

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

ВОВК О.Ю., ПОПОВА І.О.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Мелітополь, 2020

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

ВОВК О.Ю., ПОПОВА І.О.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

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 ОКР «Молодший спеціаліст»*

Мелітополь, 2020

УДК 621.3

В-61

Укладачі:

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

Попова І.О., 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 № 4 від «10» грудня 2019 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: Методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання на основі ОКР «Молодший спеціаліст» / О.Ю. Вовк, . . . – Мелітополь: Видавничо-поліграфічно-«Люкс», 2020. – 169 с.

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

© Вовк О.Ю.

© Попова І.О.

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

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота № 1	8
Лабораторна робота № 2	14
Лабораторна робота № 3	19
Лабораторна робота № 4	22
Лабораторна робота № 5	26
Лабораторна робота № 6	32
Лабораторна робота № 7	39
Лабораторна робота № 8	45
Лабораторна робота № 9	50
Лабораторна робота № 10	56
Лабораторна робота № 11	66
Лабораторна робота № 12	75
Лабораторна робота № 13	86
Лабораторна робота № 14	92
Лабораторна робота № 15	100
Лабораторна робота № 16	107
Лабораторна робота № 17	118
Лабораторна робота № 18	130
Лабораторна робота № 19	137
Лабораторна робота № 20	143
Лабораторна робота № 21	149
Лабораторна робота № 22	157
Критерії оцінювання лабораторних робіт	168
Список літератури	169

ВСТУП

Дисципліна «Теоретичні основи електротехніки» 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» 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: тема 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 розрахунку.

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 будь-які 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 нерозгалуженого кола постійного струму з однією електрорушійною силою

Мета: придбання практичних навичок при визначенні електрорушійної сили, опорів, сили струму, потужностей, коефіцієнтів корисної дії лінійно-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 пп. 1.3–1.8 [1, с. 18–37].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 1.1 – 1.7 [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 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.

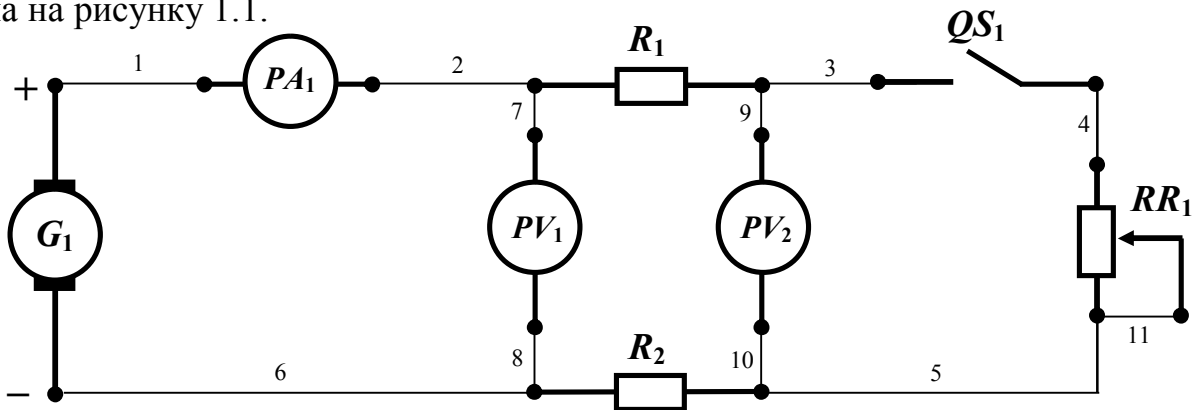


Рисунок 1.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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.

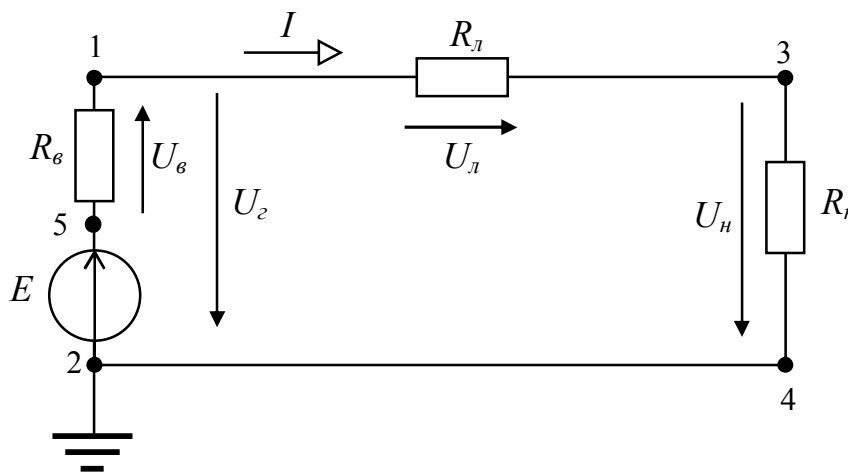


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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:

$$U_z = E - R_g \cdot I. \quad (1.1)$$

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

$$U_z = E - U_g. \quad (1.2)$$

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:

$$I = \frac{U_g}{R_g}. \quad (1.3)$$

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

$$U_l = U_z - U_n. \quad (1.4)$$

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:

$$I = \frac{U_l}{R_l}. \quad (1.5)$$

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:

$$I = \frac{U_n}{R_n}. \quad (1.6)$$

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

$$P = E \cdot I. \quad (1.7)$$

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

$$P_g = R_g \cdot I^2. \quad (1.8)$$

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

$$P_z = U_z \cdot I. \quad (1.9)$$

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

$$P_l = R_l \cdot I^2. \quad (1.10)$$

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

$$P_n = R_n \cdot I^2. \quad (1.11)$$

5.15 Скласти баланс потужностей, використовуючи розрахункові дані та рівняння:

$$P = P_g + P_l + P_n. \quad (1.12)$$

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

$$W_n = P_n \cdot t. \quad (1.13)$$

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

$$\eta_z = \frac{P_z}{P}; \quad (1.14)$$

$$\eta_z = \frac{U_z}{E}. \quad (1.15)$$

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

$$\eta_l = \frac{P_n}{P_z}; \quad (1.16)$$

$$\eta_l = \frac{U_n}{U_z}. \quad (1.17)$$

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

$$\eta_{\text{кола}} = \frac{P_n}{P}; \quad (1.18)$$

$$\eta_{\text{кола}} = \frac{U_n}{E}. \quad (1.19)$$

5.20 Занести отримані значення в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$E,$ B	$U_в,$ B	$U_л,$ B	$R_в,$ $Ом$	$R_л,$ $Ом$	$R_н,$ $Ом$	$P,$ $Вт$	$P_в,$ $Вт$	$P_z,$ $Вт$	$P_л,$ $Вт$	$P_n,$ $Вт$	η_z	η_l	$\eta_{\text{кола}}$

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

$$I = \frac{E}{R_в + R_л + R_н}. \quad (1.20)$$

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.1.1? Яке його призначення як перетворювача енергії?
- 7.10 Що є приймачем у електричному колі, зображеному на рис.1.1? Яке його призначення як перетворювача енергії?
- 7.11 Яке електричне коло називають нерозгалуженим?
- 7.12 Яке призначення вольтметрів у електричному колі, зображеному на рис.1.1?
- 7.13 Яке призначення амперметра у електричному колі, зображеному на рис.1.1?
- 7.14 Яке призначення вимикача у електричному колі, зображеному на рис.1.1?
- 7.15 Дайте визначення розрахункової схеми електричного кола.
- 7.16 Перелічіть умови виникнення електричного струму у колі.
- 7.17 Перелічіть фізичні явища, які спостерігаються у основних елементах електричного кола, зображеного на рис.1.1, 1.2.
- 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 Як скласти баланс потужностей електроустановки?
- 7.35 Як розрахувати енергію, яку споживає приймач?
- 7.36 Що є одиницею електричної енергії у системі СІ та у технічній системі?
- 7.37 Як розрахувати коефіцієнт корисної дії лінії електропередачі?
- 7.38 Як розрахувати коефіцієнт корисної дії джерела?
- 7.39 Як розрахувати коефіцієнт корисної дії електроустановки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

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 [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 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 2.1.

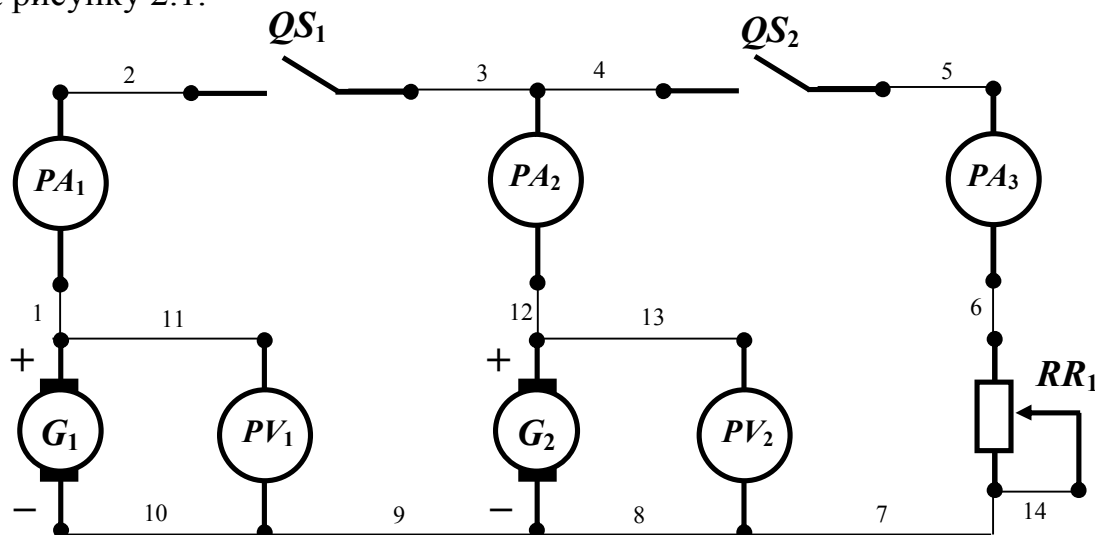


Рисунок 2.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 проводів 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 2.2.

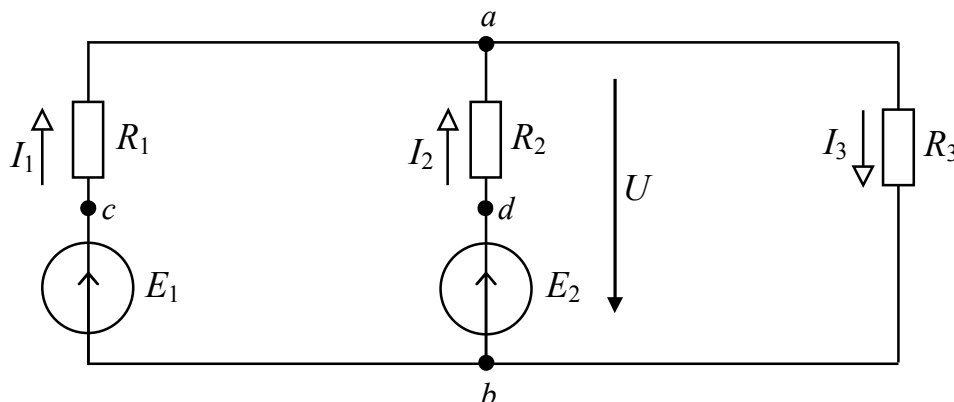


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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 2.1, зняти напругу.

Таблиця 2.1 – 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:

$$U = E_1 - R_1 \cdot I_1. \quad (2.1)$$

5.5 Визначити внутрішній опір першого генератора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння (2.1).

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

$$U = E_2 - R_2 \cdot I_2. \quad (2.2)$$

5.7 Визначити внутрішній опір другого генератора, використовуючи показання приладів при навантаженні генератора (другий експеримент) і рівняння (2.2).

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

$$I_3 = \frac{U}{R_3}, \quad (2.3)$$

5.9 Визначити кількість вузлів і незалежних контурів розрахункової схеми електричного кола, зображеної на рис.2.2.

5.10 Записати рівняння за першим законом Кірхгофа для одного з вузлів розрахункової схеми електричного кола, зображеної на рис.2.2.

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 2.2.

Таблиця 2.2 – 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 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати порівнянь фізичних величин, що характеризують коло

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 2.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Таблиця 2.2.
- 6.8 Таблиця 2.3.

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 № 3

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 [5].
- 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 3.1.

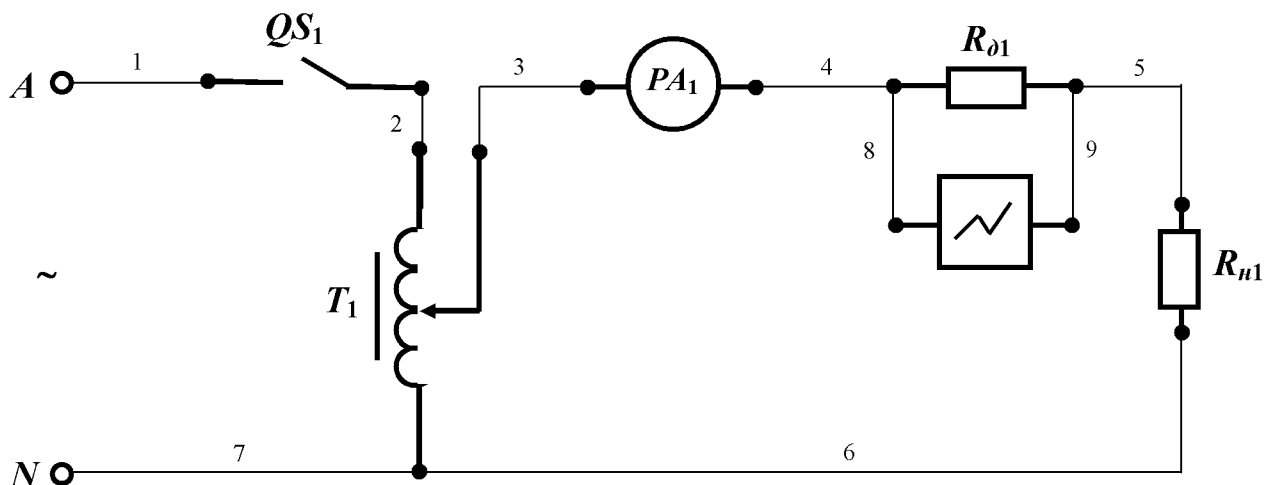


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (3.1)$$

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

$$\omega = 2\pi \cdot f. \quad (3.2)$$

- 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:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \quad (3.3)$$

- 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:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (3.4)$$

- 4.16 Занести отримані значення в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – 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 3.1. 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 в генераторі наводиться синусоїдна електрорушійна сила, запишіть і розшифруйте її математичний вираз.
- 6.12 Запишіть і розшифруйте математичне вираз миттєвої напруги на затискачах ідеального генератора.
- 6.13 Як отримати синусоїдний струм?
- 6.14 Запишіть і розшифруйте математичний вираз миттєвого синусоїдного струму.
- 6.15 Що таке амплітуда струму?
- 6.16 Що таке частота струму?
- 6.17 Що таке період струму?
- 6.18 Що таке кругова частота струму?
- 6.19 Що таке початкова фаза струму?
- 6.20 Що таке миттєва фаза струму?
- 6.21 Як зобразити струм за допомогою радіус-вектора?
- 6.22 Що розуміється під діючим значенням змінного синусоїдного струму? Як його розрахувати через амплітудне значення струму?
- 6.23 Як розрахувати діюче значення електрорушійної сили через амплітудне значення?
- 6.24 Як розрахувати діюче значення напруги через амплітудне значення?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

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 [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 навантажувальним резистором R_1 , і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачено вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 4.1.

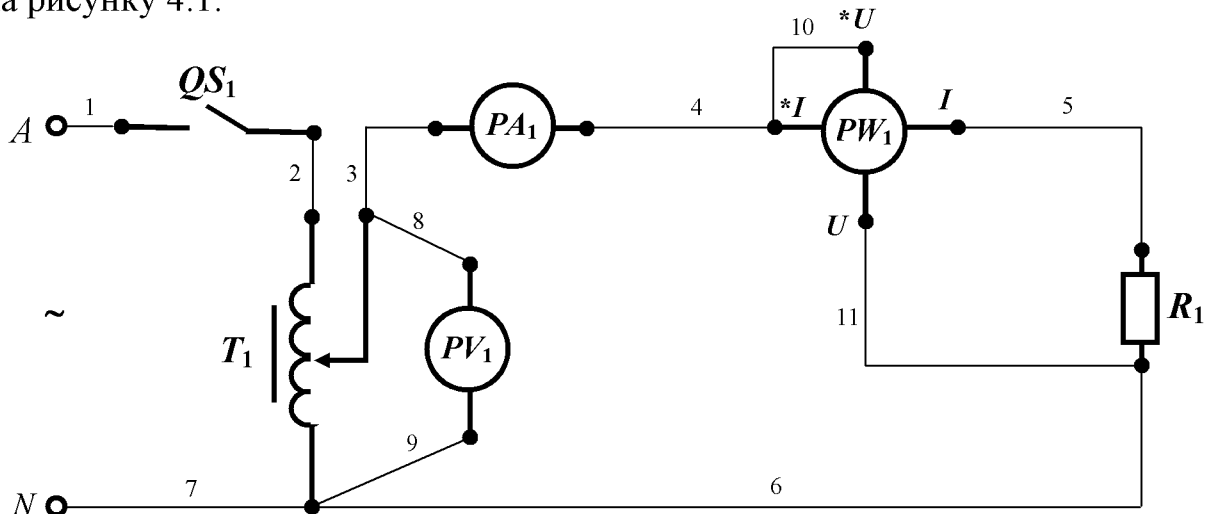


Рисунок 4.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 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 4.2.

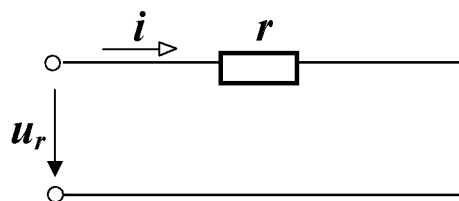


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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 4.1, зняти напругу.

Таблиця 4.1 – 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:

$$U_r = \frac{U_{rm}}{\sqrt{2}}. \quad (4.1)$$

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:

$$u_r = U_{rm} \sin(\omega t + \psi_{ur}). \quad (4.2)$$

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:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (4.3)$$

5.9 Визначити початкову фазу струму у резисторі, використовуючи рівняння:

$$\psi_i = \psi_{ur}. \quad (4.4)$$

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

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \quad (4.5)$$

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

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

$$P = r \cdot I^2. \quad (4.6)$$

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

5.14 Занести отримані значення в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

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

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

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

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 № 5

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 [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 індуктивності K_1 , і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 5.1.

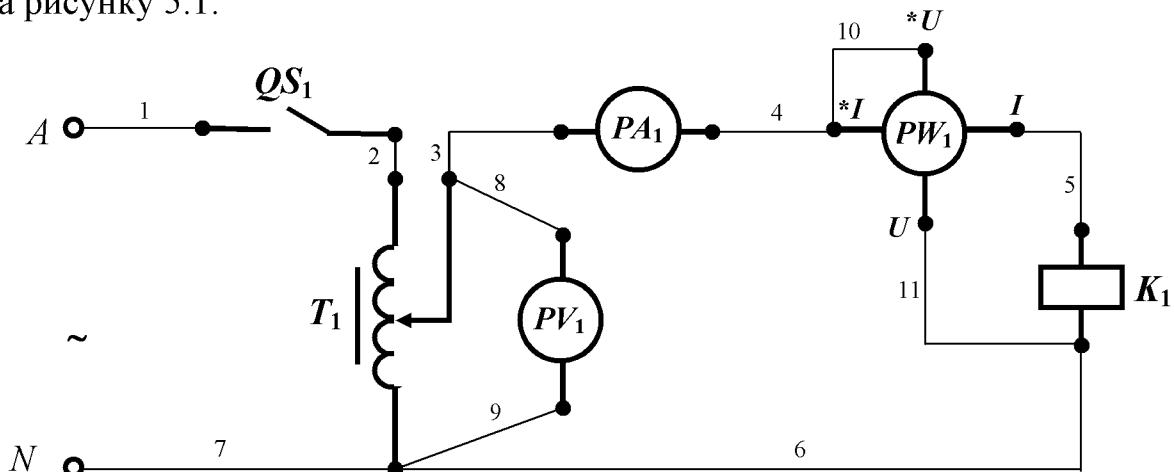


Рисунок 5.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 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 5.2.

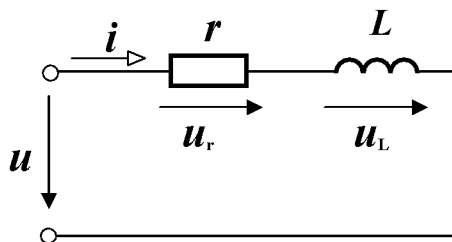


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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, $Гн$;
- 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 5.1, зняти напругу.

Таблиця 5.1 – 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:

$$P = r \cdot I^2 . \quad (5.1)$$

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

$$I = \frac{U}{z} . \quad (5.2)$$

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

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2} . \quad (5.3)$$

5.10 Побудувати в обраному масштабі трикутник опорів котушки.

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

$$x_L = 2\pi \cdot f \cdot L . \quad (5.4)$$

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

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z} . \quad (5.5)$$

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

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} . \quad (5.6)$$

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:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \quad (5.7)$$

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):

$$I = \frac{U_r}{r}. \quad (5.8)$$

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

$$U_r = \frac{U_{rm}}{\sqrt{2}}. \quad (5.9)$$

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

$$\psi_i = \psi_{ur}. \quad (5.10)$$

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

$$u_r = U_{rm} \sin(\omega t + \psi_{ur}). \quad (5.11)$$

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):

$$I = \frac{U_L}{x_L}. \quad (5.12)$$

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

$$U_L = \frac{U_{Lm}}{\sqrt{2}}. \quad (5.13)$$

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

$$\psi_i = \psi_{uL} - 90^\circ. \quad (5.14)$$

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

$$u_L = U_{Lm} \sin(\omega t + \psi_{uL}). \quad (5.15)$$

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

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (5.16)$$

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

$$\varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (5.17)$$

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

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u). \quad (5.18)$$

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

$$Q_L = x_L \cdot I^2. \quad (5.19)$$

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

$$S = U \cdot I. \quad (5.20)$$

5.28 Побудувати в обраному масштабі трикутник потужностей котушки.

5.29 Визначити коефіцієнт потужності котушки, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (5.21)$$

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

5.31 Занести отримані значення в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – 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 5.2

$U_r,$ <i>В</i>	$U_{rm},$ <i>В</i>	$\psi_{ur},$ <i>град.</i>	$u_r,$ <i>В</i>	$U_L,$ <i>В</i>	$U_{Lm},$ <i>В</i>	$\psi_{uL},$ <i>град.</i>	$u_L,$ <i>В</i>	$U_m,$ <i>В</i>	$\psi_u,$ <i>град.</i>	$u,$ <i>В</i>

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

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} . \quad (5.22)$$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункова схема електричного кола.
- 6.4 Таблиця 5.1.
- 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 5.2. 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 № 6

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 [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 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 6.1.

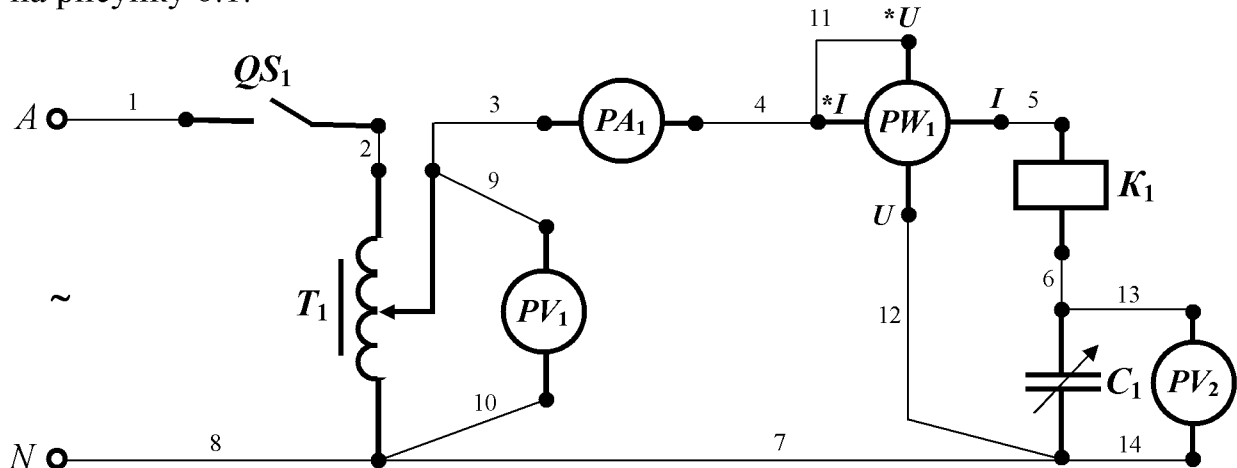


Рисунок 6.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 6.2.

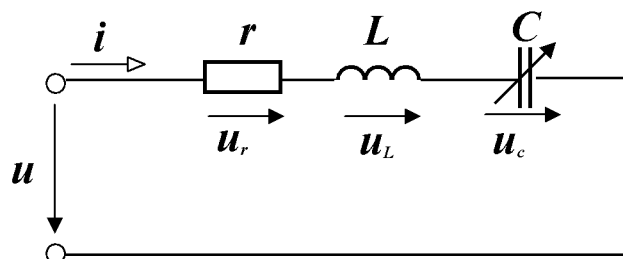


Рисунок 6.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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, Ω ;
- L – індуктивність котушки, H ;
- C – ємність конденсатора, F ;
- 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 6.1.
- 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 6.1 – 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:

$$P = r \cdot I^2. \quad (6.1)$$

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

$$I = \frac{U}{Z}. \quad (6.2)$$

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

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} . \quad (6.3)$$

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

$$I = \frac{U_c}{x_c} . \quad (6.4)$$

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

$$x = x_L - x_c \text{ (якщо реактивний опір кола має індуктивний характер);} \quad (6.5)$$

$$-x = x_L - x_c \text{ (якщо реактивний опір кола має ємнісний характер).} \quad (6.6)$$

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:

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z} . \quad (6.7)$$

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):

$$I = \frac{U_r}{r} . \quad (6.8)$$

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):

$$I = \frac{U_L}{x_L} . \quad (6.9)$$

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

$$U_p = U_L - U_c. \quad (6.10)$$

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

$$Q = x \cdot I^2. \quad (6.11)$$

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

$$Q_L = x_L \cdot I^2. \quad (6.12)$$

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

$$Q_c = x_c \cdot I^2. \quad (6.13)$$

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

$$S = U \cdot I. \quad (6.14)$$

5.23 Визначити коефіцієнт потужності кола, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (6.15)$$

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 6.2.

Таблиця 6.2 – 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 6.2

U_L, B	U_c, B	U_p, B	P, Bm	Q, BAp	Q_L, BAp	Q_c, BAp	S, BA	$\cos\varphi$

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

$$\left. \begin{aligned} \omega \cdot L &= \frac{1}{\omega \cdot C_{рез}}; \\ \omega &= 2 \cdot \pi \cdot f; \\ f &= 50 \text{ Гц.} \end{aligned} \right\} \quad (6.16)$$

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 6.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Еквівалентна розрахункова схема кола.
- 6.8 Векторна діаграма.
- 6.9 Таблиця 6.2.
- 6.10 Розрахунок резонансної ємності. Спостереження 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 № 7

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 [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 індуктивності K_1 , і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 7.1.

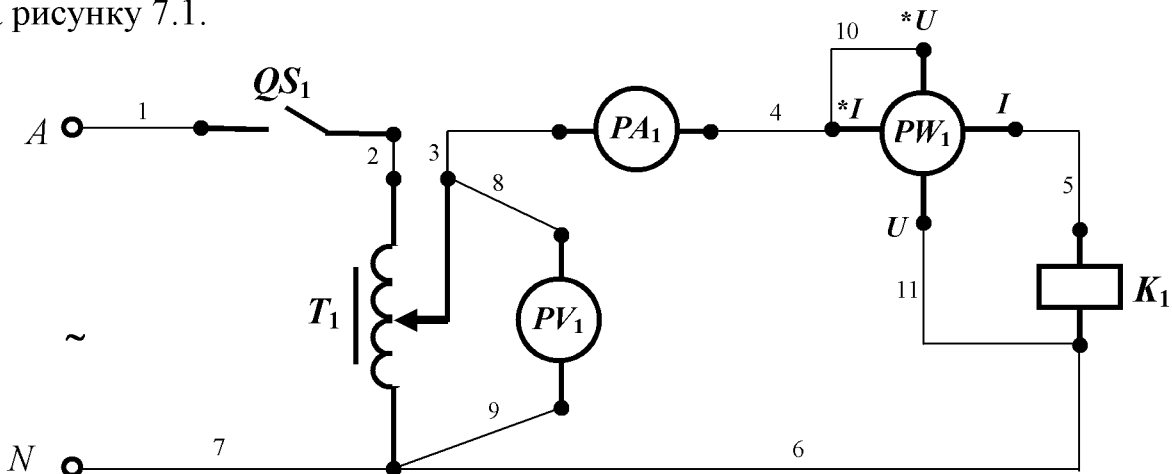


Рисунок 7.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки при послідовному та паралельному з'єднанні елементів мають вигляд, наведений на рисунку 7.2.

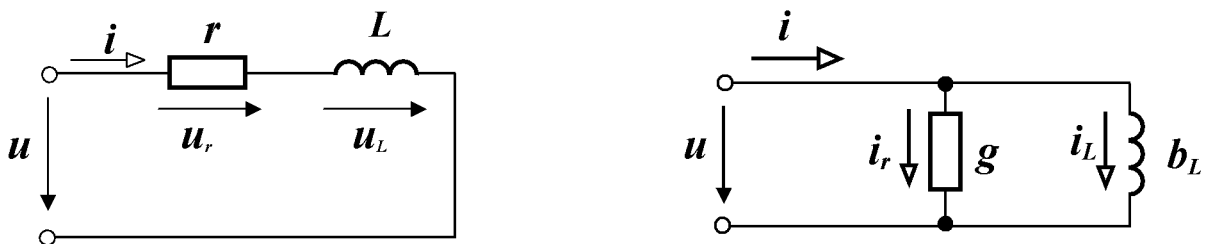


Рисунок 7.2 – Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки при послідовному та паралельному з'єднанні елементів

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- u – миттєва напруга на затискачах котушки, B ;
- i – миттєвий струм в котушці, A ;
- r – активний опір котушки, Om ;
- L – індуктивність котушки, $Гн$;
- u_r – миттєва напруга на активному опорі котушки, B ;
- u_L – миттєва напруга на індуктивності котушки, B ;
- g – активна провідність котушки, $См$;
- b_L – індуктивна провідність котушки, $См$;
- 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 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 Визначити за допомогою розрахункових даних активну провідність котушки, використовуючи рівняння:

$$g = \frac{r}{z^2}. \quad (7.4)$$

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

$$b_L = \frac{x_L}{z^2}. \quad (7.5)$$

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

$$y = \frac{1}{z}. \quad (7.6)$$

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:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b_L}{g}. \quad (7.7)$$

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:

$$u = \sqrt{2} \cdot U \sin(\omega t + \psi_u). \quad (7.8)$$

5.16 Визначити початкову фазу струму у котушці, використовуючи рівняння:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i. \quad (7.9)$$

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

$$i = \sqrt{2} \cdot I \sin(\omega t + \psi_i). \quad (7.10)$$

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

$$I_r = g \cdot U. \quad (7.11)$$

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

$$\psi_u = \psi_{ir}. \quad (7.12)$$

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

$$i_r = \sqrt{2} \cdot I_r \sin(\omega t + \psi_{ir}). \quad (7.13)$$

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

$$I_L = b_L \cdot U . \quad (7.14)$$

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

$$\psi_u = \psi_{iL} + 90^\circ . \quad (7.15)$$

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

$$i_L = \sqrt{2} \cdot I_L \sin(\omega t + \psi_{iL}) . \quad (7.16)$$

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

$$P = g \cdot U^2 . \quad (7.17)$$

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

$$Q_L = b_L \cdot U^2 . \quad (7.18)$$

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

$$S = y \cdot U^2 . \quad (7.19)$$

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

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} . \quad (7.20)$$

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

5.29 Результати розрахунків занести в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 – 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>град</i>	$P,$ <i>Вт</i>	$Q_L,$ <i>ВАр</i>	$S,$ <i>ВА</i>	$\cos \varphi$

Продовження таблиці 7.2

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.7.2 та рівняння:

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2} . \quad (7.25)$$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола.
- 6.4 Таблиця 7.1.
- 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 7.2.

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 Перелічте 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 № 8

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 [5].
- 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 8.1.

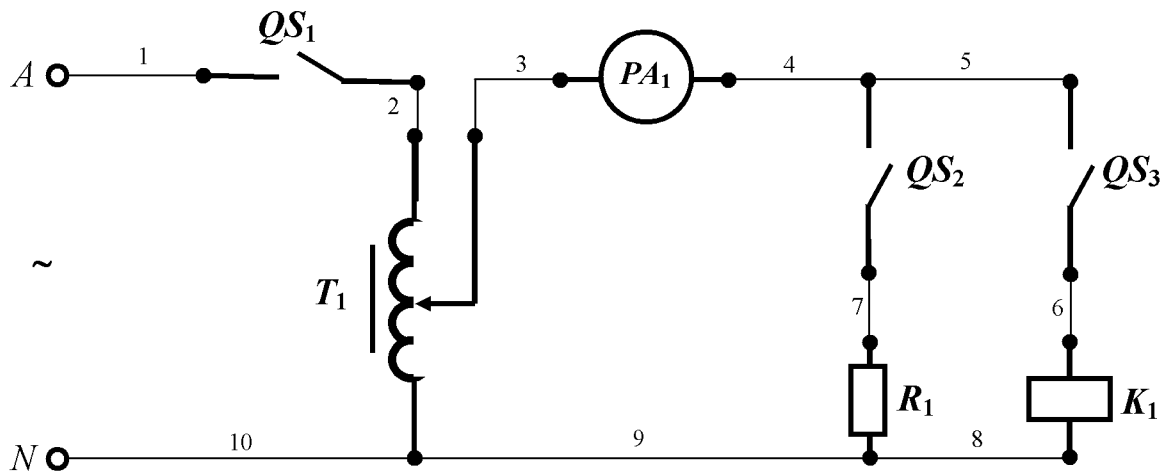


Рисунок 8.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 8.1, зняти напругу.

Таблиця 8.1 – 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:

$$\dot{I}_1 = I_1 \cdot e^{j\psi_{i1}}. \quad (8.1)$$

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

$$\dot{I}_1 = I_1 \cdot \cos \psi_{i1} + jI_1 \cdot \sin \psi_{i1}. \quad (8.2)$$

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

$$\dot{I}_1 = I'_1 + jI''_1. \quad (8.3)$$

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

4.10 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:

$$\dot{I}_2 = I_2 \cdot e^{j\psi_{i2}}. \quad (8.4)$$

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

$$\dot{I}_2 = I_2 \cdot \cos \psi_{i2} + jI_2 \cdot \sin \psi_{i2}. \quad (8.5)$$

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

$$\dot{I}_2 = I'_2 + jI''_2. \quad (8.6)$$

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

4.14 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:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = I'_1 + I'_2 + jI''_1 + jI''_2 = I'_3 + jI''_3 = I_3 \cdot e^{j\psi_{i3}}, \\ \text{де } I_3 = \sqrt{(I'_3)^2 + (I''_3)^2}; \\ \psi_{i3} = \text{arctg} \frac{I''_3}{I'_3}. \end{aligned} \right\} \quad (8.7)$$

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

$$i_3 = \sqrt{2} \cdot I_3 \sin(\omega t + \psi_{i_3}). \quad (8.8)$$

4.16 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:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_4 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = I_1' - I_2' + jI_1'' - jI_2'' = I_4' + jI_4'' = I_4 \cdot e^{j\psi_{i_4}}, \\ \text{де } I_4 = \sqrt{(I_4')^2 + (I_4'')^2}; \\ \psi_{i_4} = \arctg \frac{I_4''}{I_4'}. \end{aligned} \right\} \quad (8.9)$$

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

$$i_4 = \sqrt{2} \cdot I_4 \sin(\omega t + \psi_{i_4}). \quad (8.10)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_1}{dt} = j\omega \cdot \dot{I}_1; \\ \omega = 2\pi \cdot f; \\ f = 50 \text{ Гц}. \end{aligned} \right\} \quad (8.11)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \int i_2 dt = \frac{\dot{I}_2}{j\omega}; \\ \omega = 2\pi \cdot f; \\ f = 50 \text{ Гц}. \end{aligned} \right\} \quad (8.12)$$

4.20 Результати розрахунків занести в таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

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

Продовження таблиці 8.2

\dot{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 8.1.
- 5.4 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 5.5 Розрахунок шуканих величин.
- 5.6 Векторні діаграми.
- 5.7 Таблиця 8.1.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 6.1 Запишіть формулу Ейлера.
- 6.2 Що розуміється під уявним числом j ?
- 6.3 Як зображується комплексне число $e^{j\alpha}$ на комплексній площині?
- 6.4 Чому дорівнює модуль функції $e^{j\alpha}$?
- 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.
- 6.9 Отримайте з комплексу амплітудного значення сили електричного струму його комплекс діючого значення в показовій формі.
- 6.10 Запишіть комплекс діючого значення сили електричного струму в тригонометричній формі.
- 6.11 Запишіть комплекс діючого значення сили електричного струму в алгебраїчній формі.
- 6.12 Як визначити суму комплексів діючих значень сил струмів?
- 6.13 Як визначити різницю комплексів діючих значень сил струмів?
- 6.14 Як перейти від алгебраїчної форми запису комплексу діючого значення сили струму до показової форми запису?

- 6.15 Як перейти від показової форми запису комплексу діючого значення сили струму до рівняння миттєвого струму?
- 6.16 Як визначити добуток двох комплексних чисел?
- 6.17 Як визначити частку від ділення двох комплексних чисел?
- 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 $-j$?
- 6.20 Що дає множення будь-якого вектора на комплексній площині на -1 ?
- 6.21 Як зобразити похідну сили струму комплексом?
- 6.22 Як зобразити інтеграл сили струму комплексом?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

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 [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 вторинне коло автотрансформатора включено амперметр PA_1 послідовно з котушкою 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.

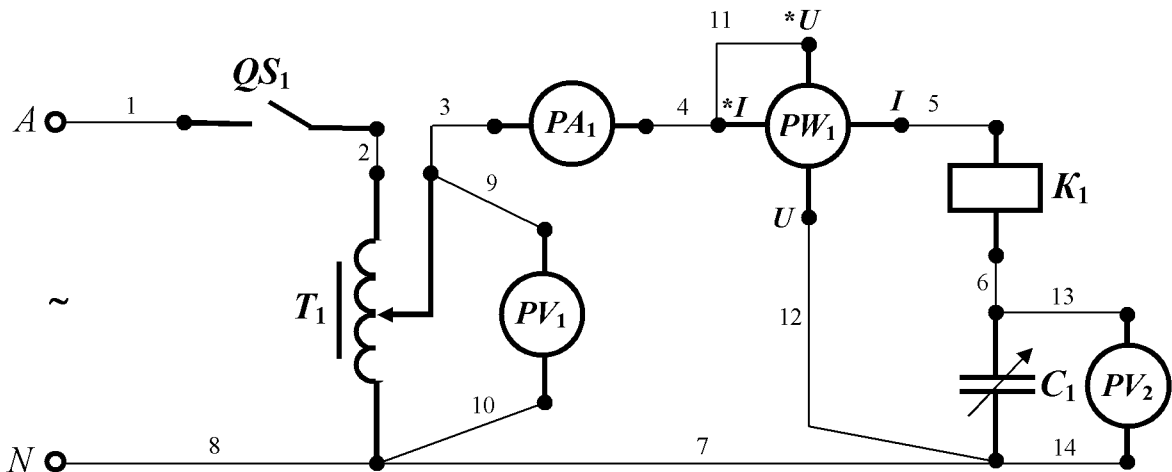


Рисунок 9.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 в комплексній формі для діючих значень має вигляд, наведений на рисунку 9.2.

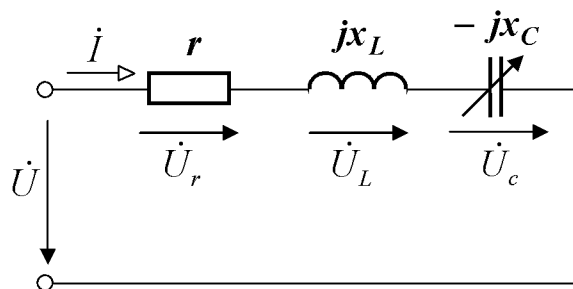


Рисунок 9.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- \dot{U} – комплекс діючого значення напруги затискачів 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, Ω ;
- \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, 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, Bm
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 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 котушки, 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 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою і струмом кола, використовуючи рівняння:

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

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

$$Z = r + jx_L - jx_c = r \pm jx. \quad (9.8)$$

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

$$Z = z \cdot e^{\pm j\varphi}. \quad (9.9)$$

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:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u}. \quad (9.10)$$

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:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z}. \quad (9.11)$$

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:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_r}{r}. \quad (9.12)$$

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:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_L}{jx_L}. \quad (9.13)$$

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:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_c}{-jx_c}. \quad (9.14)$$

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

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}^* = Ue^{j\psi_u} \cdot Ie^{-j\psi_i} = U \cdot Ie^{j(\psi_u - \psi_i)} = Se^{\pm j\varphi}. \quad (9.15)$$

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

$$\tilde{S} = S \cdot \cos \varphi \pm jS \cdot \sin \varphi. \quad (9.16)$$

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

$$\tilde{S} = P \pm jQ. \quad (9.17)$$

5.26 Записати за допомогою розрахункових даних значення активної потужності кола.

5.27 Записати за допомогою розрахункових даних значення реактивної потужності кола.

5.28 Визначити характер реактивної потужності кола.

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

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (9.18)$$

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

5.31 Результати розрахунків у показовій формі занести в таблицю 10.2.

Таблиця 9.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

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

5.32 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 9.1.

6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.6 Розрахунок шуканих величин.

6.7 Векторна діаграма.

6.8 Таблиця 9.2.

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 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.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

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 комутації кола передбачені вимикачі QS_1 , QS_2 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 10.1.

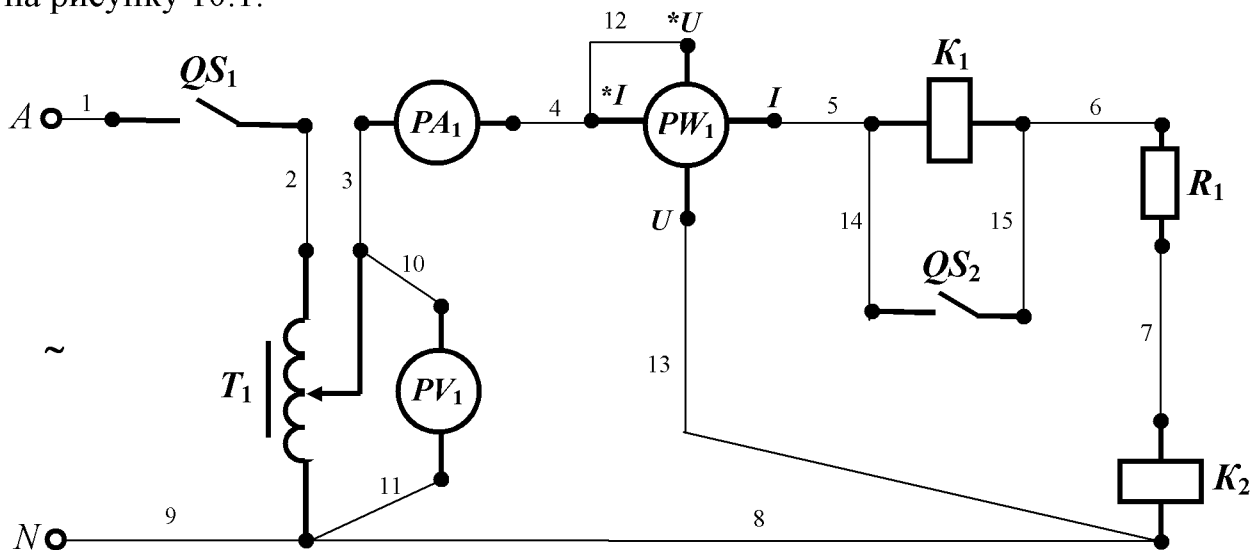


Рисунок 10.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 10.2 та 10.3.

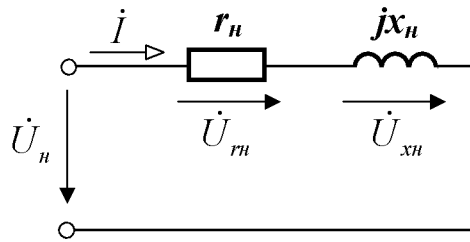


Рисунок 10.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикачі QS_1 , QS_2 замкнені)

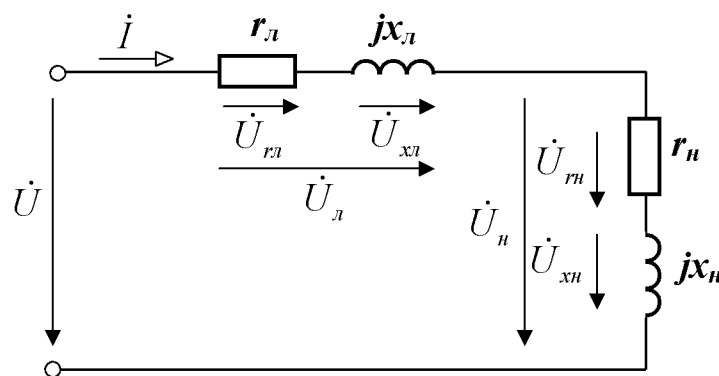


Рисунок 10.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикач QS_1 замкнений; вимикач QS_2 розімкнений)

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}_{rl} – 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 10.1, зняти напругу.

Таблиця 10.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів		
	U, B	I, A	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:

$$P_n = r_n \cdot I^2, \quad (10.1)$$

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

$$I = \frac{U_n}{Z_n}, \quad (10.2)$$

- реактивний опір навантаження, використовуючи рівняння:

$$Z_n = \sqrt{r_n^2 + x_n^2}, \quad (10.3)$$

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

$$\varphi_n = \arccos \frac{r_n}{Z_n}. \quad (10.4)$$

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

$$Z_n = r_n + jx_n, \quad (10.5)$$

і у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_n = z_n \cdot e^{j\varphi_n}. \quad (10.6)$$

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:

$$P = r \cdot I^2, \quad (10.7)$$

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

$$I = \frac{U}{z}, \quad (10.8)$$

- реактивний опір кола, використовуючи рівняння:

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}, \quad (10.9)$$

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

$$\varphi = \arccos \frac{r}{z}. \quad (10.10)$$

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

$$Z = r + jx, \quad (10.11)$$

і у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z = z \cdot e^{j\varphi}. \quad (10.12)$$

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

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних:

- активний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$r = r_l + r_n, \quad (10.13)$$

- реактивний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$x = x_l + x_n, \quad (10.14)$$

- повний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$\underline{z}_l = \sqrt{r_l^2 + x_l^2}, \quad (10.15)$$

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

$$\varphi_l = \arccos \frac{r_l}{\underline{z}_l}. \quad (10.16)$$

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

$$Z_l = r_l + jx_l, \quad (10.17)$$

і у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_l = \underline{z}_l \cdot e^{j\varphi_l}. \quad (10.18)$$

*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:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u}. \quad (10.19)$$

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:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{Z}. \quad (10.20)$$

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:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}_л}{Z_л}. \quad (10.21)$$

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

$$U_л = z_л \cdot I. \quad (10.22)$$

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:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}_н}{Z_н}. \quad (10.23)$$

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

$$\Delta U_л = U - U_н. \quad (10.24)$$

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:

$$\delta U_н = U_н - U_{н(ном)}. \quad (10.25)$$

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

$$\tilde{S}_l = \dot{U}_l \cdot I^*, \quad (10.26)$$

і записати його в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_l = P_l + jQ_l. \quad (10.27)$$

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

$$\cos \varphi_l = \frac{P_l}{S_l}. \quad (10.28)$$

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

$$\tilde{S}_n = \dot{U}_n \cdot I^*, \quad (10.29)$$

і записати його в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = P_n + jQ_n. \quad (10.30)$$

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

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{S_n}. \quad (10.31)$$

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

$$\tilde{S} = \dot{U} \cdot I^*, \quad (10.32)$$

і записати його в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S} = P + jQ. \quad (10.33)$$

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

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (10.34)$$

5.25 Скласти баланс активної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$P = P_l + P_n, \quad (10.35)$$

і баланс реактивної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$Q = Q_l + Q_n. \quad (10.36)$$

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

5.27 Занести отримані значення в таблицю 10.2.

Таблиця 10.2 – 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 10.2

$\tilde{S}_l, \text{ ВА}$ 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 10.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Векторна діаграма.
- 6.8 Таблиця 10.2.

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 № 11

Тема. Дослідження кола синусоїдного струму у режимі компенсації реактивної потужності індуктивності навантаження

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів опорів і побудові векторних діаграм у лінійному нерозгалуженому електричному колі синусоїдного струму з лінією електропередачі і активно-індуктивним навантаженням у режимі компенсації реактивної потужності індуктивності навантаження

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 6 «Аналіз електричних кіл синусоїдного струму» пп.6.4, 6.5 [1, с. 344–353].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 6.5 – 6.8 [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 підключено амперметр PA_1 послідовно з котушкою K_1 , що імітує лінію електропередачі. Паралельно автотрансформатору включені послідовно з'єднані резистор R_1 і котушка K_2 , які імітують навантаження, послідовно з яким підключений амперметр PA_2 . Паралельно навантаженню включено конденсатор C_1 регульованої ємності, послідовно з яким підключений амперметр PA_3 . У загальну частину кола включений 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 11.1.

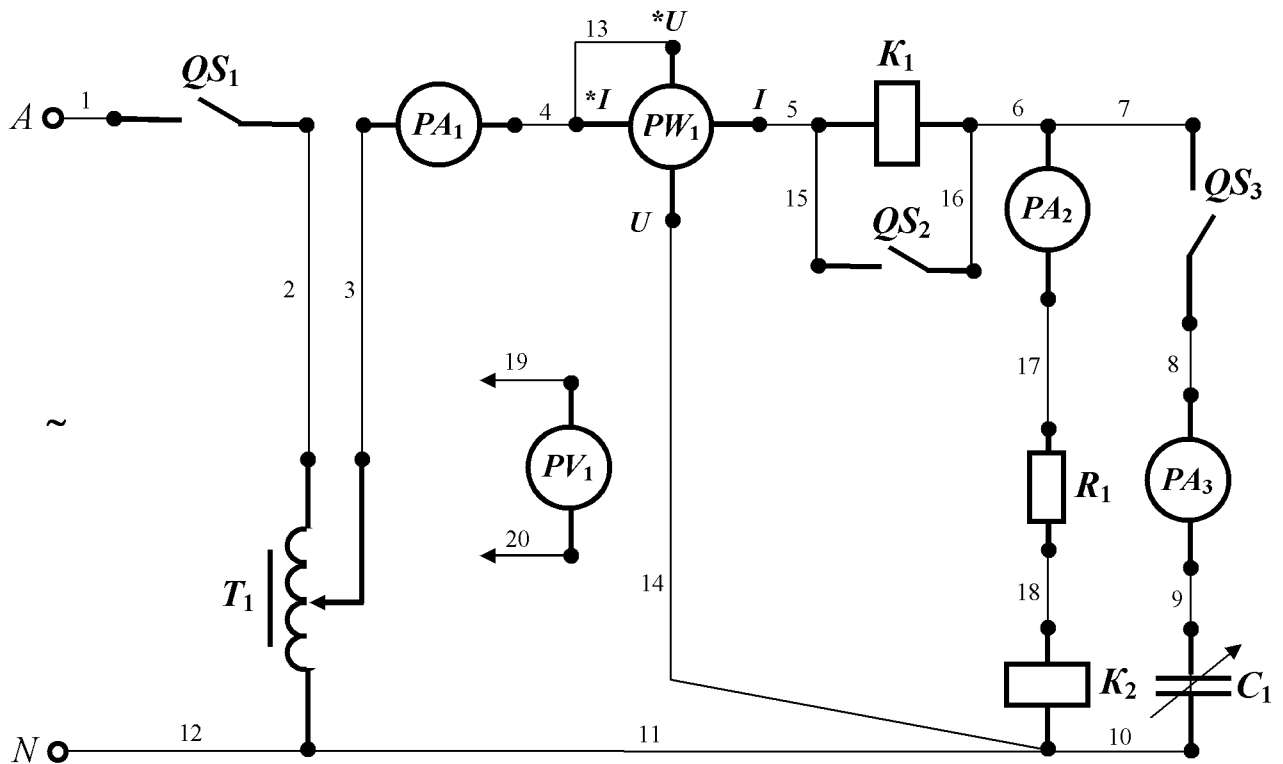


Рисунок 11.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 20 провідників (на схемі позначені номерами 1-20).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункових схем прийняті наступні допущення:

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

Тоді розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки в комплексній формі мають вигляд, наведені на рисунках 11.2, 11.3 та 11.4.

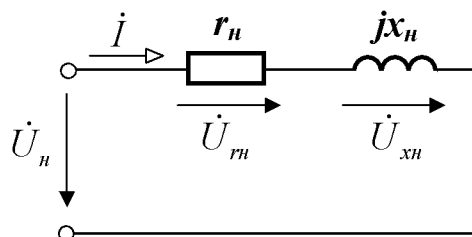


Рисунок 11.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикачі QS_1 , QS_2 замкнені; вимикач QS_3 розімкнений)

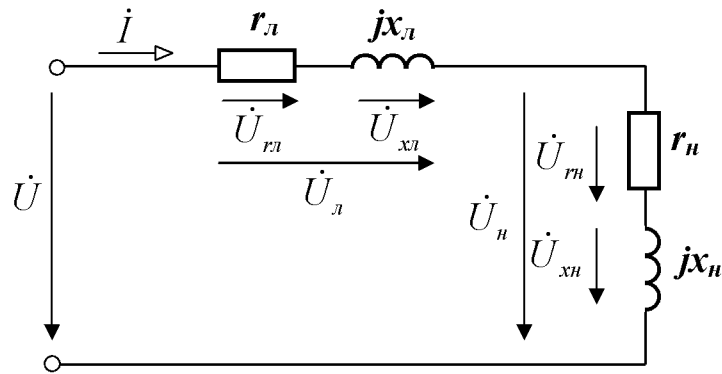


Рисунок 11.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикач QS_1 замкнений; вимикач QS_2, QS_3 розімкнені)

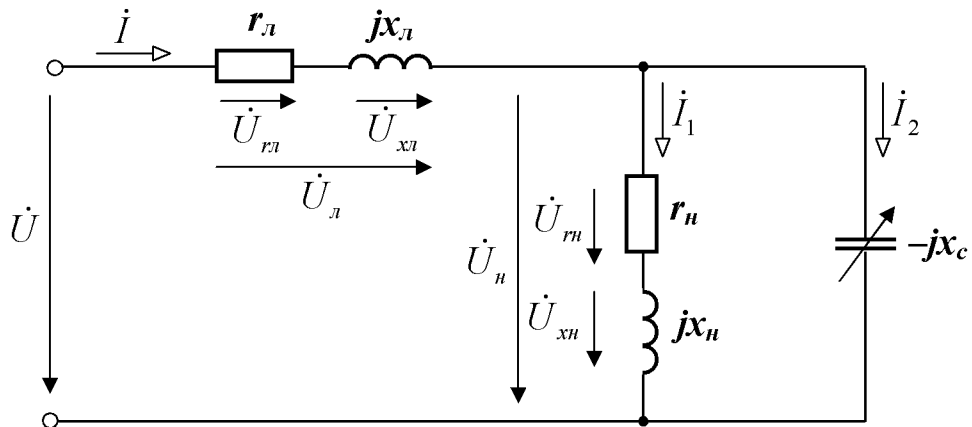


Рисунок 11.4 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикачі QS_1, QS_3 , замкнені; вимикач QS_2 розімкнений)

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 ;
- \dot{I}_1 – комплекс діючого значення сили струму у навантаженні, A ;
- \dot{I}_2 – комплекс діючого значення сили струму у конденсаторі, 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 ;
- $-jx_c$ – комплекс ємнісного опору конденсатора, Om ;
- \dot{U}_l – комплекс діючого значення спадання напруги в лінії, B ;
- \dot{U}_{rl} – 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 11.1, зняти напругу.

Таблиця 11.1 – Показання приладів для визначення параметрів кола

Умови проведення експерименту	Показання приладів						
	$U_1,$ B	$U_2,$ B	$U_3,$ B	$I_1,$ A	$I_2,$ A	$I_3,$ A	$P,$ Bm
1 Вимикачі QS ₁ , QS ₂ замкнені; вимикач QS ₃ розімкнений		не знімати	не знімати		не знімати	не знімати	
2 Вимикачі QS ₁ , замкнені; вимикачі QS ₂ , QS ₃ розімкнені					не знімати	не знімати	

- де U_1 – показання вольтметра, включеного на вторинних затискачах автотрансформатора;
 U_2 – показання вольтметра, включеного на затискачах лінії електропередачі;
 U_3 – показання вольтметра, включеного на затискачах навантаження.

*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:

$$P_n = r_n \cdot I^2, \quad (11.1)$$

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

$$I = \frac{U_n}{\bar{z}_n}, \quad (11.2)$$

- реактивний опір навантаження, використовуючи рівняння:

$$\bar{z}_n = \sqrt{r_n^2 + x_n^2}, \quad (11.3)$$

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

$$\varphi_n = \arccos \frac{r_n}{z_n}. \quad (11.4)$$

Визначення параметрів кола за результатами другого експерименту

5.6 Записати за допомогою експериментальних даних:

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

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних:

- активний опір кола, використовуючи рівняння:

$$P = r \cdot I^2, \quad (11.5)$$

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

$$I = \frac{U}{z}, \quad (11.6)$$

- реактивний опір кола, використовуючи рівняння:

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}. \quad (11.7)$$

Визначення параметрів лінії електропередачі за результатами розрахунків першого та другого експериментів

5.8 Визначити за допомогою розрахункових даних:

- активний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$r = r_l + r_n, \quad (11.8)$$

- реактивний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$x = x_l + x_n, \quad (11.9)$$

- повний опір лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$\bar{\varepsilon}_l = \sqrt{r_l^2 + x_l^2}, \quad (11.10)$$

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

$$\varphi_l = \arccos \frac{r_l}{\bar{\varepsilon}_l}. \quad (11.11)$$

Визначення параметрів конденсаторної установки, необхідних для компенсації реактивної потужності навантаження, за результатами попередніх розрахунків

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних і експериментальних даних першого експерименту реактивну потужність конденсатора, необхідну для компенсації реактивної потужності навантаження до кута зсуву фаз навантаження $\varphi = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$Q_c = P_n \cdot (tg \varphi_n - tg \varphi). \quad (11.12)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних і експериментальних даних другого експерименту ємнісний опір конденсатора, необхідний для компенсації реактивної потужності навантаження, використовуючи рівняння:

$$x_c = \frac{U_n^2}{Q_c}. \quad (11.13)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних ємність конденсатора, необхідну для компенсації реактивної потужності навантаження, якщо частота струму дорівнює 50 Гц, використовуючи рівняння:

$$x_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_{ком}}. \quad (11.14)$$

Проведення режимів компенсації реактивної потужності навантаження

5.12 На експериментальній установці вимикач QS₃ замкнути, вимикач QS₂ розімкнути.

5.13 Встановити ємність конденсатора, набагато меншу за C_{комп}. Подати напругу на затискачі експериментальної установки. За допомогою автотрансформатора встановити таке значення напруги на навантаженні, яке во-

на мала у другому експерименті. Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 11.2. Зняти напругу.

5.14 Встановити ємність конденсатора, яка дорівнює $C_{\text{комп}}$. Подати напругу на затискачі експериментальної установки. За допомогою автотрансформатора встановити таке значення напруги на навантаженні, яке вона мала у другому експерименті. Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 11.2. Зняти напругу.

5.15 Встановити ємність конденсатора набагато більшу за $C_{\text{комп}}$. Подати напругу на затискачі експериментальної установки. За допомогою автотрансформатора встановити таке значення напруги на навантаженні, яке вона мала у другому експерименті. Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 11.2. Зняти напругу.

Таблиця 11.2 – Показання приладів для дослідження режиму компенсації

Умови проведення експериментів	Показання приладів						
	$U_1,$ B	$U_2,$ B	$U_3,$ B	$I_1,$ A	$I_2,$ A	$I_3,$ A	$P,$ $Вт$
3 Вимикачі QS_1, QS_3 замкнені; вимикач QS_2 розімкнений ($C < C_{\text{комп}}$)							
4 Вимикачі QS_1, QS_3 замкнені; вимикач QS_2 розімкнений ($C = C_{\text{комп}}$)							
5 Вимикачі QS_1, QS_3 замкнені; вимикач QS_2 розімкнений ($C > C_{\text{комп}}$)							

Аналіз режиму компенсації реактивної потужності навантаження

5.16 Побудувати в масштабі векторні діаграми електричного кола для трьох режимів:

- режим неповної компенсації (третій експеримент);
- режим заданої компенсації (четвертий експеримент);
- режим перекомпенсації (п'ятий експеримент).

Початкову фазу напруги навантаження прийняти $\psi_{\text{ин}} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач).

5.17 Записати у таблицю 11.3, використовуючи експериментальні данні, спадання напруги в лінії електропередачі у наступних режимах роботи кола:

- режим без компенсації (другий експеримент);
- режим неповної компенсації (третій експеримент);
- режим заданої компенсації (четвертий експеримент);
- режим перекомпенсації (п'ятий експеримент).

Таблиця 11.3 – Значення спадання напруги в лінії електропередачі

$U_{л}, B$ без компенсації	$U_{л}, B$ неповна компенсація	$U_{л}, B$ задана компенсація	$U_{л}, B$ перекомпенсація

Порівняти їх значення між собою. Пояснити відмінність значень одне від одного.

5.18 Визначити, використовуючи експериментальні данні, втрату напруги в лінії електропередачі у наступних режимах роботи кола:

- режим без компенсації (другий експеримент);
- режим неповної компенсації (третій експеримент);
- режим заданої компенсації (четвертий експеримент);
- режим перекомпенсації (п'ятий експеримент).

Результати занести у таблицю 11.4.

Таблиця 11.4 – Значення втрати напруги в лінії електропередачі

$\Delta U_{л}, B$ без компенсації	$\Delta U_{л}, B$ неповна компенсація	$\Delta U_{л}, B$ задана компенсація	$\Delta U_{л}, B$ перекомпенсація

Порівняти їх значення між собою. Пояснити відмінність значень одне від одного.

5.19 Записати у таблицю 11.5, використовуючи експериментальні данні, активну потужність, споживану колом, у наступних режимах роботи кола:

- режим без компенсації (другий експеримент);
- режим неповної компенсації (третій експеримент);
- режим заданої компенсації (четвертий експеримент);
- режим перекомпенсації (п'ятий експеримент).

Таблиця 11.5 – Значення активної потужності, споживаної колом

$P, Вт$ без компенсації	$P, Вт$ неповна компенсація	$P, Вт$ задана компенсація	$P, Вт$ перекомпенсація

Порівняти їх значення між собою. Пояснити відмінність значень одне від одного.

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 Таблиця 11.2.
- 6.8 Векторні діаграми для вказаних режимів роботи кола.
- 6.9 Таблиці 11.3 – 11.5 з порівняннями і поясненнями.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть фізичні явища, які спостерігаються в лінії електропередачі і навантаженні активно-індуктивного характеру, паралельно якому включено конденсатор, при живленні від джерела синусоїдного струму.
- 7.2 Складіть розрахункову схему електричного кола з п.7.1 в комплексній формі для діючих значень.
- 7.3 Запишіть математичний вираз для визначення комплексу повного опору навантаження і конденсатора кола з п.7.2.
- 7.4 Запишіть математичний вираз для визначення комплексу повного опору кола з п.7.2.
- 7.5 Запишіть математичний вираз для визначення комплексу діючого значення сили струму кола з п.7.2.
- 7.6 Запишіть математичний вираз для визначення комплексу діючого значення спадання напруги в лінії кола з п.7.2.
- 7.7 Запишіть математичний вираз для визначення комплексу діючого значення напруги навантаження кола з п.7.2.
- 7.8 Запишіть математичний вираз для визначення комплексу діючого значення сили струму навантаження кола з п.7.2.
- 7.9 Запишіть математичний вираз для визначення комплексу діючого значення сили струму конденсатора кола з п.7.2.
- 7.10 Запишіть рівняння за першим законом Кірхгофа для одного з вузлів кола з п.7.2.
- 7.11 Запишіть рівняння за другим законом Кірхгофа для кола з п.7.2.
- 7.12 Як визначити втрати активної потужності в лінії електропередачі кола з п.7.2?
- 7.13 Як визначити потужності навантаження кола з п.7.2?
- 7.14 Що розуміється під резонансом струмів?
- 7.15 За якої умови виникає резонанс струмів?
- 7.16 Як досягається умова виникнення резонансу струмів?
- 7.17 Дайте характеристику режиму резонансу струмів.
- 7.18 Яку за характером електричну енергію споживають змішані виробничі споживачі?
- 7.19 Для чого змішані виробничі споживачі споживають електричну енергію активного характеру?
- 7.20 Для чого змішані виробничі споживачі споживають електричну енергію індуктивного характеру?
- 7.21 Що розуміють під компенсацією реактивної потужності змішаного виробничого споживача?

- 7.22 Який пристрій використовується для компенсації реактивної потужності індуктивності навантаження? Як він вмикається у коло?
- 7.23 Запишіть математичний вираз для визначення реактивної потужності конденсаторної установки для компенсації реактивної енергії навантаження.
- 7.24 Запишіть математичні вирази для визначення ємнісного опору та ємності конденсаторної установки для компенсації реактивної енергії навантаження.
- 7.25 За якої умови в електричному колі виникає неповна компенсація реактивної потужності індуктивності навантаження?
- 7.26 За якої умови в електричному колі виникає повна компенсація реактивної потужності індуктивності навантаження?
- 7.27 За якої умови в електричному колі виникає перекомпенсація реактивної потужності індуктивності навантаження?
- 7.28 Побудуйте векторні діаграми кола з п.7.2 за умови незмінності напруги навантаження, якщо її початкова фаза дорівнює нулю, для наступних режимів: неповна компенсація, повна компенсація, перекомпенсація.
- 7.29 Що відбувається зі струмом в лінії електропередачі в режимі повної компенсації реактивної потужності навантаження? Чому?
- 7.30 Що відбувається зі спаданням напруги в лінії електропередачі в режимі повної компенсації реактивної потужності навантаження? Чому?
- 7.31 Що відбувається з втратою напруги в лінії електропередачі в режимі повної компенсації реактивної потужності навантаження? Чому?
- 7.32 Чому дорівнює реактивна потужність, яку споживає навантаження з джерела, в режимі повної компенсації його реактивної потужності?
- 7.33 Чому дорівнює повна потужність навантаження в режимі повної компенсації реактивної потужності навантаження?
- 7.34 Що відбувається з втратами потужності в лінії електропередачі в режимі повної компенсації реактивної потужності навантаження? Чому?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

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 12.1.

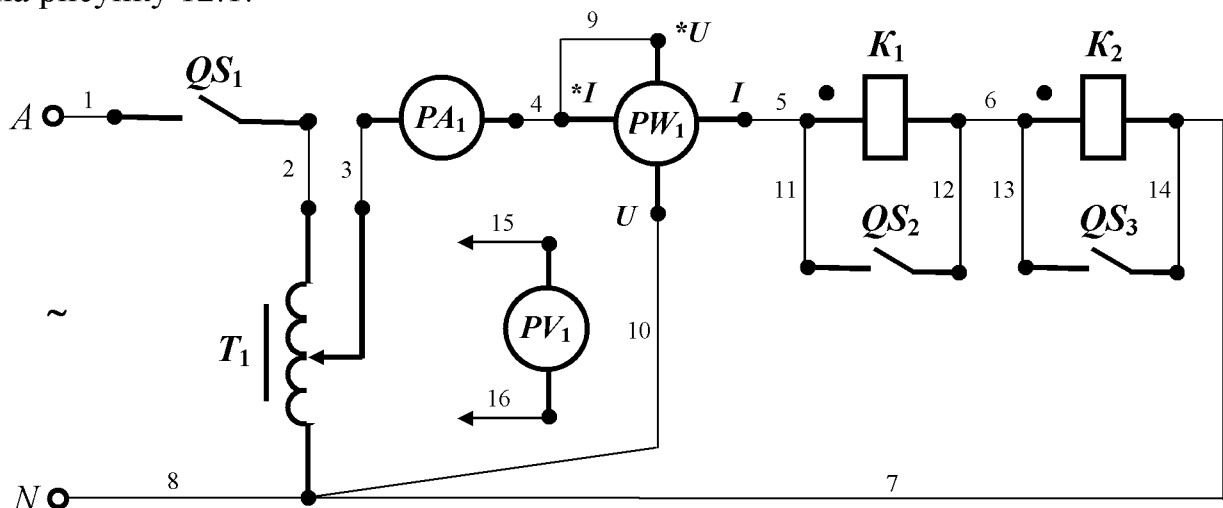


Рисунок 12.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 12.2 – 12.4.

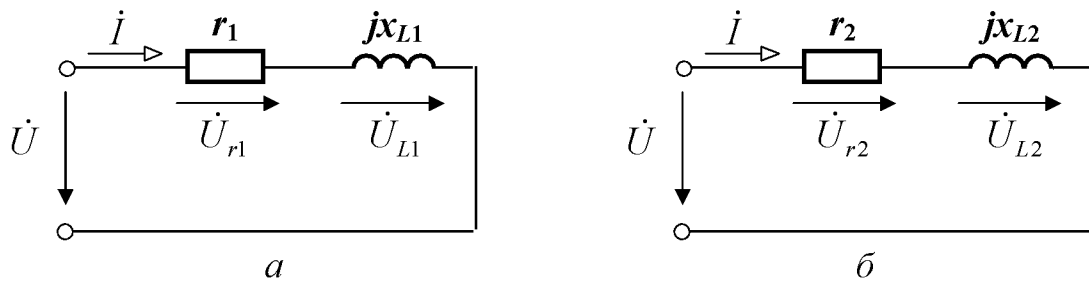


Рисунок 12.2 – Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки (*a* – якщо вимикачі QS₁, QS₃ замкнені, вимикач QS₂ розімкнений; *б* – якщо вимикачі QS₁, QS₂ замкнені, вимикач QS₃ розімкнений)

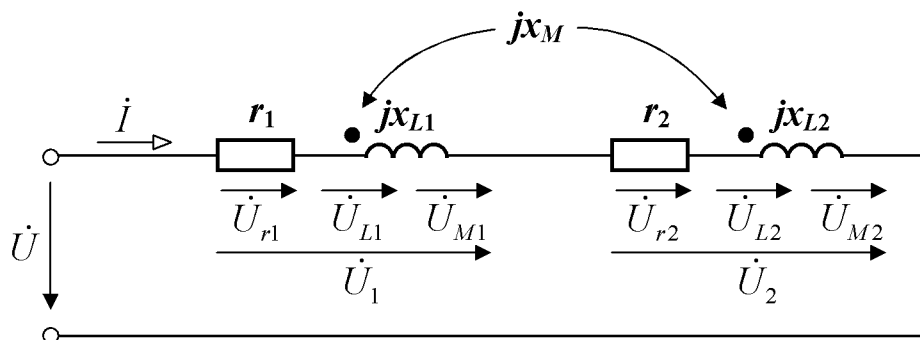


Рисунок 12.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикач QS₁ замкнений, вимикачі QS₂, QS₃ розімкнені, котушки включені згідно)

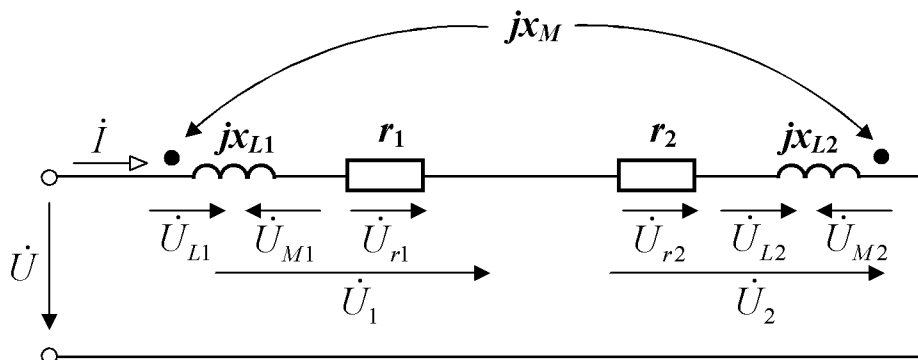


Рисунок 12.4 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки (якщо вимикач QS₁ замкнений, вимикачі QS₂, QS₃ розімкнені, котушки включені зустрічно)

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, *Ом*;
- jx_{L1} – комплекс індуктивного опору першої котушки, *Ом*;
- r_2 – активний опір другої котушки, *Ом*;
- jx_{L2} – комплекс індуктивного опору другої котушки, *Ом*;

jx_M – комплекс індуктивного опору взаємної індукції котушок, Ом;
 \dot{U}_1 – комплекс діючого значення напруги на затискачах першої котушки, В;
 \dot{U}_{r1} – комплекс діючого значення спадання напруги на активному опорі першої котушки, В;
 \dot{U}_{L1} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі першої котушки, В;
 \dot{U}_{M1} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі взаємної індукції першої котушки, В;
 \dot{U}_2 – комплекс діючого значення напруги на затискачах другої котушки, В;
 \dot{U}_{r2} – комплекс діючого значення спадання напруги на активному опорі другої котушки, В;
 \dot{U}_{L2} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі другої котушки, В;
 \dot{U}_{M2} – комплекс діючого значення спадання напруги на індуктивному опорі взаємної індукції другої котушки, В.

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 12.1 для першого експерименту;
- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- зняти показання приладів, результати занести в таблицю 12.1;
- зняти напругу із затискачів експериментальної установки;
- поставити відповідні вимикачі у необхідні положення, які вказані у таблиці 12.1 для другого експерименту;
- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- зняти показання приладів, результати занести в таблицю 12.1;
- 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 12.1 для третього експерименту;

- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- зняти показання приладів, результати занести в таблицю 12.1;
- зняти напругу із затискачів експериментальної установки;
- включити котушки зустрічно;
- поставити відповідні вимикачі у необхідні положення, які вказані у таблиці 12.1 для четвертого експерименту;
- подати напругу на затискачі експериментальної установки;
- зняти показання приладів, результати занести в таблицю 12.1;
- зняти напругу із затискачів експериментальної установки.

Таблиця 12.1 – 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 вольтметра, включеного на вторинних затискачах автотрансформатора;

U_2 – показання вольтметра, включеного на затискачах першої котушки;

U_3 – показання вольтметра, 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:

$$P = r_1 \cdot I^2; \quad (12.1)$$

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

$$I = \frac{U}{z_1}; \quad (12.2)$$

- реактивний опір першої котушки, використовуючи рівняння:

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_{L1}^2}; \quad (12.3)$$

- індуктивність першої котушки за частоти 50 Гц, використовуючи рівняння:

$$x_{L1} = 2\pi \cdot f \cdot L_1. \quad (12.4)$$

*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:

$$P = r_2 \cdot I^2; \quad (12.5)$$

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

$$I = \frac{U}{z_2}; \quad (12.6)$$

- реактивний опір другої котушки, використовуючи рівняння:

$$z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_{L2}^2}; \quad (12.7)$$

- індуктивність другої котушки за частоти 50 Гц, використовуючи рівняння:

$$x_{L2} = 2\pi \cdot f \cdot L_2. \quad (12.8)$$

*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:

$$P = r \cdot I^2; \quad (12.9)$$

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

$$I = \frac{U}{z_{\text{згідн}}}; \quad (12.10)$$

- реактивний опір двох котушок, використовуючи рівняння:

$$z_{\text{згідн}} = \sqrt{r^2 + x_{L(\text{згідн})}^2}; \quad (12.11)$$

- реактивний опір взаємної індукції кожної котушки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(\text{згідн})} = x_{L1} + x_{L2} + 2x_M; \quad (12.12)$$

- індуктивність двох котушок за частоти 50 Гц , використовуючи рівняння:

$$x_{L(\text{згідн})} = 2\pi \cdot f \cdot L_{\text{згідн}}; \quad (12.13)$$

- взаємну індуктивність кожної котушки за частоти 50 Гц , використовуючи рівняння:

$$x_M = 2\pi \cdot f \cdot M; \quad (12.14)$$

- коефіцієнт індуктивного зв'язку котушок, використовуючи рівняння:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}. \quad (12.15)$$

5.11 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{згідн} = r + jx_{L(згідн)}, \quad (12.16)$$

і в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{згідн} = \underline{z}_{згідн} \cdot e^{j\varphi_{згідн}}. \quad (12.17)$$

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:

$$P = r \cdot I^2; \quad (12.18)$$

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

$$I = \frac{U}{z_{зустр}}; \quad (12.19)$$

- реактивний опір двох котушок, використовуючи рівняння:

$$z_{зустр} = \sqrt{r^2 + x_{L(зустр)}^2}; \quad (12.20)$$

- реактивний опір взаємної індукції кожної котушки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(зустр)} = x_{L1} + x_{L2} - 2x_M; \quad (12.21)$$

- індуктивність двох котушок за частоти 50 Гц, використовуючи рівняння:

$$x_{L(зустр)} = 2\pi \cdot f \cdot L_{зустр}; \quad (12.22)$$

- взаємну індуктивність кожної котушки за частоти 50 Гц , використовуючи рівняння:

$$x_M = 2\pi \cdot f \cdot M ; \quad (12.23)$$

- коефіцієнт індуктивного зв'язку котушок, використовуючи рівняння:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} . \quad (12.24)$$

5.14 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола в алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{зустр} = r + jx_{L(зустр)} , \quad (12.25)$$

і в показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{зустр} = \underline{z}_{зустр} \cdot e^{j\varphi_{зустр}} . \quad (12.26)$$

5.15 Занести отримані значення в таблицю 12.2.

Таблиця 12.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$r_1,$ Ом	$r_2,$ Ом	$r,$ Ом	$x_{L1},$ Ом	$x_{L2},$ Ом	$L_1,$ мГн	$L_2,$ мГн	$K_{згідн}$	$K_{зустр}$	$M_{згідн},$ мГн	$M_{зустр},$ мГн

Продовження таблиці 12.2

$L_{згідн},$ мГн	$L_{зустр},$ мГн	$x_{L(згідн)},$ Ом	$x_{L(зустр)},$ Ом	$x_{M(згідн)},$ Ом	$x_{M(зустр)},$ Ом	$Z_{згідн},$ Ом алгебраїч- на форма	$Z_{зустр},$ Ом алгебраїч- на форма	$Z_{згідн},$ Ом показова форма	$Z_{зустр},$ Ом 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 12.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Векторна діаграма.
- 6.8 Таблиця 12.2.

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 активного 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.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

Тема. Дослідження роботи симетричного трифазного генератора, з'єднаного зіркою, у режимі холостого ходу

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг симетричного трифазного генератора, з'єднаного зіркою, у режимі холостого ходу

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 «Симетричні трифазні кола синусоїдного струму», пп.8.1 – 8.3 [2, с. 8–25].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.1 – 8.4 [6].
- 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 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані за схемою «зірка», переносний вольтметр зі щупами PV_1 та вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 13.1.

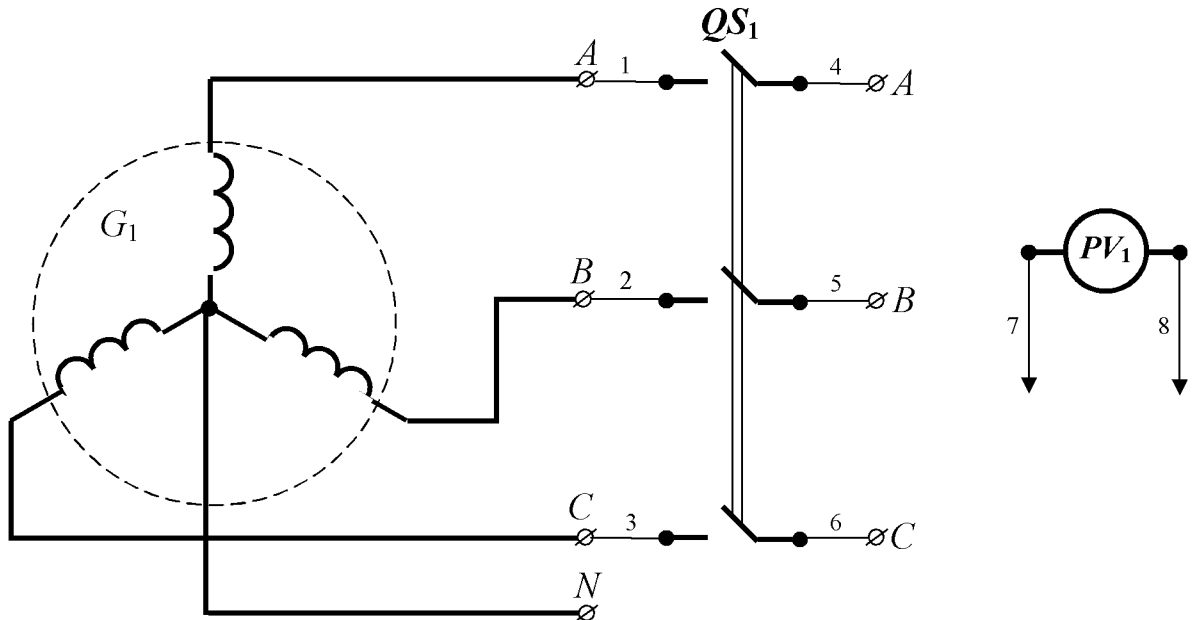


Рисунок 13.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 8 провідників (на схемі позначені номерами 1-8).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки в комплексній формі має вигляд, наведений на рисунку 13.2.

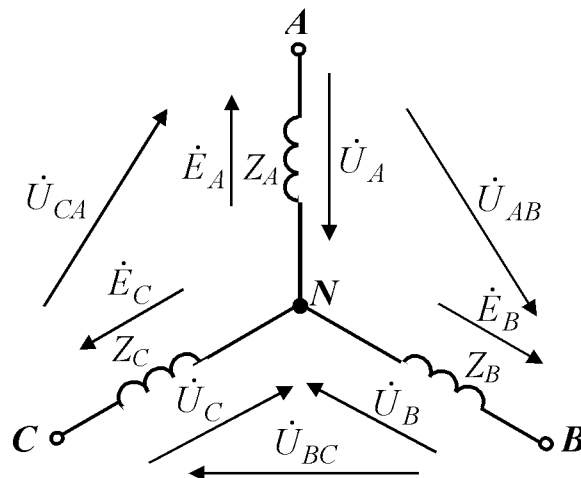


Рисунок 13.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки в комплексній формі для діючих значень

- На розрахунковій схемі наведені наступні умовні позначення:
- \dot{E}_A – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі A генератора, B ;
 - \dot{E}_B – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі B генератора, B ;
 - \dot{E}_C – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі C генератора, B ;
 - \dot{U}_A – комплекс діючого значення напруги фази A генератора, B ;
 - \dot{U}_B – комплекс діючого значення напруги фази B генератора, B ;
 - \dot{U}_C – комплекс діючого значення напруги фази C генератора, B ;
 - \dot{U}_{AB} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз A і B генератора, B ;
 - \dot{U}_{BC} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз B і C генератора, B ;
 - \dot{U}_{CA} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз C і A генератора, B ;
 - Z_A – комплекс повного опору фази A генератора, Om ;
 - Z_B – комплекс повного опору фази B генератора, Om ;
 - Z_C – комплекс повного опору фази C генератора, Om .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Замкнути вимикач QS_1 .

5.3 Виміряти діючі значення лінійних і фазних напруг генератора, результати занести в таблицю 13.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 13.1 – Показання приладів

$U_{A, B}$	$U_{B, B}$	$U_{C, B}$	$U_{AB, B}$	$U_{BC, B}$	$U_{CA, B}$

5.4 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{ф.г} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (13.1)$$

5.5 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення лінійної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{л.г} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}. \quad (13.2)$$

5.6 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги фази A генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї напруги $\psi_{uA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{uA}}. \quad (13.3)$$

5.7 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги фази B генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ}. \quad (13.4)$$

5.8 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги фази C генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (13.5)$$

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз A і B генератора у показовій формі двома способами, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_A \cdot e^{j30^\circ}; \quad (13.6)$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B. \quad (13.7)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз B і C генератора у показовій формі двома способами, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (13.8)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C. \quad (13.9)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз C і A генератора у показовій формі двома способами, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j240^\circ}; \quad (13.10)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \quad (13.11)$$

5.12 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень фазних напруг і лінійних напруг (які отримані через вектори фазних напруг) трифазного генератора.

5.13 Результати розрахунків занести в таблицю 13.2.

Таблиця 13.2 – Фізичні величини, що характеризують трифазний генератор

$\dot{U}_{A,B}$	$\dot{U}_{B,B}$	$\dot{U}_{C,B}$	$\dot{U}_{AB,B}$	$\dot{U}_{BC,B}$	$\dot{U}_{CA,B}$

5.14 Визначити співвідношення між діючими значеннями лінійної та фазної напруги трифазного генератора, використовуючи їх середні значення з п.5.4 і п.5.5.

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних суму комплексів діючих значень фазних напруг трифазного генератора.

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 13.1.

6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.6 Розрахунок шуканих величин.

6.7 Векторна діаграма.

6.8 Таблиця 13.2. Співвідношення між напругами.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Опишіть конструкцію трифазного генератора.

7.2 Що таке фаза трифазного генератора?

7.3 Чому генератор називають трифазним?

7.4 Який трифазний генератор називають симетричним?

7.5 Які фізичні явища покладені в основу принципу дії трифазного генератора?

7.6 Опишіть фізичні явища, які покладені в основу принципу дії трифазного генератора.

7.7 Опишіть принцип дії трифазного генератора.

7.8 Як співвідносяться за фазою е.р.с. у фазах трифазного симетричного генератора? Чому?

7.9 Як співвідносяться амплітудні значення е.р.с. у фазах трифазного симетричного генератора? Чому?

7.10 Запишіть рівняння миттєвих е.р.с. фаз трифазного симетричного генератора, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази А дорівнює нулю.

- 7.11 Запишіть у показовій формі комплекси амплітудних значень е.р.с. фаз трифазного симетричного генератора, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази A дорівнює нулю.
- 7.12 Як співвідносяться амплітудне та діюче значення е.р.с. окремої фази трифазного симетричного генератора?
- 7.13 Як співвідносяться діючі значення е.р.с. у фазах трифазного симетричного генератора? Чому?
- 7.14 Запишіть у показовій та алгебраїчній формах комплекси діючих значень е.р.с. фаз трифазного симетричного генератора, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази A дорівнює нулю.
- 7.15 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму комплексів діючих значень е.р.с. трифазного симетричного генератора.
- 7.16 Чому дорівнює сума миттєвих значень е.р.с. трифазного симетричного генератора?
- 7.17 Чому дорівнює сума комплексів максимальних значень е.р.с. трифазного симетричного генератора?
- 7.18 Чому дорівнює сума комплексів діючих значень е.р.с. трифазного симетричного генератора?
- 7.19 Як з'єднують фази трифазного генератора за схемою зірки?
- 7.20 Складіть розрахункову схему трифазного генератора при з'єднанні його фаз зіркою у комплексній формі для діючих значень у режимі холостого ходу.
- 7.21 Що таке фазна напруга трифазного генератора?
- 7.22 Як вимірити діюче значення фазної напруги трифазного генератора?
- 7.23 Як співвідносяться за фазою комплекси фазних напруг трифазного симетричного генератора?
- 7.24 Запишіть комплекси діючих значень фазних напруг при холостому ході трифазного симетричного генератора і з'єднанні його фаз зіркою, якщо початкова фаза напруги на фазі A дорівнює нулю.
- 7.25 Чому дорівнює сума комплексів фазних напруг трифазного симетричного генератора?
- 7.26 Що таке лінійна напруга трифазного генератора?
- 7.27 Як вимірити діюче значення лінійної напруги трифазного генератора?
- 7.28 Як співвідносяться діючі значення лінійної та фазної напруги трифазного симетричного генератора при з'єднанні його фаз зіркою?
- 7.29 Як співвідносяться за фазою напруга на фазі A і напруга між затискачами фаз A і B трифазного симетричного генератора при з'єднанні його фаз зіркою?
- 7.30 Як співвідносяться за фазою комплекси лінійних напруг трифазного симетричного генератора?
- 7.31 Запишіть комплекси діючих значень лінійних напруг при холостому ході трифазного симетричного генератора і з'єднанні його фаз зіркою для фазних напруг з п.7.24.

7.32 Як визначити комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз A і B трифазного симетричного генератора, з'єданого зіркою, через комплекс діючого значення напруги на фазі A генератора?

7.33 Як визначити комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз A і B трифазного генератора, з'єданого зіркою, через комплекси діючих значень напруг фаз A і фаз B генератора?

7.34 Як визначити комплекс діючого значення напруги на фазі A трифазного симетричного генератора, з'єданого зіркою, через комплекс діючого значення напруги між затискачами фаз A і B генератора?

7.35 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму комплексів діючих значень фазних і лінійних напруг трифазного симетричного генератора при з'єднанні його фаз зіркою у режимі холостого ходу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

Тема. Дослідження роботи симетричного трифазного навантаження, з'єданого зіркою

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг, фазних і лінійних струмів, потужностей симетричного трифазного навантаження, з'єданого зіркою

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 «Симетричні трифазні кола синусоїдного струму», пп.8.2, 8.3 [2, с. 12–25].

1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.3 – 8.4 [6].

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 трифазне навантаження, фази якого з'єдані зіркою. Фази навантаження складаються з індуктивних катушок K_1 , K_2 , K_3 з однаковими параметрами. Трифазне навантаження підключено до трифазного джерела, затискачі якого позначено літерами A, B, C .

У лінійні проводи включені три амперметри PA_1 , PA_2 , PA_3 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 і вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 14.1.

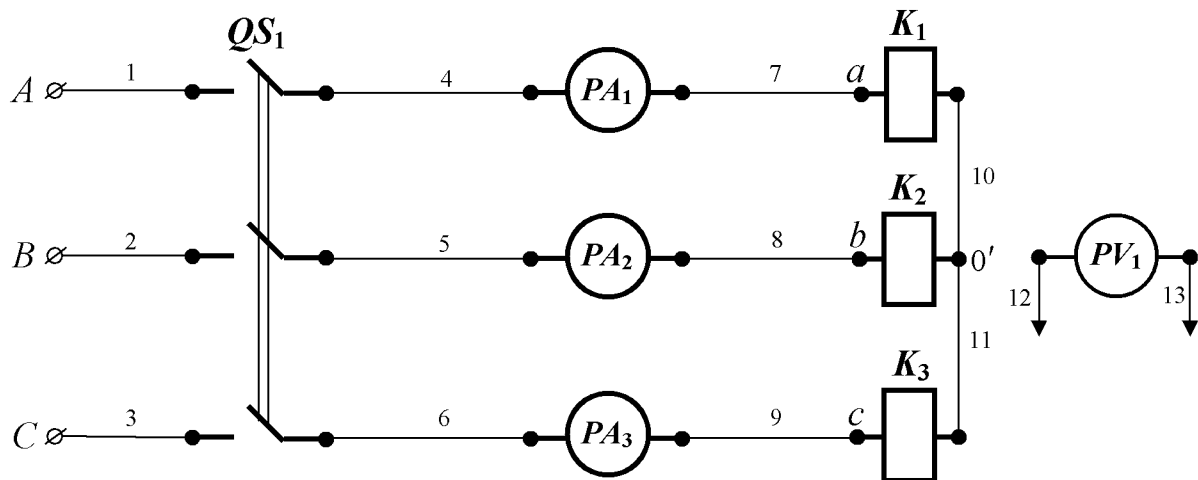


Рисунок 14.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 13 провідників (на схемі позначені номерами 1-13).

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;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ній не протікає.

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

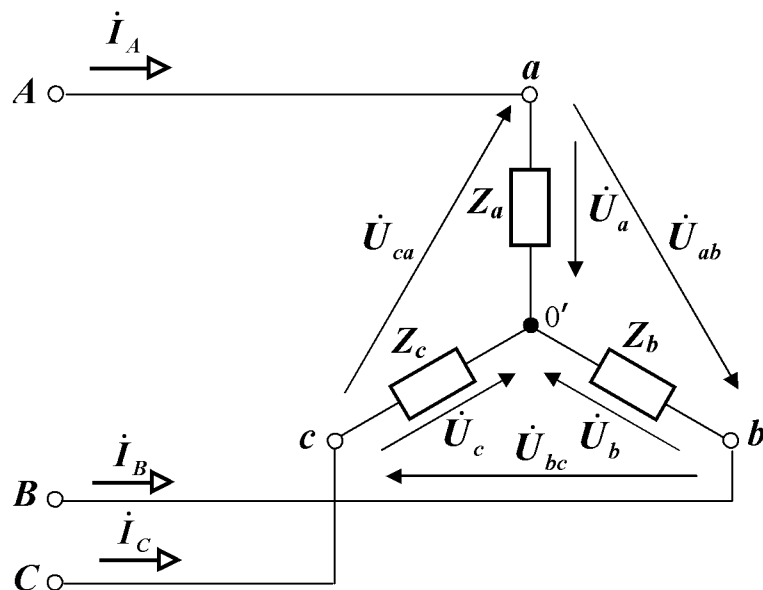


Рисунок 14.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- \dot{I}_A – комплекс діючого значення сили струму у фазі a навантаження та у лінійному проводі $A-a, A$;
- \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у фазі b навантаження та у лінійному проводі $B-b, A$;
- \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у фазі c навантаження та у лінійному проводі $C-c, A$;
- \dot{U}_a – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази a навантаження, B ;
- \dot{U}_b – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази b навантаження, B ;
- \dot{U}_c – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази c навантаження, B ;
- \dot{U}_{ab} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз a і b навантаження, B ;
- \dot{U}_{bc} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз b і c навантаження, B ;
- \dot{U}_{ca} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз c і a навантаження, B ;
- Z_a – комплекс повного опору фази a навантаження, Om ;
- Z_b – комплекс повного опору фази b навантаження, Om ;
- Z_c – комплекс повного опору фази c навантаження, Om .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Замкнути вимикач QS_1 .

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 14.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 14.1 – Показання приладів

U_a, B	U_b, B	U_c, B	U_{ab}, B	U_{bc}, B	U_{ca}, B	I_A, A	I_B, A	I_C, A

5.4 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазного (лінійного) струму трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$I_{\phi.n} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} \quad (14.1)$$

5.5 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної напруги трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$U_{\text{ф.н}} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3}. \quad (14.2)$$

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення лінійної напруги трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$U_{\text{л.н}} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (14.3)$$

5.7 Записати за вказівкою викладача комплекс повного опору фази a навантаження у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_a = r_a + jx_a, \quad (14.4)$$

де r_a – активний опір фази a навантаження, $Ом$;
 x_a – індуктивний опір фази a навантаження, $Ом$.

5.8 Визначити комплекс повного опору фази a навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= \underline{z}_a \cdot e^{j\varphi_a}; \\ \underline{z}_a &= \sqrt{r_a^2 + x_a^2}; \\ \varphi_a &= \text{arctg} \frac{x_a}{r_a}, \end{aligned} \right\} \quad (14.5)$$

де \underline{z}_a – повний опір фази a навантаження, $Ом$;
 φ_a – кут зсуву фаз фази a навантаження, $градус$.

5.9 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги фази a навантаження у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї напруги $\psi_{ua} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_a = U_{\text{ф.н}} \cdot e^{j\psi_{ua}}. \quad (14.6)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг фази b і фази c навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (14.7)$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_a \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (14.8)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз a і b навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_a \cdot e^{j30^\circ}. \quad (14.9)$$

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень лінійних напруг між затискачами фаз b і c та між затискачами фаз c і a навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (14.10)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (14.11)$$

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення струму у фазі a навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}. \quad (14.12)$$

5.14 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень струмів у фазах b і c навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (14.13)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (14.14)$$

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності трифазного навантаження у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = 3 \cdot \dot{U}_a \cdot I_A^* \quad (14.18)$$

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних активну потужність трифазного навантаження трьома способами, використовуючи рівняння:

$$P_n = 3 \cdot U_a \cdot I_A \cdot \cos \varphi_a; \quad (14.19)$$

$$P_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_a; \quad (14.20)$$

$$P_n = 3 \cdot r_a \cdot I_A^2 \quad (14.21)$$

Отримані результати порівняти між собою та з аналогічним, який отриманий у пункті 5.15.

5.17 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивну потужність трифазного навантаження трьома способами, використовуючи рівняння:

$$Q_n = 3 \cdot U_a \cdot I_A \cdot \sin \varphi_a; \quad (14.22)$$

$$Q_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A \cdot \sin \varphi_a; \quad (14.23)$$

$$Q_n = 3 \cdot x_a \cdot I_A^2 \quad (14.24)$$

Отримані результати порівняти між собою та з аналогічним, який отриманий у пункті 5.15.

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних повну потужність трифазного навантаження трьома способами, використовуючи рівняння:

$$S_n = 3 \cdot U_a \cdot I_A; \quad (14.25)$$

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A; \quad (14.26)$$

$$S_n = 3 \cdot z_a \cdot I_A^2 \quad (14.27)$$

Отримані результати порівняти між собою та з аналогічним, який отриманий у пункті 5.15.

5.19 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів трифазного навантаження.

5.20 Результати розрахунків занести в таблицю 14.2.

Таблиця 14.2 – Фізичні величини, що характеризують навантаження

$\dot{U}_{a, B}$	$\dot{U}_{b, B}$	$\dot{U}_{c, B}$	$\dot{U}_{ab, B}$	$\dot{U}_{bc, B}$	$\dot{U}_{ca, B}$	$Z_a, \text{Ом}$	$\dot{I}_{A, A}$	$\dot{I}_{B, A}$	$\dot{I}_{C, A}$

Продовження таблиці 14.2

$\tilde{S}_n, \text{ВА}$ показова форма	$\tilde{S}_n, \text{ВА}$ алгебраїчна форма	$P_n, \text{Вт}$	$Q_n, \text{ВАр}$	$S_n, \text{ВА}$

5.21 Визначити співвідношення між діючими значеннями лінійної та фазної напруги трифазного навантаження, використовуючи їх середні значення з п.5.5 і п.5.6.

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних суму комплексів діючих значень фазних напруг трифазного навантаження.

5.23 Визначити за допомогою розрахункових даних суму комплексів діючих значень сил фазних струмів трифазного навантаження.

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 16.1.

6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.6 Розрахунок шуканих величин.

6.7 Векторна діаграма.

6.8 Таблиця 16.2. Співвідношення між напругами. Суми комплексів.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Що таке фаза трифазного навантаження?

7.2 Яке трифазне навантаження називають симетричним?

7.3 Як з'єднують фази трифазного навантаження за схемою зірки?

7.4 Складіть розрахункову схему трифазного навантаження при з'єднанні зіркою у комплексній формі для діючих значень.

7.5 Що таке фазна напруга трифазного навантаження?

7.6 Як вимірити діюче значення фазної напруги трифазного навантаження?

7.7 Як співвідносяться за фазою комплекси фазних напруг симетричного трифазного навантаження?

7.8 Запишіть комплекси діючих значень фазних напруг симетричного трифазного навантаження при з'єднанні його фаз зіркою, якщо початкова фаза напруги фази a дорівнює нулю.

7.9 Чому дорівнює сума комплексів фазних напруг симетричного трифазного навантаження?

- 7.10 Що таке лінійна напруга трифазного навантаження?
- 7.11 Як вимірити діюче значення лінійної напруги трифазного навантаження?
- 7.12 Як співвідносяться діючі значення лінійної та фазної напруги симетричного трифазного навантаження при з'єднанні його фаз зіркою?
- 7.13 Запишіть комплекси діючих значень лінійних напруг симетричного трифазного навантаження для фазних напруг з п.7.8.
- 7.14 Як визначити комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз a і b симетричного трифазного навантаження, з'єданого зіркою, через комплекс діючого значення напруги на фазі a навантаження?
- 7.15 Як визначити комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз a і b трифазного навантаження, з'єданого зіркою, через комплекси діючих значень напруг фази a і фази b навантаження?
- 7.16 Як визначити комплекс діючого значення напруги на фазі a симетричного трифазного навантаження, з'єданого зіркою, через комплекс діючого значення напруги між затискачами фаз a і b навантаження?
- 7.17 Що таке фазний струм трифазного навантаження?
- 7.18 Як вимірити діюче значення фазного струму трифазного навантаження?
- 7.19 Як співвідносяться за фазою комплекси фазних струмів симетричного трифазного навантаження, з'єданого зіркою?
- 7.20 Запишіть математичні записи законів Ома для фаз навантаження, з'єданого зіркою, у комплексній формі для діючих значень.
- 7.21 Чому дорівнює сума комплексів фазних струмів симетричного трифазного навантаження?
- 7.22 Що таке лінійний струм трифазного навантаження?
- 7.23 Як вимірити діюче значення лінійного струму трифазного навантаження?
- 7.24 Як співвідносяться діючі значення лінійного та фазного струмів симетричного трифазного навантаження при з'єднанні його фаз зіркою?
- 7.25 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів симетричного трифазного навантаження при з'єднанні його фаз зіркою.
- 7.26 Як визначити комплекс повної потужності фази трифазного навантаження?
- 7.27 Як визначити комплекс повної потужності симетричного трифазного навантаження?
- 7.28 Як визначити активну потужність симетричного трифазного навантаження?
- 7.29 Як визначити реактивну потужність симетричного трифазного навантаження?
- 7.30 Як визначити повну потужність трифазного симетричного навантаження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

Тема. Дослідження роботи симетричного трифазного навантаження, з'єданого трикутником

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг, фазних і лінійних струмів, потужностей симетричного трифазного навантаження, з'єданого трикутником

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 «Симетричні трифазні кола синусоїдного струму», пп.8.2, 8.4 [2, с. 12–17, 24–27].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.5 – 8.6 [6].
- 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 трифазне навантаження, фази якого з'єдані трикутником. Фази навантаження складаються з індуктивних котушок K_1 , K_2 , K_3 з однаковими параметрами. Трифазне навантаження підключено до трифазного джерела, затискачі якого позначено літерами A , B , C .

У лінійні проводи включені три амперметри PA_1 , PA_2 , PA_3 , у фази навантаження включені три амперметри PA_4 , PA_5 , PA_6 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 15.1.

Для складання схеми необхідно мати 17 провідників (на схемі позначені номерами 1-17).

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;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ній не протікає.

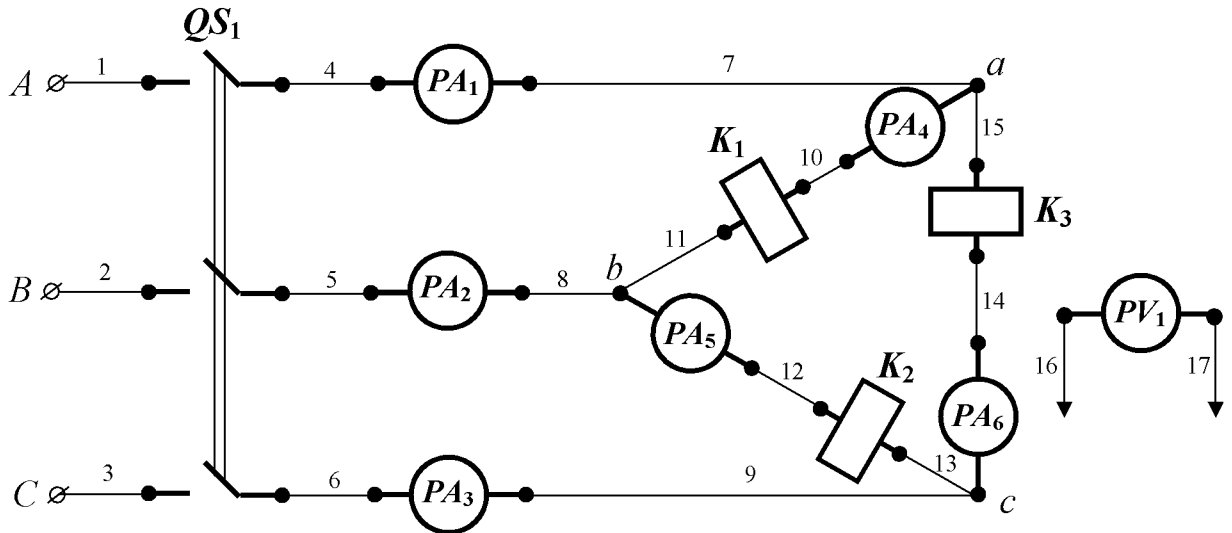


Рисунок 15.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 15.2.

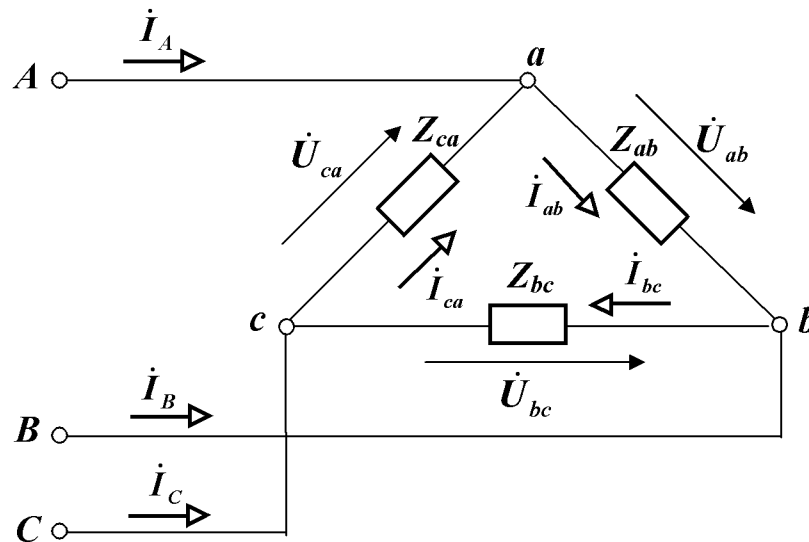


Рисунок 15.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

- На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:
- \dot{I}_A – комплекс діючого значення сили струму у лінійному проводі A - a , A ;
 - \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у лінійному проводі B - b , A ;
 - \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у лінійному проводі C - c , A ;
 - \dot{U}_{ab} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази ab навантаження, B ;
 - \dot{U}_{bc} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази bc навантаження, B ;
 - \dot{U}_{ca} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази ca навантаження, B ;

- Z_{ab} – комплекс повного опору фази ab навантаження, Om ;
- Z_{bc} – комплекс повного опору фази bc навантаження, Om ;
- Z_{ca} – комплекс повного опору фази ca навантаження, Om ;
- \dot{I}_{ab} – комплекс діючого значення сили струму у фазі ab навантаження, A ;
- \dot{I}_{bc} – комплекс діючого значення сили струму у фазі bc навантаження, A ;
- \dot{I}_{ca} – комплекс діючого значення сили струму у фазі ca навантаження, A .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Замкнути вимикач QS_1 .

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 15.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 15.1 – Показання приладів

U_{ab}, B	U_{bc}, B	U_{ca}, B	I_A, A	I_B, A	I_C, A	I_{ab}, A	I_{bc}, A	I_{ca}, A

5.4 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазного струму трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$I_{ф.н} = \frac{I_{ab} + I_{bc} + I_{ca}}{3}. \quad (15.1)$$

5.5 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення лінійного струму трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$I_{л.н} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (15.2)$$

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної (лінійної) напруги трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$U_{ф.н} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (15.3)$$

5.7 Записати за вказівкою викладача комплекс повного опору фази ab навантаження у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{ab} = r_{ab} + jx_{ab}, \quad (15.4)$$

де r_{ab} – активний опір фази ab навантаження, *Ом*;
 x_{ab} – індуктивний опір фази ab навантаження, *Ом*.

5.8 Визначити комплекс повного опору фази ab навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} Z_{ab} &= \bar{z}_{ab} \cdot e^{j\varphi_{ab}}; \\ \bar{z}_{ab} &= \sqrt{r_{ab}^2 + x_{ab}^2}; \\ \varphi_{ab} &= \operatorname{arctg} \frac{x_{ab}}{r_{ab}}, \end{aligned} \right\} \quad (15.5)$$

де \bar{z}_{ab} – повний опір фази a навантаження, *Ом*;
 φ_{ab} – кут зсуву фаз фази a навантаження, *градус*.

5.9 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги фази ab навантаження у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї напруги $\psi_{uab} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{ab} = U_{\text{ф.н}} \cdot e^{j\psi_{uab}}. \quad (15.6)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг фази bc і фази ca навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (15.7)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (15.8)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення струму у фазі ab навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}. \quad (15.9)$$

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень струмів у фазі bc та у фазі ca навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_{bc} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (15.10)$$

$$\dot{I}_{ca} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (15.11)$$

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійного струму у проводі $A-a$ у показовій формі двома способами, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = \sqrt{3} \cdot \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j30^\circ}; \quad (15.12)$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}. \quad (15.13)$$

5.14 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень лінійних струмів у проводі $B-b$ та у проводі $C-c$ у показовій формі двома способами, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (15.14)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{-j240^\circ}; \quad (15.15)$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad (15.16)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (15.17)$$

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності трифазного навантаження у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = 3 \cdot \dot{U}_{ab} \cdot \dot{I}_{ab}^*. \quad (15.21)$$

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних активну потужність трифазного навантаження трьома способами, використовуючи рівняння:

$$P_n = 3 \cdot U_{ab} \cdot I_{ab} \cdot \cos \varphi_{ab}; \quad (15.22)$$

$$P_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_{ab}; \quad (15.23)$$

$$P_n = 3 \cdot r_{ab} \cdot I_{ab}^2, \quad (15.24)$$

Отримані результати порівняти між собою та з аналогічним, який отриманий у пункті 5.15.

5.17 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивну потужність трифазного навантаження трьома способами, використовуючи рівняння:

$$Q_n = 3 \cdot U_{ab} \cdot I_{ab} \cdot \sin \varphi_{ab}; \quad (15.25)$$

$$Q_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A \cdot \sin \varphi_{ab}; \quad (15.26)$$

$$Q_n = 3 \cdot x_{ab} \cdot I_{ab}^2. \quad (15.27)$$

Отримані результати порівняти між собою та з аналогічним, який отриманий у пункті 5.15.

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних повну потужність трифазного навантаження трьома способами, використовуючи рівняння:

$$S_n = 3 \cdot U_{ab} \cdot I_{ab}; \quad (15.29)$$

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A; \quad (15.30)$$

$$S_n = 3 \cdot z_{ab} \cdot I_{ab}^2. \quad (15.31)$$

Отримані результати порівняти між собою та з аналогічним, який отриманий у пункті 5.15.

5.19 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів трифазного навантаження (лінійні струми отримати через фазні).

5.20 Результати розрахунків занести в таблицю 15.2.

Таблиця 15.2 – Фізичні величини, що характеризують навантаження

$\dot{U}_{ab, B}$	$\dot{U}_{bc, B}$	$\dot{U}_{ca, B}$	$Z_{ab, M}$	$\dot{I}_{A, A}$	$\dot{I}_{B, A}$	$\dot{I}_{C, A}$	$\dot{I}_{ab, A}$	$\dot{I}_{bc, A}$	$\dot{I}_{ca, A}$

Продовження таблиці 15.2

\tilde{S}_n, BA показова форма	\tilde{S}_n, BA алгебраїчна форма	P_n, Bm	Q_n, BAp	S_n, BA

5.21 Визначити співвідношення між діючими значеннями лінійного та фазного струму трифазного навантаження, використовуючи їх середні значення з п.5.4 і п.5.5.

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних суму комплексів діючих значень фазних струмів трифазного навантаження.

5.23 Визначити за допомогою розрахункових даних суму комплексів діючих значень лінійних струмів трифазного навантаження.

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 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 Що таке фаза трифазного навантаження?

7.2 Як з'єднують фази трифазного навантаження за схемою трикутника?

7.3 Складіть розрахункову схему трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником у комплексній формі для діючих значень.

7.4 Що таке фазна напруга трифазного навантаження?

7.5 Як вимірити діюче значення фазної напруги трифазного навантаження?

7.6 Як співвідносяться за фазою комплекси фазних напруг симетричного трифазного навантаження?

7.7 Запишіть комплекси діючих значень фазних напруг симетричного трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником, якщо початкова фаза напруги фази ab дорівнює нулю.

7.8 Чому дорівнює сума комплексів фазних напруг симетричного трифазного навантаження?

7.9 Що таке лінійна напруга трифазного навантаження?

7.11 Як співвідносяться діючі значення лінійної та фазної напруги симетричного трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником?

7.12 Що таке фазний струм трифазного навантаження?

7.13 Як вимірити діюче значення фазного струму трифазного навантаження?

7.14 Як співвідносяться за фазою комплекси фазних струмів симетричного трифазного навантаження?

7.15 Запишіть математичні записи законів Ома для фаз трифазного навантаження, з'єданого трикутником, у комплексній формі для діючих значень.

7.16 Чому дорівнює сума комплексів фазних струмів симетричного трифазного навантаження?

- 7.17 Що таке лінійний струм трифазного навантаження?
- 7.18 Як вимірити діюче значення лінійного струму трифазного навантаження?
- 7.14 Як співвідносяться за фазою комплекси лінійних струмів симетричного трифазного навантаження?
- 7.16 Чому дорівнює сума комплексів лінійних струмів симетричного трифазного навантаження?
- 7.17 Як співвідносяться діючі значення лінійного та фазного струмів симетричного трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником?
- 7.18 Як співвідносяться за фазою струм у фазі ab симетричного трифазного навантаження і лінійний струм у проводі $A-a$ при з'єднанні фаз навантаження трикутником?
- 7.19 Як визначити комплекс діючого значення лінійного струму у проводі $A-a$ симетричного трифазного навантаження, з'єданого трикутником, через комплекс діючого значення струму у фазі ab навантаження?
- 7.20 Як визначити комплекс діючого значення лінійного струму у проводі $A-a$ трифазного навантаження, з'єданого трикутником, через комплекси діючих значень струмів у фазі ab у фазі ca навантаження?
- 7.21 Як визначити комплекс діючого значення струму у фазі ab симетричного трифазного навантаження, з'єданого трикутником, через комплекс діючого значення лінійного струму у проводі $A-a$?
- 7.22 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів трифазного симетричного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником.
- 7.23 Як визначити комплекс повної потужності фази трифазного навантаження?
- 7.24 Як визначити комплекс повної потужності симетричного трифазного навантаження?
- 7.25 Як визначити активну потужність трифазного симетричного навантаження?
- 7.26 Як визначити реактивну потужність трифазного симетричного навантаження?
- 7.27 Як визначити повну потужність трифазного симетричного навантаження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16

Тема. Дослідження симетричного трифазного кола «зірка – зірка»

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг, фазних і лінійних струмів, потужностей симетричного трифазного кола «зірка – зірка»

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 «Симетричні трифазні кола синусоїдного струму» пп.8.2, 8.5 [2, с. 12–17; 28–35].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.7 – 8.8 [6].
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою, три індуктивних котушки K_1, K_2, K_3 з однаковими параметрами, які імітують лінію електропередачі. Наприкінці лінії електропередачі включено трифазне навантаження, фази якого з'єднані зіркою. Фази навантаження складаються з індуктивних котушок K_4, K_5, K_6 з однаковими параметрами, які включені послідовно з трьома резисторами R_1, R_2, R_3 з однаковими опорами.

У коло включені три амперметри PA_1, PA_2, PA_3 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 16.1.

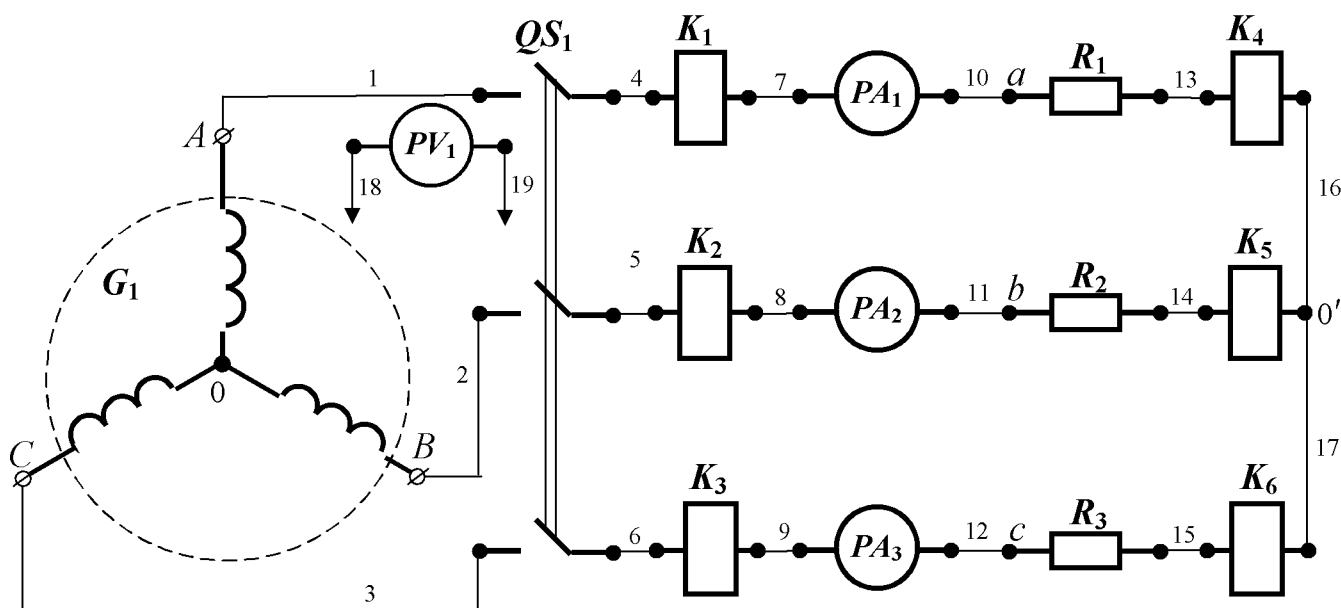


Рисунок 16.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 19 провідників (на схемі позначені номерами 1-19).

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;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ньому не протікає.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 16.2.

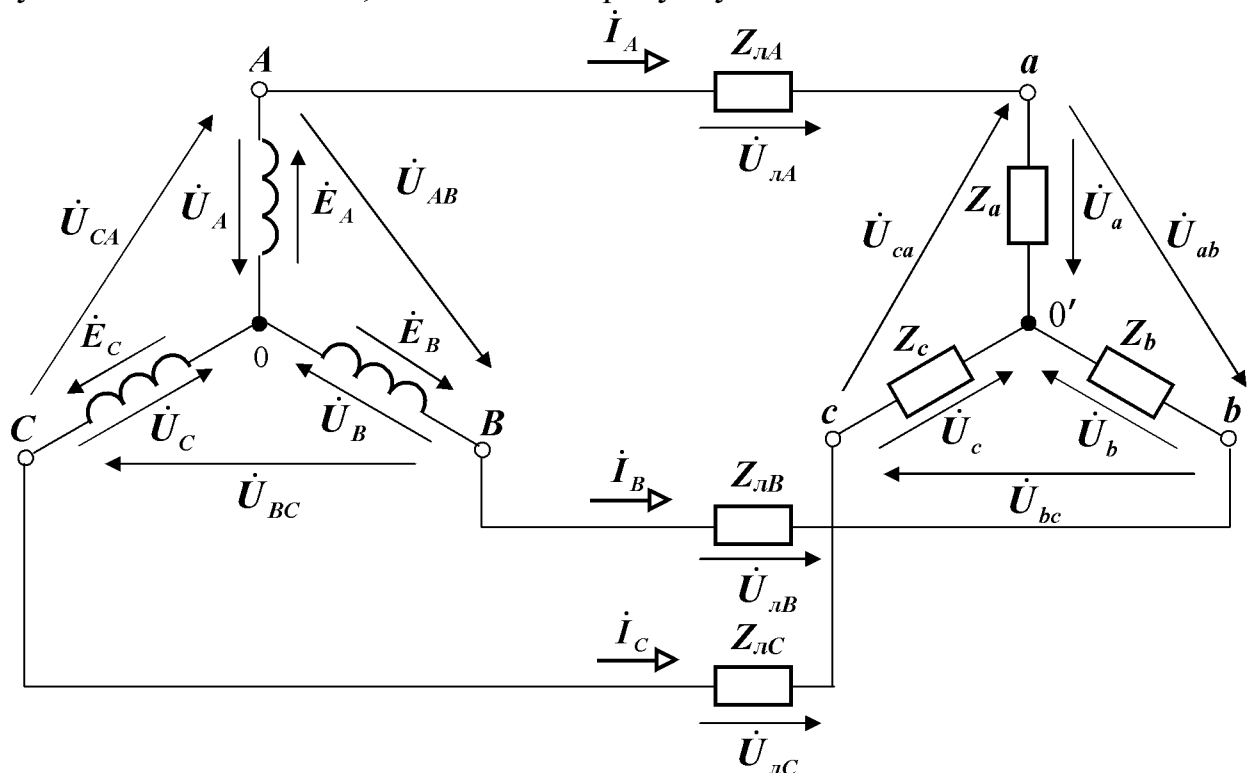


Рисунок 16.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі C генератора, B ;
- \dot{U}_A – комплекс діючого значення напруги фази A генератора, B ;
- \dot{U}_B – комплекс діючого значення напруги фази B генератора, B ;
- \dot{U}_C – комплекс діючого значення напруги фази C генератора, B ;

- \dot{U}_{AB} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз A і B генератора, B ;
- \dot{U}_{BC} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз B і C генератора, B ;
- \dot{U}_{CA} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз C і A генератора, B ;
- \dot{I}_A – комплекс діючого значення сили струму у фазі a навантаження та у лінійному проводі $A-a$, A ;
- \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у фазі b навантаження та у лінійному проводі $B-b$, A ;
- \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у фазі c навантаження та у лінійному проводі $C-c$, A ;
- $Z_{лA}$ – комплекс повного опору лінійного проводу $A-a$, Om ;
- $Z_{лB}$ – комплекс повного опору лінійного проводу $B-b$, Om ;
- $Z_{лC}$ – комплекс повного опору лінійного проводу $C-c$, Om ;
- $\dot{U}_{лA}$ – комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному проводі $A-a$, B ;
- $\dot{U}_{лB}$ – комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному проводі $B-b$, B ;
- $\dot{U}_{лC}$ – комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному проводі $C-c$, B ;
- \dot{U}_a – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази a навантаження, B ;
- \dot{U}_b – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази b навантаження, B ;
- \dot{U}_c – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази c навантаження, B ;
- \dot{U}_{ab} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз a і b навантаження, B ;
- \dot{U}_{bc} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз b і c навантаження, B ;
- \dot{U}_{ca} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз c і a навантаження, B ;
- Z_a – комплекс повного опору фази a навантаження, Om ;
- Z_b – комплекс повного опору фази b навантаження, Om ;
- Z_c – комплекс повного опору фази c навантаження, Om .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Замкнути вимикач QS_1 .

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 16.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 16.1 – Показання приладів

U_A, B	U_B, B	U_C, B	U_{AB}, B	U_{BC}, B	U_{CA}, B	U_a, B	U_b, B	U_c, B	U_{ab}, B	U_{bc}, B	U_{ca}, B

Продовження таблиці 16.1

U_{R1}, B	U_{R2}, B	U_{R3}, B	$U_{лA}, B$	$U_{лB}, B$	$U_{лC}, B$	I_A, A	I_B, A	I_C, A

5.4 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазного (лінійного) струму трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$I_{\phi.n} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (16.1)$$

5.5 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{\phi.z} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (16.2)$$

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення лінійної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{л.z} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}. \quad (16.3)$$

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної напруги трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$U_{\phi.n} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3}. \quad (16.4)$$

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення лінійної напруги трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$U_{л.n} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (16.5)$$

5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення спадання напруги у лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$U_{л} = \frac{U_{лА} + U_{лВ} + U_{лС}}{3}. \quad (16.6)$$

5.10 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення напруги на резисторі, використовуючи рівняння:

$$U_R = \frac{U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}}{3}. \quad (16.7)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних опір резистора (r_p), використовуючи рівняння закону Ома ділянки кола з резистором:

$$I_{ф.н} = \frac{U_R}{r_p}. \quad (16.8)$$

5.12 Записати за вказівкою викладача значення комплексу повного опору котушки (Z) у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z = r + jx_L, \quad (16.9)$$

де r – активний опір котушки, Ом;
 x_L – індуктивний опір котушки, Ом.

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору фази a навантаження у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_a = r + r_p + jx_L = r_a + jx_a; \quad (16.10)$$

де r_a – активний опір фази a навантаження, Ом;
 x_a – індуктивний опір фази a навантаження, Ом.

5.14 Визначити комплекс повного опору фази a навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= \bar{z}_a \cdot e^{j\varphi_a}; \\ \bar{z}_a &= \sqrt{r_a^2 + x_a^2}; \\ \varphi_a &= \arctg \frac{x_a}{r_a}, \end{aligned} \right\} \quad (16.11)$$

де \bar{z}_a – повний опір фази a навантаження, Ом;

φ_a – кут зсуву фаз фази a навантаження, градус.

5.15 Записати комплекс повного опору котушки, що імітує лінійний провід $A-a$, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$Z_{лA} = Z . \quad (16.12)$$

5.16 Зобразити розрахункову схему фази A кола у комплексній формі для діючих значень.

5.17 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги фази A генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї напруги $\psi_{uA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = U_{\phi.2} \cdot e^{j\psi_{uA}} . \quad (16.13)$$

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг фази B і фази C генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (16.14)$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (16.15)$$

5.19 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз A і B генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_A \cdot e^{j30^\circ} , \quad (16.16)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.6.

5.20 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень лінійних напруг між затискачами фаз B і C та фаз C і A генератора у показовій формі:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (16.17)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (16.18)$$

5.21 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення струму у фазі a навантаження (у лінійному проводі $A-a$) у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для замкненого кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_{лA} + Z_a}, \quad (16.19)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.4.

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень струмів у фазах b і c навантаження (та у лінійних проводах $B-b$ і $C-c$) у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (16.20)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (16.21)$$

5.23 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному проводі $A-a$ у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{лA}}{Z_{лA}}, \quad (16.22)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.9.

5.24 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень спадань напруг у лінійних проводах $B-b$ і $C-c$ у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{лB} = \dot{U}_{лA} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (16.23)$$

$$\dot{U}_{лC} = \dot{U}_{лA} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (16.24)$$

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

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}, \quad (16.25)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.7.

5.26 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг фази b і фази c навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (16.26)$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_a \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (16.27)$$

5.27 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз a і b навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_a \cdot e^{j30^\circ}, \quad (16.28)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.8.

5.28 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень лінійних напруг між затискачами фаз b і c та між затискачами фаз c і a навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (16.29)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (16.30)$$

5.29 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності трифазного навантаження у показовій і алгебраїчній формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = 3 \cdot \dot{U}_a \cdot \dot{I}_A^*. \quad (16.31)$$

5.30 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності лінії електропередачі у показовій і алгебраїчній формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_l = 3 \cdot \dot{U}_{lA} \cdot \dot{I}_A^*. \quad (16.32)$$

5.31 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності трифазного генератора у показовій і алгебраїчній формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_2 = 3 \cdot \dot{U}_A \cdot \dot{I}_A^* \quad (16.33)$$

5.32 Скласти за допомогою розрахункових даних баланс активної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$P_2 = P_l + P_n, \quad (16.34)$$

де P_2 – активна потужність трифазного генератора, $Вт$;
 P_l – втрати активної потужності в лінії електропередачі, $Вт$;
 P_n – активна потужність трифазного навантаження, $Вт$.

5.33 Скласти за допомогою розрахункових даних баланс реактивної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$Q_2 = Q_l + Q_n, \quad (16.35)$$

де Q_2 – реактивна потужність трифазного генератора, $ВАр$;
 Q_l – реактивна потужність лінії електропередачі, $ВАр$;
 Q_n – реактивна потужність трифазного навантаження, $ВАр$.

5.34 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів кола (лінійні напруги не зображувати).

5.35 Результати розрахунків занести в таблицю 16.2.

Таблиця 16.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$\dot{U}_{A, B}$ показова форма	$\dot{U}_{B, B}$ показова форма	$\dot{U}_{C, B}$ показова форма	$\dot{U}_{AB, B}$ показова форма	$\dot{U}_{BC, B}$ показова форма	$\dot{U}_{CA, B}$ показова форма	$Z_a, Ом$ показова форма	$Z_{лA}, Ом$ показова форма

Продовження таблиці 16.2

\dot{U}_a, B показова форма	\dot{U}_b, B показова форма	\dot{U}_c, B показова форма	$\dot{U}_{ab, B}$ показова форма	$\dot{U}_{bc, B}$ показова форма	$\dot{U}_{ca, B}$ показова форма	$\dot{U}_{лA}, B$ показова форма	$\dot{U}_{лB}, B$ показова форма	$\dot{U}_{лC}, B$ показова форма

Продовження таблиці 16.2

\dot{I}_A, A показова форма	\dot{I}_B, A показова форма	\dot{I}_C, A показова форма	\tilde{S}_2, BA показова форма	\tilde{S}_2, BA алгебраїчна форма	\tilde{S}_l, BA показова форма	\tilde{S}_l, BA алгебраїчна форма	\tilde{S}_n, BA показова форма	\tilde{S}_n, BA алгебраїчна форма

5.36 Визначити співвідношення між діючими значеннями лінійної та фазної напруги трифазного генератора, використовуючи їх середні значення з п.5.5 і п.5.6.

5.37 Визначити співвідношення між діючими значеннями лінійної та фазної напруги трифазного навантаження, використовуючи їх середні значення з п.5.7 і п.5.8.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.3 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.

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 Що таке фаза трифазного генератора?

7.2 Як з'єднуються фази трифазного генератора за схемою зірки?

7.3 Що таке фаза трифазного навантаження?

7.4 Як з'єднуються фази трифазного навантаження за схемою зірки?

7.5 Що таке зв'язана трифазна система?

7.6 Що таке лінійний провід? Скільки їх існує у нерозгалуженому трифазному колі? Для чого вони призначені?

7.7 Які лінійні проводи називають симетричними?

7.8 Що таке нульовий (нейтральний) провід? Скільки їх існує у нерозгалуженому трифазному колі? Для чого він призначений у симетричному трифазному колі?

7.9 Яке коло називається симетричним?

7.10 Складіть розрахункову схему трифазного кола, яке містить ідеальний генератор, з'єднаний зіркою, навантаження, з'єднане зіркою, і реальну трипровідну лінію електропередачі у комплексній формі для діючих значень.

7.11 У чому суть розрахунку симетричного трифазного кола з п.7.10?

7.12 Наведіть послідовність розрахунку трифазного кола з п.7.10, якщо відомі e, r, c генератора та параметри кола.

7.13 Як розрахувати комплекси діючих значень струмів кола з п.7.10?

7.14 Як вимірити діючі значення фазних (лінійних) струмів кола з п.7.10?

7.15 Як розрахувати комплекси діючих значень спадань напруг у лінії електропередачі кола з п.7.10?

7.16 Як вимірити діючі значення спадань напруг у лінії електропередачі кола з п.7.10?

7.17 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.10?

- 7.18 Як вимірити діючі значення фазних напруг навантаження кола з п.7.10?
- 7.19 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних напруг навантаження кола з п.7.10?
- 7.20 Як вимірити діючі значення лінійних напруг навантаження кола з п.7.10?
- 7.21 Як визначити комплекс повної потужності генератора кола з п.7.10?
- 7.22 Як визначити комплекс повної потужності лінії електропередачі кола з п.7.10?
- 7.23 Як визначити комплекс повної потужності навантаження кола з п.7.10?
- 7.24 Що таке баланс потужностей кола? Як його скласти?
- 7.25 Як визначити активну потужність трифазного генератора?
- 7.26 Як визначити втрати активної потужності у трипровідній лінії електропередачі?
- 7.27 Як визначити активну потужність трифазного навантаження?
- 7.28 Як визначити реактивну потужність трифазного генератора?
- 7.29 Як визначити реактивну потужність трипровідної лінії електропередачі?
- 7.30 Як визначити реактивну потужність трифазного навантаження?
- 7.31 Як визначити повну потужність трифазного генератора?
- 7.32 Як визначити повну потужність трипровідної лінії електропередачі?
- 7.33 Як визначити повну потужність трифазного навантаження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 17

Тема. Дослідження симетричного трифазного кола «зірка – трикутник»

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг, фазних і лінійних струмів, потужностей симетричного трифазного кола «зірка – трикутник»

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 «Симетричні трифазні кола синусоїдного струму» пп.8.2, 8.5 [2, с. 12–17; 28–35].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.9 – 8.10 [6].
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою, три індуктивних котушки K_1, K_2, K_3 з однаковими параметрами, які імітують лінію електропередачі. Наприкінці лінії електропередачі включено трифазне навантаження, фази якого з'єднані трикутником. Фази навантаження складаються з індуктивних котушок K_4, K_5, K_6 з однаковими параметрами, які включені послідовно з трьома резисторами R_1, R_2, R_3 з однаковими опороми.

У лінійні проводи включені три амперметри PA_1, PA_2, PA_3 , у фази навантаження включені три амперметри PA_4, PA_5, PA_6 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 17.1.

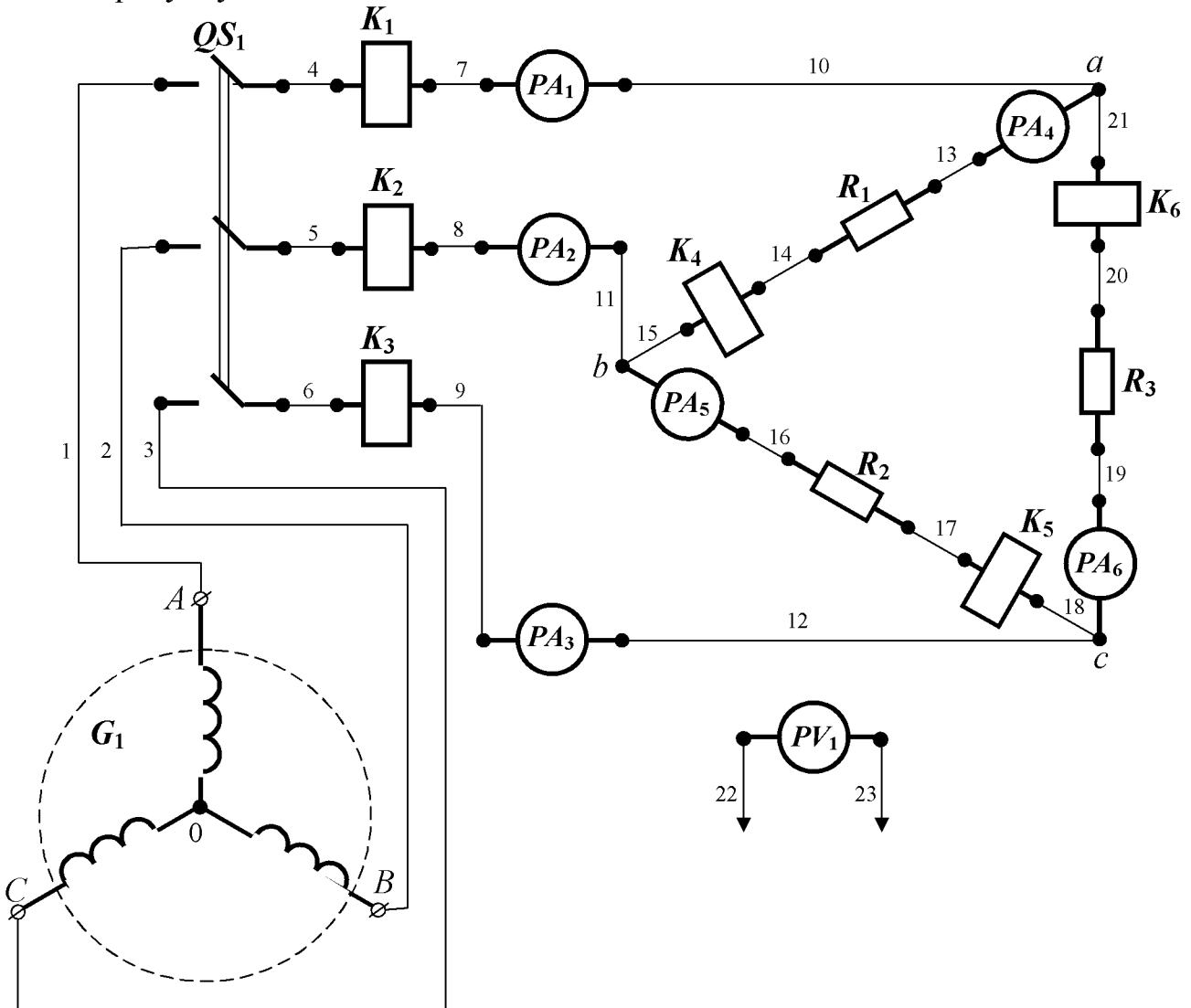


Рисунок 17.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 23 провідника (на схемі позначені номерами 1-23).

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;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ньому не протікає.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 17.2.

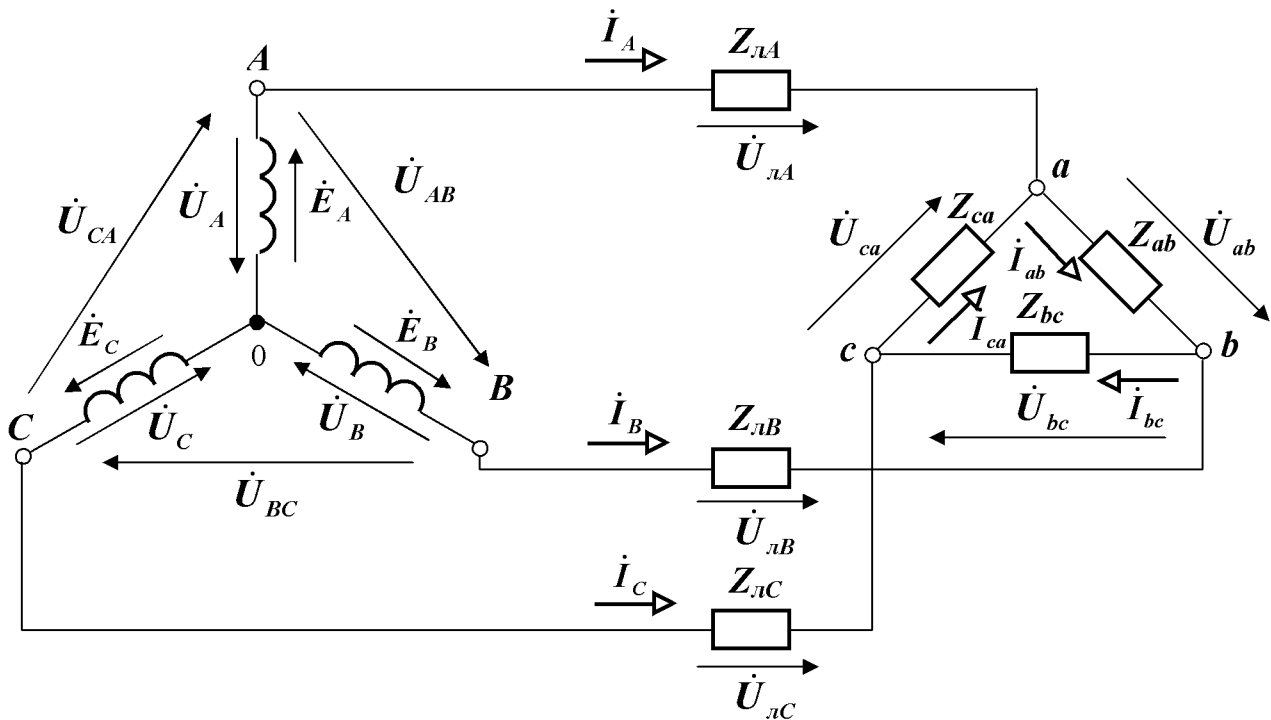


Рисунок 17.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі C генератора, B ;
- \dot{U}_A – комплекс діючого значення напруги фази A генератора, B ;
- \dot{U}_B – комплекс діючого значення напруги фази B генератора, B ;
- \dot{U}_C – комплекс діючого значення напруги фази C генератора, B ;
- \dot{U}_{AB} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз A і B генератора, B ;
- \dot{U}_{BC} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз B і C генератора, B ;

- \dot{U}_{CA} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз C і A генератора, B ;
- \dot{I}_A – комплекс діючого значення сили струму у фазі a навантаження та у лінійному проводі $A-a$, A ;
- \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у фазі b навантаження та у лінійному проводі $B-b$, A ;
- \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у фазі c навантаження та у лінійному проводі $C-c$, A ;
- $Z_{лA}$ – комплекс повного опору лінійного проводу $A-a$, Om ;
- $Z_{лB}$ – комплекс повного опору лінійного проводу $B-b$, Om ;
- $Z_{лC}$ – комплекс повного опору лінійного проводу $C-c$, Om ;
- $\dot{U}_{лA}$ – комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному проводі $A-a$, B ;
- $\dot{U}_{лB}$ – комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному проводі $B-b$, B ;
- $\dot{U}_{лC}$ – комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному проводі $C-c$, B ;
- \dot{U}_{ab} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази ab навантаження, B ;
- \dot{U}_{bc} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази bc навантаження, B ;
- \dot{U}_{ca} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази ca навантаження, B ;
- Z_{ab} – комплекс повного опору фази ab навантаження, Om ;
- Z_{bc} – комплекс повного опору фази bc навантаження, Om ;
- Z_{ca} – комплекс повного опору фази ca навантаження, Om ;
- \dot{I}_{ab} – комплекс діючого значення сили струму у фазі ab навантаження, A ;
- \dot{I}_{bc} – комплекс діючого значення сили струму у фазі bc навантаження, A ;
- \dot{I}_{ca} – комплекс діючого значення сили струму у фазі ca навантаження, A .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Замкнути вимикач QS_1 .

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 17.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 17.1 – Показання приладів

$U_{A, B}$	$U_{B, B}$	$U_{C, B}$	$U_{AB, B}$	$U_{BC, B}$	$U_{CA, B}$	$U_{ab, B}$	$U_{bc, B}$	$U_{ca, B}$

Продовження таблиці 17.1

$U_{R1,B}$	$U_{R2,B}$	$U_{R3,B}$	$U_{лA,B}$	$U_{лB,B}$	$U_{лC,B}$	I_A, A	I_B, A	I_C, A	$I_{ab, A}$	$I_{bc, A}$	$I_{ca, A}$

5.4 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазного струму трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$I_{ф.н} = \frac{I_{ab} + I_{bc} + I_{ca}}{3}. \quad (17.1)$$

5.5 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення лінійного струму трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$I_{л.н} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (17.2)$$

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{ф.г} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (17.3)$$

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення лінійної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{л.г} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}. \quad (17.4)$$

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної (лінійної) напруги трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$U_{ф.н} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (17.5)$$

5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення спадання напруги у лінії електропередачі, використовуючи рівняння:

$$U_{л} = \frac{U_{лA} + U_{лB} + U_{лC}}{3}. \quad (17.6)$$

5.10 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення напруги на резисторі, використовуючи рівняння:

$$U_R = \frac{U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}}{3}. \quad (17.7)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних опір резистора (r_p), використовуючи рівняння закону Ома ділянки кола з резистором:

$$I_{\phi.n} = \frac{U_R}{r_p}. \quad (17.8)$$

5.12 Записати за вказівкою викладача значення комплексу повного опору котушки (Z) у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z = r + jx_L, \quad (17.9)$$

де r – активний опір котушки, Ом;
 x_L – індуктивний опір котушки, Ом.

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору фази ab навантаження у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{ab} = r + r_p + jx_L = r_{ab} + jx_{ab}; \quad (17.10)$$

де r_{ab} – активний опір фази ab навантаження, Ом;
 x_{ab} – індуктивний опір фази ab навантаження, Ом.

5.14 Визначити комплекс повного опору фази ab навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} Z_{ab} &= \bar{z}_{ab} \cdot e^{j\varphi_{ab}}; \\ \bar{z}_{ab} &= \sqrt{r_{ab}^2 + x_{ab}^2}; \\ \varphi_{ab} &= \arctg \frac{x_{ab}}{r_{ab}}, \end{aligned} \right\} \quad (17.11)$$

де \bar{z}_{ab} – повний опір фази ab навантаження, Ом;
 φ_{ab} – кут зсуву фаз фази ab навантаження, градус.

5.15 Записати комплекс повного опору котушки, що імітує лінійний провід $A-a$, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$Z_{лA} = Z . \quad (17.12)$$

5.16 Зобразити еквівалентну розрахункову схему трифазного кола у комплексній формі для діючих значень, перетворивши навантаження, з'єднане трикутником, у еквіваленту зірку.

5.17 Визначити за допомогою розрахункових даних комплексу повного опору фази a еквівалентного навантаження, з'єданого зіркою, у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_a = \frac{Z_{ab}}{3} . \quad (17.13)$$

5.18 Зобразити розрахункову схему фази A трифазного кола з еквівалентним навантаженням, з'єднаним зіркою, у комплексній формі для діючих значень.

5.19 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги фази A генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї напруги $\psi_{uA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{uA}} . \quad (17.14)$$

5.20 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг фази B і фази C генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (17.15)$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (15.19)$$

5.21 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз A і B генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_A \cdot e^{j30^\circ} , \quad (17.16)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.7.

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень лінійних напруг між затискачами фаз B і C та фаз C і A генератора у показовій формі:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (17.17)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (17.18)$$

5.23 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення струму у фазі a навантаження (у лінійному проводі $A-a$) у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для замкненого кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_{лA} + Z_a}, \quad (17.19)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.5.

5.24 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень струмів у фазах b і c навантаження (та у лінійних проводах $B-b$ і $C-c$) у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (17.20)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (17.21)$$

5.25 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному проводі $A-a$ у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{лA}}{Z_{лA}}, \quad (17.22)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.9.

5.26 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень спадань напруг у лінійних проводах $B-b$ і $C-c$ у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{лB} = \dot{U}_{лA} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (17.23)$$

$$\dot{U}_{nC} = \dot{U}_{nA} \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (17.24)$$

5.27 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги фази *a* еквівалентного навантаження, з'єднаного зіркою, у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a} , \quad (17.25)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.8.

5.28 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг фази *b* і фази *c* еквівалентного навантаження, з'єднаного зіркою, у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (17.26)$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_a \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (17.27)$$

5.29 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз *a* і *b* еквівалентного навантаження, з'єднаного зіркою, фазної (лінійної) напруги фази *ab* навантаження, з'єднаного трикутником) у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_a \cdot e^{j30^\circ} , \quad (17.28)$$

та порівняти його модуль зі значенням з пункту 5.9.

5.30 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень лінійних напруг між затискачами фаз *b* і *c* та фаз *c* і *a* еквівалентного навантаження, з'єднаного зіркою, та фазної (лінійної) напруги фази *bc* і фази *ca* навантаження, з'єднаного трикутником, у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (17.29)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (17.30)$$

5.31 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму у фазі *ab* навантаження, з'єднаного трикутником, у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}. \quad (17.31)$$

5.32 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил струмів у фазі bc та у фазі ca навантаження, з'єднаного трикутником, у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_{bc} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (17.32)$$

$$\dot{I}_{ca} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (17.33)$$

5.33 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності трифазного навантаження у показовій і алгебраїчній формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = 3 \cdot \dot{U}_{ab} \cdot \dot{I}_{ab}^*. \quad (17.34)$$

5.34 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності лінії електропередачі у показовій і алгебраїчній формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_л = 3 \cdot \dot{U}_{лA} \cdot \dot{I}_A^*. \quad (17.35)$$

5.35 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності трифазного генератора у показовій і алгебраїчній формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_2 = 3 \cdot \dot{U}_A \cdot \dot{I}_A^*. \quad (17.36)$$

5.36 Скласти за допомогою розрахункових даних баланс активної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$P_2 = P_л + P_n, \quad (17.37)$$

де P_2 – активна потужність трифазного генератора, $Вт$;
 $P_л$ – втрати активної потужності в лінії електропередачі, $Вт$;
 P_n – активна потужність трифазного навантаження, $Вт$.

5.37 Скласти за допомогою розрахункових даних баланс реактивної потужності кола, використовуючи рівняння:

$$Q_c = Q_l + Q_n, \quad (17.38)$$

де Q_c – реактивна потужність трифазного генератора, *ВАр*;
 Q_l – реактивна потужність лінії електропередачі, *ВАр*;
 Q_n – реактивна потужність трифазного навантаження, *ВАр*.

5.38 Результати розрахунків занести в таблицю 17.2.

Таблиця 17.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$\dot{U}_{A,B}$ показова форма	$\dot{U}_{B,B}$ показова форма	$\dot{U}_{C,B}$ показова форма	$\dot{U}_{AB,B}$ показова форма	$\dot{U}_{BC,B}$ показова форма	$\dot{U}_{CA,B}$ показова форма	$\dot{U}_{ab,B}$ показова форма	$\dot{U}_{bc,B}$ показова форма	$\dot{U}_{ca,B}$ показова форма

Продовження таблиці 17.2

$\dot{U}_{lA},$ <i>B</i> показова форма	$\dot{U}_{lB},$ <i>B</i> показова форма	$\dot{U}_{lC},$ <i>B</i> показова форма	$Z_{ab},$ <i>Ом</i> показова форма	$Z_{lA},$ <i>Ом</i> показова форма	$\dot{I}_A,$ <i>A</i> показова форма	$\dot{I}_B,$ <i>A</i> показова форма	$\dot{I}_C,$ <i>A</i> показова форма	$\dot{I}_{ab},$ <i>A</i> показова форма	$\dot{I}_{bc},$ <i>A</i> показова форма	$\dot{I}_{ca},$ <i>A</i> показова форма

Продовження таблиці 17.2

\tilde{S}_c, BA показова форма	\tilde{S}_l, BA алгебраїчна форма	\tilde{S}_l, BA показова форма	\tilde{S}_l, BA алгебраїчна форма	\tilde{S}_n, BA показова форма	\tilde{S}_n, BA алгебраїчна форма

5.39 Визначити співвідношення між діючими значеннями лінійного та фазного струму трифазного навантаження, використовуючи їх середні значення з п.5.4 і п.5.5.

5.40 Визначити співвідношення між діючими значеннями лінійної та фазної напруги трифазного генератора, використовуючи їх середні значення з п.5.6 і п.5.7.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.
- 6.4 Таблиця 17.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Векторна діаграма.

6.8 Таблиця 17.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Що таке фаза трифазного генератора?
- 7.2 Як з'єднуються фази трифазного генератора за схемою зірки?
- 7.3 Що таке фаза трифазного навантаження?
- 7.4 Як з'єднуються фази трифазного навантаження за схемою трикутника?
- 7.5 Що таке зв'язана трифазна система?
- 7.6 Яке коло називається симетричним?
- 7.7 Що таке лінійний провід? Скільки їх існує у нерозгалуженому трифазному колі? Для чого вони призначені?
- 7.8 Які лінійні проводи називають симетричними?
- 7.9 Складіть розрахункову схему трифазного кола, яке містить ідеальний генератор, з'єднаний зіркою, навантаження, з'єднане трикутником, і реальну лінію електропередачі у комплексній формі для діючих значень.
- 7.10 У чому суть розрахунку симетричного трифазного кола з п.7.9?
- 7.11 Наведіть послідовність розрахунку трифазного кола з п.7.9, якщо відомі е.р.с. генератора та параметри кола.
- 7.12 Наведіть вирази для перетворення опорів навантаження, з'єданого трикутником, у еквіваленту зірку.
- 7.13 Складіть еквівалентну розрахункову схему трифазного кола з п.7.9, у якому з'єднання навантаження перетворене на еквівалентну зірку.
- 7.14 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних струмів кола з п.7.13?
- 7.15 Як вимірити діючі значення фазних (лінійних) струмів кола?
- 7.16 Як розрахувати комплекси діючих значень спадань напруг у лінії електропередачі кола з п.7.9 (п.7.13)?
- 7.17 Як вимірити діючі значення спадань напруг у лінії електропередачі кола з п.7.9 (п.7.13)?
- 7.18 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.13?
- 7.19 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних напруг навантаження кола з п.7.13 (фазних (лінійних) напруг навантаження з п.7.19)?
- 7.20 Як вимірити діючі значення фазних (лінійних) напруг навантаження?
- 7.21 Як визначити комплекс повної потужності трифазного генератора?
- 7.22 Як визначити комплекс повної потужності лінії електропередачі?
- 7.23 Як визначити комплекс повної потужності трифазного навантаження?
- 7.24 Що таке баланс потужностей кола? Як його скласти?
- 7.25 Як визначити активну потужність симетричного трифазного генератора?
- 7.26 Як визначити втрати активної потужності у симетричній трипровідній лінії електропередачі?

- 7.27 Як визначити активну потужність симетричного трифазного навантаження?
- 7.28 Як визначити реактивну потужність симетричного трифазного генератора?
- 7.29 Як визначити реактивну потужність симетричної трипровідної лінії електропередачі?
- 7.30 Як визначити реактивну потужність симетричного трифазного навантаження?
- 7.31 Як визначити повну потужність симетричного трифазного генератора?
- 7.32 Як визначити повну потужність симетричної трипровідної лінії електропередачі?
- 7.33 Як визначити повну потужність симетричного трифазного навантаження?
- 7.34 Що відбудеться з діючим значенням фазної напруги симетричного трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.35 Що відбудеться з діючим значенням фазного струму симетричного трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.36 Що відбудеться з діючим значенням лінійного струму симетричного трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.37 Що відбудеться з активною потужністю симетричного трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.38 Що відбудеться з реактивною потужністю симетричного трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.39 Що відбудеться з повною потужністю симетричного трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 18

Тема. Дослідження несиметричного трифазного кола «зірка – зірка»

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг, фазних і лінійних струмів несиметричного трифазного кола «зірка – зірка»

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 «Несиметричні трифазні кола синусоїдного струму», п.9.1, 9.2 [2, с. 62–73].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 9.3 – 9.6 [6].
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою. Трифазне навантаження, фази якого з'єднані зіркою. Фази навантаження складаються з індуктивних котушок K_1, K_2, K_3 з однаковими параметрами, які включені послідовно з трьома резисторами R_1, R_2, R_3 з неоднаковими опорами. Навантаження приєднане до генератора за допомогою трипровідної лінії електропередачі, у якої лінійні проводи ідеальні.

У коло включені три амперметри PA_1, PA_2, PA_3 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 18.1.

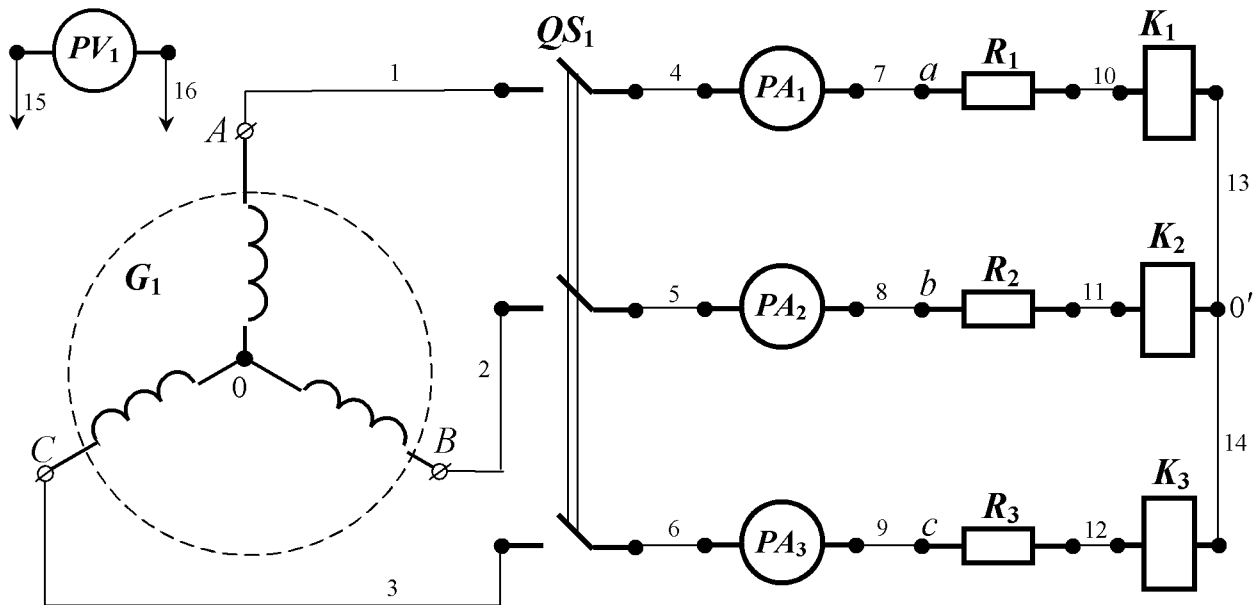


Рисунок 18.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 і контактів вимикача дорівнюють нулю;

- опори обмоток амперметрів дорівнюють нулю;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ньому не протікає.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 18.2.

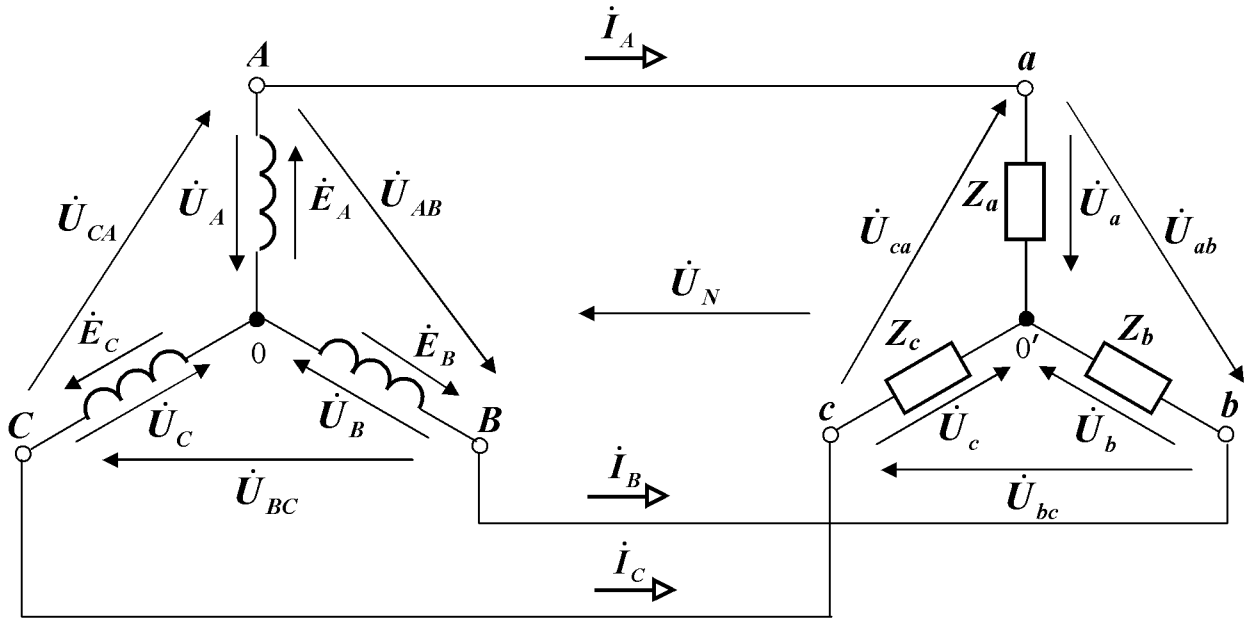


Рисунок 18.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі C генератора, B ;
- \dot{U}_A – комплекс діючого значення напруги фази A генератора, B ;
- \dot{U}_B – комплекс діючого значення напруги фази B генератора, B ;
- \dot{U}_C – комплекс діючого значення напруги фази C генератора, B ;
- \dot{U}_{AB} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз A і B генератора, B ;
- \dot{U}_{BC} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз B і C генератора, B ;
- \dot{U}_{CA} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз C і A генератора, B ;
- \dot{I}_A – комплекс діючого значення сили струму у фазі a навантаження та у лінійному проводі A - a , A ;
- \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у фазі b навантаження та у лінійному проводі B - b , A ;

- \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у фазі c навантаження та у лінійному проводі C - c , A ;
 \dot{U}_N – комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі, B ;
 \dot{U}_a – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази a навантаження, B ;
 \dot{U}_b – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази b навантаження, B ;
 \dot{U}_c – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази c навантаження, B ;
 \dot{U}_{ab} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз a і b навантаження, B ;
 \dot{U}_{bc} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз b і c навантаження, B ;
 \dot{U}_{ca} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз c і a навантаження, B ;
 Z_a – комплекс повного опору фази a навантаження, Om ;
 Z_b – комплекс повного опору фази b навантаження, Om ;
 Z_c – комплекс повного опору фази c навантаження, Om .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Замкнути вимикач QS_1 .

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 18.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 18.1 – Показання приладів

$U_A,$ B	$U_B,$ B	$U_C,$ B	$U_a,$ B	$U_b,$ B	$U_c,$ B	$U_{ab},$ B	$U_{bc},$ B	$U_{ca},$ B	$U_{R1},$ B	$U_{R2},$ B	$U_{R3},$ B	$U_N,$ B	$I_A,$ A	$I_B,$ A	$I_C,$ A

5.4 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{\phi,2} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (18.1)$$

5.5 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення електрорушійної сили фази A генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї е.р.с. $\psi_{eA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{eA}}. \quad (18.2)$$

5.6 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень електрорушійних сил фази B і фази C генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (18.3)$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (18.4)$$

5.7 Записати за вказівкою викладача значення комплексу повного опору котушки, що включена у фазу навантаження, у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z = r + jx_L, \quad (18.5)$$

де Z – комплекс повного опору котушки, Ом ;
 r – активний опір котушки, Ом ;
 x_L – індуктивний опір котушки, Ом .

5.8 Визначити за допомогою розрахункових даних опори резисторів, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола з активним опором:

$$I_A = \frac{U_{R1}}{r_1}; \quad I_B = \frac{U_{R2}}{r_2}; \quad I_C = \frac{U_{R3}}{r_3}, \quad (18.6)$$

де r_1, r_2, r_3 – опори резисторів, Ом .

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси повних опорів фаз навантаження у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$Z_a = r + r_1 + jx_L = r_a + jx_a; \quad (18.7)$$

$$Z_b = r + r_2 + jx_L = r_b + jx_b; \quad (18.8)$$

$$Z_c = r + r_3 + jx_L = r_c + jx_c, \quad (18.9)$$

де r_a, r_b, r_c – активні опори відповідно фаз a, b і c навантаження, Ом ;
 x_a, x_b, x_c – індуктивні опори відповідно фаз a, b і c навантаження, Ом .

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси повних провідностей фаз навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Y_a = \frac{1}{Z_a}; \quad Y_b = \frac{1}{Z_b}; \quad Y_c = \frac{1}{Z_c}, \quad (18.10)$$

де Y_a, Y_b, Y_c – комплекси повних провідностей відповідно фаз a, b і c навантаження, $Ом$,

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі у показовій формі, використовуючи рівняння, складене за методом двох вузлів:

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot Y_a + \dot{E}_B \cdot Y_b + \dot{E}_C \cdot Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}, \quad (18.11)$$

і порівняти його модуль зі значенням, отриманим при вимірюванні.

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг на затискачах фаз навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_a = \dot{E}_A - \dot{U}_N; \quad (18.12)$$

$$\dot{U}_b = \dot{E}_B - \dot{U}_N; \quad (18.13)$$

$$\dot{U}_c = \dot{E}_C - \dot{U}_N, \quad (18.14)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил струмів у фазах навантаження (у лінійних проводах) у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = (\dot{E}_A - \dot{U}_N) \cdot Y_a; \quad (18.15)$$

$$\dot{I}_B = (\dot{E}_B - \dot{U}_N) \cdot Y_b; \quad (18.16)$$

$$\dot{I}_C = (\dot{E}_C - \dot{U}_N) \cdot Y_c, \quad (18.17)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.14 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів кола.

5.15 Результати розрахунків занести в таблицю 18.2.

Таблиця 18.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$Z_a, Ом$ показова форма	$Z_b, Ом$ показова форма	$Z_c, Ом$ показова форма	$Y_a, Ом$ показова форма	$Y_b, Ом$ показова форма	$Y_c, Ом$ показова форма

Продовження таблиці 18.2

$\dot{E}_{A, B}$ показова форма	$\dot{E}_{B, B}$ показова форма	$\dot{E}_{C, B}$ показова форма	$\dot{U}_{N, B}$ показова форма	$\dot{U}_{a, B}$ показова форма	$\dot{U}_{b, B}$ показова форма	$\dot{U}_{c, B}$ показова форма	$\dot{I}_{A, A}$ показова форма	$\dot{I}_{B, A}$ показова форма	$\dot{I}_{C, A}$ показова форма

5.16 Скласти рівняння за першим законом Кірхгофа для вузла 0' кола і перевірити його.

5.17 Скласти рівняння за другим законом Кірхгофа для фази А кола і перевірити його.

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 18.1.

6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.6 Розрахунок шуканих величин.

6.7 Векторна діаграма.

6.8 Таблиця 18.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Яке коло називається несиметричним?

7.2 Який трифазний генератор називається несиметричним?

7.3 Яке трифазне навантаження називається несиметричним?

7.4 Які лінійні проводи називають несиметричними?

7.5 Складіть розрахункову схему несиметричного трифазного кола «зірка – зірка» з ідеальним генератором і ідеальними лінійними проводами.

7.6 Яка напруга додатково з'являється у несиметричному колі «зірка – зірка» у порівнянні з аналогічним симетричним?

7.7 Що таке напруга зміщення нейтралі?

7.8 Як розрахувати напругу зміщення нейтралі у нерозгалуженому несиметричному колі «зірка – зірка» згідно методу двох вузлів?

7.9 Як вимірити діюче значення напруги зміщення нейтралі кола з п.7.5?

7.10 Як розрахувати комплекс повної провідності навантаження?

7.11 Як розрахувати комплекс повної провідності фази кола?

7.12 Як розрахувати комплекси фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5?

7.13 Як розрахувати комплекси фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5, у якого реальні лінійні проводи?

7.14 Як вимірити діючі значення фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5?

7.15 Складіть рівняння за першим законом Кірхгофа для одного з вузлів кола з п.7.5.

7.16 Як розрахувати комплекси фазних напруг навантаження кола з п.7.5?

- 7.17 Як вимірити діючі значення фазних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.18 Як розрахувати комплекси лінійних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.19 Як вимірити діючі значення лінійних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.20 Побудуйте векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів кола з п.7.5.
- 7.21 Як розрахувати комплекси повних потужностей фаз навантаження кола з п.7.5?
- 7.22 Як розрахувати активну потужність фаз навантаження кола з п.7.5?
- 7.23 Як розрахувати реактивну потужність фаз навантаження кола з п.7.5?
- 7.24 Як розрахувати повну потужність фаз навантаження кола з п.7.5?
- 7.25 Як розрахувати коефіцієнт потужності навантаження кола з п.7.5?
- 7.26 Що таке баланс потужностей кола? Як його скласти?
- 7.27 До чого призводить виникнення напруги зміщення нейтралі у трифазному колі?
- 7.28 Чи можна зменшити напругу зміщення нейтралі у несиметричному колі «зірка – зірка»?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 19

Тема. Дослідження несиметричного трифазного кола «зірка – трикутник»

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг, фазних і лінійних струмів, потужностей несиметричного трифазного кола «зірка – трикутник»

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 «Несиметричні трифазні кола синусоїдного струму» пп.9.1, 9.2 [2, с. 62–73].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 9.1 – 9.6 [6].
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зір-

кою. Трифазне навантаження, фази якого з'єднані трикутником. Фази навантаження складаються з індуктивних котушок K_1, K_2, K_3 з однаковими параметрами, які включені послідовно з трьома резисторами R_1, R_2, R_3 з неоднаковими опором. Навантаження приєднане до генератора за допомогою трипровідної лінії електропередачі, у якої лінійні проводи ідеальні.

У лінійні проводи включені три амперметри PA_1, PA_2, PA_3 , у фази навантаження включені три амперметри PA_4, PA_5, PA_6 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 19.1.

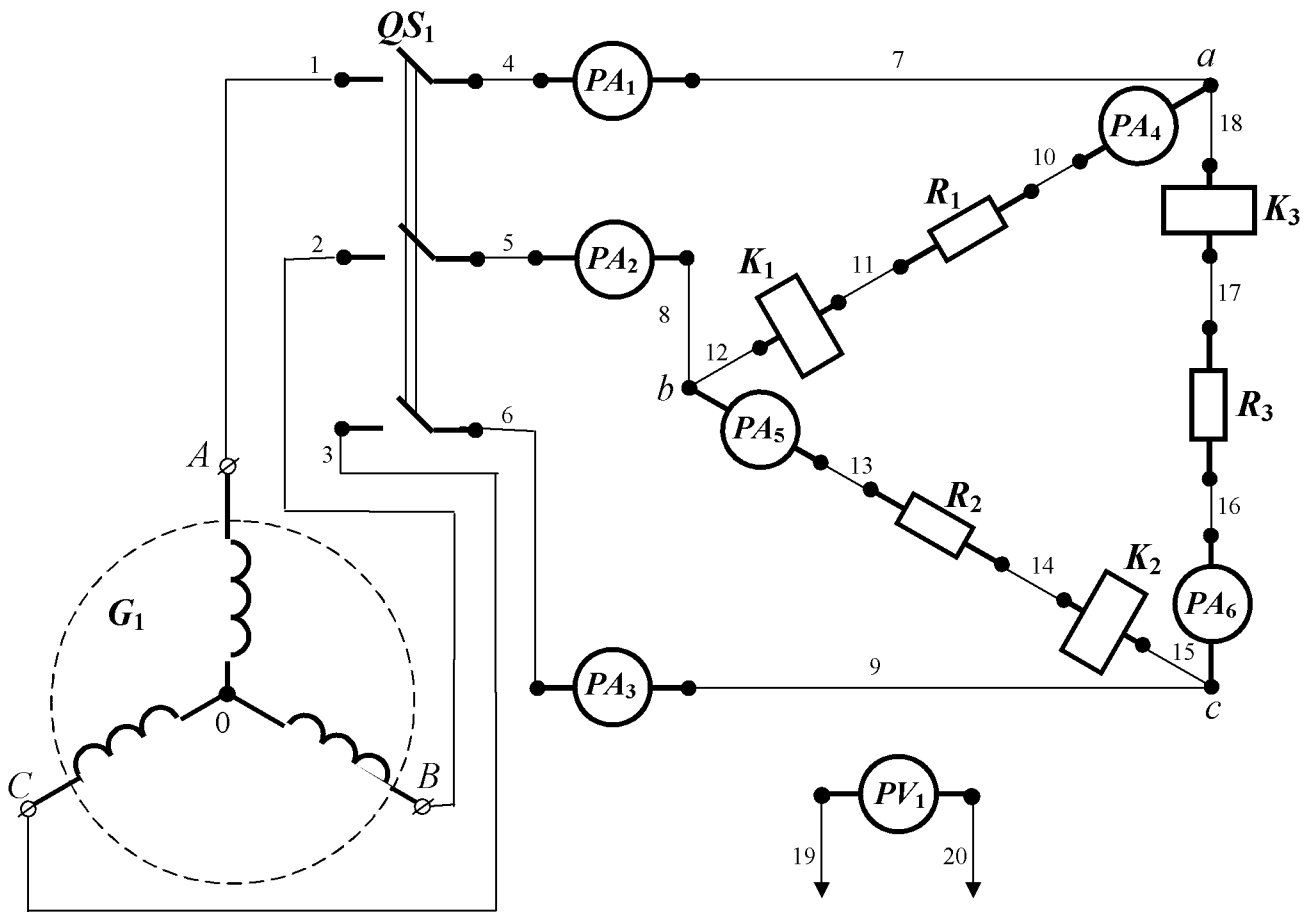


Рисунок 19.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 20 провідників (на схемі позначені номерами 1-20).

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;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ньому не протікає.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 19.2.

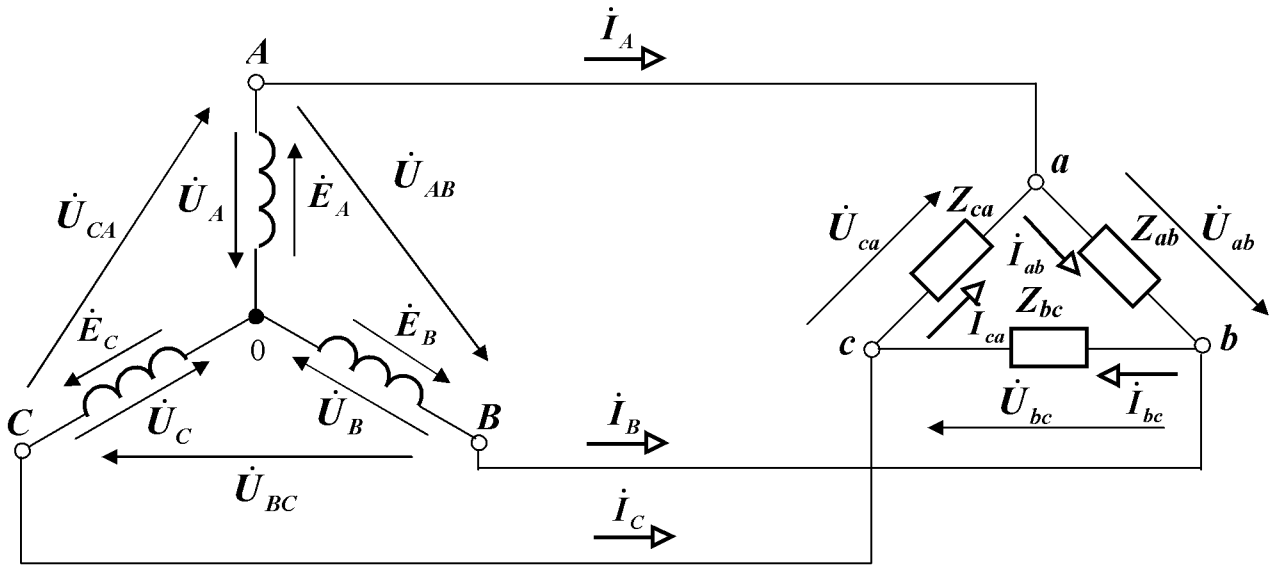


Рисунок 19.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі C генератора, B ;
- \dot{U}_A – комплекс діючого значення напруги фази A генератора, B ;
- \dot{U}_B – комплекс діючого значення напруги фази B генератора, B ;
- \dot{U}_C – комплекс діючого значення напруги фази C генератора, B ;
- \dot{U}_{AB} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз A і B генератора, B ;
- \dot{U}_{BC} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз B і C генератора, B ;
- \dot{U}_{CA} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз C і A генератора, B ;
- \dot{I}_A – комплекс діючого значення сили струму у фазі a навантаження та у лінійному проводі A - a , A ;
- \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у фазі b навантаження та у лінійному проводі B - b , A ;
- \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у фазі c навантаження та у лінійному проводі C - c , A ;
- \dot{U}_{ab} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази ab навантаження, B ;

- \dot{U}_{bc} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази *bc* навантаження, *B*;
- \dot{U}_{ca} – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази *ca* навантаження, *B*;
- Z_{ab} – комплекс повного опору фази *ab* навантаження, *Om*;
- Z_{bc} – комплекс повного опору фази *bc* навантаження, *Om*;
- Z_{ca} – комплекс повного опору фази *ca* навантаження, *Om*;
- \dot{I}_{ab} – комплекс діючого значення сили струму у фазі *ab* навантаження, *A*;
- \dot{I}_{bc} – комплекс діючого значення сили струму у фазі *bc* навантаження, *A*;
- \dot{I}_{ca} – комплекс діючого значення сили струму у фазі *ca* навантаження, *A*.

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 5.2 Замкнути вимикач QS_1 .
- 5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 10.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 19.1 – Показання приладів

$U_A,$ <i>B</i>	$U_B,$ <i>B</i>	$U_C,$ <i>B</i>	$U_{ab},$ <i>B</i>	$U_{bc},$ <i>B</i>	$U_{ca},$ <i>B</i>	$U_{R1},$ <i>B</i>	$U_{R2},$ <i>B</i>	$U_{R3},$ <i>B</i>	$I_A,$ <i>A</i>	$I_B,$ <i>A</i>	$I_C,$ <i>A</i>	$I_{ab},$ <i>A</i>	$I_{bc},$ <i>A</i>	$I_{ca},$ <i>A</i>

- 5.4 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення фазної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{\phi,2} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (19.1)$$

- 5.5 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення електрорушійної сили фази *A* генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї е.р.с. $\psi_{eA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{eA}}. \quad (19.2)$$

- 5.6 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень електрорушійних сил фази *B* і фази *C* генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (19.3)$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (19.4)$$

5.7 Записати за вказівкою викладача значення комплексу повного опору котушки, що включена у фазу навантаження, у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z = r + jx_L, \quad (19.5)$$

де Z – комплекс повного опору котушки, Ом;
 r – активний опір котушки, Ом;
 x_L – індуктивний опір котушки, Ом.

5.8 Визначити за допомогою розрахункових даних опори резисторів, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола з резистором:

$$I_{ab} = \frac{U_{R1}}{r_1}; \quad I_{bc} = \frac{U_{R2}}{r_2}; \quad I_{ca} = \frac{U_{R3}}{r_3}, \quad (19.6)$$

де r_1, r_2, r_3 – опори резисторів, Ом.

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси повних опорів фаз навантаження у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$Z_{ab} = r + r_1 + jx_L = r_{ab} + jx_{ab}; \quad (19.7)$$

$$Z_{bc} = r + r_2 + jx_L = r_{bc} + jx_{bc}; \quad (19.8)$$

$$Z_{ca} = r + r_3 + jx_L = r_{ca} + jx_{ca}, \quad (19.9)$$

де r_{ab}, r_{bc}, r_{ca} – активні опори відповідно фаз ab, bc і ca трифазного навантаження, Ом;

x_{ab}, x_{bc}, x_{ca} – індуктивні опори відповідно фаз ab, bc і ca трифазного навантаження, Ом.

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруг на фазах навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \cdot \dot{E}_A \cdot e^{j30^\circ}; \quad (19.10)$$

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j200^\circ}; \quad (19.11)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}, \quad (19.12)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил струмів у фазах навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола в комплексній формі:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}; \quad (19.13)$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z_{bc}}; \quad (19.14)$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z_{ca}}, \quad (19.15)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил лінійних струмів, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad (19.16)$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad (19.17)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}; \quad (19.18)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.13 Визначити комплекс повної потужності, яку розвиває генератор, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_z = \dot{E}_A \cdot \dot{I}_A^* + \dot{E}_B \cdot \dot{I}_B^* + \dot{E}_C \cdot \dot{I}_C^*. \quad (19.19)$$

5.14 Визначити комплекс повної потужності, яку споживає навантаження, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = \dot{U}_{ab} \cdot \dot{I}_{ab}^* + \dot{U}_{bc} \cdot \dot{I}_{bc}^* + \dot{U}_{ca} \cdot \dot{I}_{ca}^*. \quad (19.20)$$

5.15 Скласти баланс потужностей кола та перевірити його

5.16 Результати розрахунків занести в таблицю 19.2.

Таблиця 19.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

\dot{E}_A, B показова форма	\dot{E}_B, B показова форма	\dot{E}_C, B показова форма	\dot{U}_{ab}, B показова форма	\dot{U}_{bc}, B показова форма	\dot{U}_{ca}, B показова форма	$Z_{ab}, Ом$ показова форма	$Z_{bc}, Ом$ показова форма	$Z_{ca}, Ом$ показова форма

Продовження таблиці 19.2

\dot{I}_{ab}, A показова і алгебраїчна форма	\dot{I}_{bc}, A показова і алгебраїчна форма	\dot{I}_{ca}, A показова і алгебраїчна форма	\dot{I}_A, A показова і алгебраїчна форма	\dot{I}_B, A показова і алгебраїчна форма	\dot{I}_C, A показова і алгебраїчна форма

5.17 Перевірити розрахунок лінійних струмів, склавши для вузла 0 розрахункової схеми рівняння за першим законом Кірхгофа.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.
- 6.4 Таблиця 19.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Таблиця 19.2. Баланс потужностей.
- 6.8 Перевірка рівняння за законом першим Кірхгофа.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Яке коло називається несиметричним?
- 7.2 Який трифазний генератор називається несиметричним?
- 7.3 Яке трифазне навантаження називається несиметричним?
- 7.4 Які лінійні проводи називають несиметричними?
- 7.5 Складіть розрахункову схему несиметричного трифазного кола «зірка – трикутник».
- 7.6 Чи з'являється напруга зміщення нейтралі у несиметричному колі «зірка – трикутник»? Чому?
- 7.7 Яка послідовність розрахунку несиметричного кола «зірка – трикутник» з ідеальними джерелом і лінією електропередач?
- 7.8 Яка послідовність розрахунку несиметричного кола «зірка – трикутник» з ідеальним джерелом і реальною лінією електропередач?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 20

Тема. Дослідження несиметричного трифазного джерела, з'єданого зіркою, у режимі холостого ходу

Мета: придбання практичних визначенні комплексів симетричних складових фазних напруг несиметричного трифазного джерела, з'єданого зіркою, у режимі холостого ходу

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 10 «Метод симетричних складових» пп.10.1, 10.2 [2, с. 136–141].

- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 10.1 – 10.3 [6].
- 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 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Експериментальна установка містить трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані за схемою «зірка», в одну фазу якого включений автотрансформатор T_1 , та переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 17.1.

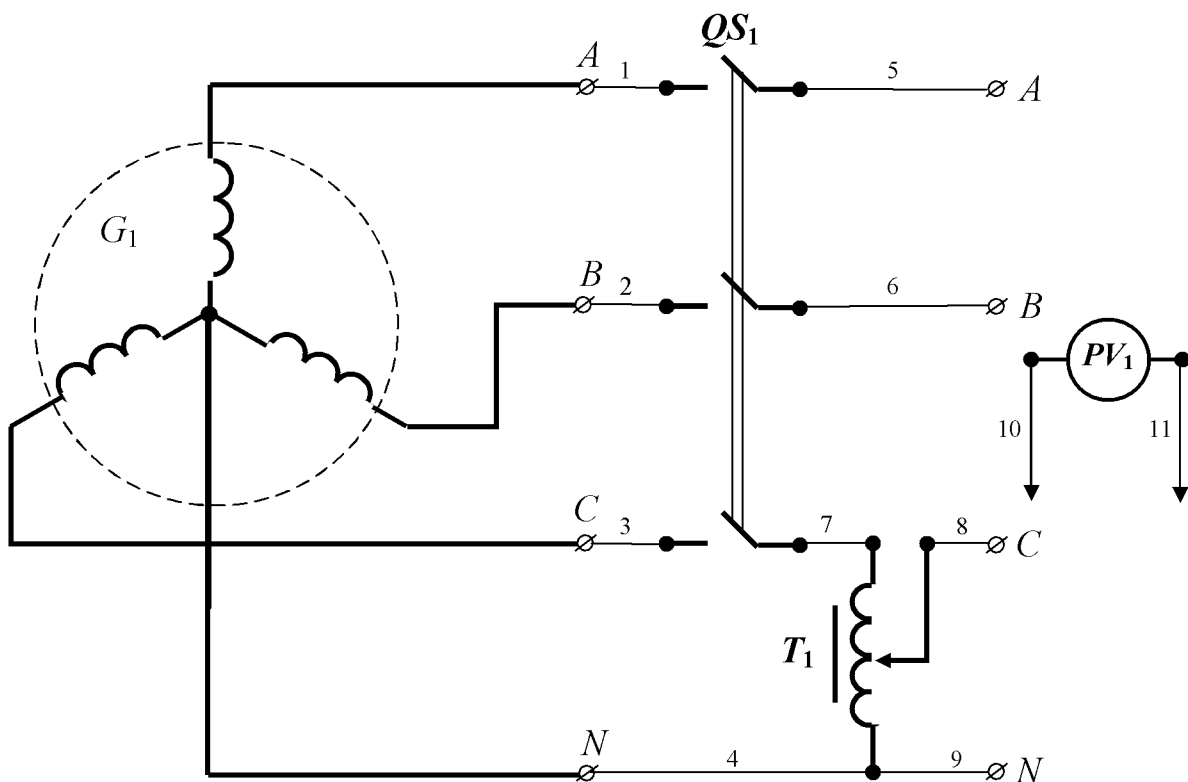


Рисунок 20.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 17.2.

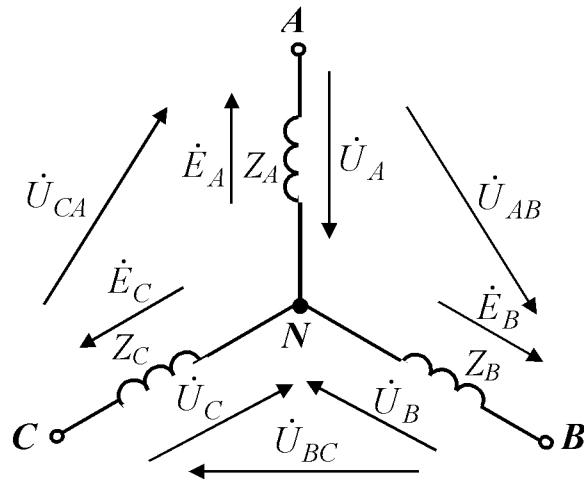


Рисунок 20.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі наведені наступні умовні позначення:

\dot{E}_A – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі A генератора, B ;

\dot{E}_B – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі B генератора, B ;

\dot{E}_C – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі C генератора, B ;

\dot{U}_A – комплекс діючого значення напруги фази A генератора, B ;

\dot{U}_B – комплекс діючого значення напруги фази B генератора, B ;

\dot{U}_C – комплекс діючого значення напруги фази C генератора, B ;

\dot{U}_{AB} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз A і B генератора, B ;

\dot{U}_{BC} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз B і C генератора, B ;

\dot{U}_{CA} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз C і A генератора, B ;

Z_A – комплекс повного опору фази A генератора, Om ;

Z_B – комплекс повного опору фази B генератора, Om ;

Z_C – комплекс повного опору фази C генератора, Om .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Замкнути вимикач QS_1 . Встановити за допомогою автотрансформатора T_1 напругу на фазі C генератора меншу за номінальне значення.

5.3 Виміряти діючі значення фазних напруг генератора, результати занести в таблицю 20.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 20.1 – Показання приладів

$U_{A, B}$	$U_{B, B}$	$U_{C, B}$

5.4 Записати за допомогою експериментальних даних комплекс діючого значення напруги на фазі A генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї напруги $\psi_{uA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = U_A \cdot e^{j\psi_{uA}}. \quad (20.1)$$

5.5 Визначити за допомогою експериментальних даних комплекс діючого значення напруги на фазі B генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_B = U_B \cdot e^{j(\psi_{uA} - 120^\circ)}. \quad (20.2)$$

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних комплекс діючого значення напруги на фазі C генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_C = U_C \cdot e^{j(\psi_{uA} - 240^\circ)}. \quad (20.3)$$

5.7 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових прямої послідовності напруги на фазах генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{A1} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + a \cdot \dot{U}_B + a^2 \cdot \dot{U}_C); \quad (20.4)$$

$$\dot{U}_{B1} = a^2 \cdot \dot{U}_{A1}; \quad (20.5)$$

$$\dot{U}_{C1} = a \cdot \dot{U}_{A1}. \quad (20.5)$$

5.8 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень симетричних складових прямої послідовності напруг на фазах генератора.

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових зворотної послідовності напруги на фазах генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{A2} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + a^2 \cdot \dot{U}_B + a \cdot \dot{U}_C); \quad (20.6)$$

$$\dot{U}_{B2} = a \cdot \dot{U}_{A1}; \quad (20.7)$$

$$\dot{U}_{C1} = a^2 \cdot \dot{U}_{A1}. \quad (20.8)$$

5.10 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень симетричних складових зворотної послідовності напруг на фазах генератора.

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових нульової послідовності напруги на фазах генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{A0} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C); \quad (20.9)$$

$$\dot{U}_{B0} = \dot{U}_{A0}; \quad (20.10)$$

$$\dot{U}_{C0} = \dot{U}_{A0}. \quad (20.11)$$

5.12 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень симетричних складових нульової послідовності напруг на фазах генератора.

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг на фазах генератора, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}; \quad (20.12)$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0}; \quad (20.13)$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0}, \quad (20.14)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.14 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень напруг на фазах генератора, отримавши їх через відповідні симетричні складові.

5.15 Результати розрахунків занести в таблицю 20.2.

Таблиця 20.2 – Фізичні величини, що характеризують генератор

$\dot{U}_{A, B}$ показова форма (п.5.4)	$\dot{U}_{A1, B}$ показова форма	$\dot{U}_{A2, B}$ показова форма	$\dot{U}_{A0, B}$ показова форма	$\dot{U}_{A, B}$ показова форма (п.5.13)

Продовження таблиці 20.2

$\dot{U}_{B, B}$ показова форма (п.5.5)	$\dot{U}_{B1, B}$ показова форма	$\dot{U}_{B2, B}$ показова форма	$\dot{U}_{B0, B}$ показова форма	$\dot{U}_{B, B}$ показова форма (п.5.13)

Продовження таблиці 20.2

$\dot{U}_{C, B}$ показова форма (п.5.6)	$\dot{U}_{C1, B}$ показова форма	$\dot{U}_{C2, B}$ показова форма	$\dot{U}_{C0, B}$ показова форма	$\dot{U}_{C, B}$ показова форма (п.5.13)

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 20.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Векторні діаграми.
- 6.8 Таблиця 20.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Запишіть оператор a трифазної системи в показовій, тригонометричній і алгебраїчній формах.
- 7.2 Запишіть квадрат оператора a трифазної системи в показовій, тригонометричній і алгебраїчній формах.
- 7.3 Зобразіть на комплексній площині симетричну систему одиничних векторів $-1, a, a^2$. Чому дорівнює сума зазначених векторів?
- 7.4 Що являє собою симетрична система прямої послідовності напруг $\dot{U}_{A1}, \dot{U}_{B1}, \dot{U}_{C1}$? Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму вказаних симетричних складових напруг.
- 7.5 Що являє собою симетрична система зворотної послідовності напруг $\dot{U}_{A2}, \dot{U}_{B2}, \dot{U}_{C2}$? Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму вказаних симетричних складових напруг.
- 7.6 Що являє собою симетрична система нульової послідовності напруг $\dot{U}_{A0}, \dot{U}_{B0}, \dot{U}_{C0}$? Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму вказаних симетричних складових напруг.
- 7.7 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення симетричної складової напруги прямої послідовності \dot{U}_{A1} несиметричної системи напруг генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$.

- 7.8 Запишіть вирази для розрахунку комплексів діючих значень симетричних складових прямої послідовності напруг \dot{U}_{B1} і \dot{U}_{C1} через \dot{U}_{A1} .
- 7.9 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення симетричної складової зворотної послідовності напруги \dot{U}_{A2} несиметричної системи напруг генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$.
- 7.10 Запишіть вирази для розрахунку комплексів діючих значень симетричних складових зворотної послідовності напруг \dot{U}_{B2} і \dot{U}_{C2} через \dot{U}_{A2} .
- 7.11 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення симетричної складової нульової послідовності напруги \dot{U}_{A0} несиметричної системи напруг генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$.
- 7.12 Запишіть вирази для розрахунку комплексів діючих значень симетричних складових нульової послідовності напруг \dot{U}_{B0} і \dot{U}_{C0} через \dot{U}_{A0} .
- 7.13 Запишіть вирази для розрахунку комплексів діючих значень несиметричних напруг генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ через їх відповідні симетричні складові.
- 7.14 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму комплексів діючих значень несиметричних напруг генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ через їх відповідні симетричні складові.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 21

Тема. Дослідження нерозгалуженого статичного трифазного кола «зірка – зірка» при симетричному навантаженні і несиметричній системі напруг

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів симетричних складових напруг несиметричного трифазного джерела, комплексів симетричних складових струмів, комплексів опорів струмам різної послідовності, комплексів струмів і напруг статичного трифазного кола «зірка – зірка з нулем»

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 10 «Метод симетричних складових» пп.10.4, 10.5 [2, с. 146–153].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 10.1 – 10.6 [6].
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою, в одну фазу якого включений автотрансформатор T_1 . Трифазне навантаження, фази якого з'єднані зіркою. Фази навантаження складаються з індуктивних котушок K_1, K_2, K_3 з однаковими параметрами. Навантаження приєднане до генератора за допомогою ідеальної трипровідної лінії електропередачі.

У коло включені три амперметри PA_1, PA_2, PA_3, PA_4 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 і вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 21.1.

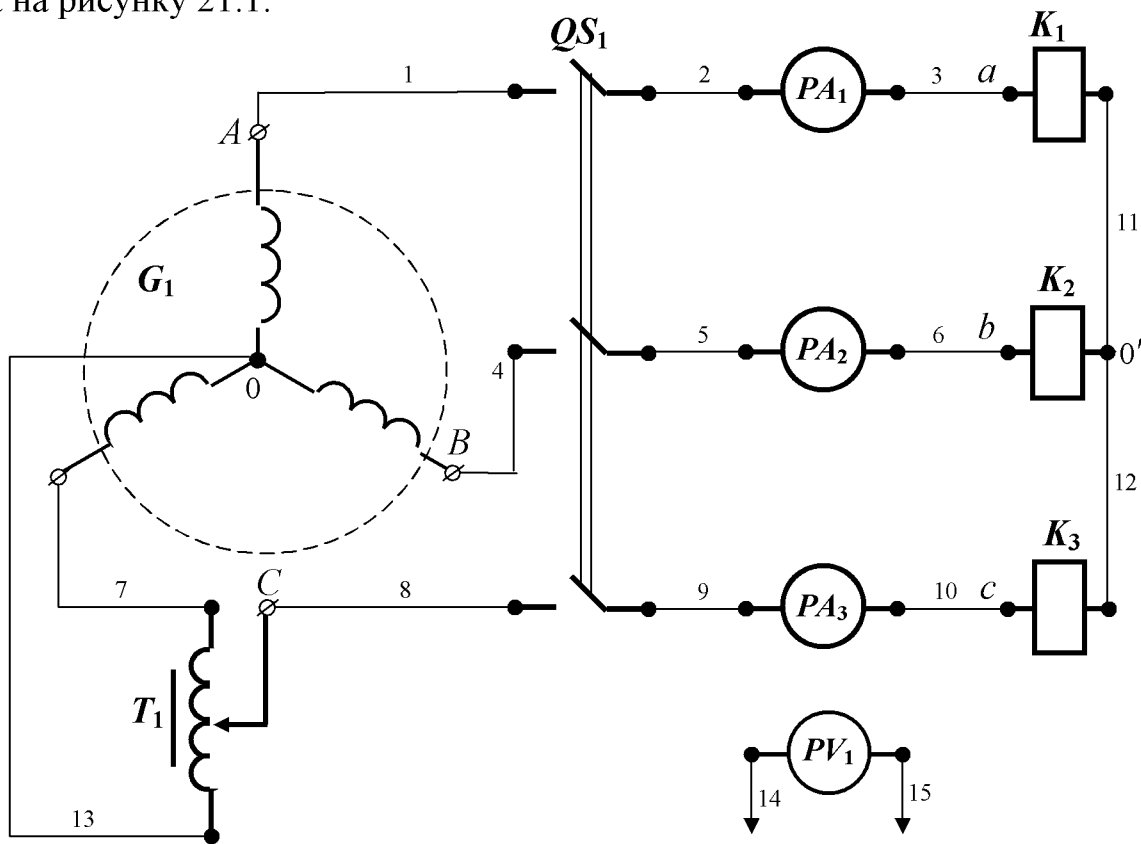


Рисунок 21.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 провідів і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмоток амперметрів дорівнюють нулю;
- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності, тобто електричний струм у ньому не протікає.

Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 18.2. Розрахункова схема однієї фази (фази *A*) електричного кола експериментальної установки для симетричних складових прямої послідовності має вигляд, наведений на рисунку 18.3. Розрахункова схема однієї фази (фази *A*) електричного кола експериментальної установки для симетричних складових зворотної послідовності має вигляд, наведений на рисунку 18.4.

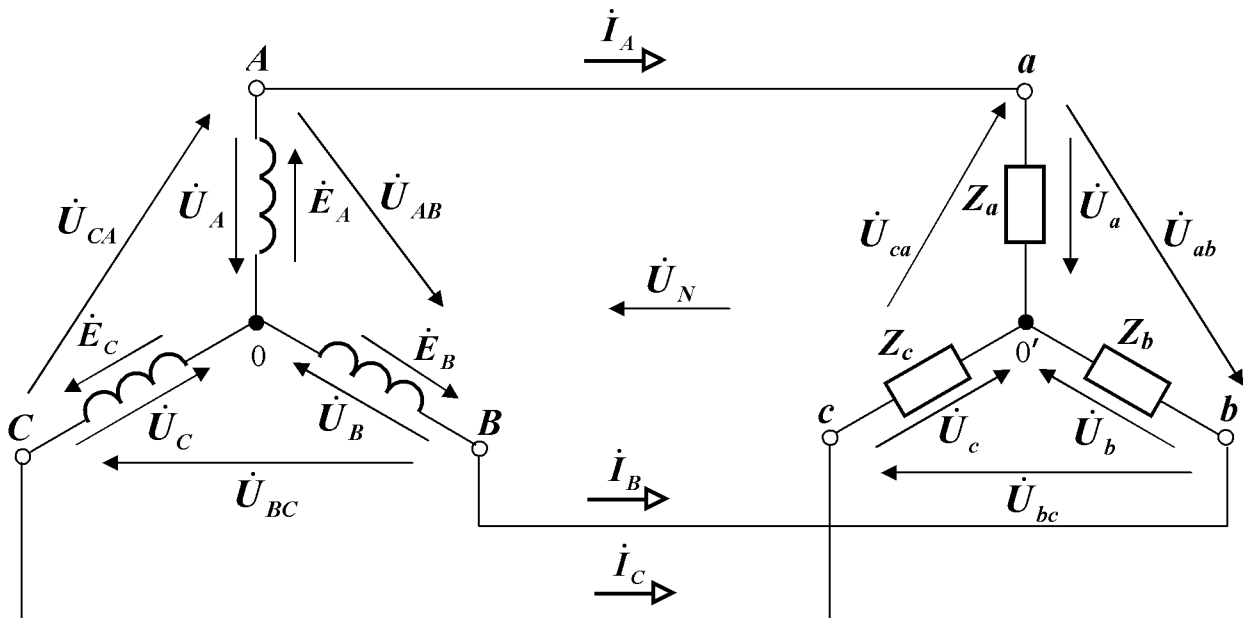


Рисунок 21.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

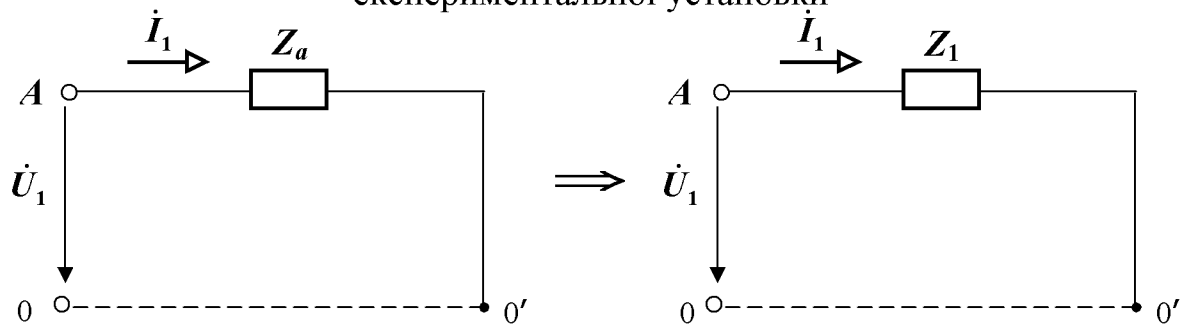


Рисунок 21.3 – Розрахункова схема фази *A* електричного кола експериментальної установки для симетричних складових прямої послідовності

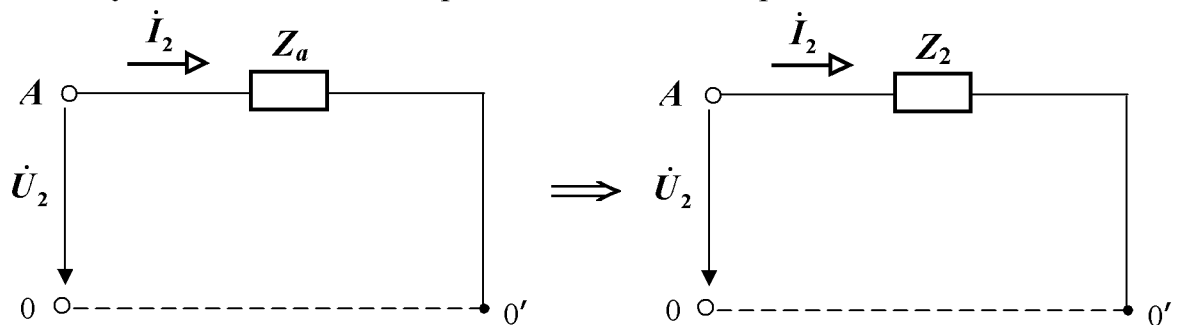


Рисунок 21.4 – Розрахункова схема фази *A* електричного кола експериментальної установки для симетричних складових зворотної послідовності

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення електрорушійної сили у фазі C генератора, B ;
- \dot{U}_A – комплекс діючого значення напруги фази A генератора, B ;
- \dot{U}_B – комплекс діючого значення напруги фази B генератора, B ;
- \dot{U}_C – комплекс діючого значення напруги фази C генератора, B ;
- \dot{U}_{AB} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз A і B генератора, B ;
- \dot{U}_{BC} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз B і C генератора, B ;
- \dot{U}_{CA} – комплекс діючого значення лінійної напруги на затискачах фаз C і A генератора, B ;
- \dot{I}_A – комплекс діючого значення сили струму у фазі a навантаження та у лінійному проводі $A-a$, A ;
- \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у фазі b навантаження та у лінійному проводі $B-b$, A ;
- \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у фазі c навантаження та у лінійному проводі $C-c$, A ;
- \dot{U}_N – комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі, B ;
- \dot{U}_a – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази a навантаження, B ;
- \dot{U}_b – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази b навантаження, B ;
- \dot{U}_c – комплекс діючого значення напруги на затискачах фази c навантаження, B ;
- \dot{U}_{ab} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз a і b навантаження, B ;
- \dot{U}_{bc} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз b і c навантаження, B ;
- \dot{U}_{ca} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз c і a навантаження, B ;
- Z_a – комплекс повного опору фази a навантаження, Om ;
- Z_b – комплекс повного опору фази b навантаження, Om ;
- Z_c – комплекс повного опору фази c навантаження, Om ;
- \dot{U}_1 – комплекс діючого значення симетричної складової прямої послідовності напруги на фазі A генератора, B ;
- \dot{U}_2 – комплекс діючого значення симетричної складової зворотної послідовності напруги на фазі A генератора, B ;

- \dot{I}_1 – комплекс діючого значення симетричної складової прямої послідовності сили струму у фазі a навантаження та у лінійному проводі $A-a, A$;
- \dot{I}_2 – комплекс діючого значення симетричної складової зворотної послідовності сили струму у фазі a навантаження та у лінійному проводі $A-a, A$;
- Z_1 – комплекс повного опору симетричній складовій прямої послідовності струму у фазі a навантаження, $Ом$;
- Z_2 – комплекс повного опору симетричній складовій зворотної послідовності струму у фазі a навантаження, $Ом$.

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Замкнути вимикач QS_1 . Встановити за допомогою автотрансформатора T_1 напругу на фазі C генератора меншу, ніж номінальне значення.

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 21.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 21.1 – Показання приладів

$U_A,$ B	$U_B,$ B	$U_C,$ B	$U_a,$ B	$U_b,$ B	$U_c,$ B	$I_A,$ A	$I_B,$ A	$I_C,$ A

5.4 Записати за вказівкою викладача комплекс повного опору фази a навантаження у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_a = r_a + jx_a, \quad (21.1)$$

де r_a – активний опір фази a навантаження, $Ом$;

x_a – індуктивний опір фази a навантаження, $Ом$.

5.5 Визначити комплекс повного опору фази a навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= \bar{z}_a \cdot e^{j\varphi_a}; \\ \bar{z}_a &= \sqrt{r_a^2 + x_a^2}; \\ \varphi_a &= \arctg \frac{x_a}{r_a}, \end{aligned} \right\} \quad (21.2)$$

де \bar{z}_a – повний опір фази a навантаження, $Ом$;

φ_a – кут зсуву фаз фази a навантаження, $градус$.

5.6 Записати комплекси повних опорів симетричним складовим прямої і зворотної послідовності, використовуючи рівняння:

$$Z_1 = Z_a; \quad Z_2 = Z_a. \quad (21.3)$$

5.7 Записати за допомогою експериментальних даних комплекс діючого значення напруги на фазі A генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза цієї напруги $\psi_{uA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = U_A \cdot e^{j\psi_{uA}}. \quad (20.4)$$

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних комплекси діючих значень напруг на фазі B і на фазі C генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (21.5)$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (21.6)$$

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових прямої, зворотної і нульової послідовностей напруги фази A генератора у показовій формі:

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + a \cdot \dot{U}_B + a^2 \cdot \dot{U}_C); \quad (21.7)$$

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + a^2 \cdot \dot{U}_B + a \cdot \dot{U}_C). \quad (21.8)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових прямої і зворотної послідовностей сили струму у фазі a навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1}; \quad (21.9)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{Z_2}. \quad (21.10)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил струмів у фазах навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_1 + \dot{I}_2; \quad (21.11)$$

$$\dot{I}_B = a^2 \cdot \dot{I}_1 + a \cdot \dot{I}_2; \quad (21.12)$$

$$\dot{I}_C = a \cdot \dot{I}_1 + a^2 \cdot \dot{I}_2, \quad (21.13)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг на фазах навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола в комплексній формі:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}; \quad (21.14)$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}; \quad (21.15)$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{Z_c}. \quad (21.16)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.13 Визначити комплекс повної потужності, яку розвиває генератор, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_e = \dot{E}_A \cdot \dot{I}_A^* + \dot{E}_B \cdot \dot{I}_B^* + \dot{E}_C \cdot \dot{I}_C^*. \quad (21.17)$$

5.14 Визначити комплекс повної потужності, яку споживає навантаження, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = \dot{U}_a \cdot \dot{I}_a^* + \dot{U}_b \cdot \dot{I}_b^* + \dot{U}_c \cdot \dot{I}_c^*. \quad (21.18)$$

5.15 Скласти баланс потужностей кола та перевірити його

5.16 Результати розрахунків занести в таблицю 21.2.

Таблиця 21.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$\dot{U}_{A, B}$ показова форма	$\dot{U}_{B, B}$ показова форма	$\dot{U}_{C, B}$ показова форма	$\dot{I}_{A, A}$ показова форма	$\dot{I}_{B, A}$ показова форма	$\dot{I}_{C, A}$ показова форма	$\dot{U}_{a, B}$ показова форма	$\dot{U}_{b, B}$ показова форма	$\dot{U}_{c, B}$ показова форма	$Z_a, Ом$ показова форма

5.17 Перевірити розрахунок лінійних струмів, склавши для вузла 0' розрахункової схеми рівняння за першим законом Кірхгофа.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.
- 6.4 Таблиця 21.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Таблиця 21.2.
- 6.8 Таблиця 21.3.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Складіть розрахункову схему трифазного кола, яке складається з ідеального несиметричного генератора, з'єднаного зіркою, ідеальної трипровідної лінії електропередачі, симетричного навантаження, з'єднаного зіркою.
- 7.2 У чому суть розрахунку несиметричного трифазного кола з несиметричним джерелом і симетричними лінією і навантаженням?
- 7.3 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення симетричної складової прямої послідовності напруги \dot{U}_1 несиметричної системи напруг генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$.
- 7.4 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення симетричної складової зворотної послідовності напруги \dot{U}_2 несиметричної системи напруг генератора $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$.
- 7.5 Складіть розрахункову схему однієї фази кола з п.7.1 для симетричних складових прямої послідовності та запишіть рівняння закону Ома в комплексній формі для неї.
- 7.6 Складіть розрахункову схему однієї фази кола з п.7.1 для симетричних складових зворотної послідовності та запишіть рівняння закону Ома в комплексній формі для неї.
- 7.7 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повного опору симетричній складовій прямої послідовності струму фази кола через параметри кола.
- 7.8 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повного опору симетричній складовій зворотної послідовності струму фази кола через параметри кола.

- 7.9 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму \dot{I}_A кола з п.7.1 через симетричні складові \dot{I}_1, \dot{I}_2 .
- 7.10 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму \dot{I}_B кола з п.7.1 через симетричні складові \dot{I}_1, \dot{I}_2 .
- 7.11 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму \dot{I}_C кола з п.7.1 через симетричні складові \dot{I}_1, \dot{I}_2 .
- 7.12 Як перевірити розрахунок комплексів струмів кола з п.7.1?
- 7.13 Запишіть вирази для розрахунку комплексів діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.1.
- 7.14 Запишіть вирази для розрахунку комплексів діючих значень лінійних напруг навантаження кола з п.7.1.
- 7.15 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму напруг і струмів кола з п.7.1.
- 7.16 Чим відрізняється розрахунок чотирипровідного кола від кола з п.7.1? Наведіть алгоритм розрахунку такого кола.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 22

Тема. Дослідження кола несинусоїдного струму з реальною котушкою

Мета: придбання практичних навичок при визначенні опорів, комплексів діючих значень напруг та струму, потужностей у лінійному нерозгалуженому колі несинусоїдного струму з реальною котушкою

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 12 «Несинусоїдні струми», пп.12.1–12.4 [2, с. 188–203].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 12.1 – 12.6 [6].
- 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 три ідеальні генератори G_1, G_2, G_3 синусоїдних електрорушійних сил з регульованою частотою, які включені послідовно. При проведенні експериментальних досліджень генератор G_1 встановлюють на частоту 50 Гц , генератор G_2 встановлюють на частоту 150 Гц , генератор G_3 встановлюють на частоту 0 Гц .

До затискачів послідовно з'єднаних генераторів підключена котушка K_1 . На затискачах кожного генератора включені відповідно вольтметри PV_1, PV_2, PV_3 , на затискачі послідовного з'єднання генераторів включений вольтметр PV_4 . У коло також включені амперметр PA_1 і ватметр PW_1 . Для комутації кола передбачені вимикачі QS_1, QS_2, QS_3 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 22.1.

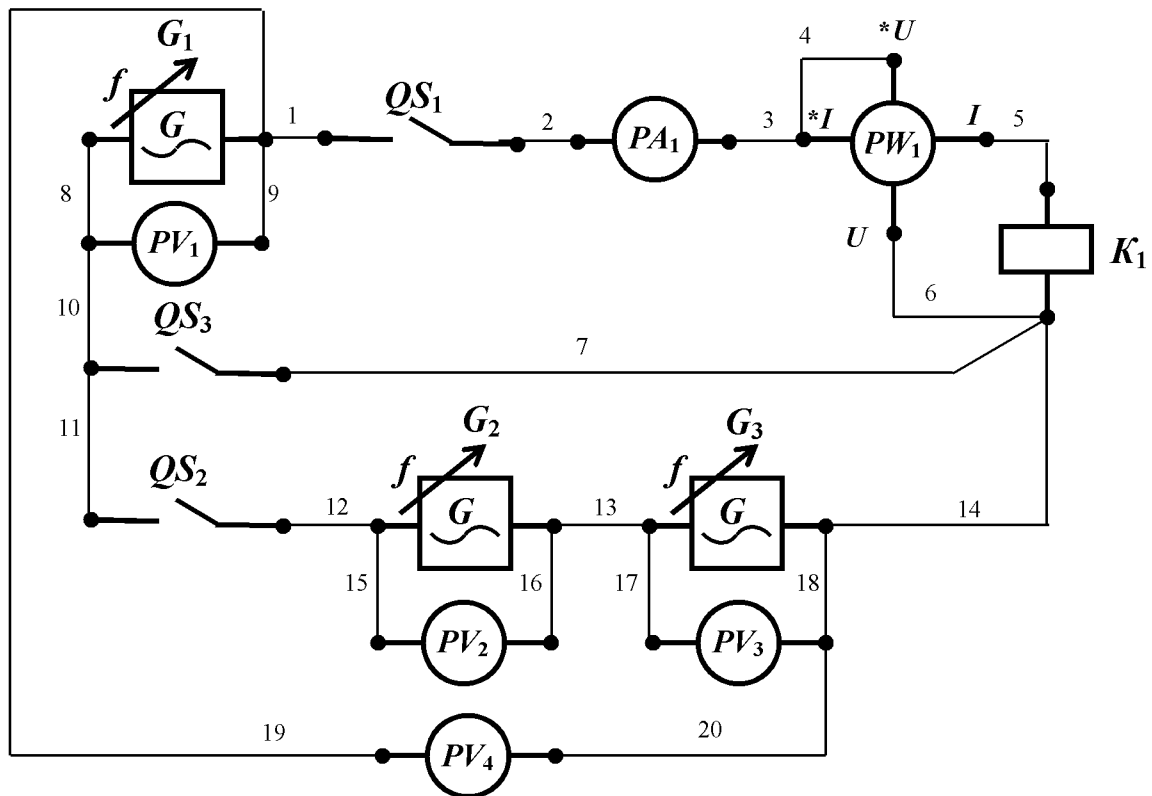


Рисунок 22.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 20 провідників (на схемі позначені номерами 1-20).

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

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

При замкнених вимикачах QS_1, QS_2 і розімкненому вимикачеві QS_3 утворюється лінійне нерозгалужене коло несинусоїдного струму. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки для миттєвих значень має вигляд, наведений на рисунку 22.2.

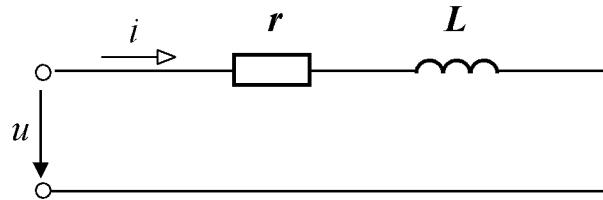


Рисунок 22.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_2 , QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_1

Розрахункові схеми для струмів окремих гармонік мають вигляд, наведений на рисунку 22.3 (рис.22.3а – для струму нульової гармоніки, рис.22.3б – для струму основної (першої) гармоніки, рис.22.3в – для струму третьої гармоніки).

При замкнених вимикачах QS_1 , QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_2 утворюється лінійне нерозгалужене коло синусоїдного струму. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 22.3б.

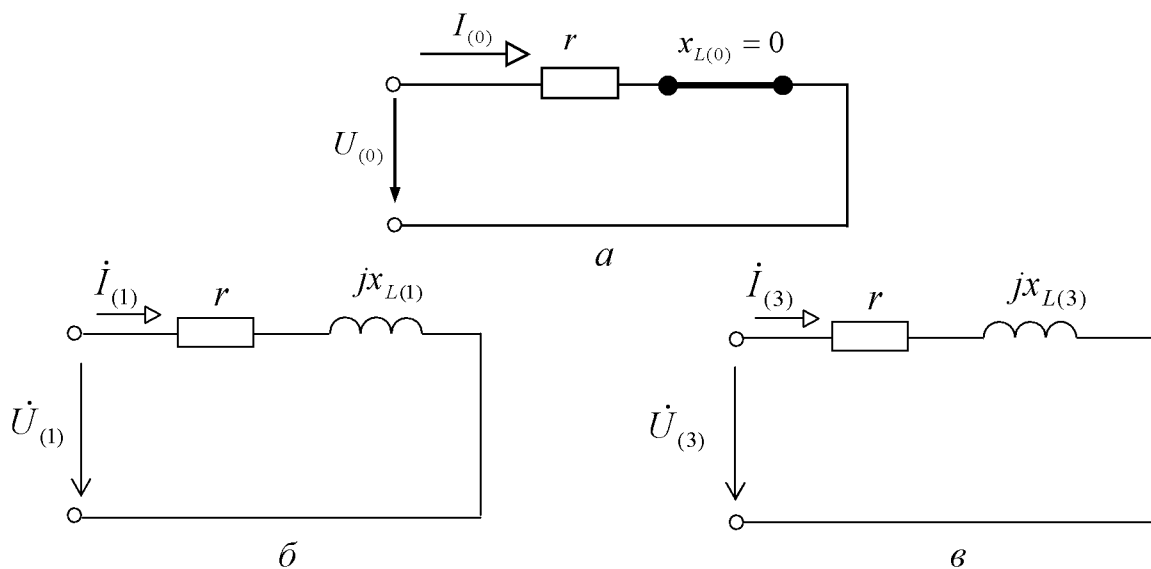


Рисунок 22.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_2 , QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_1 для окремих гармонік (а – нульової; б – основної (першої); в – третьої)

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- u – миттєве значення напруги на затискачах кола, B ;
- $U_{(0)}$ – діюче значення напруги нульової гармоніки, B ;
- $\dot{U}_{(1)}$ – комплекс діючого значення напруги першої гармоніки, B ;
- $\dot{U}_{(3)}$ – комплекс діючого значення напруги третьої гармоніки, B ;
- i – миттєве значення сили струму кола, A ;
- $I_{(0)}$ – діюче значення сили струму нульової гармоніки, A ;
- $\dot{I}_{(1)}$ – комплекс діючого значення сили струму першої гармоніки, A ;

- $\dot{I}_{(3)}$ – комплекс діючого значення сили струму третьої гармоніки, A ;
- r – активний опір котушки, Ω ;
- L – індуктивність котушки, H ;
- $x_{L(0)}$ – індуктивний опір котушки струму нульової гармоніки, Ω ;
- $jx_{L(1)}$ – комплекс індуктивного опору котушки струму першої гармоніки, Ω ;
- $jx_{L(3)}$ – комплекс індуктивного опору котушки струму третьої гармоніки, Ω .

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Зібрати схему експериментальної установки.
- 5.2 Встановити на генераторі G_1 частоту 50 Гц , на генераторі G_2 частоту 150 Гц , на генераторі G_3 частоту 0 Гц .
- 5.3 Замкнути вимикачі QS_1 і QS_3 .
- 5.4 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 22.1, розімкнути вимикачі QS_1 і QS_3 .
- 5.5 Замкнути вимикачі QS_1 і QS_2 .
- 5.6 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 22.1, розімкнути вимикачі QS_1 і QS_2 .

Таблиця 22.1 – Показання приладів

Умови проведення експериментів	Показання приладів					
	U_1, B	U_2, B	U_3, B	U_4, B	I, A	$P, Вт$
1 Вимикачі QS_1, QS_3 замкнені, вимикач QS_2 розімкнений		не знімати	не знімати	не знімати		
2 Вимикачі QS_1, QS_2 замкнені, вимикач QS_3 розімкнений						

Аналіз першої гармоніки

- 5.7 Записати за допомогою експериментальних даних першого експерименту:
 - діюче значення напруги на затискачах котушки ($U_{(1)}$);
 - діюче значення сили струму в котушці ($I_{(1)}$);
 - активну потужність, споживану котушкою ($P_{(1)}$).
- 5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту активний опір котушки, використовуючи рівняння:

$$P_{(1)} = r \cdot I_{(1)}^2. \quad (22.1)$$

- 5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту повний опір котушки першій (основній) гармоніці струму, використовуючи математичний запис закону Ома для замкненого кола (для діючих значень):

$$I_{(1)} = \frac{U_{(1)}}{z_{(1)}}. \quad (22.2)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки першій (основній) гармоніці струму, використовуючи рівняння:

$$z_{(1)} = \sqrt{r^2 + x_{L(1)}^2}. \quad (22.3)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою і струмом першої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$\varphi_{(1)} = \arctg \frac{x_{L(1)}}{r}. \quad (22.4)$$

5.12 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору котушки струму основної (першої) гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(1)} = z_{(1)} \cdot e^{j\varphi_{(1)}}. \quad (22.5)$$

5.13 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту діюче значення напруги на затискачах першого генератора ($U_{(1)}$).

5.14 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту комплекс діючого значення напруги основної (першої) гармоніки у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза $\psi_{u(1)} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{(1)} = U_{(1)} e^{j\psi_{u(1)}}. \quad (22.6)$$

5.15 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту рівняння миттєвої напруги основної (першої) гармоніки, використовуючи рівняння:

$$u_{(1)} = \sqrt{2} \cdot U_{(1)} \sin(\omega t + \psi_{u(1)}). \quad (22.7)$$

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму основної (першої) гармоніки у показовій формі, використовуючи закон Ома для замкненого кола в комплексній формі (для діючих значень):

$$i_{(1)} = \frac{\dot{U}_{(1)}}{Z_{(1)}}. \quad (22.8)$$

5.17 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму основної (першої) гармоніки, використовуючи рівняння:

$$i_{(1)} = \sqrt{2} \cdot I_{(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}). \quad (22.9)$$

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності основної (першої) гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(1)} = \dot{U}_{(1)} \cdot I_{(1)}^*, \quad (22.10)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(1)} = P_{(1)} + jQ_{L(1)}. \quad (22.11)$$

Аналіз нульової гармоніки

5.19 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(0)} = k \cdot x_{L(1)}, \quad (22.12)$$

де k – номер гармоніки.

5.20 Визначити за допомогою розрахункових даних повний опір котушки струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$z_{(0)} = \sqrt{r^2 + x_{L(0)}^2}. \quad (22.13)$$

5.21 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту діюче значення напруги на затискачах третього генератора ($U_{(0)}$).

5.22 Визначити за допомогою експериментальних та розрахункових даних другого експерименту силу струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$I_{(0)} = \frac{U_{(0)}}{z_{(0)}}. \quad (22.14)$$

5.23 Визначити за допомогою експериментальних та розрахункових даних другого експерименту потужність нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$P_{(0)} = U_{(0)} \cdot I_{(0)}. \quad (22.15)$$

Аналіз третьої гармоніки

5.24 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту діюче значення напруги на затискачах другого генератора ($U_{(3)}$).

5.25 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту комплекс діючого значення напруги третьої гармоніки у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза $\psi_{u(3)} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{(3)} = U_{(3)} e^{j\psi_{u(3)}}. \quad (22.16)$$

5.26 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту рівняння миттєвої напруги третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$u_{(3)} = \sqrt{2} \cdot U_{(3)} \sin(\omega t + \psi_{u(3)}). \quad (22.17)$$

5.27 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(3)} = k \cdot x_{L(1)}. \quad (22.18)$$

5.28 Записати за допомогою експериментальних та розрахункових даних комплекс повного опору кола струму третьої гармоніки у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(3)} = r + jx_{L(3)}. \quad (22.19)$$

5.29 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору котушки струму третьої гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(3)} = \underline{z}_{(3)} \cdot e^{j\varphi_{(3)}}. \quad (22.20)$$

5.30 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму третьої гармоніки у показовій формі, використовуючи закон Ома для замкненого кола в комплексній формі (для діючих значень):

$$\dot{i}_{(3)} = \frac{\dot{U}_{(3)}}{Z_{(3)}}. \quad (22.21)$$

5.31 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$i_{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{(3)} \sin(\omega t + \psi_{i(3)}). \quad (22.22)$$

5.32 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності третьої гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(3)} = \dot{U}_{(3)} \cdot \dot{I}_{(3)}^*, \quad (22.23)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(3)} = P_{(3)} + jQ_{L(3)}. \quad (22.24)$$

Аналіз електричного кола в цілому

5.33 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$u = U_{(0)} + U_{m(1)} \sin(\omega t + \psi_{u(1)}) + U_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_{u(3)}). \quad (22.25)$$

5.34 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму у колі, використовуючи рівняння:

$$i = I_{(0)} + I_{m(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}) + I_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_{i(3)}). \quad (22.26)$$

5.35 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$U = \sqrt{U_{(0)}^2 + U_{(1)}^2 + U_{(3)}^2}, \quad (22.27)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у другому експерименті.

5.36 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення сили струму кола, використовуючи рівняння:

$$I = \sqrt{I_{(0)}^2 + I_{(1)}^2 + I_{(3)}^2}, \quad (22.28)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у другому експерименті.

5.37 Визначити за допомогою розрахункових даних активну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$P = P_{(0)} + P_{(1)} + P_{(3)}. \quad (22.29)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у другому експерименті.

5.38 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$Q_L = Q_{L(1)} + Q_{L(3)}. \quad (22.30)$$

5.39 Визначити за допомогою розрахункових даних повну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$S = U \cdot I. \quad (22.31)$$

5.40 Визначити за допомогою розрахункових даних потужність скривлення, використовуючи рівняння:

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_L^2}. \quad (22.32)$$

5.41 Результати розрахунків занести в таблицю 22.2.

Таблиця 22.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$z_{(0)}, Ом$	$Z_{(1)}, Ом$ показова форма	$Z_{(3)}, Ом$ показова форма	$U_{(0)}, В$	$\dot{U}_{(1)}, В$ показова форма	$\dot{U}_{(3)}, В$ показова форма	$I_{(0)}, А$	$\dot{I}_{(1)}, А$ показова форма	$\dot{I}_{(3)}, А$ показова форма

Продовження таблиці 22.2

$P_{(0)}, \text{Вт}$	$\tilde{S}_{(1)}, \text{ВА}$ показова форма	$\tilde{S}_{(1)}, \text{ВА}$ алгебраїчна форма	$\tilde{S}_{(3)}, \text{ВА}$ показова форма	$\tilde{S}_{(3)}, \text{ВА}$ алгебраїчна форма	$P, \text{Вт}$	$Q_L, \text{ВАр}$	$S, \text{ВА}$	$T, \text{ВА}$

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.3 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.
- 6.4 Таблиця 22.1.
- 6.5 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.6 Розрахунок шуканих величин.
- 6.7 Таблиця 22.2.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Складіть розрахункову схему кола котушки, на затискачі якого подана несинусоїдна напруга.
- 7.2 Запишіть рівняння миттєвої напруги на затискачах кола з п.7.1 у загальному вигляді, якщо вона містить нульову, першу та третю гармоніки, а початкові фази напруг першої та третьої гармонік дорівнюють нулю.
- 7.3 Складіть розрахункову схему кола з п.7.1 для струму нульової гармоніки.
- 7.4 Запишіть вираз для розрахунку індуктивного опору кола з п.7.3. Чому дорівнює цей опір у даному випадку?
- 7.5 Запишіть вираз для розрахунку повного опору кола з п.7.3. Чому дорівнює цей опір у даному випадку?
- 7.6 Запишіть вираз для розрахунку сили струму кола з п.7.3.
- 7.7 Запишіть вираз для розрахунку потужності кола з п.7.3.
- 7.8 Складіть розрахункову схему кола з п.7.1 для струму основної (першої) гармоніки в комплексній формі для діючих значень.
- 7.9 Запишіть вираз для розрахунку індуктивного опору кола з п.7.8.
- 7.10 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повного опору кола з п.7.8.
- 7.11 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму кола з п.7.8.
- 7.12 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола з п.7.8.
- 7.13 Складіть розрахункову схему кола з п.7.1 для струму третьої гармоніки в комплексній формі для діючих значень.
- 7.14 Запишіть вираз для розрахунку індуктивного опору кола з п.7.13.
- 7.15 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повного опору кола з п.7.13.

- 7.16 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму кола з п.7.13.
- 7.17 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола з п.7.13.
- 7.18 Запишіть вираз для розрахунку діючого значення напруги на затискачах кола з п.7.1.
- 7.19 Запишіть вираз для розрахунку діючого значення сили струму кола з п.7.1.
- 7.20 Запишіть вираз для розрахунку активної потужності кола з п.7.1.
- 7.21 Запишіть вираз для розрахунку реактивної потужності кола з п.7.1.
- 7.22 Запишіть вираз для розрахунку повної потужності кола з п.7.1.
- 7.23 Запишіть вираз для розрахунку потужності скривлення кола з п.7.1.

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, частина 2 / В.В. Овчаров. – Мелітополь: Люкс, 2007. – 215 с.
3. Овчаров В.В. Теоретичні основи електротехніки / В.В.Овчаров. – К. : Урожай, 1993. – 224 с.
4. Зевеке Г.В. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 424 с.
5. 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.
6. Овчаров В.В. Тематичні діагностичні тести з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки, частина 2» / В.В.Овчаров, О.Ю.Вовк. – Мелітополь : ТДАТУ, 2013. – 114 с.