конденсатором для діючих значень в комплексній формі.
- 7.13 Складіть рівняння за першим законом Кірхгофа для одного з вузлів кола з п.7.2.
- 7.14 Що таке спряжений комплекс струму?
- 7.15 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола.
- 7.16 Запишіть комплекс повної потужності кола у показовій, тригонометричній та алгебраїчній формах.
- 7.17 Коли реактивна потужність кола носить індуктивний характер, а коли ємнісний?
- 7.18 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності котушки.
- 7.19 Запишіть комплекс повної потужності котушки у показовій, тригонометричній та алгебраїчній формах.
- 7.20 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності конденсатора.
- 7.21 Запишіть комплекс повної потужності конденсатора у показовій, тригонометричній та алгебраїчній формах.
- 7.22 Складіть рівняння балансу активної потужності кола з п.7.2.
- 7.23 Складіть рівняння балансу реактивної потужності кола з п.7.2.
- 7.24 Побудуйте векторну діаграму кола комплексів діючих значень струму та напруг кола з п.7.2.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

Тема. Дослідження кола синусоїдного струму при передачі електричної енергії по лінії

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів опорів, діючих значень напруг та струму, потужностей у лінійному нерозгалуженому електричному колі синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням символічним методом

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 6 «Аналіз електричних кіл синусоїдного струму» пп.6.1, 6.2 [1, с. 332–341].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 6.1 – 6.3 [5].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого підключений вольтметр PV_1 . У вторинному колі автотрансформатора включено амперметр PA_1 послідовно з котушкою K_1 , яка імітує лінію електропередачі, та резистором R_1 і котушкою K_2 , які імітують навантаження, і ватметр PW_1 . Для комутацій кола передбачені вимикачі QS_1 , QS_2 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 15.1.

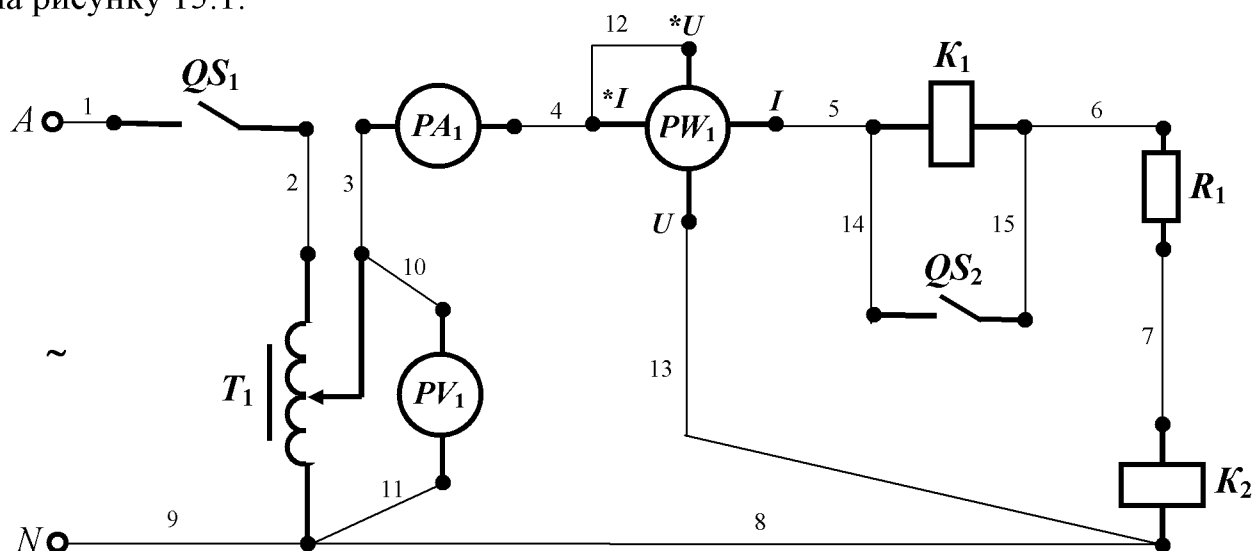


Рисунок 15.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 15 провідників (на схемі позначені номерами 1-15).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункових схем прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності.

Тоді розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки в комплексній формі мають вигляд, наведені на рисунках 15.2 та 15.3.

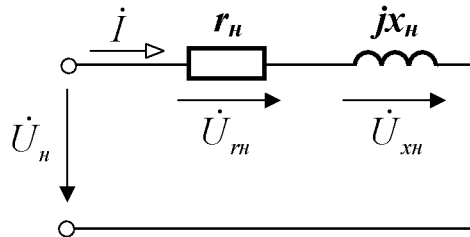


Рисунок 15.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикачі QS_1 , QS_2 замкнені)

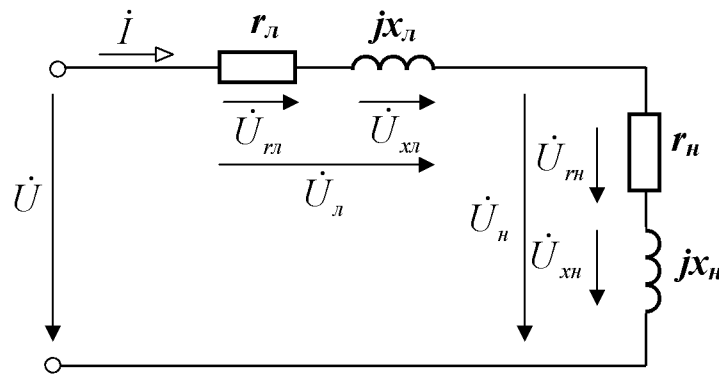


Рисунок 15.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикач QS_1 замкнений; вимикач QS_2 розімкнений)

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- \dot{U} – комплекс діючого значення напруги на затискачах кола, B ;
- \dot{I} – комплекс діючого значення сили струму в електричному колі, A ;
- r_l – активний опір лінії електропередачі, Om ;
- jx_l – комплекс індуктивного опору лінії електропередачі, Om ;
- r_n – активний опір навантаження, Om ;
- jx_n – комплекс індуктивного опору навантаження, Om ;
- \dot{U}_l – комплекс діючого значення спадання напруги в лінії, B ;
- \dot{U}_{rn} – комплекс діючого значення спадання напруги на активному опорі лінії, B ;
- \dot{U}_{xl} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивності лінії, B ;
- \dot{U}_n – комплекс діючого значення спадання напруги на навантаженні, B ;
- \dot{U}_{rn} – комплекс діючого значення напруги на активному опорі навантаження, B ;
- \dot{U}_{xn} – комплекс діючого значення напруги на індуктивності навантаження, B .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.
 5.2 Подати напругу на затискачі експериментальної установки.
 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 15.1, зняти напругу.

Таблиця 15.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	U, В	I, А	P, Вт
1 Вимикачі QS ₁ , QS ₂ замкнені			
2 Вимикач QS ₁ замкнений; вимикач QS ₂ розімкнений			

*Визначення параметрів навантаження
за результатами першого експерименту*

5.4 Записати за допомогою експериментальних даних:

- діюче значення напруги на затискачах кола (U_n);
- діюче значення сили струму в колі (I);
- активну потужність, споживану колом (P_n).

5.5 Визначити за допомогою експериментальних даних:

- активний опір навантаження, використовуючи рівняння:

$$P_n = r_n \cdot I^2, \quad (15.1)$$

- повний опір навантаження, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U_n}{z_n}, \quad (15.2)$$

- реактивний опір навантаження, використовуючи рівняння:

$$z_n = \sqrt{r_n^2 + x_n^2}, \quad (15.3)$$

- кут зсуву фаз між напругою та струмом навантаження, використовуючи рівняння:

$$\varphi_n = \arccos \frac{r_n}{z_n}. \quad (15.4)$$

5.6 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору навантаження у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_n = r_n + jx_n, \quad (15.5)$$

і у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_n = z_n \cdot e^{j\varphi_n}. \quad (15.6)$$

Визначення параметрів кола за результатами другого експерименту

5.7 Записати за допомогою експериментальних даних:

- діюче значення напруги на затискачах кола (U);
- діюче значення сили струму в колі (I);
- активну потужність, споживану колом (P).

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних:

- активний опір кола, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2, \quad (15.7)$$

- повний опір кола, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z}, \quad (15.8)$$

- реактивний кола, використовуючи рівняння:

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}, \quad (15.9)$$

- кут зсуву фаз між напругою і струмом кола, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (15.10)$$

5.9 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z = r + jx, \quad (15.11)$$

і у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z = z \cdot e^{j\varphi} \quad (15.12)$$

*Визначення параметрів лінії електропередачі
за результатами розрахунків першого та другого експериментів*

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних:

– активний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$r = r_l + r_n, \quad (15.13)$$

– реактивний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$x = x_l + x_n, \quad (15.14)$$

– повний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$z_l = \sqrt{r_l^2 + x_l^2}, \quad (15.15)$$

– кут зсуву фаз між спаданням напруги і струмом в лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$\varphi_l = \arccos \frac{r_l}{z_l}. \quad (15.16)$$

5.11 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору лінії електропередачі у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_l = r_l + jx_l, \quad (15.17)$$

і у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_l = z_l \cdot e^{j\varphi_l}. \quad (15.18)$$

*Визначення величин, що характеризують роботу лінії електропередачі і кола,
за результатами попередніх розрахунків*

5.12 Записати комплекс діючого значення напруги на затискачах кола у показовій формі, прийнявши, що її початкова фаза $\psi_u = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи результати другого експерименту і рівняння:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u} . \quad (15.19)$$

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму в колі у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для замкненого кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{Z} . \quad (15.20)$$

5.14 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення спадання напруги в лінії у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}_л}{Z_л} . \quad (15.21)$$

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних спадання напруги в лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$U_л = z_л \cdot I . \quad (15.22)$$

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги на навантаженні у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}_н}{Z_н} . \quad (15.23)$$

5.17 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних втрату напруги в лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$\Delta U_л = U - U_н . \quad (15.24)$$

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних відхилення напруги на затискачах навантаження, якщо діюче значення номінальної напруги навантаження $U_{н(ном)} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\delta U_н = U_н - U_{н(ном)} . \quad (15.25)$$

5.19 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності лінії електропередачі в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_l = \dot{U}_l \cdot I^* , \quad (15.26)$$

і записати його в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_l = P_l + jQ_l . \quad (15.27)$$

5.20 Визначити за допомогою розрахункових даних коефіцієнт потужності лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi_l = \frac{P_l}{S_l} . \quad (15.28)$$

5.21 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності навантаження в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = \dot{U}_n \cdot I^* , \quad (15.29)$$

і записати його в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = P_n + jQ_n . \quad (15.30)$$

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних коефіцієнт потужності навантаження, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{S_n} . \quad (15.31)$$

5.23 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності кола в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot I^* , \quad (15.32)$$

і записати його в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S} = P + jQ . \quad (15.33)$$

5.24 Визначити за допомогою розрахункових даних коефіцієнт потужності кола, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (15.34)$$

5.25 Скласти баланс активної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$P = P_l + P_n, \quad (15.35)$$

і баланс реактивної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$Q = Q_l + Q_n. \quad (15.36)$$

5.26 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму сили струму і напруг кола.

5.27 Занести отримані значення в таблицю 15.2.

Таблиця 15.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$Z_n, \text{ Ом}$	$Z_l, \text{ Ом}$	$Z, \text{ Ом}$	$\dot{U}, \text{ В}$	$\dot{I}, \text{ А}$	$\dot{U}_l, \text{ В}$	$\dot{U}_n, \text{ В}$	$U_l, \text{ В}$	$\Delta U_l, \text{ В}$	$\delta U_n, \text{ В}$

Продовження таблиці 15.2

$\tilde{S}_l, \text{ ВА}$ показова форма	$\tilde{S}_l, \text{ ВА}$ алгебраїчна форма	$\cos \varphi_l$	$\tilde{S}_n, \text{ ВА}$ показова форма	$\tilde{S}_n, \text{ ВА}$ алгебраїчна форма	$\cos \varphi_n$	$\tilde{S}, \text{ ВА}$ показова форма	$\tilde{S}, \text{ ВА}$ алгебраїчна форма	$\cos \varphi$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола.
- 6.4 Таблиця 15.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Векторна діаграма.
- 6.8 Таблиця 15.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в лінії електропередачі і навантаженні активно-індуктивного характеру при живленні від джерела синусоїдного струму.
- 7.2 Складіть розрахункову схему кола з лінією електропередачі і навантаженням активно-індуктивного характеру в комплексній формі для діючих значень.
- 7.3 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повного опору лінії електропередачі в алгебраїчній та показовій формах для кола з п.7.2.
- 7.4 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повного опору навантаження в алгебраїчній та показовій формах для кола з п.7.2.
- 7.5 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повного опору кола з п.7.2 в алгебраїчній та показовій формах.
- 7.6 Запишіть математичний вираз закону Ома для замкненого кола в комплексній формі для діючих значень.
- 7.7 Запишіть математичний вираз спадання напруги на активному опорі лінії електропередачі в комплексній формі для діючих значень.
- 7.8 Запишіть математичний вираз спадання напруги на реактивному опорі лінії електропередачі в комплексній формі для діючих значень.
- 7.9 Запишіть математичний вираз спадання напруги в лінії електропередачі в комплексній формі для діючих значень.
- 7.10 Запишіть математичний вираз напруги на активному опорі навантаження в комплексній формі для діючих значень.
- 7.11 Запишіть математичний вираз напруги на реактивному опорі навантаження в комплексній формі для діючих значень.
- 7.12 Запишіть математичний вираз напруги на навантаженні в комплексній формі для діючих значень.
- 7.13 Що таке спадання напруги в лінії електропередачі?
- 7.14 Що таке втрата напруги в лінії електропередачі?
- 7.15 Що таке відхилення напруги на затискачах навантаження?
- 7.16 Побудуйте векторну діаграму комплексів діючих значень струму та напруг кола, прийнявши, що початкова фаза струму дорівнює нулю.
- 7.17 Коли спадання і втрата напруги в лінії дорівнюють одне одному? Як вони співвідносяться в іншому випадку?
- 7.18 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повної потужності лінії електропередачі.
- 7.19 Запишіть математичний вираз комплексу повної потужності лінії електропередачі в показовій, тригонометричній та алгебраїчній формах.
- 7.20 Як розрахувати коефіцієнт потужності лінії електропередачі?
- 7.21 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повної потужності навантаження.

- 7.22 Запишіть математичний вираз комплексу повної потужності навантаження в показовій, тригонометричній та алгебраїчній формах.
- 7.23 Як розрахувати коефіцієнт потужності навантаження?
- 7.24 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола.
- 7.25 Запишіть математичний вираз комплексу повної потужності кола в показовій, тригонометричній та алгебраїчній формах.
- 7.26 Як розрахувати коефіцієнт потужності кола?
- 7.27 Складіть баланс активної потужності кола з п.7.2.
- 7.28 Складіть баланс реактивної потужності кола з п.7.2.
- 7.29 За якої умови по лінії електропередачі змінного струму можна передати максимальну потужність навантаженню?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16

Тема. Дослідження нерозгалуженого кола синусоїдного струму з послідовно з'єднаними індуктивно зв'язаними елементами

Мета: придбання практичних навичок при визначенні опорів, діючих значень напруг та струму у лінійному нерозгалуженому електричному колі синусоїдного струму з послідовно з'єднаними індуктивно зв'язаними елементами

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 7 «Кола синусоїдного струму із взаємною індуктивністю» пп.7.1, 7.2 [1, с. 364–375].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 7.1 – 7.5 [4].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.2 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.3 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить лабораторний автотрансформатор T_1 , до вторинних затискачів якого включено амперметр PA_1 послідовно з індуктивно зв'язаними котушками K_1 і K_2 , і ватметр PW_1 . Є також вольтметр PV_1 зі щупами. Для комутацій кола передбачені вимикачі QS_1 , QS_2 , QS_3 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 16.1.

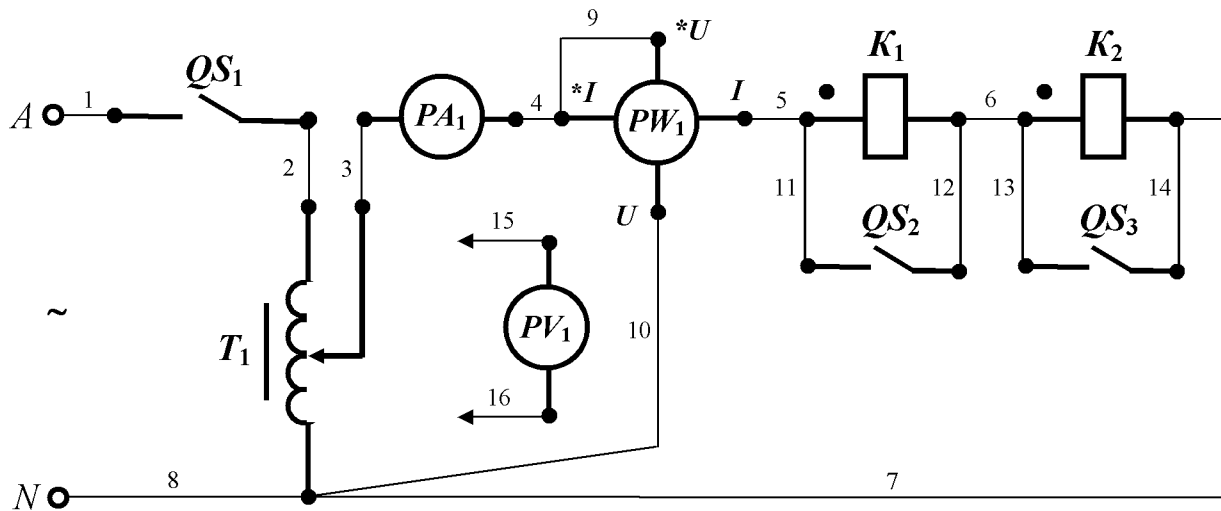


Рисунок 16.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 16 провідників (на схемі позначені номерами 1-16).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів, обмотки амперметра, струмової обмотки ватметра і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмотки вольтметра і обмотки напруги ватметра дорівнюють нескінченності.

Тоді розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки в комплексній формі мають вигляд, наведені на рисунках 16.2 – 16.4.

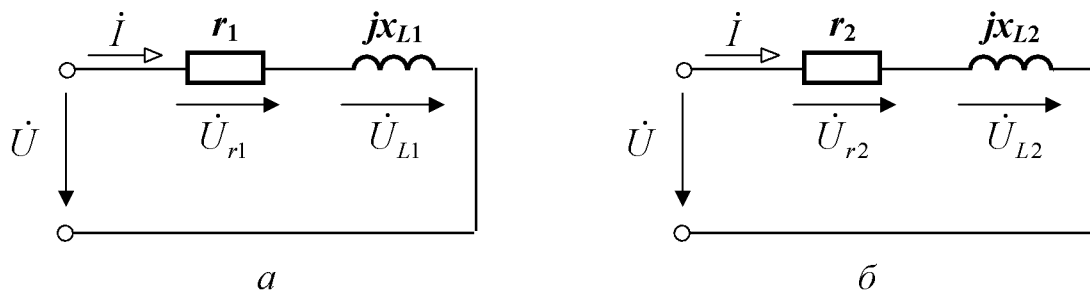


Рисунок 16.2 – Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки (а – якщо вимикачі QS_1 , QS_3 замкнені, вимикач QS_2 розімкнений; б – якщо вимикачі QS_1 , QS_2 замкнені, вимикач QS_3 розімкнений)

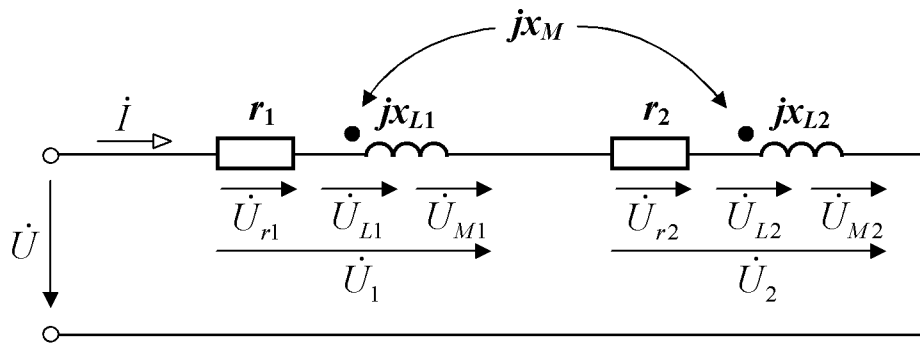


Рисунок 16.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикач QS_1 замкнений, вимикачі QS_2, QS_3 розімкнені, котушки включені згідно)

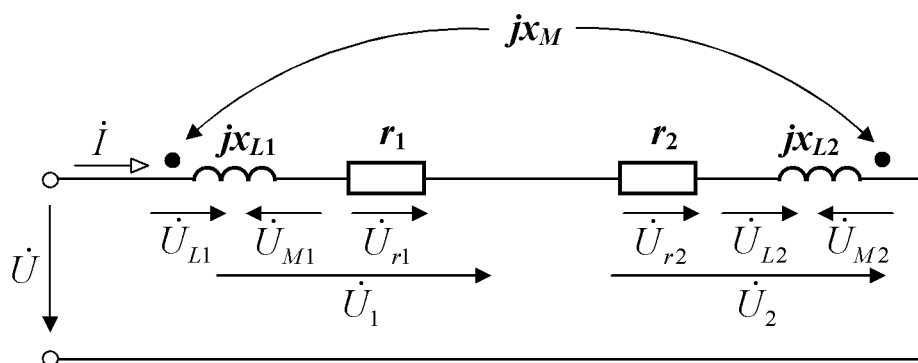


Рисунок 16.4 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикач QS_1 замкнений, вимикачі QS_2, QS_3 розімкнені, котушки включені зустрічно)

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- \dot{U} – комплекс діючого значення напруги на затискачах кола, B ;
- \dot{I} – комплекс діючого значення сили струму в електричному колі, A ;
- r_1 – активний опір першої котушки, Om ;
- jx_{L1} – комплекс індуктивного опору першої котушки, Om ;
- r_2 – активний опір другої котушки, Om ;
- jx_{L2} – комплекс індуктивного опору другої котушки, Om ;
- jx_M – комплекс індуктивного опору взаємної індукції котушок, Om ;
- \dot{U}_1 – комплекс діючого значення напруги на затискачах першої котушки, B ;
- \dot{U}_{r1} – комплекс діючого значення спадання напруги на активному опорі першої котушки, B ;
- \dot{U}_{L1} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі першої котушки, B ;
- \dot{U}_{M1} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі взаємної індукції першої котушки, B ;
- \dot{U}_2 – комплекс діючого значення напруги на затискачах другої котушки, B ;

\dot{U}_{r2} – комплекс діючого значення спадання напруги на активному опорі другої котушки, B ;

\dot{U}_{L2} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі другої котушки, B ;

\dot{U}_{M2} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі взаємної індукції другої котушки, B .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати принципову електричну схему кола.

5.2 Провести експерименти для визначення власних параметрів кожної котушки. А саме:

- поставити відповідні вимикачі у необхідні положення, які вказані у таблиці 16.1 для першого експерименту;
- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- зняти показання приладів, результати занести в таблицю 16.1;
- зняти напругу із затискачів експериментальної установки;
- поставити відповідні вимикачі у необхідні положення, які вказані у таблиці 16.1 для другого експерименту;
- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- зняти показання приладів, результати занести в таблицю 16.1;
- зняти напругу із затискачів експериментальної установки.

5.3 Шляхом заміни підключення проводів 5 і 6 визначити, коли індуктивно зв'язані котушки включенні згідно, а коли зустрічно. А саме:

- замінити місця підключення проводів 5 і 6 між собою;
- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- вимірити силу струму у колі (найменша сила струму у колі буде свідчити про згідне включення котушок, найбільша – про зустрічне).

5.4 Провести експерименти при зустрічному і згідному з'єднанні котушок. А саме:

- включити котушки згідно;
- поставити відповідні вимикачі у необхідні положення, які вказані у таблиці 16.1 для третього експерименту;
- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- зняти показання приладів, результати занести в таблицю 16.1;
- зняти напругу із затискачів експериментальної установки;
- включити котушки зустрічно;
- поставити відповідні вимикачі у необхідні положення, які вказані у таблиці 16.1 для четвертого експерименту;
- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- зняти показання приладів, результати занести в таблицю 16.1;
- зняти напругу із затискачів експериментальної установки.

Таблиця 16.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів				
	U_1, B	U_2, B	U_3, B	I, A	$P, Вт$
1 Вимикачі QS_1, QS_3 замкнені; вимикач QS_2 розімкнений		не знімати	не знімати		
2 Вимикачі QS_1, QS_2 замкнені; вимикач QS_3 розімкнений		не знімати	не знімати		
3 Вимикач QS_1 замкнений; вимикач QS_2, QS_3 розімкнені (згідне включення котушок)					
4 Вимикач QS_1 замкнений; вимикач QS_2, QS_3 розімкнені (зустрічне включення котушок)					

де U_1 – показання вольметра, включеного на вторинних затискачах автотрансформатора;

U_2 – показання вольметра, включеного на затискачах першої котушки;

U_3 – показання вольметра, включеного на затискачах другої котушки.

*Визначення параметрів першої котушки
за результатами першого експерименту*

5.5 Записати за допомогою експериментальних даних:

- діюче значення напруги на затискачах кола (U);
- діюче значення сили струму в колі (I);
- активну потужність, споживану колом (P).

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних:

- активний опір першої котушки, використовуючи рівняння:

$$P = r_1 \cdot I^2; \quad (16.1)$$

- повний опір першої котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z_1}; \quad (16.2)$$

- реактивний опір першої котушки, використовуючи рівняння:

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_{L1}^2}; \quad (16.3)$$

- індуктивність першої котушки за частоти 50 Гц, використовуючи рівняння:

$$x_{L1} = 2\pi \cdot f \cdot L_1. \quad (16.4)$$

Визначення параметрів другої котушки за результатами другого експерименту

5.7 Записати за допомогою експериментальних даних:

- діюче значення напруги на затискачах кола (U);
- діюче значення сили струму в колі (I);
- активну потужність, споживану колом (P).

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних:

- активний опір другої котушки, використовуючи рівняння:

$$P = r_2 \cdot I^2; \quad (16.5)$$

- повний опір другої котушки, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z_2}; \quad (16.6)$$

- реактивний опір другої котушки, використовуючи рівняння:

$$z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_{L2}^2}; \quad (16.7)$$

- індуктивність другої котушки за частоти 50 Гц, використовуючи рівняння:

$$x_{L2} = 2\pi \cdot f \cdot L_1. \quad (16.8)$$

Визначення параметрів кола при згідному включенні котушок за результатами третього експерименту

5.9 Записати за допомогою експериментальних даних:

- діюче значення напруги на затискачах кола (U);
- діюче значення сили струму в колі (I);
- активну потужність, споживану колом (P).

5.10 Визначити за допомогою експериментальних даних:

- активний опір двох котушок, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2; \quad (16.9)$$

- повний опір двох котушок, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z_{згідн}}; \quad (16.10)$$

- реактивний опір двох котушок, використовуючи рівняння:

$$z_{згідн} = \sqrt{r^2 + x_{L(згідн)}^2}; \quad (16.11)$$

- реактивний опір взаємної індукції кожної котушки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(згідн)} = x_{L1} + x_{L2} + 2x_M; \quad (16.12)$$

- індуктивність двох котушок за частоти 50 Гц , використовуючи рівняння:

$$x_{L(згідн)} = 2\pi \cdot f \cdot L_{згідн}; \quad (16.13)$$

- взаємну індуктивність кожної котушки за частоти 50 Гц , використовуючи рівняння:

$$x_M = 2\pi \cdot f \cdot M; \quad (16.14)$$

- коефіцієнт індуктивного зв'язку котушок, використовуючи рівняння:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}. \quad (16.15)$$

5.11 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{згідн} = r + jx_{L(згідн)}, \quad (16.16)$$

і в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{згідн} = z_{згідн} \cdot e^{j\varphi_{згідн}}. \quad (16.17)$$

*Визначення параметрів кола при зустрічному включенні котушок
за результатами четвертого експерименту*

5.12 Записати за допомогою експериментальних даних:

- діюче значення напруги на затискачах кола (U);
- діюче значення сили струму в колі (I);
- активну потужність, споживану колом (P).

5.13 Визначити за допомогою експериментальних даних:

- активний опір двох котушок, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2; \quad (16.18)$$

- повний опір двох котушок, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I = \frac{U}{z_{зустр}}; \quad (16.19)$$

- реактивний опір двох котушок, використовуючи рівняння:

$$z_{зустр} = \sqrt{r^2 + x_{L(зустр)}^2}; \quad (16.20)$$

- реактивний опір взаємної індукції кожної котушки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(зустр)} = x_{L1} + x_{L2} - 2x_M; \quad (16.21)$$

- індуктивність двох котушок за частоти 50 Гц , використовуючи рівняння:

$$x_{L(зустр)} = 2\pi \cdot f \cdot L_{зустр}; \quad (16.22)$$

- взаємну індуктивність кожної котушки за частоти 50 Гц , використовуючи рівняння:

$$x_M = 2\pi \cdot f \cdot M; \quad (16.23)$$

- коефіцієнт індуктивного зв'язку котушок, використовуючи рівняння:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}. \quad (16.24)$$

5.14 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{зустр} = r + jx_{L(зустр)}, \quad (16.25)$$

і в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{зустр} = \underline{z}_{зустр} \cdot e^{j\varphi_{зустр}}. \quad (16.26)$$

5.15 Занести отримані значення в таблицю 16.2.

Таблиця 16.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$r_1,$ <i>Ом</i>	$r_2,$ <i>Ом</i>	$r,$ <i>Ом</i>	$x_{L1},$ <i>Ом</i>	$x_{L2},$ <i>Ом</i>	$L_1,$ <i>мГн</i>	$L_2,$ <i>мГн</i>	$K_{згідн}$	$K_{зустр}$	$M_{згідн},$ <i>мГн</i>	$M_{зустр},$ <i>мГн</i>

Продовження таблиці 16.2

$L_{згідн},$ <i>мГн</i>	$L_{зустр},$ <i>мГн</i>	$x_{L(згідн)},$ <i>Ом</i>	$x_{L(зустр)},$ <i>Ом</i>	$x_{M(згідн)},$ <i>Ом</i>	$x_{M(зустр)},$ <i>Ом</i>	$Z_{згідн},$ <i>Ом</i> алгебраїчна форма	$Z_{зустр},$ <i>Ом</i> алгебраїчна форма	$Z_{згідн},$ <i>Ом</i> показова форма	$Z_{зустр},$ <i>Ом</i> показова форма

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола.
- 6.4 Таблиця 16.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Векторна діаграма.
- 6.8 Таблиця 16.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Які елементи кола називають індуктивно зв'язаними?
- 7.2 Складіть конструктивну схему двох індуктивно зв'язаних елементів електричного кола.
- 7.3 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються у першому елементі електричного кола.
- 7.4 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються у другому елементі електричного кола

- 7.5 Запишіть математичний вираз електрорушійної сили самоіндукції в першому елементі електричного кола для миттєвих значень (через магнітний потік).
- 7.6 Запишіть математичний зв'язок між миттєвою електрорушійною силою, індуктивністю та миттєвою силою струму для першого елемента електричного кола.
- 7.7 Запишіть математичний вираз електрорушійної сили самоіндукції у другому елементі електричного кола для миттєвих значень (через магнітний потік).
- 7.8 Запишіть математичний зв'язок між миттєвою електрорушійною силою, індуктивністю та миттєвою силою струму для другого елемента електричного кола.
- 7.9 Що розуміється під коефіцієнтом індуктивного зв'язку?
- 7.10 Запишіть математичний вираз для визначення коефіцієнта індуктивного зв'язку двох елементів електричного кола.
- 7.11 Що розуміється під згідним включенням двох індуктивно зв'язаних елементів електричного кола?
- 7.12 Складіть розрахункову схему електричного кола, що складається з послідовно з'єднаних двох індуктивно зв'язаних елементів при згідному включенні у комплексній формі.
- 7.13 Запишіть рівняння за другим законом Кірхгофа для кола, наведеного у п.7.12, в комплексній формі.
- 7.14 Запишіть математичний вираз для визначення еквівалентного активного опору двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному згідному включенні.
- 7.15 Запишіть математичний вираз для визначення еквівалентного індуктивного опору двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному згідному включенні.
- 7.16 Запишіть математичний вираз для визначення еквівалентної індуктивності двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному згідному включенні.
- 7.17 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повного опору кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.12 в алгебраїчній та показовій формах.
- 7.18 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повного опору кола з п.7.12 в алгебраїчній та показовій формах.
- 7.19 Запишіть математичний вираз закону Ома для замкненого кола в комплексній формі для діючих значень.
- 7.20 Запишіть математичні вирази спадань напруг на активних опорах кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.12 в комплексній формі для діючих значень.

- 7.21 Запишіть математичні вирази спадань напруг на реактивних опорах кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.12 в комплексній формі для діючих значень.
- 7.22 Запишіть математичні вирази спадань напруг на реактивних опорах взаємної індукції кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.12 в комплексній формі для діючих значень.
- 7.23 Запишіть математичні вирази напруг на затискачах кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.12 в комплексній формі для діючих значень.
- 7.24 Побудуйте векторну діаграму комплексів діючих значень струму та напруг кола з п.7.12, прийнявши, що початкова фаза струму дорівнює нулю.
- 7.25 Складіть розрахункову схему електричного кола, що складається з послідовно з'єднаних двох індуктивно зв'язаних елементів при зустрічному включенні у комплексній формі.
- 7.26 Запишіть рівняння за другим законом Кірхгофа для кола, наведеного у п.7.25, в комплексній формі.
- 7.27 Запишіть математичний вираз для визначення еквівалентного активно-го опору двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному зустрічному включенні.
- 7.28 Запишіть математичний вираз для визначення еквівалентного індуктивного опору двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному зустрічному включенні.
- 7.29 Запишіть математичний вираз для визначення еквівалентної індуктивності двох індуктивно зв'язаних елементів при послідовному зустрічному включенні.
- 7.30 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повного опору кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.25 в алгебраїчній та показовій формах.
- 7.31 Запишіть математичний вираз для розрахунку комплексу повного опору кола з п.7.25 в алгебраїчній та показовій формах.
- 7.32 Запишіть математичний вираз закону Ома для замкненого кола в комплексній формі для діючих значень.
- 7.33 Запишіть математичні вирази спадань напруг на активних опорах кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.25 в комплексній формі для діючих значень.
- 7.34 Запишіть математичні вирази спадань напруг на реактивних опорах кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.25 в комплексній формі для діючих значень.
- 7.35 Запишіть математичні вирази спадань напруг на реактивних опорах взаємної індукції кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.25 в комплексній формі для діючих значень.

7.36 Запишіть математичні вирази напруг на затискачах кожного індуктивно зв'язаного елемента кола з п.7.25 в комплексній формі для діючих значень.

7.37 Побудуйте векторну діаграму комплексів діючих значень струму та напруг кола з п.7.25, прийнявши, що початкова фаза струму дорівнює нулю.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

За виконання кожної лабораторної роботи максимально можна отримати 1 бал. Кількісна оцінка визначається за наступними показниками:

- 1) вхідний контроль у лабораторну роботу, за який максимально можна отримати 0,2 бали;
- 2) підготовка та оформлення звіту з лабораторної роботи, за який максимально можна отримати 0,3 бали;
- 3) вихідний контроль з лабораторної роботи (захист лабораторної роботи), за який максимально можна отримати 0,5 бали.

Вхідний контроль у лабораторну роботу здійснюється шляхом усного опитування студента на початку заняття. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно наданим відповідям.

Підготовка та оформлення звіту з лабораторної роботи здійснюється студентом безпосередньо на лабораторному занятті. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно виконаним пунктам звіту.

Вихідний контроль з лабораторної роботи здійснюється шляхом письмового опитування студента наприкінці заняття, тобто шляхом письмового розв'язання ним певної задачі. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно наданим відповідям.

Лабораторна робота вважається виконаною позитивно, якщо студент у підсумку отримав не менше, ніж 60 % балів, тобто 0,6 бала. У протилежному випадку студент зобов'язаний підвищити бал за лабораторну роботу у відведений термін на консультації викладача, який її проводив. Підвищення рейтингу полягає у виконанні певних завдань щодо лабораторної роботи: вхідний контроль, підготовка та оформлення звіту, вихідний контроль. Підвищити рейтинг з лабораторної роботи можна не більше, ніж до 0,6 бала.

У разі пропуску лабораторного заняття студент повинен його відпрацювати у відведений термін на консультації викладача, який його проводив. Якщо лабораторне заняття пропущено з поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимально 1 бал. Якщо лабораторне заняття пропущено без поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимально 0,6 бала.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Овчаров В.В. Теоретичні основи електротехніки, частина 1 / В.В. Овчаров. – Мелітополь : Люкс, 2007. – 389 с.
2. Овчаров В.В. Теоретичні основи електротехніки / В.В.Овчаров. – К. : Урожай, 1993. – 224 с.
3. Зевеке Г.В. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 424 с.
4. Вовк О.Ю. Теоретичні основи електротехніки, частина 1: Методичні вказівки до самостійної роботи студентів для здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання на основі повної загальної середньої освіти / О.Ю. Вовк. – Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 191 с.