

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

ВОВК О.Ю.

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ
ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ
частина 2**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Мелітополь, 2020

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

ВОВК О.Ю.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

частина 2

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

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

Мелітополь, 2020

УДК 621.3

В-61

Укладач:

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

Дозвіл до впровадження та видання надано Вченою радою факультету енергетики і комп'ютерних технологій Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (протокол № 10 від «28» травня 2020 р.)

Рецензенти:

Сосницька Н.Л., д.пед.н., проф., зав. кафедри вищої математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

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

Вовк О.Ю.

В-61 Теоретичні основи електротехніки, частина 2: Методичні вказівки для лабораторних робіт для здобувачів ступеня вищої освіти «бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання на основі повної загальної середньої освіти / О.Ю. Вовк. – Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 193 с.

Методичні вказівки призначенні для вивчення та закріплення матеріалу з 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 трифазних електричних кіл синусоїдного струму та кіл несинусоїдного струму в ustalених режимах, методи розрахунку електромагнітних процесів і відповідних перетворень енергії.

© Вовк О.Ю.

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

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота № 1	8
Лабораторна робота № 2	12
Лабораторна робота № 3	18
Лабораторна робота № 4	26
Лабораторна робота № 5	35
Лабораторна робота № 6	47
Лабораторна робота № 7	60
Лабораторна робота № 8	69
Лабораторна робота № 9	78
Лабораторна робота № 10	85
Лабораторна робота № 11	92
Лабораторна робота № 12	100
Лабораторна робота № 13	108
Лабораторна робота № 14	119
Лабораторна робота № 15	129
Лабораторна робота № 16	134
Лабораторна робота № 17	140
Лабораторна робота № 18	149
Лабораторна робота № 19	156
Лабораторна робота № 20	167
Лабораторна робота № 21	178
Додаток А	191
Критерії оцінювання лабораторних робіт	192
Список літератури	193

ВСТУП

Дисципліна «Теоретичні основи електротехніки», частина 2 є базовою у підготовці фахівців зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» СВО «Бакалавр», а лабораторні заняття з цієї дисципліни, які проводяться в спеціалізованих лабораторіях кафедри електротехніки і електромеханіки в аудиторіях 1.211, 1.212, є одним з основних видів навчальних занять студентів при її вивченні.

Метою лабораторних робіт з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки», частина 2 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: електротехнічні терміни, визначення та символи; суть фізичних явищ електротехніки; формулювання та математичні записи основних законів електротехніки; одиниці вимірювання електричних та магнітних величин, співвідношення між ними; умовні графічні позначення в електричних колах; суть фізичних процесів, які відбуваються в трифазних електричних колах синусоїдного струму та кіл несинусоїдного струму в ustalених режимах; методи аналізу трифазних електричних кіл синусоїдного струму та кіл несинусоїдного струму в ustalених режимах; фізичні явища, які протікають в електротехнічних пристроях.

Після проведення даних лабораторних робіт студент повинен уміти: складати принципові та розрахункові схеми трифазних електричних кіл синусоїдного струму та кіл несинусоїдного струму; розрахувати та аналізувати трифазні електричні кола синусоїдного струму та кола несинусоїдного струму в ustalених режимах; вимірювати основні електричні та неелектричні величини; експериментально визначати параметри трифазних електричних кіл синусоїдного струму та кіл несинусоїдного струму; визначати похибки вимірювань та розрахунків; самостійно здійснювати пошук потрібної електротехнічної інформації.

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.

До початку лабораторної роботи студент повинен підготуватись до її виконання. 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 за-

вдань, вивченні опису лабораторної роботи та заготовленні форми звіту з лабораторної роботи, який обов'язково повинен містити наступне: найменування лабораторної роботи, принципову електричну схему експериментальної установки з розшифровкою літерних позначень, розрахункову схему електричного кола з розшифровкою літерних позначень, таблицю для зняття показань електровимірювальних приладів, алгоритм розрахунку шуканих величин, таблицю для занесення результатів 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 до 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 переконались 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 кожної роботи 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, надати отримані результати викладачу, який проводить лабораторне заняття, і тільки після його дозволу розібрати схему експериментальної установки, а робоче місце 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. Звіт оформлюється індивідуально кожним членом бригади у спеціальному зошиті. Графічні зображення виконуються олівцем за допомогою креслярського приладдя. При побудові графіків масштаби, що відкладаються на осях координат, вибираються таким чином, щоб графік розмістився на площі не менш 100x100 мм.

Звіт оформлюється індивідуально кожним членом бригади на аркушах формату А4. Порядок оформлення звіту з лабораторної роботи вказаний у додатку А.

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

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

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

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

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

7. Забороняється робити які-небудь переключення в робочій схемі,

що знаходиться під напругою.

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

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

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

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

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

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

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема. Дослідження конструктивної схеми та принципу дії трифазного генератора

Мета: придбання практичних навичок у описанні конструктивної схеми трифазного генератора та визначенні призначення елементів конструкції у принципі дії синхронного генератора

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 «Симетричні трифазні кола синусоїдного струму» п.8.1 [1, с. 8–11].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 1.1 – 1.7 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.6 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з конструктивною схемою трифазного генератора.
- 2.3 Ознайомитись з принципом дії трифазного генератора.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують роботу генератора при холостому ході.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ТРИФАЗНОГО ГЕНЕРАТОРА

Трифазний генератор складається зі статора (зовнішньої нерухомої частини) та ротора (внутрішньої рухомої частини). Статор являє собою польний циліндр і складається з магнітопроводу 1, у пазах якого розташовано три обмотки 2, 3, 4, вісі яких 5, 6, 7 зсунені у просторі на 120° . Усередині статора розташований ротор, який складається з магнітопроводу 8, на якому розміщена обмотка 9.

Конструктивна схема трифазного генератора наведена на рисунку 1.1.

4 ПРИНЦИП ДІЇ ТРИФАЗНОГО ГЕНЕРАТОРА

До затискачів обмотки ротора підводиться постійна напруга, внаслідок чого у ній протікає постійний струм, навколо якого утворюється магнітне поле. За допомогою приводного агрегату (наприклад, вітроколеса, гідротурбіни, паротурбіни) ротор приводиться в обертання. Разом з ротором обертається і створене його струмом магнітне поле, яке пронизує обмотки статора і наводить у них електрорушійні сили. Через те, що максимального значення електрорушійна сила в окремій обмотці досягає тоді, коли полюси ротора збігаються з віссю цієї обмотки, то електрорушійні сили зсунені за фазою на 120° .

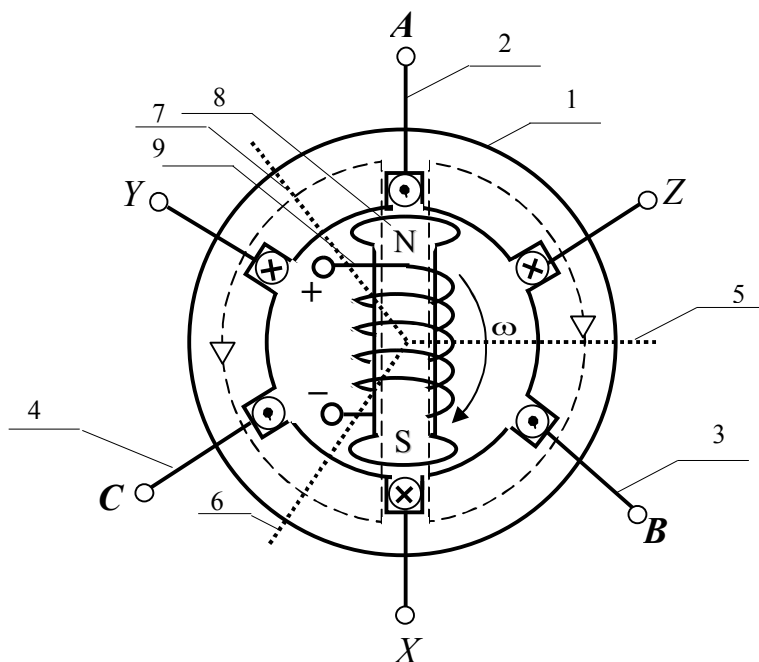


Рисунок 1.1 – Конструктивна схема трифазного генератора

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 5.1 Ознайомитись з конструктивною схемою трифазного генератора.
- 5.2 Ознайомитись з принципом дії трифазного генератора.
- 5.3 Перелічити та описати фізичні явища, на яких ґрунтується принцип дії трифазного генератора, результати занести в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізичні явища

Назва фізичного явища	Опис фізичного явища

- 5.4 Записати за вказівкою викладача значення вихідних фізичних величин, що характеризують роботу трифазного генератора у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Значення вихідних фізичних величин, що характеризують роботу трифазного генератора

Максимальне значення е.р.с. у фазі А (E_{mA}, B)	Початкова фаза е.р.с. у фазі А ($\psi_{eA}, \text{градус.}$)

- 5.5 Записати за допомогою вихідних даних максимальні значення е.р.с. фаз В і С, використовуючи рівняння:

$$E_{Am} = E_{Bm} = E_{Cm} \quad (1.1)$$

5.6 Визначити за допомогою вихідних даних початкові фази е.р.с. фаз B і C , використовуючи рівняння:

$$\psi_{eB} = \psi_{eA} - 120^\circ; \quad (1.2)$$

$$\psi_{eC} = \psi_{eA} - 240^\circ. \quad (1.3)$$

5.7 Записати за допомогою вихідних даних рівняння миттєвих е.р.с. фаз генератора, використовуючи рівняння:

$$e_A = E_{Am} \cdot \sin(\omega t + \psi_{eA}); \quad (1.4)$$

$$e_B = E_{Bm} \cdot \sin(\omega t + \psi_{eB}); \quad (1.5)$$

$$e_C = E_{Cm} \cdot \sin(\omega t + \psi_{eC}). \quad (1.6)$$

5.8 Записати за допомогою вихідних даних комплекси амплітудних значень е.р.с. фаз генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_{Am} = E_{Am} \cdot e^{j\psi_{eA}}; \quad (1.7)$$

$$\dot{E}_{Bm} = E_{Bm} \cdot e^{j\psi_{eB}}; \quad (1.8)$$

$$\dot{E}_{Cm} = E_{Cm} \cdot e^{j\psi_{eC}}. \quad (1.9)$$

5.9 Визначити за допомогою вихідних даних діюче значення е.р.с. фази A , використовуючи рівняння:

$$E_A = \frac{E_{mA}}{\sqrt{2}}. \quad (1.10)$$

5.10 Записати за допомогою розрахункових даних діючі значення е.р.с. фаз B і C , використовуючи рівняння:

$$E_A = E_B = E_C. \quad (1.11)$$

5.11 Записати за допомогою вихідних і розрахункових даних комплекси діючих значень е.р.с. фаз генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = E_A \cdot e^{j\psi_{eA}}; \quad (1.12)$$

$$\dot{E}_B = E_B \cdot e^{j\psi_{eB}}; \quad (1.13)$$

$$\dot{E}_C = E_C \cdot e^{j\psi_{eC}}. \quad (1.14)$$

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних суму комплексів діючих значень е.р.с. фаз трифазного генератора.

5.13 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень е.р.с. фаз трифазного генератора та графічно визначити суму цих векторів.

5.14 Результати розрахунків занести в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Фізичні величини, що характеризують трифазний генератор

e_A, B	e_B, B	e_C, B

Продовження таблиці 1.3

\dot{E}_{mA}, B	\dot{E}_{mB}, B	\dot{E}_{mC}, B	\dot{E}_A, B	\dot{E}_B, B	\dot{E}_C, B

5.15 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, який пристрій називають трифазним генератором;
- 2) перелічити основні частини, з яких складається трифазний генератор, та вказати їх призначення;
- 3) пояснити, на якому фізичному явищі ґрунтується принцип дії трифазного генератора, та у чому воно полягає;
- 4) пояснити, який генератор є симетричним;
- 5) пояснити, як співвідносяться електрорушійні сили симетричного трифазного генератора.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Найменування лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Конструктивна схема трифазного генератора.

6.4 Принцип дії трифазного генератора.

6.5 Таблиця 1.1.

6.6 Таблиця 1.2.

- 6.7. Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.8 Розрахунок шуканих величин.
- 6.9 Векторна діаграма.
- 6.10 Таблиця 1.3.
- 6.11 Висновок по роботі.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Опишіть конструкцію трифазного генератора.
- 7.2 Що таке фаз 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 генератора? Чому?
- 7.9 Як співвідносяться амплітудні значення е.р.с. у фазах генератора? Чому?
- 7.10 Запишіть рівняння миттєвих е.р.с. фаз 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 генератора, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази А дорівнює нулю.
- 7.12 Як співвідносяться амплітудне та діюче значення е.р.с. окремої фази генератора?
- 7.13 Як співвідносяться діючі значення е.р.с. у фазах генератора? Чому?
- 7.14 Запишіть у показовій та алгебраїчній формах комплекси діючих значень е.р.с. фаз генератора, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази А дорівнює нулю.
- 7.15 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму комплексів діючих значень е.р.с. генератора.
- 7.16 Чому дорівнює сума миттєвих значень е.р.с. генератора?
- 7.17 Чому дорівнює сума комплексів максимальних значень е.р.с. генератора?
- 7.18 Чому дорівнює сума комплексів діючих значень е.р.с. генератора?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

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

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг симетричного трифазного генератора, з'єданого 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 [1, с. 8–25].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.1 – 8.4 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.4 Зняти експериментальні дані установки в режимі холостого ходу.
- 2.5 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.6 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 2.1.

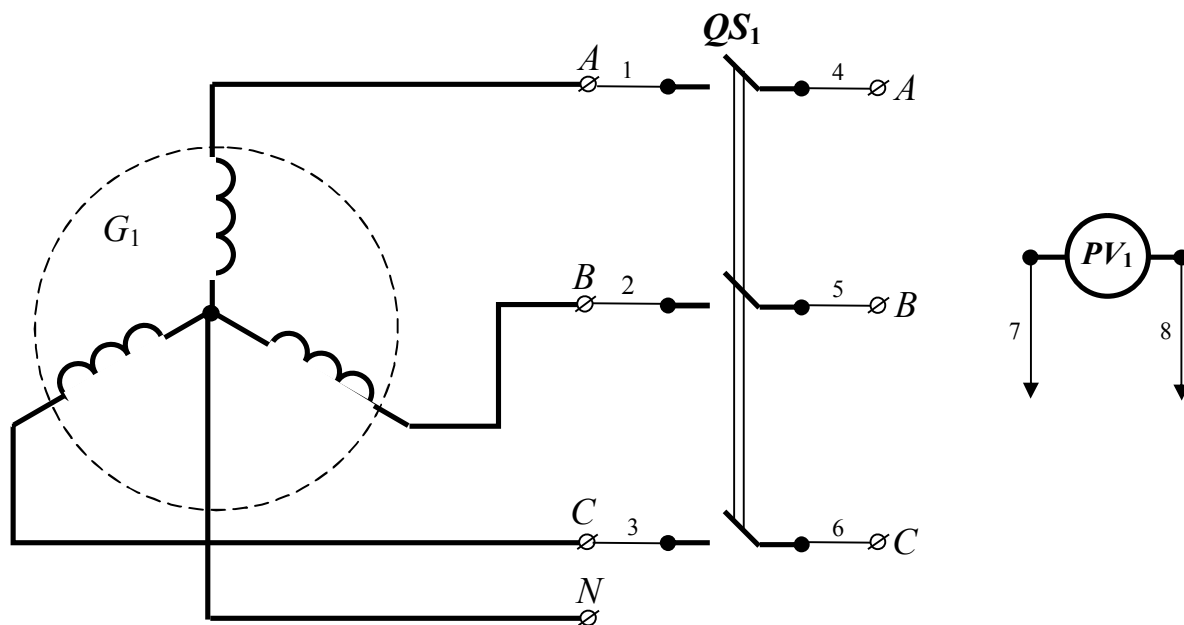


Рисунок 2.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 2.2.

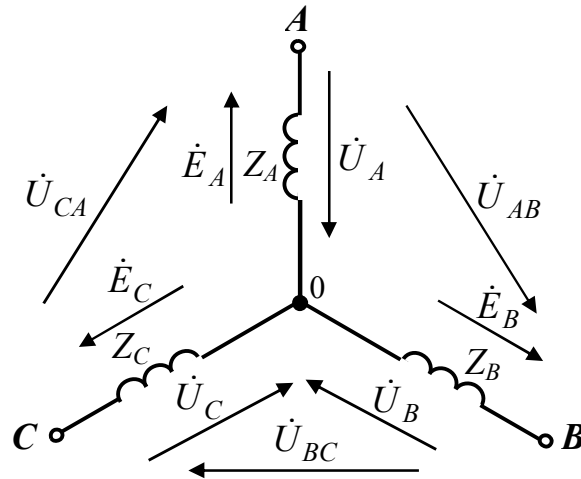


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки в комплексній формі для діючих значень

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 QS₁.

5.3 Виміряти діючі значення лінійних і фазних напруг генератора, результати занести в таблицю 2.1, розімкнути вимикач QS₁.

Таблиця 2.1 – 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:

$$U_{\phi} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (2.1)$$

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

$$U_{\ell} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}. \quad (2.2)$$

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:

$$\dot{U}_A = U_{\phi} \cdot e^{j\psi_{uA}}. \quad (2.3)$$

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

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (2.4)$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (2.5)$$

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень лінійних напруг генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_A \cdot e^{j30^\circ}; \quad (2.6)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (2.7)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (2.8)$$

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 2.2.

Таблиця 2.2 – 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, та порівняти його з $\sqrt{3}$.

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

5.16 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яку схему з'єднання фаз трифазного генератора називають зіркою;
- 2) пояснити, які напруги діють на затискачах трифазного генератора, дати їх визначення;
- 3) пояснити, як співвідносяться діючі значення напруг, які діють на затискачах симетричного трифазного генератора, з'єданого зіркою;
- 4) пояснити, як співвідносяться між собою за фазою напруги, які діють на затискачах симетричного трифазного генератора, з'єданого зіркою.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 2.1.

- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Векторна діаграма.
- 6.9 Таблиця 2.2. Співвідношення між напругами.
- 6.10 Висновок по роботі.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Як з'єднують фази трифазного генератора за схемою зірки?
- 7.2 Складіть розрахункову схему трифазного генератора при з'єднанні його фаз зіркою у комплексній формі для діючих значень у режимі холостого ходу.
- 7.3 Що таке фазна напруга трифазного генератора?
- 7.4 Як вимірити діюче значення фазної напруги трифазного генератора?
- 7.5 Як співвідносяться за фазою комплекси фазних напруг трифазного симетричного генератора?
- 7.6 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.
- 7.7 Чому дорівнює сума комплексів фазних напруг трифазного симетричного генератора?
- 7.8 Що таке лінійна напруга трифазного генератора?
- 7.9 Як вимірити діюче значення лінійної напруги трифазного генератора?
- 7.10 Як співвідносяться діючі значення лінійної та фазної напруги трифазного симетричного генератора при з'єднанні його фаз зіркою?
- 7.11 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?
- 7.12 Як співвідносяться за фазою комплекси лінійних напруг трифазного симетричного генератора?
- 7.13 Запишіть комплекси діючих значень лінійних напруг при холостому ході трифазного симетричного генератора і з'єднанні його фаз зіркою для фазних напруг з п. 7.6.
- 7.14 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?
- 7.15 Як визначити комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз A і B трифазного генератора, з'єданого зіркою, через комплекси діючих значень напруг фази A і фази B генератора?
- 7.16 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?
- 7.17 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 № 3

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

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

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 «Симетричні трифазні кола синусоїдного струму», пп.8.2, 8.3 [1, с. 12–25].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.3 – 8.4 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 трифазне навантаження, фази якого з'єднані зіркою. 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 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 і вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 3.1. 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 3.2.

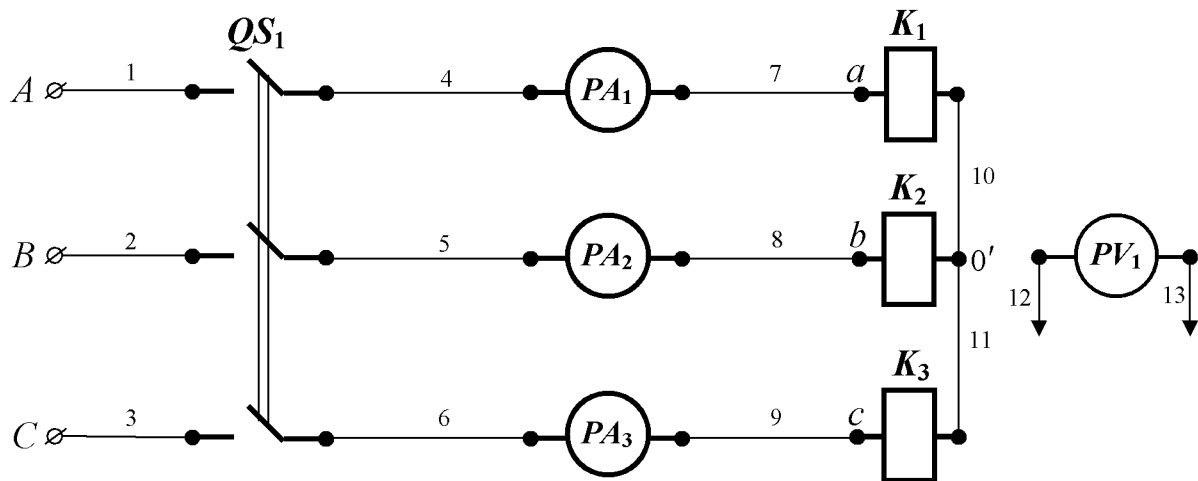


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

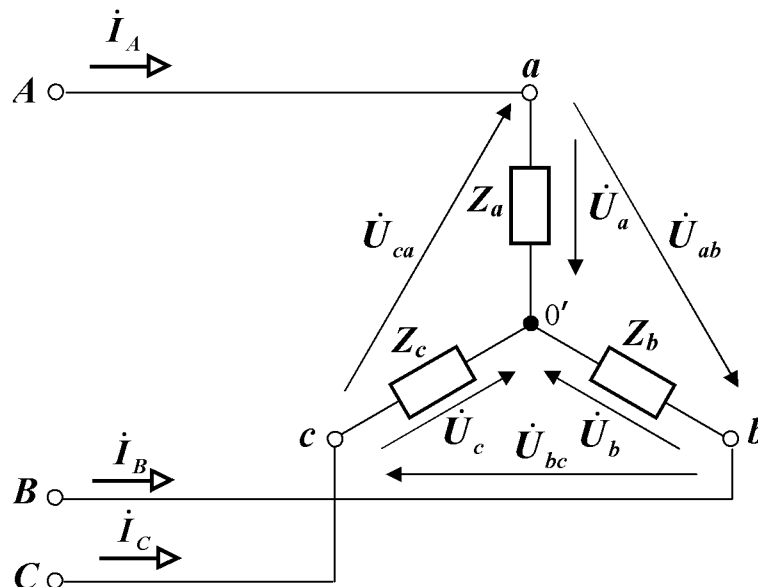


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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 3.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 3.1 – 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:

$$I_{ф.н} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (3.1)$$

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

$$U_{ф.н} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3}. \quad (3.2)$$

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

$$U_{л.н} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (3.3)$$

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

$$Z_a = r_a + jx_a, \quad (3.4)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= \underline{z}_a \cdot e^{j\varphi_a}; \\ \underline{z}_a &= \sqrt{r_a^2 + x_a^2}; \\ \varphi_a &= \arctg \frac{x_a}{r_a}, \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

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:

$$\dot{U}_a = U_{ф.н} \cdot e^{j\psi_{ua}}. \quad (3.6)$$

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

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (3.7)$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_a \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (3.8)$$

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

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_a \cdot e^{j30^\circ} . \quad (3.9)$$

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:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (3.10)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (3.11)$$

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:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a} . \quad (3.12)$$

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:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (3.13)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (3.14)$$

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

$$\tilde{S}_n = 3 \cdot \dot{U}_a \cdot \dot{I}_A^* . \quad (3.18)$$

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

$$P_n = 3 \cdot U_a \cdot I_A \cdot \cos \varphi_a; \quad (3.19)$$

$$P_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_a; \quad (3.20)$$

$$P_n = 3 \cdot r_a \cdot I_A^2. \quad (3.21)$$

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:

$$Q_n = 3 \cdot U_a \cdot I_A \cdot \sin \varphi_a; \quad (3.22)$$

$$Q_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A \cdot \sin \varphi_a; \quad (3.23)$$

$$Q_n = 3 \cdot x_a \cdot I_A^2. \quad (3.24)$$

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:

$$S_n = 3 \cdot U_a \cdot I_A; \quad (3.25)$$

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A; \quad (3.26)$$

$$S_n = 3 \cdot z_a \cdot I_A^2. \quad (3.27)$$

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 3.2.

Таблиця 3.2 – 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, Om	$\dot{I}_{A,A}$	$\dot{I}_{B,A}$	$\dot{I}_{C,A}$

Продовження таблиці 3.2

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

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, та порівняти їх з $\sqrt{3}$.

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.

5.25 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яке трифазне навантаження є симетричним;
- 2) перелічити фізичні явища, які спостерігаються у трифазному навантаженні при його роботі, та розкрити суть кожного з них;
- 3) пояснити, яку схему з'єднання фаз трифазного навантаження називають зіркою;
- 4) пояснити, які напруги діють на затискачах трифазного навантаження, дати їх визначення;
- 5) пояснити, як співвідносяться діючі значення напруг, які діють на затискачах симетричного трифазного навантаження, з'єданого зіркою;
- 6) пояснити, як співвідносяться між собою за фазою напруги, які діють на затискачах симетричного трифазного навантаження, з'єданого зіркою;
- 7) пояснити, які струми споживає трифазне навантаження, дати їх визначення;
- 8) пояснити, як співвідносяться діючі значення струмів, які споживає симетричне трифазне навантаження, з'єдане зіркою;
- 9) пояснити, як співвідносяться між собою за фазою струми, які споживає симетричне трифазне навантаження, з'єдане зіркою;
- 10) перелічити, які потужності споживає симетричне трифазне навантаження у колі змінного синусоїдного струму; пояснити, чим обумовлено наявність кожної з них;

- 11) пояснити, від чого і як залежать потужності симетричного трифазного навантаження у колі змінного синусоїдного струму.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).
- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 3.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Векторна діаграма.
- 6.9 Таблиця 3.2
- 6.10 Співвідношення між напругами. Суми комплексів напруг і струмів.
- 6.11 Висновок по роботі.

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 № 4

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 [1, с. 12–17, 24–27].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.5 – 8.6 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 трифазне навантаження, фази якого з'єднані 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 4.1.

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

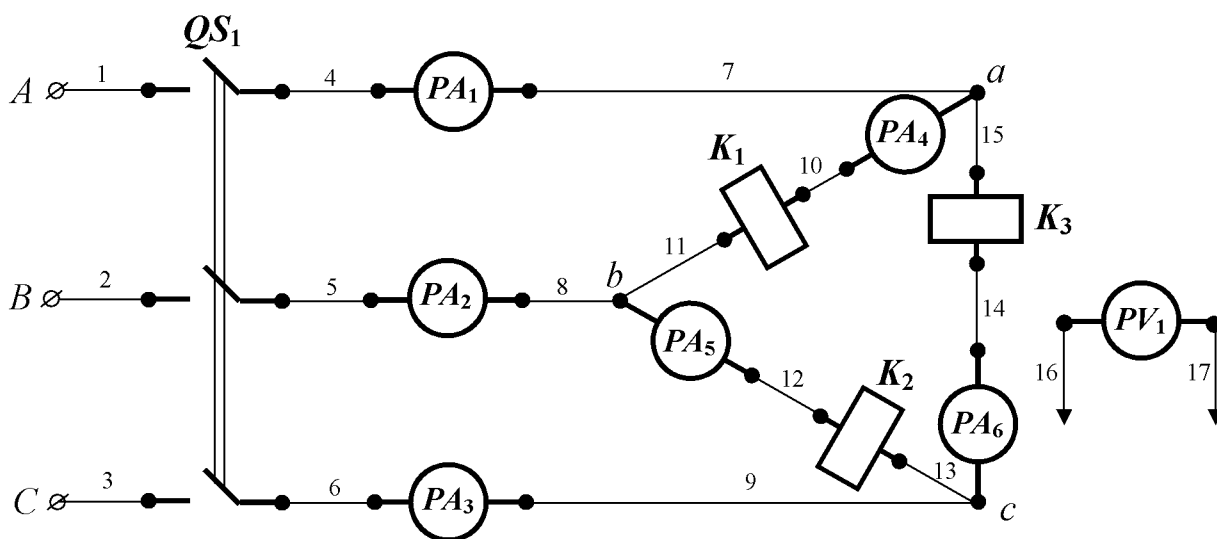


Рисунок 4.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 3.2.

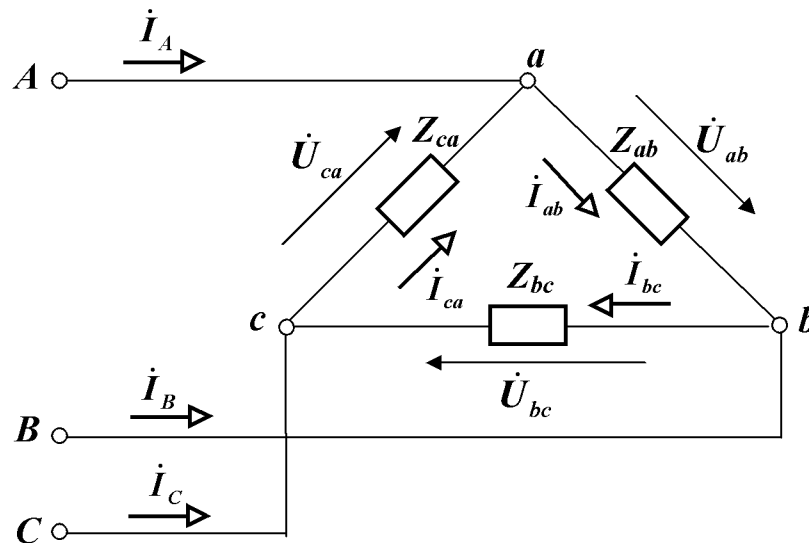


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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, Ом ;
- Z_{bc} – комплекс повного опору фази bc навантаження, Ом ;
- Z_{ca} – комплекс повного опору фази ca навантаження, Ом ;
- \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 QS₁.

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 4.1, розімкнути вимикач QS₁.

Таблиця 4.1 – 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:

$$I_{ф.н} = \frac{I_{ab} + I_{bc} + I_{ca}}{3}. \quad (4.1)$$

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

$$I_{л.н} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (4.2)$$

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

$$U_{ф.н} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (4.3)$$

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

$$Z_{ab} = r_{ab} + jx_{ab}, \quad (4.4)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} Z_{ab} &= z_{ab} \cdot e^{j\varphi_{ab}}; \\ z_{ab} &= \sqrt{r_{ab}^2 + x_{ab}^2}; \\ \varphi_{ab} &= \operatorname{arctg} \frac{x_{ab}}{r_{ab}}, \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

де 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:

$$\dot{U}_{ab} = U_{\phi.n} \cdot e^{j\psi_{uab}}. \quad (4.6)$$

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

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (4.7)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (4.8)$$

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:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}. \quad (4.9)$$

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

$$\dot{I}_{bc} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (4.10)$$

$$\dot{I}_{ca} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (4.11)$$

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

$$\dot{I}_A = \sqrt{3} \cdot \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j30^\circ}; \quad (4.12)$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}. \quad (4.13)$$

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

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (4.14)$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad (4.15)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{-j240^\circ}; \quad (4.16)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (4.17)$$

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

$$\tilde{S}_n = 3 \cdot \dot{U}_{ab} \cdot \dot{I}_{ab}^*. \quad (4.21)$$

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

$$P_n = 3 \cdot U_{ab} \cdot I_{ab} \cdot \cos \varphi_{ab}; \quad (4.22)$$

$$P_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_{ab}; \quad (4.23)$$

$$P_n = 3 \cdot r_{ab} \cdot I_{ab}^2. \quad (4.24)$$

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:

$$Q_n = 3 \cdot U_{ab} \cdot I_{ab} \cdot \sin \varphi_{ab}; \quad (4.25)$$

$$Q_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A \cdot \sin \varphi_{ab}; \quad (4.26)$$

$$Q_n = 3 \cdot x_{ab} \cdot I_{ab}^2. \quad (4.27)$$

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:

$$S_n = 3 \cdot U_{ab} \cdot I_{ab}; \quad (4.29)$$

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_{ab} \cdot I_A; \quad (4.30)$$

$$S_n = 3 \cdot z_{ab} \cdot I_{ab}^2. \quad (4.31)$$

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 4.2.

Таблиця 4.2 – 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 4.2

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

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.

5.24 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яке трифазне навантаження є симетричним;
- 2) перелічити фізичні явища, які спостерігаються у трифазному навантаженні при його роботі, та розкрити суть кожного з них;
- 3) пояснити, яку схему з'єднання фаз трифазного навантаження називають трикутником;
- 4) пояснити, які напруги діють на затискачах трифазного навантаження, дати їх визначення;
- 5) пояснити, як співвідносяться діючі значення напруг, які діють на затискачах симетричного трифазного навантаження, з'єданого трикутником;
- 6) пояснити, як співвідносяться між собою за фазою напруги, які діють на затискачах симетричного трифазного навантаження, з'єданого трикутником;
- 7) пояснити, які струми споживає трифазне навантаження, дати їх визначення;
- 8) пояснити, як співвідносяться діючі значення струмів, які споживає симетричне трифазне навантаження, з'єдане трикутником;
- 9) пояснити, як співвідносяться між собою за фазою струми, які споживає симетричне трифазне навантаження, з'єдане трикутником;
- 10) перелічити, які потужності споживає симетричне трифазне навантаження у колі змінного синусоїдного струму; пояснити, чим обумовлено наявність кожної з них;
- 11) пояснити, від чого і як залежать потужності симетричного трифазного навантаження у колі змінного синусоїдного струму.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 4.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Векторна діаграма.
- 6.9 Таблиця 4.2.
- 6.10 Співвідношення між напругами. Суми комплексів струмів.
- 6.10 Висновок по роботі.

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 № 5

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 [1, с. 12–17; 28–35].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.7 – 8.8 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 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 5.1.

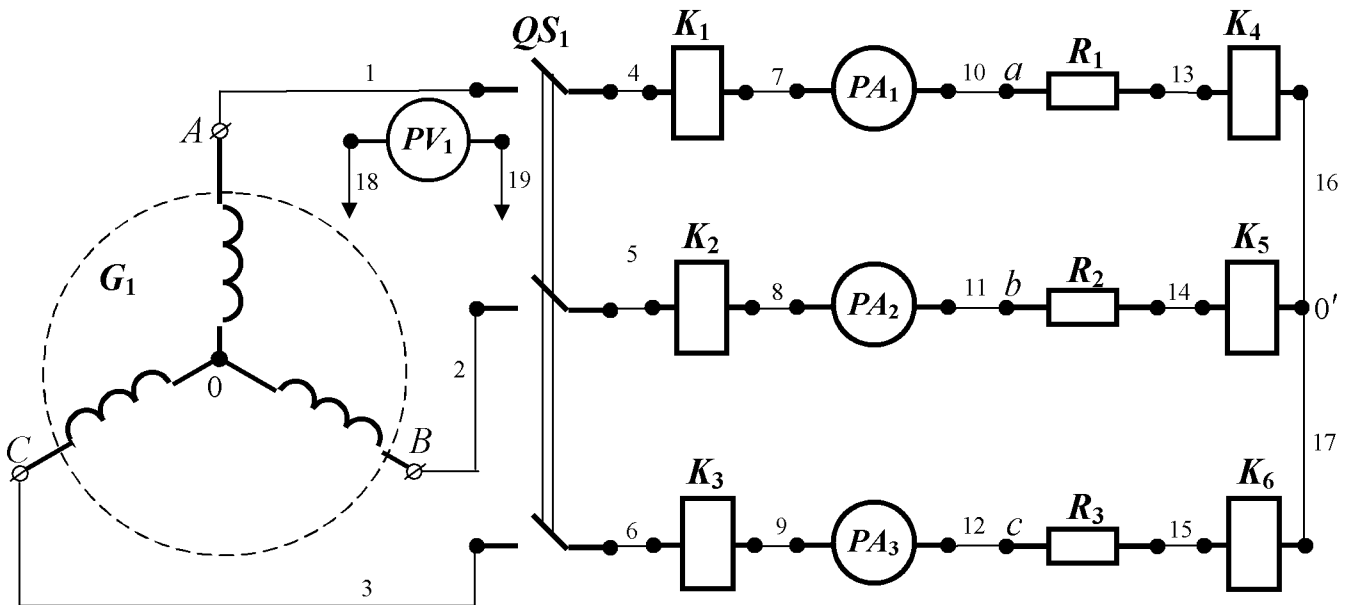


Рисунок 5.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 5.2.

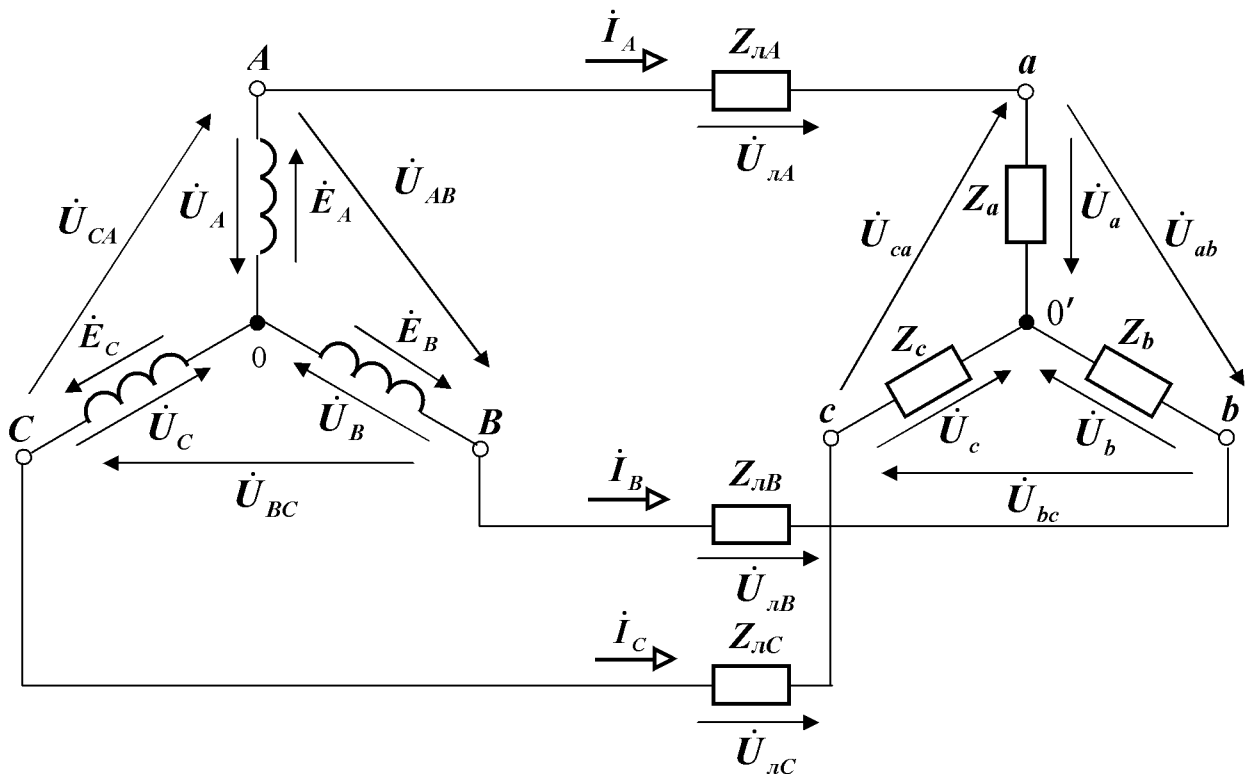


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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 5.1, розімкнути вимикач QS₁.

Таблиця 5.1 – 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 5.1

$U_{R1,}$ 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:

$$I_{\phi.n} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (5.1)$$

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

$$U_{\phi.z} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (5.2)$$

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

$$U_{л.z} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}. \quad (5.3)$$

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

$$U_{\phi.n} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3}. \quad (5.4)$$

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

$$U_{л.н} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (5.5)$$

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

$$U_{л} = \frac{U_{лА} + U_{лВ} + U_{лС}}{3}. \quad (5.6)$$

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

$$U_r = \frac{U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}}{3}. \quad (5.7)$$

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

$$I_{ф.н} = \frac{U_r}{r_p}. \quad (5.8)$$

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

$$Z = r + jx_L, \quad (5.9)$$

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:

$$Z_a = r + r_p + jx_L = r_a + jx_a; \quad (5.10)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= z_a \cdot e^{j\varphi_a}; \\ z_a &= \sqrt{r_a^2 + x_a^2}; \\ \varphi_a &= \operatorname{arctg} \frac{x_a}{r_a}, \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$

де 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:

$$Z_{лA} = Z. \quad (5.12)$$

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:

$$\dot{U}_A = U_{\phi.z} \cdot e^{j\psi_{uA}}. \quad (5.13)$$

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

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (5.14)$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (5.15)$$

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

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_A \cdot e^{j30^\circ}, \quad (5.16)$$

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:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (5.17)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (5.18)$$

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:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_{лA} + Z_a}, \quad (5.19)$$

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:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (5.20)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (5.21)$$

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:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{лA}}{Z_{лA}}, \quad (5.22)$$

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:

$$\dot{U}_{лB} = \dot{U}_{лA} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (5.23)$$

$$\dot{U}_{лC} = \dot{U}_{лA} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (5.24)$$

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:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}, \quad (5.25)$$

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:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (5.26)$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_a \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (5.27)$$

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

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_a \cdot e^{j30^\circ}, \quad (5.28)$$

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:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (5.29)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (5.30)$$

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

$$\tilde{S}_n = 3 \cdot \dot{U}_a \cdot I_A^* . \quad (5.31)$$

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

$$\tilde{S}_л = 3 \cdot \dot{U}_{лA} \cdot I_A^* . \quad (5.32)$$

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

$$\tilde{S}_г = 3 \cdot \dot{U}_A \cdot I_A^* . \quad (5.33)$$

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

$$P_г = P_л + P_n , \quad (5.34)$$

де $P_г$ – активна потужність трифазного генератора, *Вт*;
 $P_л$ – 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:

$$Q_г = Q_л + Q_n , \quad (5.35)$$

де $Q_г$ – реактивна потужність трифазного генератора, *ВАр*;
 $Q_л$ – 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 5.2.

Таблиця 5.2 – 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 5.2

$\dot{U}_{a, B}$ 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 5.2

$\dot{I}_{A, A}$ 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	$\tilde{S}_{л, BA}$ показова форма	$\tilde{S}_{л, BA}$ алгебраїчна форма	$\tilde{S}_{н, BA}$ показова форма	$\tilde{S}_{н, BA}$ 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.

5.38 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яке трифазне коло називають «зірка – зірка»;
- 2) пояснити, яке трифазне коло «зірка – зірка» є симетричним;
- 3) пояснити, яке трифазне джерело є симетричним;
- 4) пояснити, яка лінія електропередачі є симетричною;
- 5) пояснити, яке трифазне навантаження є симетричним;
- 6) пояснити, що таке фаза трифазного кола «зірка – зірка»;
- 7) пояснити, у чому суть та яка послідовність розрахунку симетричного трифазного кола «зірка – зірка»;
- 8) пояснити, як розрахувати сили струмів у фазах симетричного трифазного кола «зірка – зірка»;
- 9) пояснити, як розрахувати спадання напруг в лінійних проводах симетричного трифазного кола «зірка – зірка»;
- 10) пояснити, як розрахувати напруги на навантаженнях симетричного трифазного кола «зірка – зірка»;
- 11) пояснити, як розрахувати потужності елементів симетричного трифазного кола «зірка – зірка»;
- 12) пояснити, що таке баланс потужностей трифазного кола, та як його скласти.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

- 6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 5.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Векторна діаграма.
- 6.9 Таблиця 5.2. Співвідношення між напругами.
- 6.10 Висновок по роботі.

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 .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 № 6

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 [1, с. 12–17; 28–35].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 8.9 – 8.10 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 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 включе-

но 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 опорами.

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 6.1.

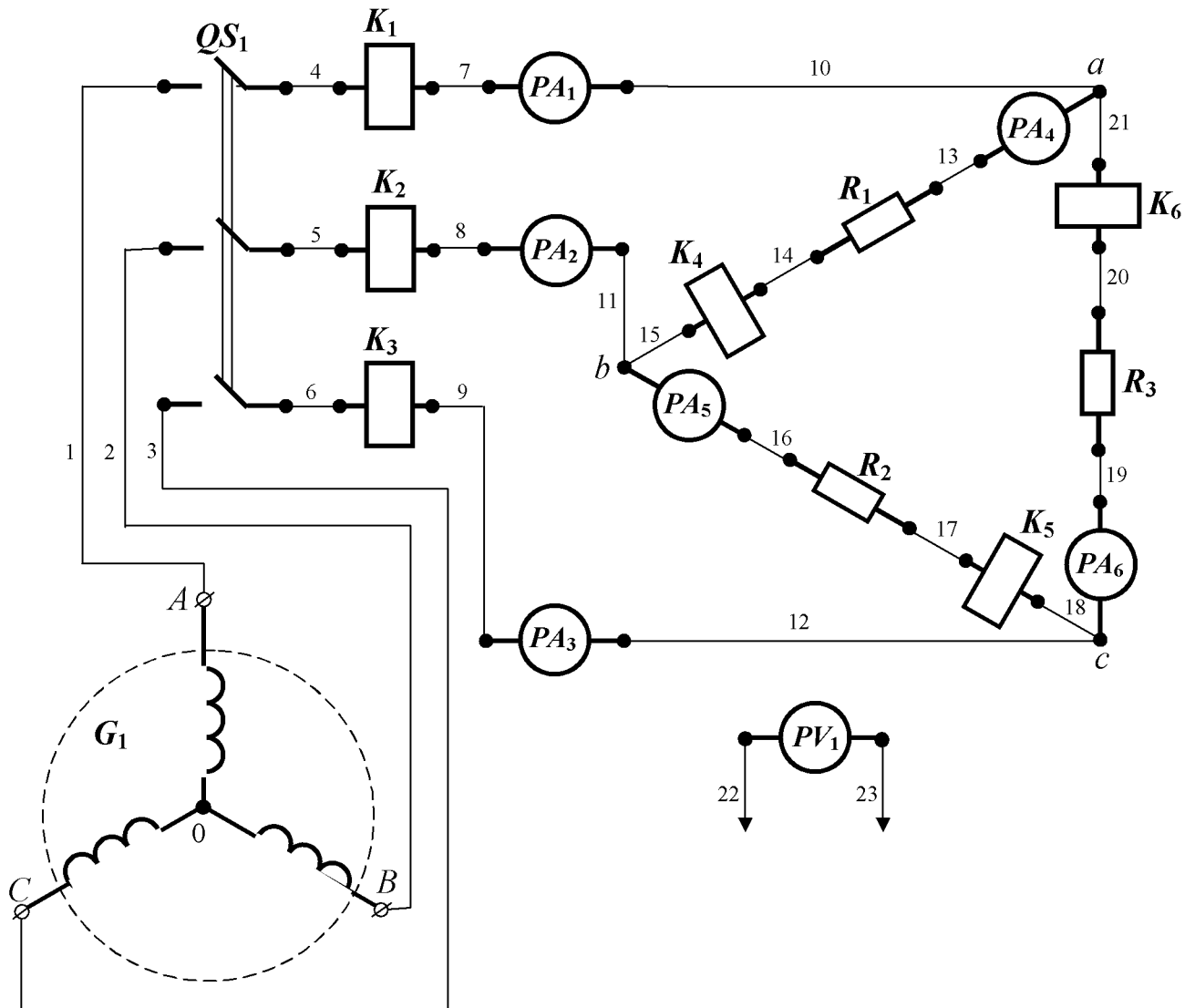


Рисунок 6.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 6.2.

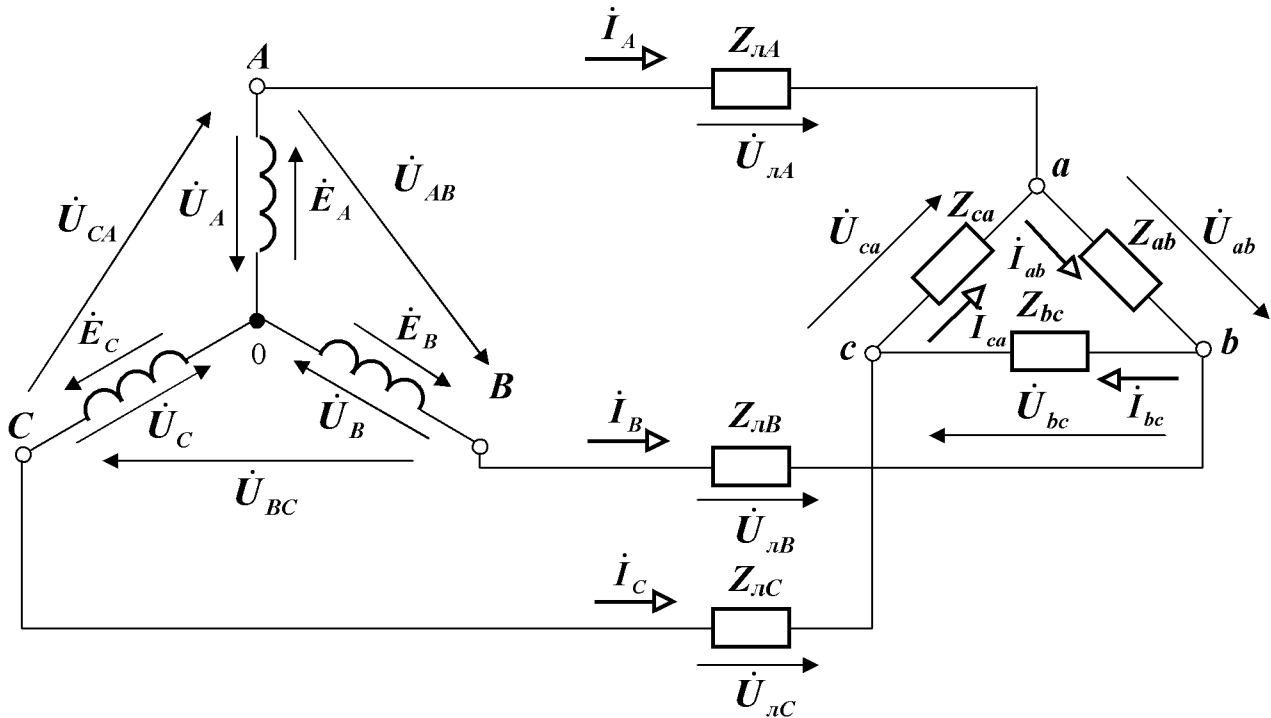


Рисунок 6.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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 провіді $A-a$, A ;
- \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у фазі b навантаження та у лінійному провіді $B-b$, A ;
- \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у фазі c навантаження та у лінійному провіді $C-c$, 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 провіді $A-a$, B ;
- $\dot{U}_{лB}$ – комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному провіді $B-b$, B ;
- $\dot{U}_{лC}$ – комплекс діючого значення спадання напруги у лінійному провіді $C-c$, 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 6.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 6.1 – 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 6.1

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

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

$$I_{\phi.n} = \frac{I_{ab} + I_{bc} + I_{ca}}{3}. \quad (6.1)$$

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

$$I_{л.n} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (6.2)$$

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

$$U_{\phi.z} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (6.3)$$

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

$$U_{л.z} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}. \quad (6.4)$$

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

$$U_{\phi.n} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (6.5)$$

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

$$U_{л} = \frac{U_{лA} + U_{лB} + U_{лC}}{3}. \quad (6.6)$$

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

$$U_r = \frac{U_{R1} + U_{R2} + U_{R3}}{3}. \quad (6.7)$$

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

$$I_{\phi.n} = \frac{U_r}{r_p}. \quad (6.8)$$

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

$$Z = r + jx_L, \quad (6.9)$$

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:

$$Z_{ab} = r + r_p + jx_L = r_{ab} + jx_{ab}; \quad (6.10)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} Z_{ab} &= \underline{z}_{ab} \cdot e^{j\varphi_{ab}}; \\ \underline{z}_{ab} &= \sqrt{r_{ab}^2 + x_{ab}^2}; \\ \varphi_{ab} &= \operatorname{arctg} \frac{x_{ab}}{r_{ab}}, \end{aligned} \right\} \quad (6.11)$$

де \underline{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:

$$Z_{лA} = Z . \quad (6.12)$$

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:

$$Z_a = \frac{Z_{ab}}{3} . \quad (6.13)$$

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:

$$\dot{U}_A = U_{\phi,г} \cdot e^{j\psi_{uA}} . \quad (6.14)$$

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

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (6.15)$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (6.16)$$

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

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_A \cdot e^{j30^\circ} , \quad (6.17)$$

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:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (6.18)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (6.19)$$

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:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_{лA} + Z_a}, \quad (6.20)$$

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:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (6.21)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (6.22)$$

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:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{лA}}{Z_{лA}}, \quad (6.23)$$

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:

$$\dot{U}_{nB} = \dot{U}_{nA} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (6.24)$$

$$\dot{U}_{nC} = \dot{U}_{nA} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (6.25)$$

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

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}, \quad (6.26)$$

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'єданого зіркою, у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола для діючих значень в комплексній формі:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (6.27)$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_a \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (6.28)$$

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

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \cdot \dot{U}_a \cdot e^{j30^\circ}, \quad (6.29)$$

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'єданого зіркою, та фазної (лінійної) напруги фази bc і фази ca навантаження, з'єданого трикутником, у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (6.30)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (6.31)$$

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:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}} . \quad (6.32)$$

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:

$$\dot{I}_{bc} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ} ; \quad (6.33)$$

$$\dot{I}_{ca} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ} . \quad (6.34)$$

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

$$\tilde{S}_n = 3 \cdot \dot{U}_{ab} \cdot \dot{I}_{ab}^* . \quad (6.35)$$

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

$$\tilde{S}_l = 3 \cdot \dot{U}_{lA} \cdot \dot{I}_A^* . \quad (6.36)$$

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

$$\tilde{S}_g = 3 \cdot \dot{U}_A \cdot \dot{I}_A^* . \quad (6.37)$$

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

$$P_z = P_l + P_n, \quad (6.38)$$

де P_z – активна потужність трифазного генератора, *Вт*;
 P_l – 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:

$$Q_z = Q_l + Q_n, \quad (6.39)$$

де Q_z – 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 6.2.

Таблиця 6.2 – 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 6.2

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

Продовження таблиці 6.2

\tilde{S}_z, BA показова форма	\tilde{S}_z, 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.

5.41 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яке трифазне коло називають «зірка – трикутник»;
- 2) пояснити, яке трифазне коло «зірка – трикутник» є симетричним;
- 3) пояснити, яке трифазне джерело є симетричним;
- 4) пояснити, яка лінія електропередачі є симетричною;
- 5) пояснити, яке трифазне навантаження є симетричним;
- 6) пояснити, що таке фаза трифазного кола «зірка – трикутник»;
- 7) пояснити, у чому суть та яка послідовність розрахунку симетричного трифазного кола «зірка – трикутник», якщо лінія є реальною;
- 8) пояснити, як виконати перетворення навантаження, з'єданого трикутником у еквіваленту зірку.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 6.1.

6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.7 Розрахунок шуканих величин.

6.8 Векторна діаграма.

6.9 Таблиця 6.2. Співвідношення між напругами.

6.10 Висновок по роботі.

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'єдане 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 e, r, c . 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 таке баланс потужностей трифазного кола? Як його скласти?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема. Дослідження симетричного трифазного кола при переключенні фаз навантаження із зірки на трикутник

Мета: придбання практичних навичок при визначенні комплексів фазних і лінійних напруг, фазних і лінійних струмів, потужностей симетричного трифазного кола переключенні фаз навантаження із зірки на трикутник

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 8 «Симетричні трифазні кола синусоїдного струму» п.8.6 [1, с. 36–38].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 1.1 – 1.7 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5; 6.9; 6.13 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 трифазне навантаження, фази якого 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 . Для переключення схеми з'єднання фаз навантаження із зірки на трикутник передбачені вимикачі $QS_2, QS_3, QS_4, QS_5, QS_6$.

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 7.1.

Для складання схеми необхідно мати 27 провідників (на схемі позначені номерами 1-27).

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

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 – комплекс повного опору фази навантаження, Om .

Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки, якщо вимикачі QS_1, QS_4, QS_5, QS_6 замкнені, а вимикачі QS_2, QS_3 розімкнені, має вигляд, наведений на рисунку 7.3.

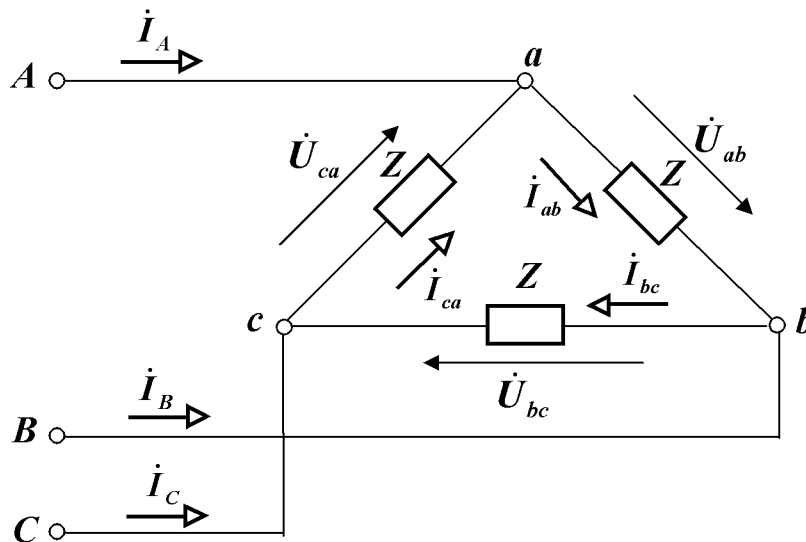


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

На розрахунковій схемі введені наступні умовні позначення:

- \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 7.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 7.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів					
	$U_{a,}$ B	$U_{b,}$ B	$U_{c,}$ B	$I_{A,}$ A	$I_{B,}$ A	$I_{C,}$ A
1 Вимикачі QS_1, QS_2, QS_3 замкнені; вимикачі QS_4, QS_5, QS_6 розімкнені						

Продовження таблиці 7.1

Умови проведення експерименту	Показання приладів								
	$U_{ab,}$ B	$U_{bc,}$ B	$U_{ca,}$ B	$I_{ab,}$ A	$I_{bc,}$ A	$I_{ca,}$ A	$I_{A,}$ A	$I_{B,}$ A	$I_{C,}$ A
2 Вимикачі QS_1, QS_4, QS_5, QS_6 замкнені; вимикачі QS_2, QS_3 розімкнені									

Схема з'єднання «зірка» (перший експеримент)

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

$$I_{\phi(Y)} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (7.1)$$

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

$$U_{\phi(Y)} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3}. \quad (7.2)$$

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

$$U_{л(Y)} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (7.3)$$

5.7 Визначити за допомогою розрахункових даних співвідношення між діючими значеннями лінійної та фазної напруги навантаження і порівняти його із $\sqrt{3}$.

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

$$Z = r + jx, \quad (7.4)$$

де r – активний опір фази навантаження, Ом;
 x – індуктивний опір фази навантаження, Ом.

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

$$\left. \begin{aligned} Z &= z \cdot e^{j\varphi}; \\ z &= \sqrt{r^2 + x^2}; \\ \varphi &= \arctg \frac{x}{r}, \end{aligned} \right\} \quad (7.5)$$

де z – повний опір фази навантаження, Ом;
 φ – кут зсуву фаз фази навантаження, градус.

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

$$P_{н(Y)} = 3 \cdot U_{\phi(Y)} \cdot I_{\phi(Y)} \cdot \cos \varphi; \quad (7.6)$$

$$P_{н(Y)} = \sqrt{3} \cdot U_{л(Y)} \cdot I_{л(Y)} \cdot \cos \varphi; \quad (7.7)$$

$$P_{н(Y)} = 3 \cdot r \cdot I_{\phi(Y)}^2. \quad (7.8)$$

Отримані результати порівняти між собою.

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

$$Q_{н(Y)} = 3 \cdot U_{\phi(Y)} \cdot I_{\phi(Y)} \cdot \sin \varphi; \quad (7.9)$$

$$Q_{n(Y)} = \sqrt{3} \cdot U_{л(Y)} \cdot I_{л(Y)} \cdot \sin \varphi; \quad (7.10)$$

$$Q_{n(Y)} = 3 \cdot x \cdot I_{\phi(Y)}^2. \quad (7.11)$$

Отримані результати порівняти між собою.

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

$$S_{n(Y)} = 3 \cdot U_{\phi(Y)} \cdot I_{\phi(Y)}; \quad (7.12)$$

$$S_{n(Y)} = \sqrt{3} \cdot U_{л(Y)} \cdot I_{л(Y)}; \quad (7.13)$$

$$S_{n(Y)} = 3 \cdot z \cdot I_{\phi(Y)}^2. \quad (7.14)$$

Отримані результати порівняти між собою.

5.13 Побудувати векторну діаграму навантаження, якщо початкова фаза напруги на фазі *a* навантаження $\psi_{ua} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач).

Схема з'єднання «трикутник» (другий експеримент)

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

$$I_{\phi(\Delta)} = \frac{I_{ab} + I_{bc} + I_{ca}}{3}. \quad (7.15)$$

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

$$I_{л(\Delta)} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (7.16)$$

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

$$U_{\phi(\Delta)} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (7.17)$$

5.17 Визначити за допомогою розрахункових даних співвідношення між діючими значеннями лінійного та фазного струмів навантаження і порівняти його із $\sqrt{3}$.

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

$$P_{n(\Delta)} = 3 \cdot U_{\phi(\Delta)} \cdot I_{\phi(\Delta)} \cdot \cos \varphi ; \quad (7.18)$$

$$P_{n(\Delta)} = \sqrt{3} \cdot U_{л(\Delta)} \cdot I_{л(\Delta)} \cdot \cos \varphi ; \quad (7.19)$$

$$P_{n(\Delta)} = 3 \cdot r \cdot I_{\phi(\Delta)}^2 . \quad (7.20)$$

Отримані результати порівняти між собою.

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

$$Q_{n(\Delta)} = 3 \cdot U_{\phi(\Delta)} \cdot I_{\phi(\Delta)} \cdot \sin \varphi ; \quad (7.21)$$

$$Q_{n(\Delta)} = \sqrt{3} \cdot U_{л(\Delta)} \cdot I_{л(\Delta)} \cdot \sin \varphi ; \quad (7.22)$$

$$Q_{n(\Delta)} = 3 \cdot x \cdot I_{\phi(\Delta)}^2 . \quad (7.23)$$

Отримані результати порівняти між собою.

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

$$S_{n(\Delta)} = 3 \cdot U_{\phi(\Delta)} \cdot I_{\phi(\Delta)} ; \quad (7.24)$$

$$S_{n(\Delta)} = \sqrt{3} \cdot U_{л(\Delta)} \cdot I_{л(\Delta)} ; \quad (7.25)$$

$$S_{n(\Delta)} = 3 \cdot z \cdot I_{\phi(\Delta)}^2 . \quad (7.26)$$

Отримані результати порівняти між собою.

5.21 Побудувати векторну діаграму навантаження, якщо початкова фаза напруги на фазі ab навантаження $\psi_{uab} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач).

Порівняння схем з'єднань

- 5.22 Визначити співвідношення між діючими значеннями фазних напруг трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником та зіркою, використовуючи їх середні значення, визначені у п.5.16 та п.5.5.
- 5.23 Визначити співвідношення між діючими значеннями фазних струмів трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником та зіркою, використовуючи їх середні значення, визначені у п.5.14 та п.5.4.
- 5.24 Визначити співвідношення між діючими значеннями лінійних струмів трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником та зіркою, використовуючи їх середні значення, визначені у п.5.15 та п.5.4.
- 5.25 Визначити співвідношення між активними потужностями трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником та зіркою, використовуючи їх значення, визначені у п.5.18 та п.5.10.
- 5.26 Визначити співвідношення між реактивними потужностями трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником та зіркою, використовуючи їх значення, визначені у п.5.19 та п.5.11.
- 5.27 Визначити співвідношення між повними потужностями трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником та зіркою, використовуючи їх значення, визначені у п.5.20 та п.5.12.
- 5.28 Результати розрахунків занести в таблицю 7.2.

Таблиця 7.2 – Результати порівняння фізичних величин, що характеризують трифазне навантаження, при переключенні його фаз із зірки на трикутник

$\frac{U_{\phi(\Delta)}}{U_{\phi(Y)}}$	$\frac{I_{\phi(\Delta)}}{I_{\phi(Y)}}$	$\frac{I_{л(\Delta)}}{I_{л(Y)}}$	$\frac{P_{н(\Delta)}}{P_{н(Y)}}$	$\frac{Q_{н(\Delta)}}{Q_{н(Y)}}$	$\frac{S_{н(\Delta)}}{S_{н(Y)}}$

5.29 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яку схему з'єднання навантаження називають зіркою;
- 2) пояснити, яку схему з'єднання навантаження називають трикутником;
- 3) пояснити, як змінюються напруги на фазах симетричного трифазного навантаження при його переключенні із зірки на трикутник;
- 4) пояснити, як змінюються струми у фазах симетричного трифазного навантаження при його переключенні із зірки на трикутник;
- 5) пояснити, як змінюються лінійні струми симетричного трифазного навантаження при його переключенні із зірки на трикутник;
- 6) пояснити, як змінюються потужності симетричного трифазного навантаження при його переключенні із зірки на трикутник.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).
- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункові схемі електричних кіл експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 7.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин щодо схеми зірки.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин щодо схеми зірки.
- 6.8 Векторна діаграма навантаження, з'єданого зіркою.
- 6.9 Алгоритм розрахунку шуканих величин щодо схеми трикутника.
- 6.10 Розрахунок шуканих величин щодо схеми трикутника.
- 6.11 Векторна діаграма навантаження, з'єданого трикутником.
- 6.12 Розрахунок шуканих величин щодо порівняння схем з'єднання.
- 6.13 Таблиця 7.2.
- 6.14 Висновок по роботі.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Що таке фаза трифазного навантаження?
- 7.2 Яке трифазне навантаження називають симетричним?
- 7.3 Як з'єднуються фази трифазного навантаження за схемою зірки?
- 7.4 Як з'єднуються фази трифазного навантаження за схемою трикутника?
- 7.5 Що таке фазна напруга трифазного навантаження?
- 7.6 Як вимірити діюче значення фазної напруги трифазного навантаження?
- 7.7 Що таке лінійна напруга трифазного навантаження?
- 7.8 Як вимірити діюче значення лінійної напруги трифазного навантаження?
- 7.9 Як співвідносяться діючі значення лінійної та фазної напруги трифазного навантаження при з'єднанні його фаз зіркою?
- 7.10 Як співвідносяться за фазою лінійна напруга між фазами a і b та фазна напруга фази a трифазного навантаження при з'єднанні його фаз зіркою?
- 7.11 Як співвідносяться діючі значення лінійної та фазної напруги 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 Що таке лінійний струм трифазного навантаження?
- 7.15 Як вимірити діюче значення лінійного струму трифазного навантаження?
- 7.16 Як співвідносяться діючі значення лінійного та фазного струмів трифазного навантаження при з'єднанні його фаз зіркою?

- 7.17 Як співвідносяться діючі значення лінійного та фазного струмів трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником?
- 7.18 Як співвідносяться за фазою лінійний струм у проводі $A-a$ та фазний струм у фазі ab трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником?
- 7.19 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів трифазного навантаження при з'єднанні його фаз зіркою.
- 7.20 Побудуйте якісно на комплексній площині векторну діаграму комплексів діючих значень напруг і струмів трифазного навантаження при з'єднанні його фаз трикутником.
- 7.21 Як визначити комплекс повної потужності трифазного навантаження?
- 7.22 Як визначити активну потужність трифазного навантаження?
- 7.23 Як визначити реактивну потужність трифазного навантаження?
- 7.24 Як визначити повну потужність трифазного навантаження?
- 7.25 Що відбудеться з діючим значенням фазної напруги трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.26 Що відбудеться з діючим значенням фазного струму трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.27 Що відбудеться з діючим значенням лінійного струму трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.28 Що відбудеться з активною потужністю трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.29 Що відбудеться з реактивною потужністю трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?
- 7.30 Що відбудеться з повною потужністю трифазного навантаження при переключенні його фаз із зірки на трикутник?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Тема. Дослідження несиметричного трифазного кола «зірка – зірка з нулем»

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

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 «Несиметричні трифазні кола синусоїдного струму» п.9.1 [1, с. 62–69].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 9.1 – 9.2 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 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 чотирипровідної лінії електропередачі, у якій лінійні проводи ідеальні і реальний нульовий (нейтральний) провід, що імітує індуктивна котушка K_4 .

У коло включені чотири амперметри PA_1, PA_2, PA_3, PA_4 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 8.1.

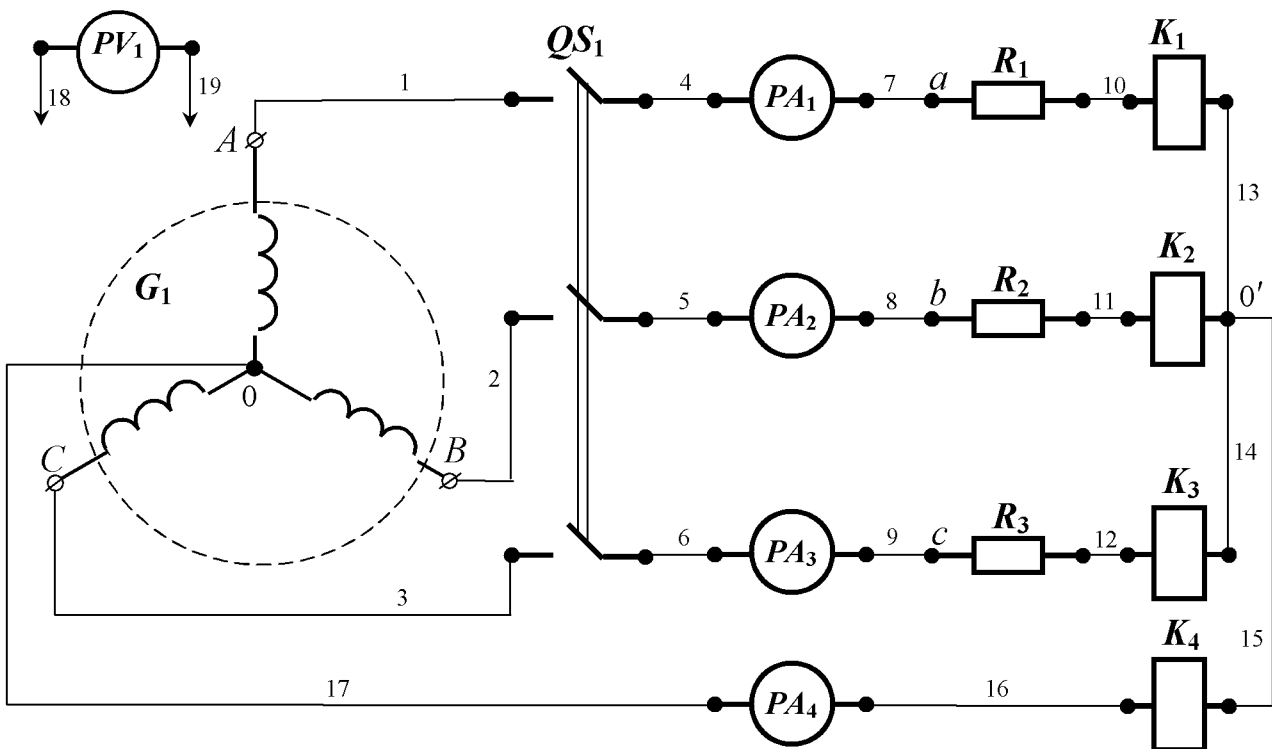


Рисунок 8.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 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 8.2.

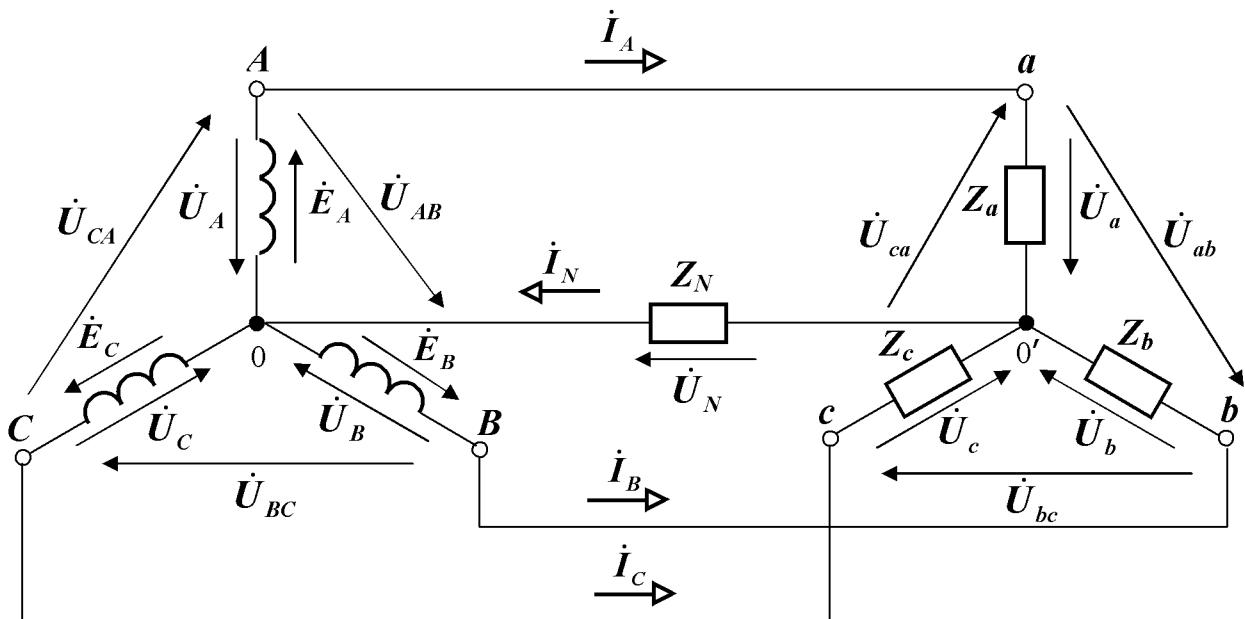


Рисунок 8.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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{I}_N – комплекс діючого значення сили нульового (нейтрального) струму, A ;
- Z_N – комплекс повного опору нульового (нейтрального) проводу, Om ;
- \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 8.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 8.1 – Показання приладів

$U_A,$ B	$U_B,$ B	$U_C,$ B	$U_a,$ B	$U_b,$ B	$U_c,$ B	$U_{r1},$ B	$U_{r2},$ B	$U_{r3},$ B	$U_N,$ B	$I_A,$ A	$I_B,$ A	$I_C,$ A	$I_N,$ A

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

$$U_{\phi,2} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (8.1)$$

5.5 Записати за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень електрорушійних сил генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. у фазі A дорівнює $\psi_{eA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{eA}}; \quad (8.2)$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (8.3)$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (8.4)$$

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

$$Z = r + jx_L, \quad (8.5)$$

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

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

$$I_A = \frac{U_{r1}}{r_1}; \quad I_B = \frac{U_{r2}}{r_2}; \quad I_C = \frac{U_{r3}}{r_3}, \quad (8.6)$$

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

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

$$Z_a = r + r_1 + jx_L = r_a + jx_a; \quad (8.7)$$

$$Z_b = r + r_2 + jx_L = r_b + jx_b; \quad (8.8)$$

$$Z_c = r + r_3 + jx_L = r_c + jx_c, \quad (8.9)$$

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 .

5.9 Записати комплекс повного опору котушки, що імітує нульовий (нейтральний) провід, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$Z_N = Z. \quad (8.10)$$

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

$$Y_a = \frac{1}{Z_a}; \quad Y_b = \frac{1}{Z_b}; \quad Y_c = \frac{1}{Z_c}, \quad (8.11)$$

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 повної провідності нульового (нейтрального) проводу у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Y_N = \frac{1}{Z_N}. \quad (8.12)$$

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

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot Y_a + \dot{E}_B \cdot Y_b + \dot{E}_C \cdot Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c + Y_N}. \quad (8.13)$$

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил фазних (лінійних) струмів навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = (\dot{E}_A - \dot{U}_N) \cdot Y_a; \quad (8.14)$$

$$\dot{I}_B = (\dot{E}_B - \dot{U}_N) \cdot Y_b; \quad (8.15)$$

$$\dot{I}_C = (\dot{E}_C - \dot{U}_N) \cdot Y_c. \quad (8.16)$$

5.14 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили струму у нульовому (нейтральному) проводі у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола у комплексній формі:

$$\dot{I}_N = \dot{U}_N \cdot Y_N. \quad (8.17)$$

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень фазних напруг у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола у комплексній формі:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}; \quad (8.18)$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}; \quad (8.19)$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{Z_c}. \quad (8.20)$$

5.16 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі топографічну діаграму комплексів діючих значень напруг і векторну діаграму комплексів діючих значень струмів кола.

5.17 Результати розрахунків занести в таблицю 8.2.

Таблиця 8.2 – 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}_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	$\dot{I}_N,$ A показова форма

- 5.18 Скласти рівняння за першим законом Кірхгофа для нульової точки навантаження та перевірити його.
- 5.19 Скласти рівняння за другим законом Кірхгофа для однієї з фаз кола та перевірити його.
- 5.20 Порівняти розраховані значення сил фазних (лінійних) струмів навантаження з вимірними.
- 5.21 Порівняти розраховані значення фазних напруг навантаження з вимірними.
- 5.22 Порівняти розраховане значення напруги зміщення нейтралі з вимірним.
- 5.23 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:
- 1) пояснити, яке трифазне коло називають «зірка – зірка з нулем»;
 - 2) пояснити, яке трифазне коло «зірка – зірка з нулем» є несиметричним;
 - 3) пояснити, яке трифазне джерело є несиметричним;
 - 4) пояснити, яка лінія електропередачі є несиметричною;
 - 5) пояснити, яке трифазне навантаження є несиметричним;
 - 6) пояснити, яка напруга з'являється у несиметричному трифазному колі «зірка – зірка з нулем», і дати їй визначення;
 - 7) пояснити, як розраховується напруга зміщення нейтралі, та як впливає наявність нульового проводу на її значення;
 - 8) перелічити фізичні явища, які спостерігаються у нульовому проводі у несиметричному трифазному колі «зірка – зірка з нулем»;
 - 9) пояснити, яка послідовність розрахунку несиметричного трифазного кола «зірка – зірка з нулем»;
 - 10) пояснити, як розрахувати сили струмів у фазах несиметричного трифазного кола «зірка – зірка з нулем»;
 - 11) пояснити, як розрахувати напруги на навантаженнях несиметричного трифазного кола «зірка – зірка з нулем»;
 - 12) пояснити, як впливає напруга зміщення нейтралі на напруги навантаження несиметричного трифазного кола «зірка – зірка з нулем»;
 - 13) пояснити, як можна зменшити напругу зміщення нейтралі;
 - 14) пояснити, що може відбутись у несиметричному трифазному колі «зірка – зірка з нулем» із місцями кріплення нульового проводу.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).
- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 8.1.

- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Таблиця 8.2.
- 6.9 Топографічна та векторна діаграми.
- 6.10 Рівняння за законами Кірхгофа та їх перевірка.
- 6.11 Результати порівняння розрахованих значень фізичних величин з виміряними.
- 6.12 Висновок по роботі.

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 нулем» з ідеальним генератором і ідеальними лінійними проводами.
- 7.6 Яка напруга додатково з'являється у несиметричному колі «зірка – зірка з нулем» 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 з нулем» 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 ділянки кола?
- 7.11 Як розрахувати комплекси фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5?
- 7.12 Як вимірити діючі значення фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5?
- 7.13 Як розрахувати комплекс нульового (нейтрального) струму кола з п.7.5?
- 7.14 Як вимірити діюче значення нульового (нейтрального) струму 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 топографічну діаграму комплексів діючих значень напруг і векторну діаграму діючих значень 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 Як можна зменшити напругу зміщення нейтралі у несиметричному колі «зірка – зірка з нулем»?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

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 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою. Трифазне навантаження, фази якого складаються з резистора R_1 , індуктивної котушки K_1 та конденсатора C_1 , з'єднаних зіркою. Навантаження приєднане до генератора за допомогою ідеальної трипровідної лінії електропередачі.

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 9.1.

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

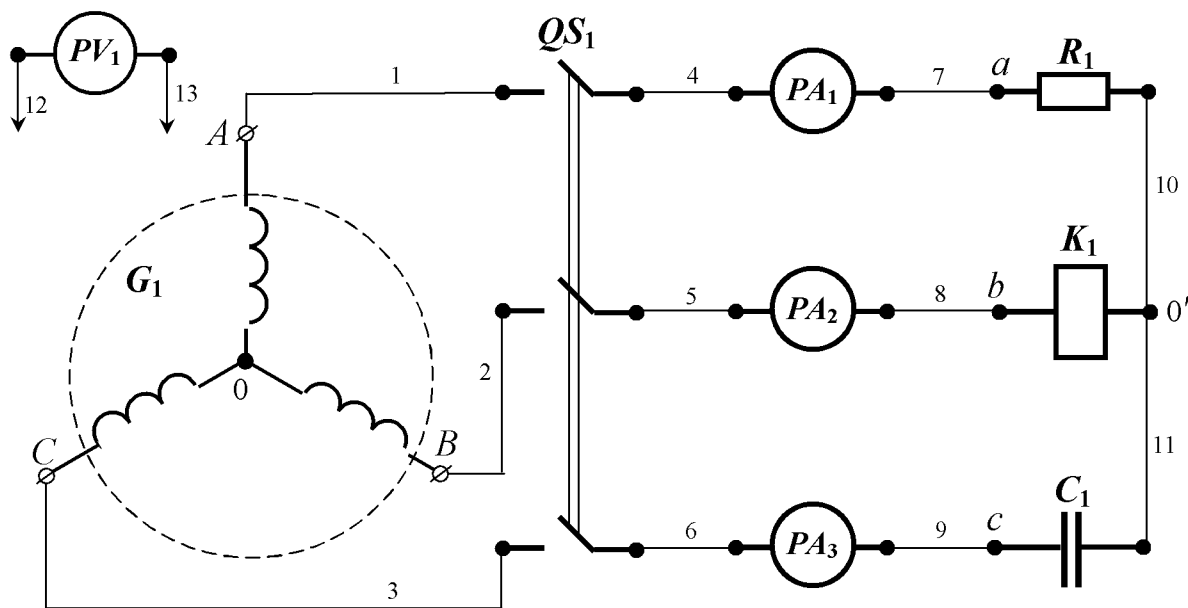


Рисунок 9.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 9.2.

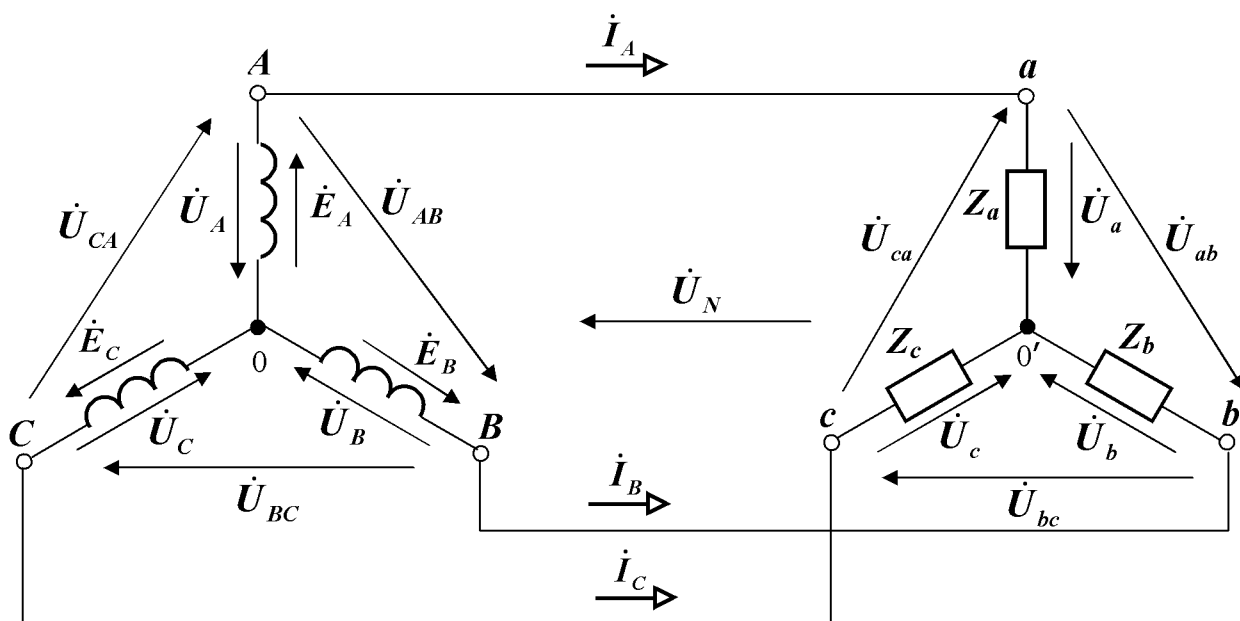


Рисунок 9.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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 QS₁.

5.3 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 9.1, розімкнути вимикач QS₁.

Таблиця 9.1 – Показання приладів

$U_A,$ B	$U_B,$ B	$U_C,$ B	$U_a,$ B	$U_b,$ B	$U_c,$ 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:

$$U_{\phi,2} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (9.1)$$

5.5 Записати за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень електрорушійних сил генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази *A* дорівнює $\psi_{eA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{eA}}; \quad (9.2)$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (9.3)$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (9.4)$$

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних опір фази *a* навантаження, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола з активним опором:

$$I_A = \frac{U_a}{r_a}; \quad Z_a = r_a, \quad (9.5)$$

де r_a – активний опір фази *a* навантаження, Ом.

5.7 Записати за вказівкою викладача значення комплексу повного опору фази *b* навантаження, у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_b = r_b + jx_b, \quad (9.6)$$

де r_b – активний опір фази *b* навантаження, Ом;
 x_b – індуктивний опір *b* навантаження, Ом,

і перевести його у показову форму.

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних опір фази c навантаження, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола з ємнісним опором:

$$I_C = \frac{U_c}{x_c}; \quad Z_c = -jx_c, \quad (9.7)$$

де x_c – ємнісний опір фази c навантаження, Ом.

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

$$Y_a = \frac{1}{Z_a}; \quad (9.8)$$

$$Y_b = \frac{1}{Z_b}; \quad (9.9)$$

$$Y_c = \frac{1}{Z_c}, \quad (9.10)$$

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

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

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot Y_a + \dot{E}_B \cdot Y_b + \dot{E}_C \cdot Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}, \quad (9.11)$$

і порівняти його модуль зі значенням, отриманим при вимірюванні.

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил струмів у фазах навантаження (у лінійних проводах) у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = (\dot{E}_A - \dot{U}_N) \cdot Y_a; \quad (9.12)$$

$$\dot{I}_B = (\dot{E}_B - \dot{U}_N) \cdot Y_b; \quad (9.13)$$

$$\dot{I}_C = (\dot{E}_C - \dot{U}_N) \cdot Y_c. \quad (9.14)$$

5.12 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень фазних напруг у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола у комплексній формі:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}; \quad (9.15)$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}; \quad (9.16)$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{Z_c}. \quad (9.17)$$

5.13 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі топографічну діаграму кола.

5.14 Результати розрахунків занести в таблицю 9.2.

Таблиця 8.2 – Фізичні величини, що характеризують коло

$\dot{E}_{A, B}$ показова форма	$\dot{E}_{B, B}$ показова форма	$\dot{E}_{C, B}$ показова форма	$\dot{U}_{N, B}$ 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	$\dot{I}_{N, A}$ показова форма

5.15 Скласти рівняння за першим законом Кірхгофа для нульової точки навантаження та перевірити його.

5.16 Скласти рівняння за другим законом Кірхгофа для однієї з фаз кола та перевірити його.

5.17 Порівняти розраховані значення сил фазних (лінійних) струмів навантаження з вимірними.

5.18 Порівняти розраховані значення фазних напруг навантаження з вимірними.

5.19 Порівняти розраховане значення напруги зміщення нейтралі з вимірним.

5.20 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яке трифазне коло називають «зірка – зірка»;
- 2) пояснити, яке трифазне коло «зірка – зірка» є несиметричним;
- 3) пояснити, яке трифазне джерело є несиметричним;
- 4) пояснити, яка лінія електропередачі є несиметричною;
- 5) пояснити, яке трифазне навантаження є несиметричним;
- 6) пояснити, яка напруга з'являється у несиметричному трифазному колі «зірка – зірка», і дати їй визначення;

- 7) пояснити, чим розрахунок напруги зміщення нейтралі у трипровідному колі відрізняється від чотирипровідного;
- 8) пояснити, яка послідовність розрахунку несиметричного трифазного кола «зірка – зірка»;
- 9) пояснити, як розрахувати сили струмів у фазах несиметричного трифазного кола «зірка – зірка»;
- 10) пояснити, як розрахувати напруги на навантаженнях несиметричного трифазного кола «зірка – зірка»;
- 11) пояснити, як впливає напруга зміщення нейтралі на напруги навантаження несиметричного трифазного кола «зірка – зірка», і у чому відмінність цього впливу у трипровідному колі у порівнянні з чотирипровідним.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).
- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 9.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Таблиця 9.2.
- 6.9 Топографічна діаграма.
- 6.10 Рівняння за законами Кірхгофа та їх перевірка.
- 6.11 Результати порівняння розрахованих значень фізичних величин з виміряними.
- 6.12 Висновок по роботі.

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 топографічну діаграму 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»? Чому?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

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 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.

- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою. 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 опороми. 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.

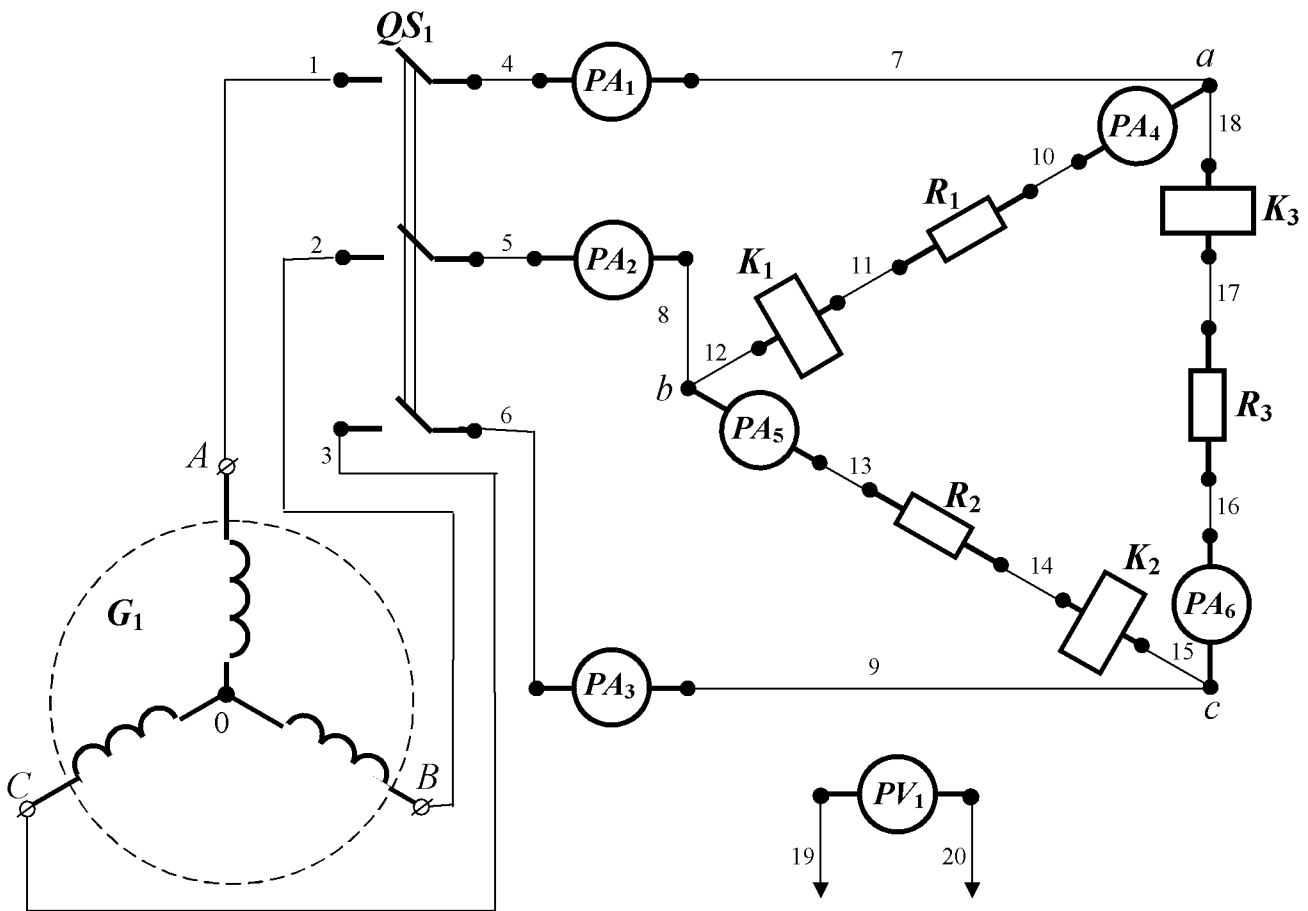


Рисунок 10.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 10.2.

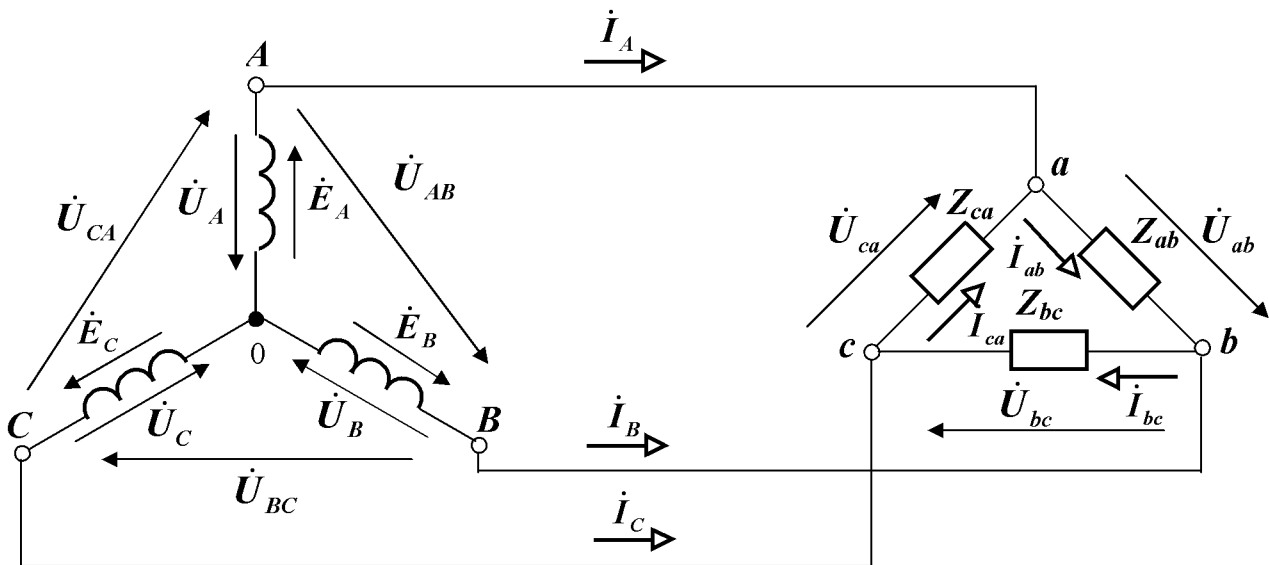


Рисунок 10.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

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 10.1 – Показання приладів

$U_A,$ 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	$I_A,$ 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 фазної напруги трифазного генератора, використовуючи рівняння:

$$U_{\phi.e} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (10.1)$$

5.5 Записати за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень електрорушійних сил генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази A дорівнює $\psi_{eA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{eA}}; \quad (10.2)$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (10.3)$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (10.4)$$

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

$$Z = r + jx_L, \quad (10.5)$$

де Z – комплекс повного опору котушки, Om ;

r – активний опір котушки, Om ;

x_L – індуктивний опір котушки, Om .

5.7 Визначити за допомогою розрахункових даних опори резисторів, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола з резистором:

$$I_{ab} = \frac{U_{r1}}{r_1}; \quad I_{bc} = \frac{U_{r2}}{r_2}; \quad I_{ca} = \frac{U_{r3}}{r_3}, \quad (10.6)$$

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

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

$$Z_{ab} = r + r_1 + jx_L = r_{ab} + jx_{ab}; \quad (10.7)$$

$$Z_{bc} = r + r_2 + jx_L = r_{bc} + jx_{bc}; \quad (10.8)$$

$$Z_{ca} = r + r_3 + jx_L = r_{ca} + jx_{ca}, \quad (10.9)$$

де r_{ab}, r_{bc}, r_{ca} – активні опори відповідно фаз ab, bc і ca трифазного навантаження, Om ;

x_{ab}, x_{bc}, x_{ca} – індуктивні опори відповідно фаз ab, bc і ca трифазного навантаження, Om .

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг на фазах навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3} \cdot \dot{E}_A \cdot e^{j30^\circ}; \quad (10.10)$$

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (10.11)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (10.12)$$

5.10 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:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}; \quad (10.13)$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z_{bc}}; \quad (10.14)$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z_{ca}}. \quad (10.15)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил лінійних струмів, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad (10.16)$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad (10.17)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (10.18)$$

5.12 Визначити комплекс повної потужності, яку розвиває генератор, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_e = \dot{E}_A \cdot \dot{I}_A^* + \dot{E}_B \cdot \dot{I}_B^* + \dot{E}_C \cdot \dot{I}_C^*. \quad (10.19)$$

5.13 Визначити комплекс повної потужності, яку споживає навантаження, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = \dot{U}_{ab} \cdot \dot{I}_{ab}^* + \dot{U}_{bc} \cdot \dot{I}_{bc}^* + \dot{U}_{ca} \cdot \dot{I}_{ca}^* . \quad (10.20)$$

5.14 Скласти баланс потужностей кола та перевірити його

5.15 Результати розрахунків занести в таблицю 10.2.

Таблиця 10.2 – 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 10.2

\dot{I}_{ab}, A показова форма	\dot{I}_{bc}, A показова форма	\dot{I}_{ca}, A показова форма	\dot{I}_A, A показова форма	\dot{I}_B, A показова форма	\dot{I}_C, A показова форма

5.16 Перевірити розрахунок лінійних струмів, склавши для вузла 0 розрахункової схеми рівняння за першим законом Кірхгофа.

5.17 Порівняти розраховані значення сил фазних струмів навантаження з вимірними.

5.18 Порівняти розраховані значення сил лінійних струмів навантаження з вимірними.

5.19 Порівняти розраховані значення фазних (лінійних) напруг навантаження з вимірними.

5.23 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яке трифазне коло називають «зірка – трикутник»;
- 2) пояснити, яке трифазне коло «зірка – трикутник» є несиметричним;
- 3) пояснити, чому дорівнює напруга зміщення нейтралі з у несиметричному трифазному колі «зірка – трикутник»;
- 4) пояснити, яка послідовність розрахунку несиметричного трифазного кола «зірка – трикутник» у разі ідеальної лінії електропередачі;
- 5) пояснити, як взаємозв'язані лінійні і фазні струми у фазах несиметричного трифазного кола «зірка – трикутник»;
- 6) пояснити, як розрахувати потужності несиметричного трифазного кола «зірка – трикутник»;
- 7) пояснити, що таке баланс потужностей кола, та як його скласти.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 10.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Таблиця 10.2.
- 6.9 Рівняння за першим Кірхгофа та його перевірка.
- 6.10 Результати порівняння розрахованих значень фізичних величин з виміряними.
- 6.11 Висновок по роботі.

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 № 11

Тема. Дослідження трипровідної лінії електропередачі при замиканні на землю одного з її проводів

Мета: придбання практичних навичок у аналізі роботи трипровідної лінії електропередачі при замиканні на землю одного з її проводів

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 «Несиметричні трифазні кола синусоїдного струму» пп. 9.3, 9.4 [1, с. 72–81].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 9.7 – 9.10 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою. До затисків генератора приєднана ідеальна трипровідна лінія електропередачі, ємність якої по відношенню до землі імітують три конденсатора C_1, C_2, C_3 однакової ємності, які з'єднані зіркою. Замикання на землю одного з проводів лінії електропередачі імітується за допомогою резистора R_1 , який включений паралельно конденсатору C_1 через вимикач QS_2 . Між нульовими точками генератора і конденсаторів через вимикач QS_3 включена індуктивна котушка K_1 , яка імітує дугогасну котушку.

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 11.1.

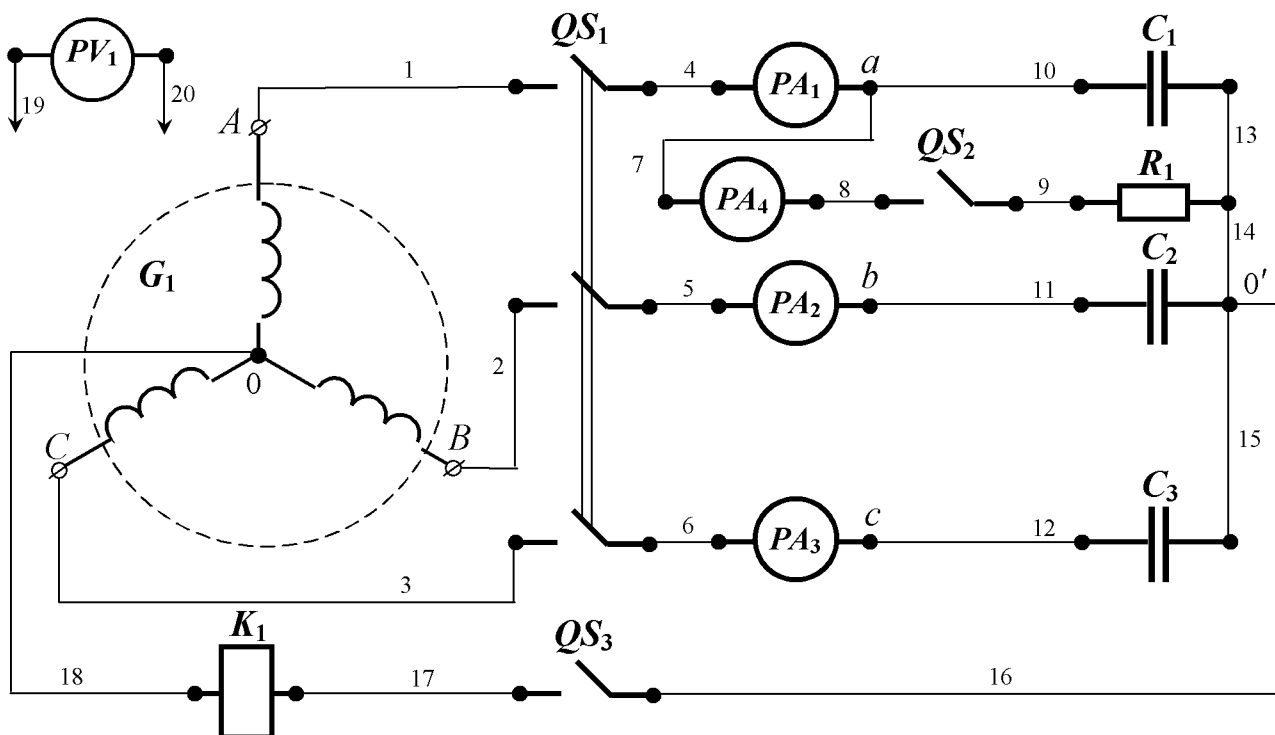


Рисунок 11.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

- При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:
- опори з'єднувальних проводів і контактів вимикачів дорівнюють нулю;
 - опори обмоток амперметрів дорівнюють нулю;

- опір обмотки вольтметра дорівнює нескінченності;
- активні опори конденсаторів та котушки дорівнюють нулю.

При замкнених вимикачах QS_1 , QS_2 і розімкненому вимикачу QS_3 утворюється режим роботи лінії електропередачі, при якому погіршується ізоляція лінійного проводу $A-a$ відносно землі, а дугогасна котушка не застосовується. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 11.2.

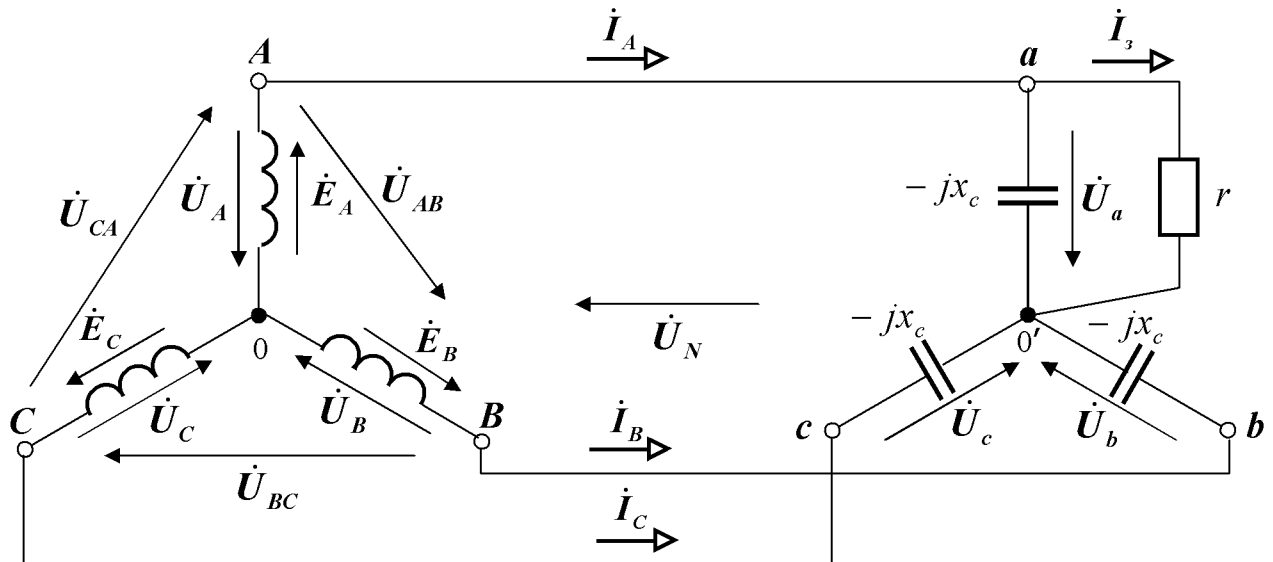


Рисунок 11.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкненому вимикачеві QS_1 і розімкнених вимикачах QS_2 , QS_3

При замкнених вимикачах QS_1 , QS_2 , QS_3 утворюється режим роботи лінії електропередачі, при якому погіршується ізоляція лінійного проводу $A-a$ відносно землі, а дугогасна котушка застосовується. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 11.3.

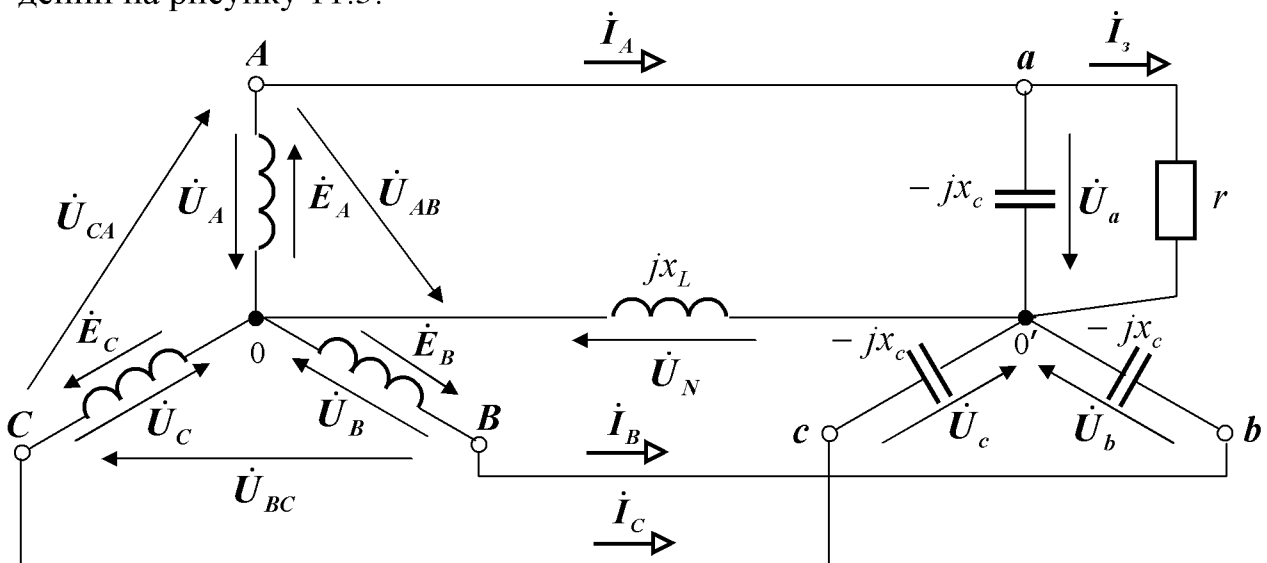


Рисунок 11.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_1 , QS_2 , QS_3

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення е.р.с. 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 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}_N – комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі, B ;
- \dot{U}_a – комплекс діючого значення напруги між лінійним проводом $A-a$ та землею, B ;
- \dot{U}_b – комплекс діючого значення напруги між лінійним проводом $B-b$ та землею, B ;
- \dot{U}_c – комплекс діючого значення напруги між лінійним проводом $C-c$ та землею, B ;
- $-jx_c$ – комплекс ємнісного опору між лінійним проводом та землею, Om ;
- r – активний опір між лінійним проводом $A-a$ та землею при його замиканні на землю, Om ;
- \dot{I}_3 – комплекс діючого значення сили струму замикання на землю при погіршенні ізоляції лінійного проводу $A-a$ відносно землі, A ;
- jx_L – комплекс індуктивного опору дугогасної котушки, 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 11.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 11.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів								
	$U_{A, B}$	$U_{B, B}$	$U_{C, B}$	$U_{a, B}$	$U_{b, B}$	$U_{c, B}$	U_N, B	$I_{B, A}$	$I_{3, A}$
1 Вимикачі QS ₁ , QS ₂ замкнені; вимикач QS ₃ розімкнений									
2 Вимикачі QS ₁ , QS ₂ , QS ₃ замкнені	не знімати	не знімати	не знімати					не знімати	

**Замикання лінійного проводу А-а на землю
без застосування дугогасної катушки (перший експеримент)**

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

$$U_{\phi,2} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (11.1)$$

5.5 Записати за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень електрорушійних сил генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази А дорівнює $\psi_{eA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{eA}}; \quad (11.2)$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (11.3)$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (11.4)$$

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних провідність конденсатора, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола з ємнісною провідністю:

$$I_B = b_c \cdot U_b; \quad (11.5)$$

де b_c – провідність конденсатора, См.

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних активну провідність між лінійним проводом А-а та землею при його замиканні, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола з активною провідністю:

$$I_s = g \cdot U_a, \quad (11.6)$$

де g – активна провідність між лінійним проводом A -а та землею, См.

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

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot g}{g + 3 \cdot jb_c}. \quad (11.7)$$

5.9 Порівняти розраховане діюче значення напруги зміщення нейтралі з вимірним.

5.10 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі топографічну діаграму комплексів діючих значень напруг кола.

5.11 Визначити з топографічної діаграми діючі значення напруг між проводами та землею і порівняти їх із вимірними значеннями.

**Замикання лінійного проводу A -а на землю
із застосування дугогасної котушки (другий експеримент)**

5.12 Записати за вказівкою викладача значення індуктивної провідності (b_L) дугогасної котушки.

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

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot g}{g + 3 \cdot jb_c - jb_L}. \quad (11.8)$$

5.14 Порівняти розраховане діюче значення напруги зміщення нейтралі з вимірним.

5.15 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі топографічну діаграму комплексів діючих значень напруг кола.

5.16 Визначити з топографічної діаграми діючі значення напруг між проводами та землею і порівняти їх із вимірними значеннями.

5.17 Порівняти між собою діючі значення струму замикання на землю без дугогасної котушки та з нею, які отримані при вимірюванні. Зробити висновки.

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних ємність лінійного проводу A -а по відношенню до землі, якщо $f = 50$ Гц, використовуючи рівняння:

$$b_c = 2\pi \cdot f \cdot C . \quad (11.9)$$

5.34 Визначити за допомогою розрахункових даних значення індуктивності дугогасної котушки, за якого сила струму замикання на землю при погіршенні ізоляції лінійного проводу $A-a$ відносно землі буде дорівнювати нулю, якщо $f = 50 \text{ Гц}$, використовуючи рівняння:

$$L = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C} . \quad (11.10)$$

5.35 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, чому виникає замикання на землю проводу лінії електропередачі;
- 2) пояснити, до чого призводить замикання на землю проводу лінії електропередачі;
- 3) пояснити, що і як потрібно зробити, щоб знизити негативні наслідки замикання на землю проводу лінії електропередачі
- 4) пояснити, що таке дугогасна котушка, і як розрахувати її індуктивність.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 11.1.

6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин щодо замикання лінійного проводу $A-a$ на землю без застосування дугогасної котушки та із її застосуванням.

6.7 Розрахунок шуканих величин щодо замикання лінійного проводу $A-a$ на землю без застосування дугогасної котушки та із її застосуванням.

6.8 Топографічні діаграми для випадків замикання лінійного проводу $A-a$ на землю без застосування дугогасної котушки та із її застосуванням.

6.9 Значення напруг між проводами і землею для випадків замикання лінійного проводу $A-a$ на землю без застосування дугогасної котушки та із її застосуванням, визначені з векторної діаграми та із її застосуванням.

6.10 Порівняння струмів замикання на землю для випадків замикання лінійного проводу $A-a$ на землю без застосування дугогасної котушки та із її застосуванням. Висновок.

6.11 Розрахунок індуктивності дугогасної котушки.

6.12 Висновок по роботі.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Чому кожен провід лінії електропередачі має певну ємність по відношенню до землі?

7.2 Від чого залежить ємність кожного проводу лінії електропередачі по відношенню до землі?

7.3 Складіть розрахункову схему електричного кола ідеального симетричного генератора, обмотки якого з'єднані зіркою, до якого приєднана ідеальна трипровідна лінія електропередачі.

7.4 Як розрахувати ємнісну провідність кожного проводу лінії електропередачі по відношенню до землі через їх ємності?

7.5 Внаслідок чого відбувається погіршення ізоляції проводу лінії електропередачі відносно землі? До чого це призводить?

7.6 Що таке струм замикання на землю проводу лінії електропередачі?

7.7 Складіть розрахункову схему електричного кола ідеального симетричного генератора, обмотки якого з'єднані зіркою, до якого приєднана ідеальна трипровідна лінія електропередачі у разі замикання лінійного проводу $A-a$ на землю.

7.8 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі кола з п.7.7.

7.9 Запишіть вирази для розрахунку комплексів діючих значень напруг між проводами лінії електропередачі і землею кола з п.7.7.

7.10 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму замикання на землю кола з п.7.7.

7.11 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму замикання на землю кола з п.7.7.

7.12 Побудуйте векторну діаграму діючих значень напруг кола з п.7.7.

7.14 Запишіть вирази комплексів діючих значень напруг між проводами лінії електропередачі і землею кола з п.7.7 у разі короткого замикання на землю лінійного проводу $A-a$. Як вони зміняться у цьому випадку?

7.15 Запишіть вираз комплексу струму замикання на землю кола з п.7.7 у разі короткого замикання на землю лінійного проводу $A-a$. Який характер має цей струм?

7.16 Який прилад застосовують для зменшення сили струм замикання на землю? Як його вмикають?

7.17 Складіть розрахункову схему електричного кола ідеального симетричного генератора, обмотки якого з'єднані зіркою, до якого приєднана ідеальна трипровідна лінія електропередачі у разі замикання лінійного проводу $A-a$ на землю при застосуванні дугогасної котушки.

7.18 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення напруги зміщення нейтралі кола з п.7.17.

- 7.19 Запишіть вирази для розрахунку комплексів діючих значень напруг між проводами лінії електропередачі і землею кола з п.7.17.
- 7.20 Побудуйте векторну діаграму діючих значень напруг кола з п.7.17.
- 7.21 Як розрахувати індуктивну провідність дугогасної котушки через її індуктивність?
- 7.22 Запишіть вираз для розрахунку значення індуктивності дугогасної котушки, яке призводить до зменшення сили струму замикання на землю до нуля.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

Тема. Дослідження трифазних кіл «зірка – зірка» та «зірка – зірка з нулем» при обриві у фазі навантаження

Мета: придбання практичних навичок при аналізі несиметричного трифазного кола «зірка – зірка» та «зірка – зірка з нулем» при обриві у фазі навантаження

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 «Несиметричні трифазні кола синусоїдного струму» пп.9.1, 9.2 [1, с. 62–73].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 9.5 – 9.6 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою. Трифазне навантаження, фази якого складаються з індуктивних котушок K_1, K_2, K_3 з однаковими параметрами, з'єднаних зіркою. Навантаження приєднане до генератора за допомогою чотирипровідної лінії електропередачі, у якій лінійні проводи ідеальні, а нульовий (нейтральний) провід реальний, що імітує резистор R_1 .

У коло включені три амперметри PA_1, PA_2, PA_3, PA_4 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач

QS_1 . У фазу a навантаження включено вимикач QS_2 , у а нульовий (нейтральний) провід включено вимикач QS_3 .

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 12.1.

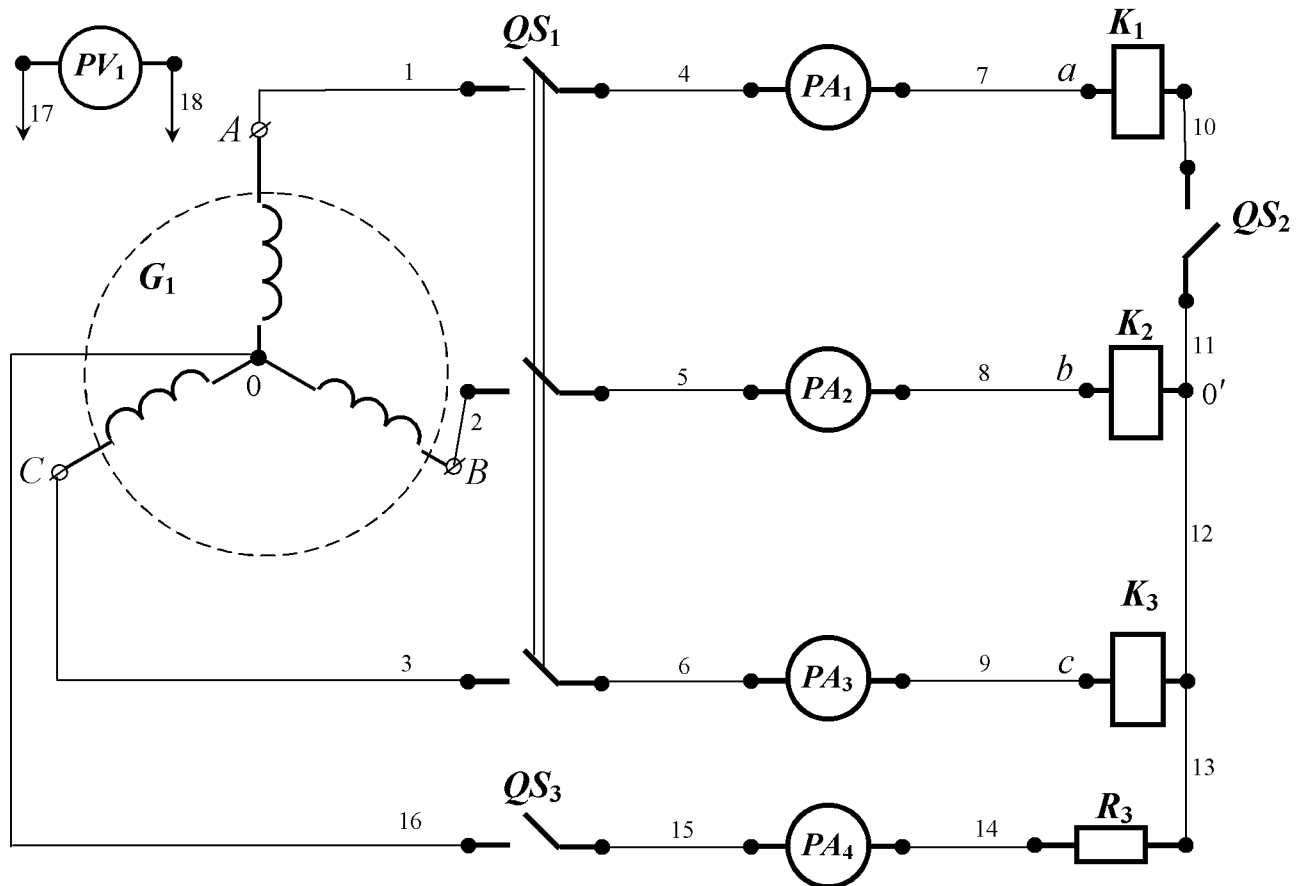


Рисунок 12.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 21 провідник (на схемі позначені номерами 1-21).

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.

При замкнених вимикачах QS_1 , QS_2 , QS_3 (а також при замкнених вимикачах QS_1 , QS_2 і розімкненому вимикачеві QS_3) у досліджуваному трифазному колі утворюється симетричний режим, який розглянуто у відповідній лабораторній роботі раніше (рис.5.2 та рис.6.2).

При замкненому вимикачеві QS_1 і розімкнених вимикачах QS_2 , QS_3 утворюється один з крайніх випадків несиметричного режиму трифазного

кола «зірка – зірка», а саме: обрив у фазі a навантаження. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 12.2.

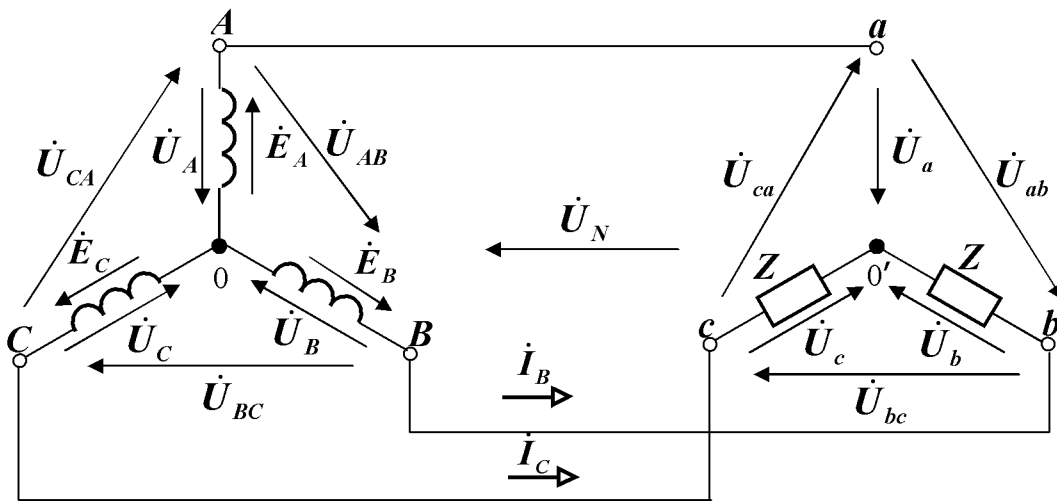


Рисунок 13.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкненому вимикачеві QS_1 і розімкнених вимикачах QS_2, QS_3

При замкнених вимикачах QS_1, QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_2 утворюється один з крайніх випадків несиметричного режиму трифазного кола «зірка – зірка з нулем», а саме: обрив у фазі a навантаження. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 12.3.

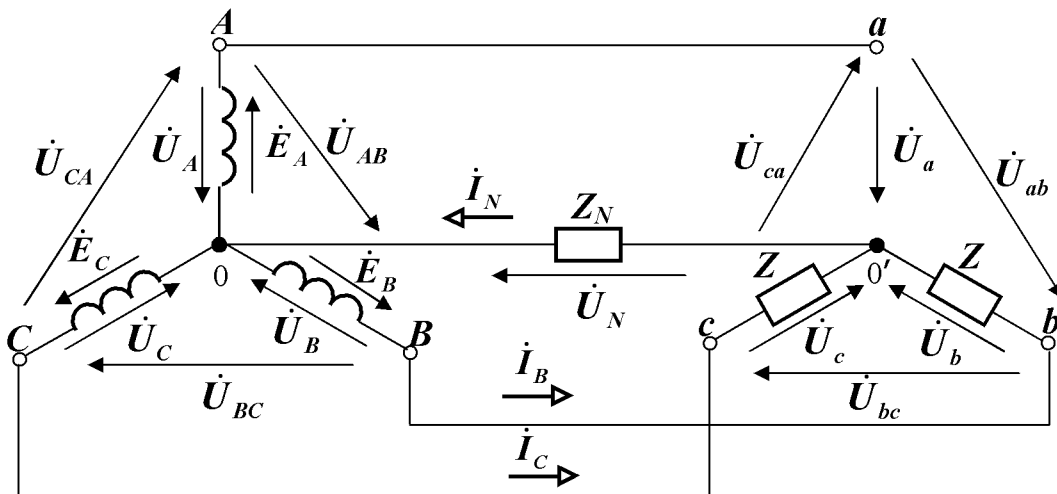


Рисунок 13.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_1, QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_2

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення е.р.с. 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}_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{I}_N – комплекс діючого значення сили нульового (нейтрального) струму, A ;
- Z_N – комплекс повного опору нульового (нейтрального) проводу, $Ом$;
- \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}_{bc} – комплекс діючого значення лінійної напруги між затискачами фаз b і c навантаження, B ;
- Z – комплекс повного опору фази навантаження, $Ом$.

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 12.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 12.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	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	$U_N,$ B	$I_A,$ A	$I_B,$ A	$I_C,$ A	$I_N,$ A
1 Вимикачі QS ₁ , QS ₂ , QS ₃ замкнені														
2 Вимикач QS ₁ замкнений; вимикачі QS ₂ , QS ₃ розімкнені	–	–	–											
3 Вимикачі QS ₁ , QS ₃ замкнені; вимикач QS ₂ розімкнений	–	–	–											

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

$$U_{\phi,2} = \frac{U_A + U_B + U_C}{3}. \quad (12.1)$$

5.5 Записати за допомогою розрахункових даних першого експерименту комплекси діючих значень електрорушійних сил генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази A дорівнює $\psi_{eA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = U_{\phi,2} \cdot e^{j\psi_{eA}}; \quad (12.2)$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (12.3)$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (12.4)$$

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

$$Z = r + jx, \quad (12.5)$$

де r – активний опір фази навантаження, Ом;
 x – індуктивний опір фази навантаження, Ом.

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

$$\left. \begin{aligned} Z &= z \cdot e^{j\varphi}; \\ z &= \sqrt{r^2 + x^2}; \\ \varphi &= \operatorname{arctg} \frac{x}{r}, \end{aligned} \right\} \quad (12.6)$$

де z – повний опір фази навантаження, Ом;
 φ – кут зсуву фаз фази навантаження, градус.

5.8 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної провідності фази навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Y = \frac{1}{Z}. \quad (12.7)$$

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі при обриві у фазі навантаження кола «зірка – зірка» у показовій формі, використовуючи рівняння, складене за методом двох вузлів та отримане внаслідок перетворень:

$$\dot{U}_N = -\frac{\dot{E}_A}{2}. \quad (12.8)$$

5.10 Визначити за результатами третього експерименту провідність резистора, що імітує нейтральний провід, використовуючи рівняння:

$$I_N = g_N \cdot U_N. \quad (12.9)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі при обриві у фазі навантаження кола

«зірка – зірка з нулем» у показовій формі, використовуючи рівняння, складене за методом двох вузлів:

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_B \cdot Y + \dot{E}_C \cdot Y}{Y + Y + g_N} \quad (12.10)$$

5.12 Побудувати в обраному масштабі на комплексній площині топографічні діаграми для трьох проведених експериментів.

5.13 Визначити діючі значення фазних і лінійних напруг навантаження кіл «зірка – зірка» і «зірка – зірка з нулем» в нормальному режимі роботи та при обриві у фазі навантаження, порівняти отримані значення з виміряними у відповідних експериментах.

5.14 Використовуючи топографічні діаграми, зробити висновки про значення фазних і лінійних напруг навантаження кіл «зірка – зірка» і «зірка – зірка з нулем» в нормальному режимі роботи та при обриві у фазі навантаження:

- якими є фазні і лінійні напруги у порівнянні одна з одною у кожному експерименті;
- якими є лінійні напруги у порівнянні між експериментами;
- якими є фазні напруги у порівнянні між експериментами;
- як впливає напруга зміщення нейтралі на фазні і лінійні напруги у кожному експерименті та у порівнянні між експериментами.

5.15 Використовуючи результати експериментів зробити висновки про значення фазних (лінійних) струмів навантаження кіл «зірка – зірка» і «зірка – зірка з нулем» в нормальному режимі роботи та при обриві у фазі навантаження (у порівнянні одне з одним у кожному експерименті та у порівнянні між експериментами).

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 12.1.

6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.7 Розрахунок шуканих величин.

6.8 Топографічні діаграми.

6.9 Значення напруг з топографічних діаграм та результати їх порівняння з експериментами.

6.10 Висновки.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Яке коло називається несиметричним?
- 7.2 Яке трифазне навантаження називається несиметричним?
- 7.3 Як з'єднуються фази генератора або навантаження за схемою зірки?
- 7.4 Що таке нульовий (нейтральний) провід?
- 7.5 Складіть розрахункову схему трифазного кола «зірка – зірка» з ідеальним генератором і ідеальними лінійними проводами у разі обриву у фазі a навантаження.
- 7.6 Чому дорівнює повний опір фази a навантаження у разі її обриву?
- 7.7 Що таке напруга зміщення нейтралі?
- 7.8 Як розрахувати комплекс повної провідності ділянки кола?
- 7.9 Як розрахувати комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі у колі з п.7.5?
- 7.10 Як вимірити діюче значення напруги зміщення нейтралі кола з п.7.5?
- 7.11 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.12 Як вимірити діючі значення фазних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.13 Що відбувається з фазними напругами трифазного навантаження кола з п.7.5 у разі обриву у фазі a навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.14 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.15 Як вимірити діючі значення лінійних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.16 Що відбувається з лінійними напругами трифазного навантаження кола з п.7.5 у разі обриву у фазі a навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.17 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5?
- 7.18 Як вимірити діючі значення фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5?
- 7.19 Що відбувається з фазними (лінійними) струмами кола з п.7.5 у разі обриву у фазі a навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.20 Побудувати на комплексній площині топографічну діаграму кола з п.7.5.
- 7.21 Складіть розрахункову схему трифазного кола «зірка – зірка з нулем» з ідеальним генератором і ідеальними лінійними проводами у разі обриву у фазі a навантаження.
- 7.22 Як розрахувати комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі у колі з п.7.21?
- 7.23 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.21?

- 7.24 Що відбувається з фазними напругами трифазного навантаження кола з п.7.21 у разі обриву у фазі a навантаження у порівнянні з трипровідним колом з п.7.5?
- 7.25 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних напруг навантаження кола з п.7.21?
- 7.26 Що відбувається з лінійними напругами трифазного навантаження кола з п.7.21 у разі обриву у фазі a навантаження у порівнянні з трипровідним колом з п.7.5?
- 7.27 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних (лінійних) струмів кола з п.7.21?
- 7.28 Що відбувається з фазними (лінійними) струмами кола з п.7.21 у разі обриву у фазі a навантаження у порівнянні з трипровідним колом з п.7.5?
- 7.29 Як розрахувати комплекс діючого значення нульового (нейтрального) струму кола з п.7.21?
- 7.30 Як вимірити діюче значення нульового (нейтрального) струму кола з п.7.21?
- 7.31 Побудувати на комплексній площині топографічну діаграму кола з п.7.21.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

Тема. Дослідження трифазних кіл «зірка – зірка» та «зірка – зірка з нулем» при короткому замиканні у фазі навантаження

Мета: придбання практичних навичок при аналізі несиметричного трифазного кола «зірка – зірка» та «зірка – зірка з нулем» при короткому замиканні у фазі навантаження

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 «Несиметричні трифазні кола синусоїдного струму» пп.9.1, 9.2 [1, с. 62–73].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 9.5 – 9.6 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5; 6.10 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 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 трьох резисторів R_1 , R_2 , R_3 з однаковими опорами. Навантаження приєднане до генератора за допомогою реальної чотирипровідної лінії електропередачі, яку імітують котушки K_1 , K_2 , K_3 , K_4 з однаковими параметрами.

У коло включені три амперметри PA_1 , PA_2 , PA_3 , PA_4 , також є переносний вольтметр зі щупами PV_1 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 . У фазу a навантаження включено вимикач QS_2 , за допомогою якого імітується коротке замикання цієї фази, у а нульовий (нейтральний) провід включено вимикач QS_3 , який дозволяє переходити від трипровідної лінії електропередачі до чотирипровідної і навпаки.

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 13.1.

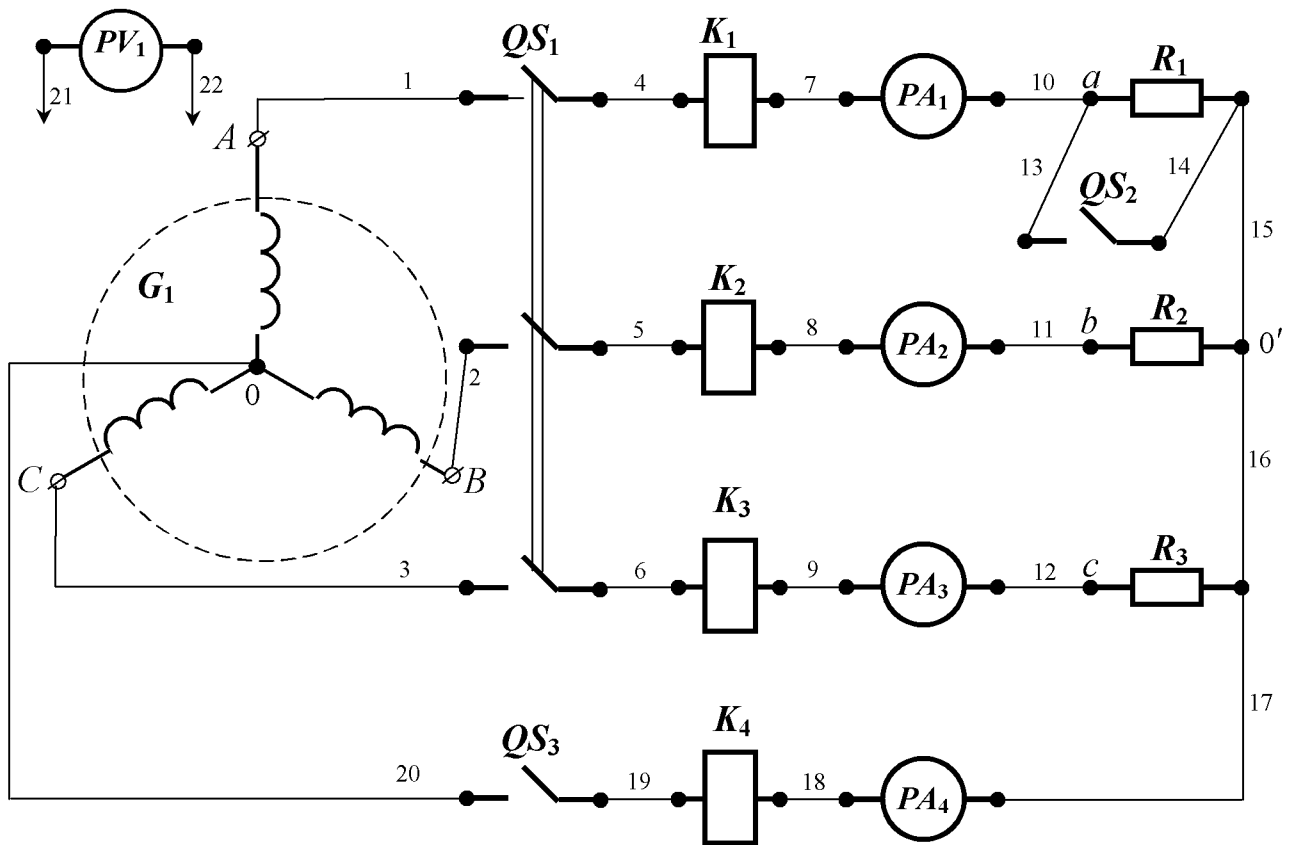


Рисунок 13.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 22 провідника (на схемі позначені номерами 1-22).

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.

При замкненому вимикачеві QS_1 і розімкнених вимикачах QS_2 і QS_3 (а також при замкнених вимикачах QS_1, QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_2) у досліджуваному трифазному колі утворюється симетричний режим, який розглянуто у відповідній лабораторній роботі раніше.

При замкненому вимикачах вимикачеві QS_1, QS_2 і розімкненому вимикачеві QS_3 утворюється один з крайніх випадків несиметричного режиму досліджуваного трифазного кола «зірка – зірка», а саме: коротке замикання фази a навантаження. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 13.2.

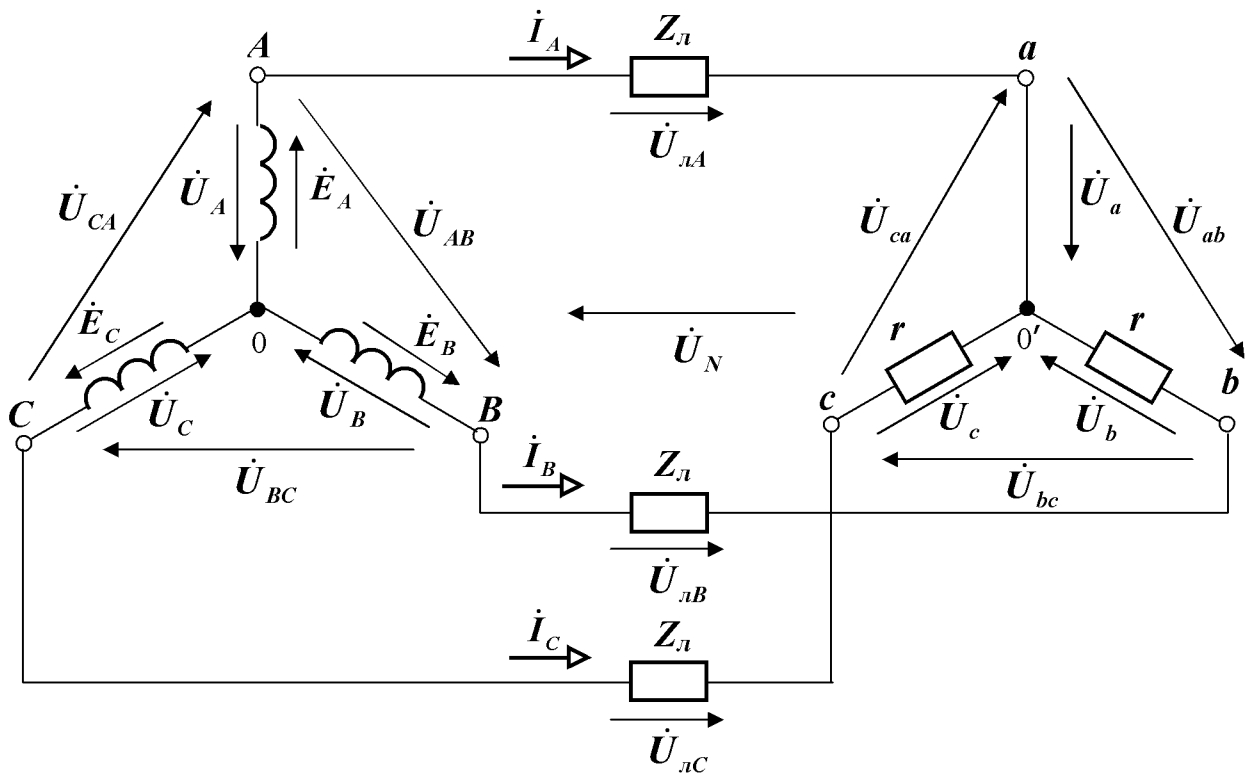


Рисунок 13.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_1, QS_2 і розімкненому вимикачеві QS_3

При замкнених вимикачах QS_1, QS_2, QS_3 утворюється один з крайніх випадків несиметричного режиму досліджуваного трифазного кола «зірка – зірка з нулем», а саме: коротке замикання фази a навантаження. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 13.3.

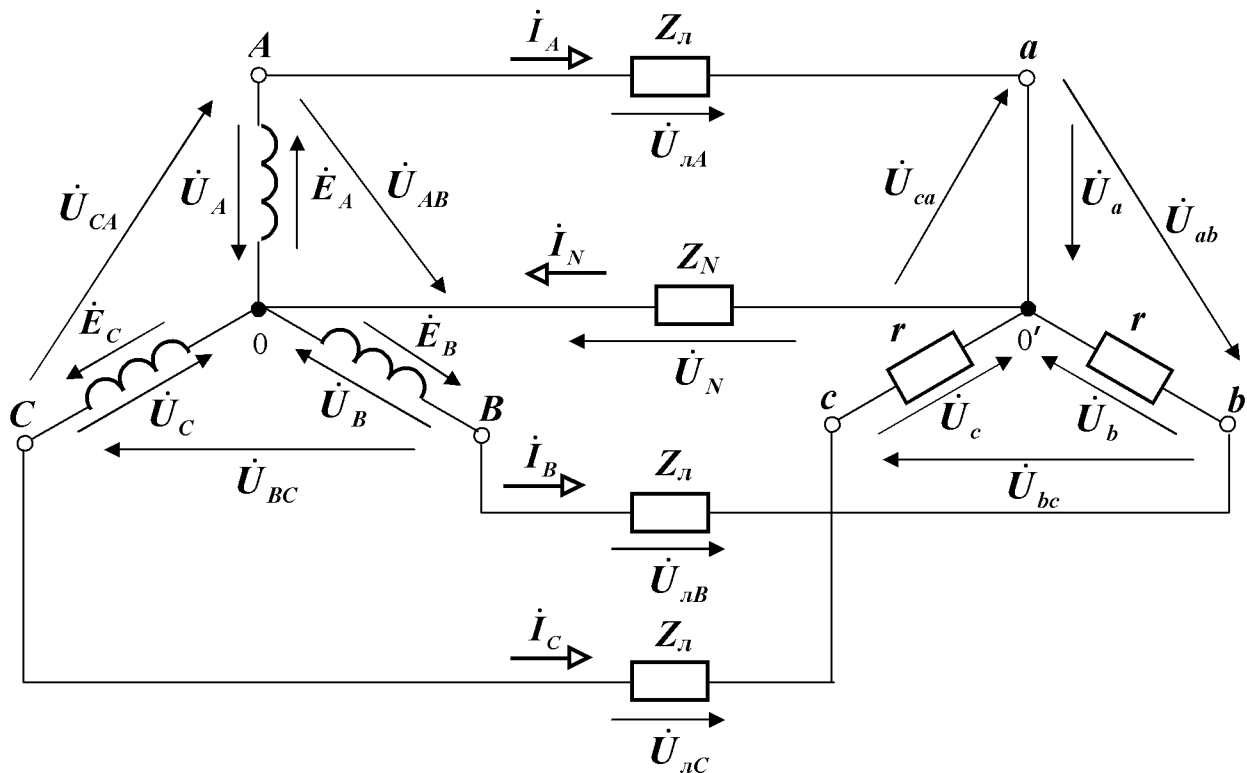


Рисунок 13.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_1, QS_2, QS_3

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення е.р.с. 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{I}_N – комплекс діючого значення сили нульового (нейтрального) струму, A ;
 Z_N – комплекс повного опору нульового (нейтрального) проводу, Om ;
 Z_l – комплекс повного опору лінійного проводу, Om ;
 \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 ;
 r – комплекс активного опору фази 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 13.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 13.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів										
	$U_A,$ B	$U_B,$ B	$U_C,$ B	$U_a,$ B	$U_b,$ B	$U_c,$ B	$U_N,$ B	$I_A,$ A	$I_B,$ A	$I_C,$ A	$I_N,$ A
1 Вимикач $QS_1,$ QS_3 замкнені; вимикач QS_2 розімкнений											
2 Вимикачі $QS_1,$ QS_2 замкнені; вимикач QS_3 розімкнений	не знімати	не знімати	не знімати								
3 Вимикачі $QS_1,$ $QS_2,$ QS_3 замкнені	не знімати	не знімати	не знімати								

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

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

5.5 Записати за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень електрорушійних сил генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза е.р.с. фази A дорівнює $\psi_{eA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{E}_A = U_{\phi,г} \cdot e^{j\psi_{eA}}; \quad (13.2)$$

$$\dot{E}_B = \dot{E}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (13.3)$$

$$\dot{E}_C = \dot{E}_A \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (13.4)$$

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

$$U_{\phi,н} = \frac{U_a + U_b + U_c}{3}. \quad (13.5)$$

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту середнє діюче значення сили фазного (лінійного) струму трифазного навантаження, використовуючи рівняння:

$$I_{\phi,н} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (13.6)$$

5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту і розрахункових даних комплекси активних опорів фаз навантаження, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола з активним опором:

$$I_{\phi,н} = \frac{U_{\phi,н}}{r}. \quad (13.7)$$

5.9 Записати за вказівкою викладача значення комплексу повного опору лінійного проводу у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_l = r_l + jx_l, \quad (13.8)$$

де r_l – активний опір лінійного проводу, Ом;
 x_l – індуктивний опір лінійного проводу, Ом,

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси повних опорів фаз кола у другому експерименті у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_A = r_l + jx_l; \quad (13.9)$$

$$Z_B = r + r_l + jx_l; \quad (13.10)$$

$$Z_C = r + r_l + jx_l, \quad (13.11)$$

і записати їх у показовій формі.

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси повних провідностей фаз кола у другому експерименті у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Y_A = \frac{1}{Z_A}; \quad Y_B = \frac{1}{Z_B}; \quad Y_C = \frac{1}{Z_C}, \quad (13.12)$$

де Y_A, Y_B, Y_C – комплекси повних провідностей відповідно фаз A, B і C кола, Ом.

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

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot Y_A + \dot{E}_B \cdot Y_B + \dot{E}_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}. \quad (13.13)$$

Порівняти розраховане значення з вимірним у другому експерименті.

5.13 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил фазних (лінійних) струмів навантаження у другому експерименті у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = (\dot{E}_A - \dot{U}_N) \cdot Y_A; \quad (13.14)$$

$$\dot{I}_B = (\dot{E}_B - \dot{U}_N) \cdot Y_B; \quad (13.15)$$

$$\dot{I}_C = (\dot{E}_C - \dot{U}_N) \cdot Y_C. \quad (13.16)$$

Перевірити результати розрахунків за першим законом Кірхгофа та порівняти розраховані значення з вимірними у другому експерименті.

5.14 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень фазних напруг навантаження у другому експерименті у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{0}; \quad (13.17)$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{r}; \quad (13.18)$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{r}. \quad (13.19)$$

Порівняти розраховані значення з вимірними у другому експерименті.

5.15 Записати значення комплексу повного опору нульового (нейтрального) проводу у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_N = r_N + jx_N, \quad (13.20)$$

де r_N – активний опір нейтрального проводу, Ом;
 x_N – індуктивний опір нейтрального проводу, Ом.

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної провідності нульового (нейтрального) проводу у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Y_N = \frac{1}{Z_N}. \quad (13.21)$$

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

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \cdot Y_A + \dot{E}_B \cdot Y_B + \dot{E}_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}. \quad (13.22)$$

Порівняти розраховане значення з вимірним у третьому експерименті.

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил фазних (лінійних) струмів навантаження у третьому експерименті у показовій формі, використовуючи рівняння (13.14) – (13.16). Порівняти розраховані значення з вимірними у третьому експерименті.

5.19 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс діючого значення сили нульового (нейтрального) струму у третьому експерименті у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_N = \dot{U}_N \cdot Y_N. \quad (13.23)$$

Порівняти розраховане значення з вимірним у третьому експерименті.

5.20 Перевірити результати розрахунків сил струмів у пп.5.18 і 5.19 за першим законом Кірхгофа.

5.21 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень фазних напруг навантаження у третьому експерименті у показовій формі, використовуючи рівняння (13.17) – (13.19). Порівняти розраховані значення з вимірними у третьому експерименті.

5.22 Результати розрахунків занести в таблиці 13.2 – 13.4.

Таблиця 13.2 – Фізичні величини, що характеризують роботу кола в симетричному режимі

$\dot{E}_{A,B}$	$\dot{E}_{B,B}$	$\dot{E}_{C,B}$	$U_{\phi,n}, B$	$U_{л,n}, B$	$I_{\phi,n}, A$

Таблиця 13.3 – Фізичні величини, що характеризують роботу кола «зірка – зірка» при короткому замиканні у фазі навантаження

$\dot{I}_{A,A}$	$\dot{I}_{B,A}$	$\dot{I}_{C,A}$	\dot{U}_N, B	\dot{U}_a, B	\dot{U}_b, B	\dot{U}_c, B

Таблиця 13.4 – Фізичні величини, що характеризують роботу кола «зірка – зірка з нулем» при короткому замиканні у фазі навантаження

$\dot{I}_{A,A}$	$\dot{I}_{B,A}$	$\dot{I}_{C,A}$	$\dot{I}_{N,A}$	$\dot{U}_{N,B}$	$\dot{U}_{a,B}$	$\dot{U}_{b,B}$	$\dot{U}_{c,B}$

5.23 Використовуючи результати розрахунків, зробити висновки про значення фазних і лінійних напруг навантаження кіл «зірка – зірка» і «зірка – зірка з нулем» в нормальному режимі роботи та при короткому замиканні у фазі навантаження:

- якими є фазні напруги у порівнянні між собою в кожному експерименті та у порівнянні між експериментами;
- як впливає напруга зміщення нейтралі на фазні напруги у кожному експерименті та у порівнянні між експериментами.

5.24 Використовуючи результати розрахунків зробити висновки про значення фазних (лінійних) струмів навантаження кіл «зірка – зірка» і «зірка – зірка з нулем» в нормальному режимі роботи та при обриві у фазі навантаження (у порівнянні одне з одним у кожному експерименті та у порівнянні між експериментами).

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 13.1.

6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.7 Розрахунок шуканих величин.

6.8 Таблиці 13.2 – 13.4.

6.9 Висновки.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Яке коло називається несиметричним?

7.2 Яке трифазне навантаження називається несиметричним?

7.3 Як з'єднуються фази генератора або навантаження за схемою зірки?

7.4 Що таке нульовий (нейтральний) провід?

7.5 Складіть розрахункову схему трифазного кола «зірка – зірка» з ідеальним генератором і реальними лінійними проводами у разі короткого замикання фази a навантаження.

- 7.6 Чому дорівнює повний опір фази a навантаження у разі її короткого замикання?
- 7.7 Що таке напруга зміщення нейтралі?
- 7.8 Як розрахувати комплекс повної провідності ділянки кола?
- 7.9 Як розрахувати комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі у колі з п.7.5?
- 7.10 Як вимірити діюче значення напруги зміщення нейтралі кола з п.7.5?
- 7.11 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5?
- 7.12 Як вимірити діючі значення фазних (лінійних) струмів кола з п.7.5?
- 7.13 Що відбувається з фазними (лінійними) струмами кола з п.7.5 у разі короткого замикання фази a навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.14 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.15 Як вимірити діючі значення фазних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.16 Що відбувається з фазними напругами трифазного навантаження кола з п.7.5 у разі короткого замикання фази a навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.17 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.18 Як вимірити діючі значення лінійних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.19 Що відбувається з лінійними напругами трифазного навантаження кола з п.7.5 у разі короткого замикання фази a навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.20 Складіть розрахункову схему трифазного кола «зірка – зірка з нулем» з ідеальним генератором і реальними лінійними проводами у разі короткого замикання фази a навантаження.
- 7.21 Як розрахувати комплекс діючого значення напруги зміщення нейтралі у колі з п.7.20?
- 7.22 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних (лінійних) струмів кола з п.7.20?
- 7.23 Що відбувається з фазними (лінійними) струмами кола з п.7.21 у разі обриву у фазі a навантаження у порівнянні з трипровідним колом з п.7.5?
- 7.24 Як розрахувати комплекс діючого значення нульового (нейтрального) струму кола з п.7.20?
- 7.25 Як вимірити діюче значення нульового (нейтрального) струму кола з п.7.21?
- 7.26 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.20?

7.27 Що відбувається з фазними напругами трифазного навантаження кола з п.7.20 у разі короткого замикання фази a навантаження у порівнянні з трипровідним колом з п.7.5?

7.28 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних напруг навантаження кола з п.7.20?

7.29 Що відбувається з лінійними напругами трифазного навантаження кола з п.7.20 у разі короткого замикання фази a навантаження у порівнянні з трипровідним колом з п.7.5?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

Тема. Дослідження несиметричного трифазного кола «зірка – трикутник» при обриві лінійного проводу та при обриві у фазі навантаження

Мета: придбання практичних навичок при аналізі несиметричного трифазного кола «зірка – трикутник» при обриві лінійного проводу та при обриві у фазі навантаження

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 «Несиметричні трифазні кола синусоїдного струму» п.9.6 [1, с. 84–89].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 9.11 – 9.16 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5; 6.8; 6.12 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 ідеальний симетричний трифазний генератор змінного струму G_1 , у якого обмотки статора з'єднані зіркою. 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 однаковими опорами. Навантаження приєднане до генератора за допомогою трипровідної лінії електропередачі, у якій лінійні проводи ідеальні.

У лінійні проводи включені три амперметри PA_1 , PA_2 , PA_3 , у фазу 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 . У лінійний провід $A-a$ включено вимикач QS_2 , за допомогою якого імітується обрив цього лінійного проводу. У фазу ab навантаження включено вимикач QS_3 , за допомогою якого імітується обрив у цій фазі навантаження.

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 14.1.

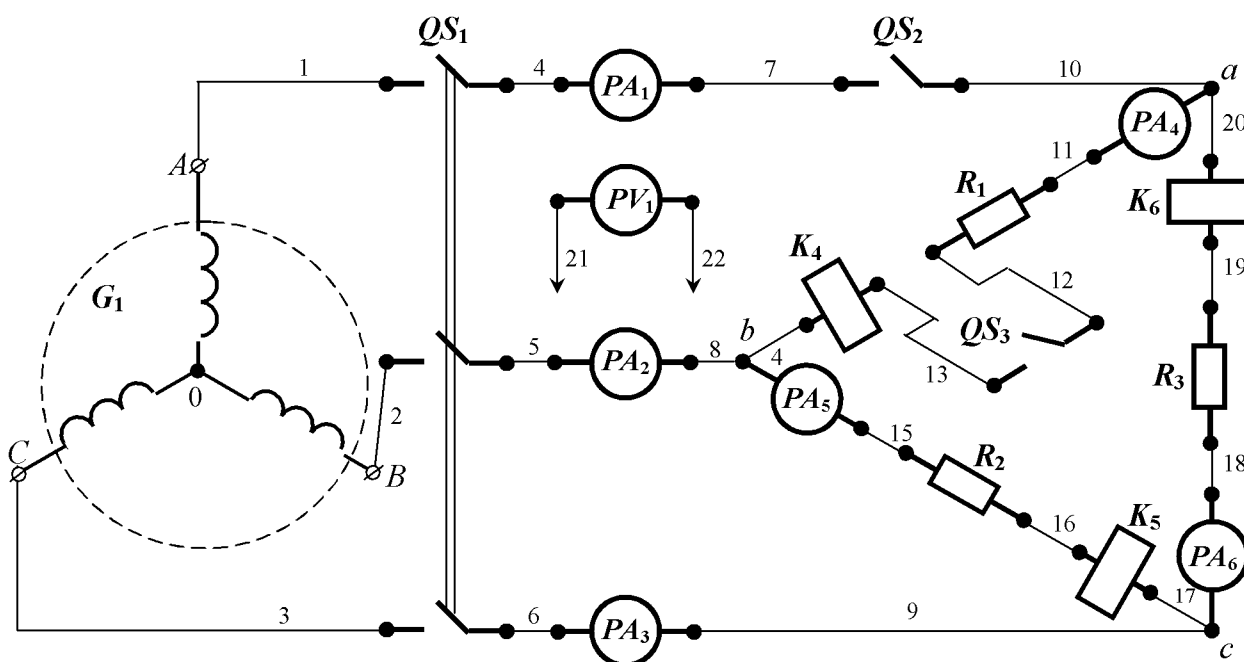


Рисунок 14.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 22 провідника (на схемі позначені номерами 1-22).

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.

При замкнених вимикачах QS_1 , QS_2 , QS_3 у досліджуваному трифазному колі утворюється симетричний режим, який розглянуто раніше у відповідній лабораторній роботі раніше (рис.6.2).

При замкнених вимикачах QS_1 , QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_2 утворюється один з крайніх випадків несиметричного режиму досліджуваного трифазного кола «зірка – трикутник», а саме: обрив лінійного проводу

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

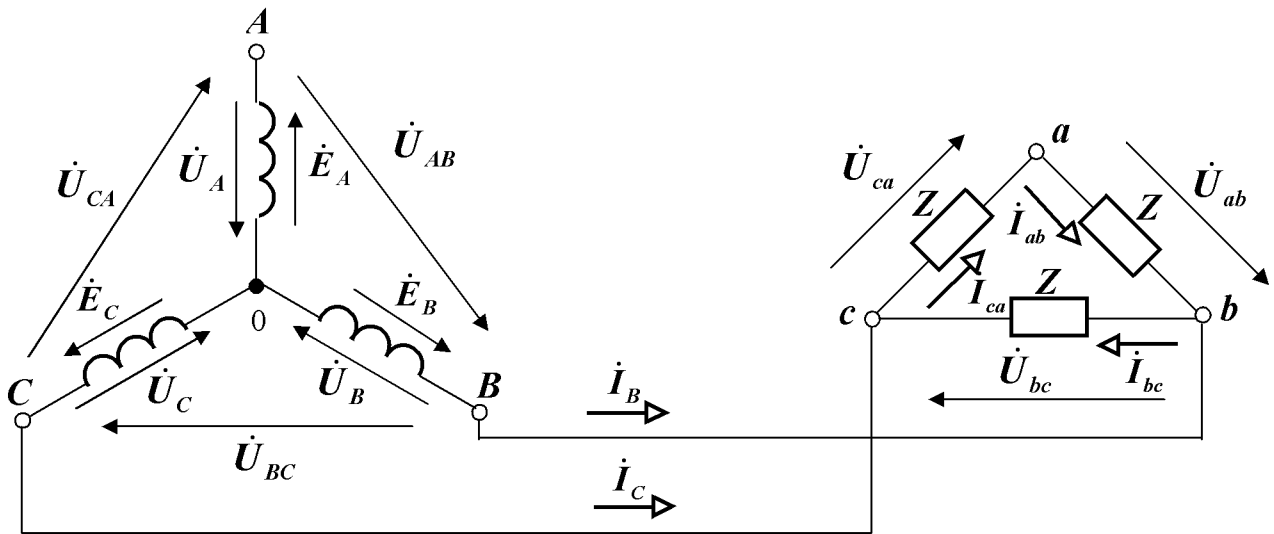


Рисунок 14.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_1, QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_2

При замкнених вимикачах QS_1, QS_2 і розімкненому вимикачеві QS_3 утворюється один з крайніх випадків несиметричного режиму досліджуваного трифазного кола «зірка – трикутник», а саме: обрив у фазі ab навантаження. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки має вигляд, наведений на рисунку 14.3.

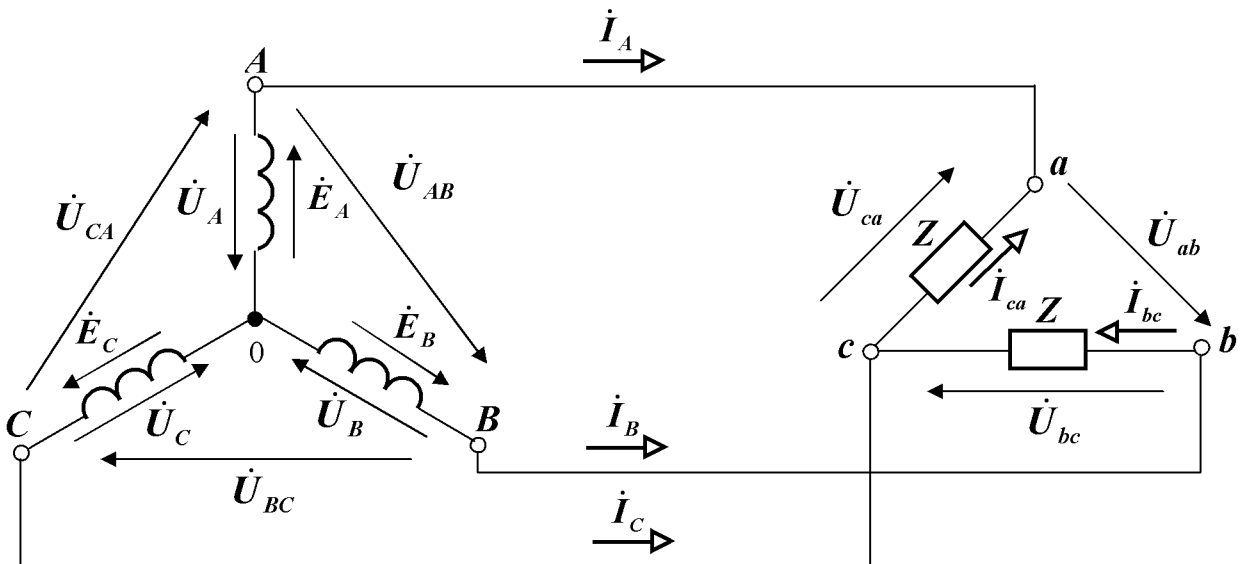


Рисунок 14.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_1, QS_2 і розімкненому вимикачеві QS_3

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення е.р.с. 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 провіді $A-a$, A ;
- \dot{I}_B – комплекс діючого значення сили струму у фазі b навантаження та у лінійному провіді $B-b$, A ;
- \dot{I}_C – комплекс діючого значення сили струму у фазі c навантаження та у лінійному провіді $C-c$, 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 – комплекс повного опору фази навантаження, Ом ;
- \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 14.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 14.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів								
	$U_{AB},$ B	$U_{BC},$ B	$U_{CA},$ B	$U_{ab},$ B	$U_{bc},$ B	$U_{ca},$ B	$U_{r1},$ B	$U_{r2},$ B	$U_{r3},$ B
1 Вимикачі QS ₁ , QS ₂ , QS ₃ замкнені									
2 Вимикачі QS ₁ , QS ₃ замкнені; вимикач QS ₂ розімкнений	не знімати	не знімати	не знімати				не знімати	не знімати	не знімати
3 Вимикачі QS ₁ , QS ₂ замкнені; вимикач QS ₃ розімкнений	не знімати	не знімати	не знімати				не знімати	не знімати	не знімати

Продовження таблиці 14.1

Умови проведення експерименту	Показання приладів					
	$I_A,$ A	$I_B,$ A	$I_C,$ A	$I_{ab},$ A	$I_{bc},$ A	$I_{ca},$ A
1 Вимикачі QS ₁ , QS ₂ , QS ₃ замкнені						
2 Вимикач QS ₁ замкнений; вимикачі QS ₂ , QS ₃ розімкнені						
3 Вимикачі QS ₁ , QS ₃ замкнені; вимикач QS ₂ розімкнений						

Симетричний режим роботи (перший експеримент)

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

$$U_{л.г} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}. \quad (14.1)$$

5.5 Записати за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень лінійних напруг генератора у показовій формі, прийнявши, що почат-

кова фаза цієї напруги між затискачами A і B дорівнює $\psi_{u_{AB}} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{AB} = U_{л.з} \cdot e^{j\psi_{u_{AB}}}; \quad (14.2)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad (14.3)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j240^\circ}. \quad (14.4)$$

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

$$I_{ф.н} = \frac{I_{ab} + I_{bc} + I_{ca}}{3}. \quad (14.5)$$

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

$$I_{л.н} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}. \quad (14.6)$$

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

$$U_{ф.н} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3}. \quad (14.7)$$

5.9 Визначити за допомогою експериментальних даних середнє діюче значення напруги на резисторах, використовуючи рівняння:

$$U_r = \frac{U_{r1} + U_{r2} + U_{r3}}{3}. \quad (14.8)$$

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

$$I_{\phi.n} = \frac{U_r}{r}, \quad (14.9)$$

де r – опір резистора, Ом.

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

$$Z = r + r' + jx_L, \quad (14.10)$$

де r' – активний опір котушки у фазі навантаження (записати за вказівкою викладача), Ом;

x_L – індуктивний опір котушки у фазі навантаження (записати за вказівкою викладача), Ом,

і записати його у показовій формі.

5.12 Результати розрахунків занести в таблицю 14.2.

Таблиця 14.2 – Фізичні величини, що характеризують коло при симетричному режимі

$U_{л.г}, B$	$U_{\phi.n}, B$	$I_{\phi.n}, A$	$I_{л.n}, A$

Обрив лінійного проводу А-а (другий експеримент)

5.13 Визначити за допомогою розрахункових комплекси діючих значень фазних (лінійних) напруг навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC}; \quad (14.11)$$

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{ca} = \frac{-\dot{U}_{bc}}{2}. \quad (14.12)$$

Порівняти розраховані значення з виміряними у другому експерименті.

5.14 Визначити за допомогою розрахункових комплекси діючих значень сили фазних струмів навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння закону Ома для ділянки кола:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z}; \quad (14.13)$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z}; \quad (14.14)$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z}. \quad (14.15)$$

Порівняти розраховані значення з вимірними у другому експерименті.

5.15 Визначити за допомогою розрахункових комплекси діючих значень сил лінійних струмів навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння, складені за першим законом Кірхгофа:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad (14.16)$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad (14.17)$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (14.18)$$

Порівняти розраховані значення з вимірними у другому експерименті.

5.16 Результати розрахунків занести в таблицю 14.3.

Таблиця 14.3 – Фізичні величини, що характеризують коло при обриві лінійного проводу *A-a*

\dot{U}_{ab}, B показова форма	\dot{U}_{bc}, B показова форма	\dot{U}_{ca}, B показова форма	\dot{I}_{ab}, A показова форма	\dot{I}_{bc}, A показова форма	\dot{I}_{ca}, A показова форма	\dot{I}_A, A показова форма	\dot{I}_B, A показова форма	\dot{I}_C, A показова форма

5.17 Використовуючи результати розрахунків, зробити висновки про значення фазних (лінійних) напруг навантаження при обриві лінійного проводу *A-a* у порівнянні з симетричним режимом роботи.

5.18 Використовуючи результати розрахунків, зробити висновки про значення фазних і лінійних струмів навантаження при обриві лінійного проводу *A-a* у порівнянні з симетричним режимом роботи.

Обрив у фазі *ab* навантаження (третій експеримент)

5.19 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень фазних (лінійних) напруг навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{AB}; \quad \dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC}; \quad \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA}. \quad (14.19)$$

5.20 Визначити за допомогою розрахункових комплекси діючих значень сили фазних струмів навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння (14.13) – (14.15), враховуючи значення комплексу повного опру фази *ab* навантаження у разі виникнення у ній обриву. Порівняти розраховані значення з вимірними у третьому експерименті.

5.21 Визначити за допомогою розрахункових комплекси діючих значень сил лінійних струмів навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння (14.16) – (14.18). Порівняти розраховані значення з вимірними у третьому експерименті.

5.22 Результати розрахунків занести в таблицю 14.4.

Таблиця 14.4 – Фізичні величини, що характеризують коло при обриві у фазі *ab* навантаження

\dot{U}_{ab}, B показова форма	\dot{U}_{bc}, B показова форма	\dot{U}_{ca}, B показова форма	\dot{I}_{ab}, A показова форма	\dot{I}_{bc}, A показова форма	\dot{I}_{ca}, A показова форма	\dot{I}_A, A показова форма	\dot{I}_B, A показова форма	\dot{I}_C, A показова форма

5.23 Використовуючи результати розрахунків, зробити висновки про значення фазних (лінійних) напруг навантаження при обриві у фазі *ab* навантаження у порівнянні з симетричним режимом роботи.

5.24 Використовуючи результати розрахунків, зробити висновки про значення фазних і лінійних струмів навантаження при обриві у фазі *ab* навантаження у порівнянні з симетричним режимом роботи.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 14.1.

6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин щодо симетричного режиму роботи кола.

6.7 Розрахунок шуканих величин щодо симетричного режиму роботи кола.

6.8 Таблиця 14.2.

6.9 Алгоритм розрахунку шуканих величин щодо обриву лінійного проводу *A-a*.

- 6.10 Розрахунок шуканих величин щодо обриву лінійного проводу $A-a$.
- 6.11 Таблиця 14.3.
- 6.12 Висновок щодо обриву лінійного проводу $A-a$.
- 6.13 Алгоритм розрахунку шуканих величин щодо обриву у фазі ab навантаження.
- 6.14 Розрахунок шуканих величин щодо обриву у фазі ab навантаження.
- 6.15 Таблиця 14.4.
- 6.16 Висновок щодо обриву у фазі ab навантаження.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Яке коло називається несиметричним?
- 7.2 Яке трифазне навантаження називається несиметричним?
- 7.3 Як з'єднуються фази генератора за схемою зірки?
- 7.4 Як з'єднуються фази навантаження за схемою трикутника?
- 7.5 Складіть розрахункову схему трифазного кола «зірка – трикутник» з ідеальним генератором і ідеальними лінійними проводами у разі обриву лінійного проводу $A-a$.
- 7.6 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.7 Як вимірити діючі значення фазних напруг навантаження кола з п.7.5?
- 7.8 Що відбувається з фазними напругами трифазного навантаження кола з п.7.5 у разі обриву лінійного проводу $A-a$ у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.9 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних струмів кола з п.7.5?
- 7.10 Як вимірити діючі значення фазних струмів кола з п.7.5?
- 7.11 Що відбувається з фазними струмами кола з п.7.5 у разі обриву лінійного проводу $A-a$ у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.12 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних струмів кола з п.7.5?
- 7.13 Як вимірити діючі значення лінійних струмів кола з п.7.5?
- 7.14 Що відбувається з лінійними струмами кола з п.7.5 у разі обриву лінійного проводу $A-a$ у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.15 Як розрахувати комплекси повних потужностей фаз навантаження кола з п.7.5?
- 7.16 Як розрахувати активну потужність навантаження кола з п.7.5?
- 7.17 Як розрахувати реактивну потужність навантаження кола з п.7.5?
- 7.18 Як розрахувати повну потужність навантаження кола з п.7.5?
- 7.19 Що відбувається з потужностями навантаження кола з п.7.5 у разі обриву лінійного проводу $A-a$ у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.20 Складіть розрахункову схему трифазного кола «зірка – трикутник» з ідеальним генератором і ідеальними лінійними проводами у разі обриву у фазі ab навантаження.

- 7.21 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних напруг навантаження кола з п.7.20?
- 7.22 Що відбувається з фазними напругами трифазного навантаження кола з п.7.20 у разі обриву фази ab навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.23 Як розрахувати комплекси діючих значень фазних струмів кола з п.7.20?
- 7.24 Що відбувається з фазними струмами кола з п.7.20 у разі фази ab навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.25 Як розрахувати комплекси діючих значень лінійних струмів кола з п.7.20?
- 7.26 Що відбувається з лінійними струмами кола з п.7.20 у разі фази ab навантаження у порівнянні з симетричним режимом?
- 7.27 Як розрахувати комплекси повних потужностей фаз навантаження кола з п.7.20?
- 7.28 Як розрахувати активну потужність навантаження кола з п.7.20?
- 7.29 Як розрахувати реактивну потужність навантаження кола з п.7.20?
- 7.30 Як розрахувати повну потужність навантаження кола з п.7.20?
- 7.31 Що відбувається з потужностями навантаження кола з п.7.20 у разі фази ab навантаження у порівнянні з симетричним режимом?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15

Тема. Вимірювання активної потужності навантаження у несиметричному трифазному колі

Мета: придбання практичних навичок при вимірюванні активної потужності навантаження та визначенні потужностей несиметричного трифазного кола «зірка – зірка» та «зірка – трикутник»

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 9 «Несиметричні трифазні кола синусоїдного струму» п.9.7 [1, с. 88–97].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 9.17 – 9.18 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.5; 6.8 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 трифазне джерело, затискачі якого позначено літерами A, B, C , і 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 опороми. Навантаження приєднане до генератора за допомогою ідеальної трипровідної лінії електропередачі.

У коло включені два ватметри PW_1, PW_2 . Для комутації кола передбачений вимикач QS_1 . Для переключення схеми з'єднання фаз навантаження із зірки на трикутник передбачені вимикачі $QS_2, QS_3, QS_4, QS_5, QS_6$.

Принципова електрична схема експериментальної установки наведена на рисунку 15.1.

Для складання схеми необхідно мати 22 провідника (на схемі позначені номерами 1-22).

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.

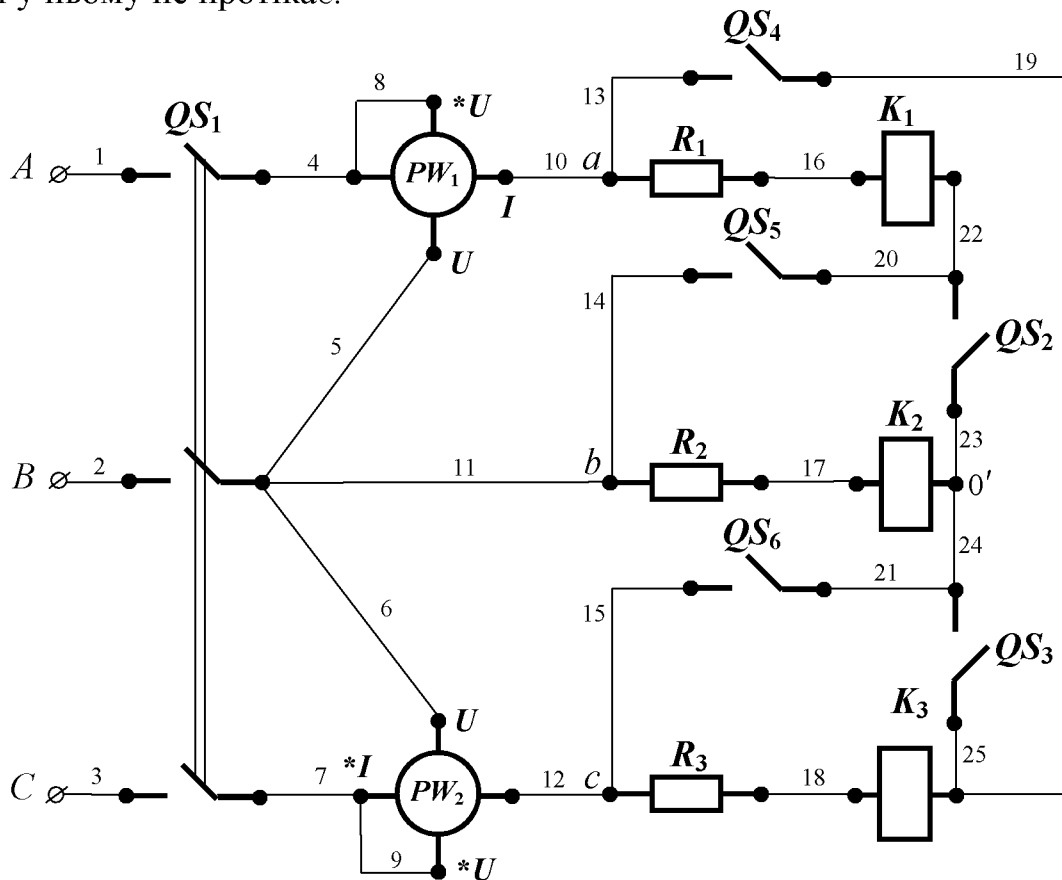


Рисунок 15.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

При замкнених вимикачах QS_1, QS_2, QS_3 і розімкнених вимикачах QS_4, QS_5, QS_6 утворюється несиметричне трифазне коло «зірка – зірка», розрахункова схема якого розглянута у відповідній лабораторній роботі раніше (рис.5.1).

При замкнених вимикачах QS_1, QS_4, QS_5, QS_6 і розімкнених вимикачах QS_2, QS_3 утворюється несиметричне трифазне коло «зірка – трикутник», розрахункова схема якого розглянута у відповідній лабораторній роботі раніше (рис.6.1).

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Зібрати схему експериментальної установки.

5.2 Визначити ціну поділки першого ватметра, використовуючи рівняння:

$$C_{PW1} = \frac{U_{\max(PW1)} \cdot I_{\max(PW1)}}{n_{\max(PW1)}}, \quad (15.1)$$

де C_{PW1} – ціна поділки першого ватметра, *Вт/под.*;
 $U_{\max(PW1)}$ – межа вимірювання за напругою першого ватметра, *В*;
 $I_{\max(PW1)}$ – межа вимірювання за струмом першого ватметра, *А*;
 $n_{\max(PW1)}$ – максимальна кількість поділок на шкалі першого ватметра, *под.*

5.3 Визначити ціну поділки другого ватметра, використовуючи рівняння:

$$C_{PW2} = \frac{U_{\max(PW2)} \cdot I_{\max(PW2)}}{n_{\max(PW2)}}, \quad (15.2)$$

де C_{PW2} – ціна поділки першого ватметра, *Вт/под.*;
 $U_{\max(PW2)}$ – межа вимірювання за напругою першого ватметра, *В*;
 $I_{\max(PW2)}$ – межа вимірювання за струмом першого ватметра, *А*;
 $n_{\max(PW2)}$ – максимальна кількість поділок на шкалі другого ватметра, *под.*

5.4 Замкнути вимикач QS_1 .

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

Таблиця 15.1 – Показання приладів

Умови проведення експерименту	Показання приладів	
	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$
1. Вимикачі QS_1, QS_2, QS_3 замкнені; вимикачі QS_4, QS_5, QS_6 розімкнені		
2 Вимикачі QS_1, QS_4, QS_5, QS_6 замкнені; вимикачі QS_2, QS_3 розімкнені		

5.6 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту активну потужність трифазного навантаження, з'єданого зіркою, використовуючи рівняння:

$$P_n = P_1 + P_2. \quad (15.3)$$

5.7 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту реактивну потужність трифазного навантаження, з'єданого зіркою, використовуючи рівняння:

$$Q_n = \sqrt{3} \cdot (P_1 - P_2). \quad (15.4)$$

5.8 Визначити за допомогою розрахункових даних повну потужність трифазного навантаження, з'єданого зіркою, використовуючи рівняння:

$$S_n = \sqrt{P_n^2 + Q_n^2}. \quad (15.5)$$

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних коефіцієнт потужності трифазного навантаження, з'єданого зіркою, використовуючи рівняння:

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{S_n}. \quad (15.6)$$

5.10 Визначити за допомогою експериментальних і розрахункових даних другого експерименту активну, реактивну і повну потужності, а також коефіцієнт потужності трифазного навантаження, з'єданого трикутником, використовуючи рівняння (15.3) – (15.6).

5.11 Результати розрахунків занести в таблиці 15.2 і 15.3

Таблиця 15.2 – Фізичні величини, що характеризують навантаження, з'єдане зіркою

$P_n, Вт$	$Q_n, ВАр$	$S_n, ВА$	$\cos \varphi_n$

Таблиця 15.3 – Фізичні величини, що характеризують навантаження, з'єдане трикутником

$P_n, Вт$	$Q_n, ВАр$	$S_n, ВА$	$\cos \varphi_n$

5.12 Порівняти між собою результати розрахунків фізичних величин, що характеризують навантаження, з'єднане зіркою, із фізичними величинами, що характеризують навантаження, з'єднане трикутником.

5.13 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, як вимірити активну потужність навантаження у трипровідному колі за допомогою двох ватметрів;
- 2) пояснити, як визначити реактивну потужність навантаження у трипровідному колі за показаннями двох ватметрів;
- 3) пояснити, як визначити повну потужність навантаження у трипровідному колі за показаннями двох ватметрів;
- 4) пояснити, як визначити коефіцієнт потужності навантаження у трипровідному колі за показаннями двох ватметрів.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 15.1.

6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.7 Розрахунок шуканих величин.

6.8 Таблиці 15.2, 15.3

6.9 Результати порівнянь фізичних величин.

6.10 Висновок по роботі.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Який електровимірювальний прилад застосовують для вимірювання активної потужності?

7.2 Як визначити ціну поділки ватметра?

7.3 Складіть принципову електричну схему вимірювання активної потужності, яку споживає симетричне навантаження, при чотирипровідній лінії електропередачі, за допомогою одного ватметра.

7.4 Як визначити активну потужність навантаження кола з п.7.3 за показанням ватметра?

7.5 Скільки ватметрів необхідно застосувати для вимірювання активної потужності, яку споживає несиметричне навантаження, при чотирипровідній лінії електропередачі?

7.6 Як необхідно увімкнути ватметри для випадку з п.7.5?

7.7 Як визначити активну потужність навантаження у випадку з п.7.5 за показаннями ватметрів?

- 7.8 Складіть принципову електричну схему вимірювання активної потужності, яку споживає навантаження, при трипровідній лінії електропередачі, за допомогою двох ватметрів?
- 7.9 Як визначити активну потужність навантаження кола з п.7.8 за показаннями ватметрів?
- 7.10 Як визначити реактивну потужність навантаження кола з п.7.8 за показаннями ватметрів?
- 7.11 Як визначити повну потужність навантаження кола з п.7.8?
- 7.12 Як визначити коефіцієнт потужності навантаження кола з п.7.8?
- 7.13 Побудуйте якісно векторну діаграму напруг і струмів навантаження для схеми двох ватметрів при симетричному режимі.
- 7.14 Складіть принципову електричну схему вимірювання реактивної потужності, яку споживає симетричне навантаження, при чотирипровідній лінії електропередачі, за допомогою одного ватметра?
- 7.15 Як визначити реактивну потужність навантаження кола з п.7.14 за показанням ватметра?
- 7.16 Як вимірити активну потужність, яку споживає симетричне навантаження, при трипровідній лінії електропередачі, за допомогою одного ватметра?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16

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 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.4 Зняти експериментальні дані установки в режимі холостого ходу.
- 2.5 Розрахувати фізичні величини, що характеризують коло.
- 2.6 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 16.1.

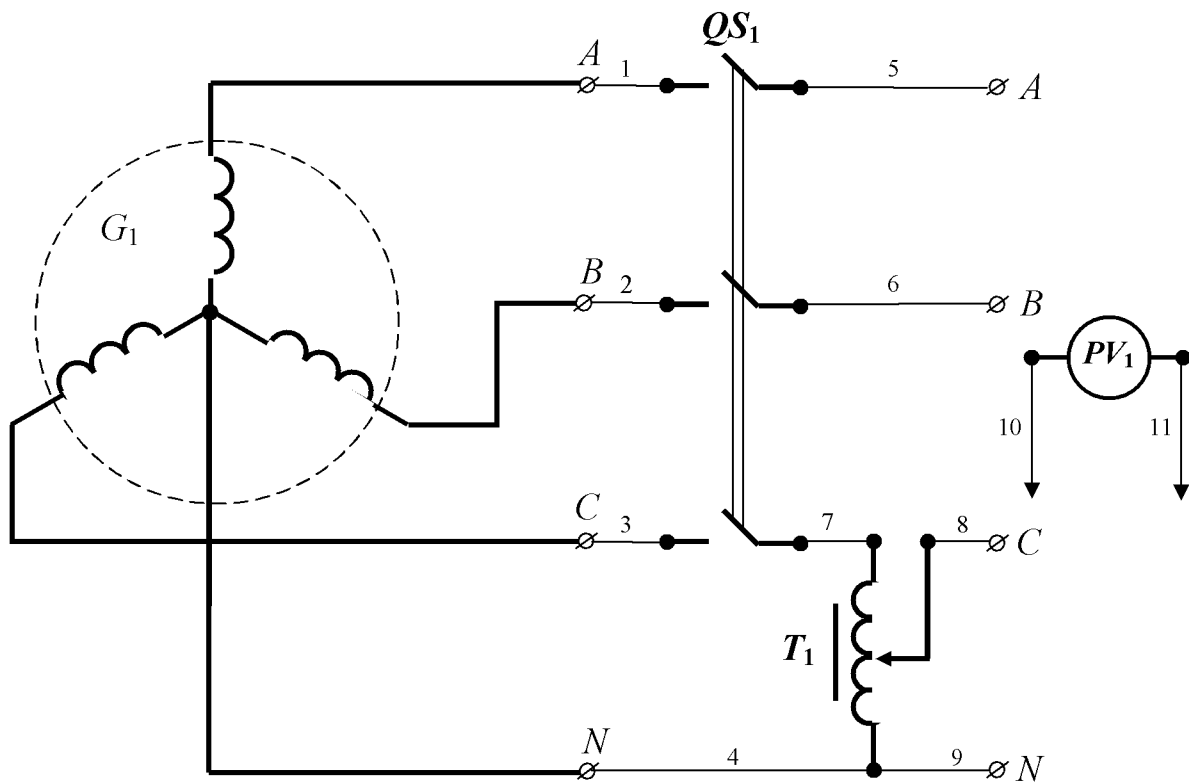


Рисунок 16.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 16.2.

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 ;

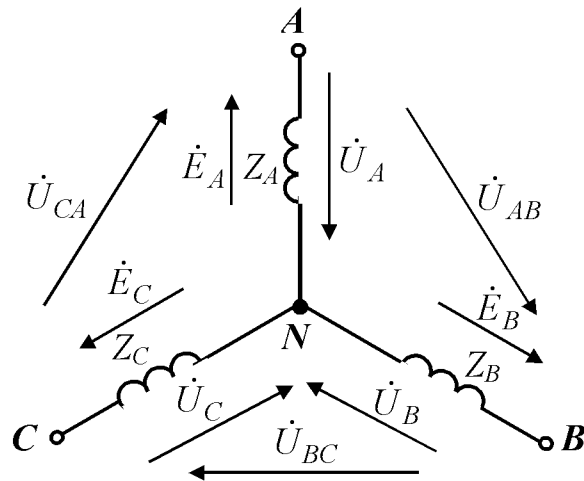


Рисунок 16.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

- \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, *Ом*;
- Z_B – комплекс повного опору фази *B* генератора, *Ом*;
- Z_C – комплекс повного опору фази *C* генератора, *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 за номінальне значення.
- 5.3 Виміряти діючі значення фазних напруг генератора, результати занести в таблицю 16.1, розімкнути вимикач QS_1 .

Таблиця 16.1 – Показання приладів

$U_{A, B}$	$U_{B, B}$	$U_{C, B}$

5.4 Записати за допомогою експериментальних даних комплекси діючих значень фазних напруг генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза напруги фази A дорівнює $\psi_{uA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = U_A \cdot e^{j\psi_{uA}}; \quad (16.1)$$

$$\dot{U}_B = U_B \cdot e^{j(\psi_{uA} - 120^\circ)}; \quad (16.2)$$

$$\dot{U}_C = U_C \cdot e^{j(\psi_{uA} - 240^\circ)}. \quad (16.3)$$

5.5 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових прямої послідовності напруги на фазах генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{A1} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + a \cdot \dot{U}_B + a^2 \cdot \dot{U}_C); \quad (16.4)$$

$$\dot{U}_{B1} = a^2 \cdot \dot{U}_{A1}; \quad (16.5)$$

$$\dot{U}_{C1} = a \cdot \dot{U}_{A1}. \quad (16.5)$$

5.6 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень симетричних складових прямої послідовності напруг на фазах генератора.

5.7 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових зворотної послідовності напруги на фазах генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{A2} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + a^2 \cdot \dot{U}_B + a \cdot \dot{U}_C); \quad (16.6)$$

$$\dot{U}_{B2} = a \cdot \dot{U}_{A2}; \quad (16.7)$$

$$\dot{U}_{C2} = a^2 \cdot \dot{U}_{A2}. \quad (16.8)$$

5.8 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень симетричних складових зворотної послідовності напруг на фазах генератора.

5.9 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових нульової послідовності напруги на фазах генератора у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{A0} = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C); \quad (16.9)$$

$$\dot{U}_{B0} = \dot{U}_{A0}; \quad (16.10)$$

$$\dot{U}_{C0} = \dot{U}_{A0}. \quad (16.11)$$

5.10 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень симетричних складових нульової послідовності напруг на фазах генератора.

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень напруг на фазах генератора, використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{A1} + \dot{U}_{A2} + \dot{U}_{A0}; \quad (16.12)$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_{B1} + \dot{U}_{B2} + \dot{U}_{B0}; \quad (16.13)$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{C0}, \quad (16.14)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.12 Побудувати на комплексній площині в обраному масштабі векторну діаграму комплексів діючих значень напруг на фазах генератора, отримавши їх через відповідні симетричні складові.

5.13 Результати розрахунків занести в таблицю 16.2.

Таблиця 16.2 – 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.5.11)

Продовження таблиці 16.2

$\dot{U}_{B, B}$ показова форма (п.5.4)	$\dot{U}_{B1, B}$ показова форма	$\dot{U}_{B2, B}$ показова форма	$\dot{U}_{B0, B}$ показова форма	$\dot{U}_{B, B}$ показова форма (п.5.11)

Продовження таблиці 16.2

\dot{U}_C, B показова форма (п.5.4)	\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.5.11)

5.14 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яке трифазне джерело є несиметричним;
- 2) пояснити, що таке система напруг прямої послідовності несиметричного трифазного джерела;
- 3) пояснити, як розрахувати напругу прямої послідовності фази А несиметричного трифазного джерела;
- 4) пояснити, що таке система напруг зворотної послідовності несиметричного трифазного джерела;
- 5) пояснити, як розрахувати напругу зворотної послідовності фази А несиметричного трифазного джерела;
- 6) пояснити, що таке система напруг нульової послідовності несиметричного трифазного джерела;
- 7) пояснити, як розрахувати напругу нульової послідовності несиметричного трифазного джерела.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 16.1.

6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.7 Розрахунок шуканих величин.

6.8 Векторні діаграми.

6.9 Таблиця 16.2.

6.10 Висновок по роботі.

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 № 17

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 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 2.4 Зняти експериментальні дані установки в режимі навантаження.
- 2.5 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 17.1.

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

4 РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

При складанні розрахункової схеми прийняті наступні допущення:

- опори з'єднувальних проводів і контактів вимикача дорівнюють нулю;
- опори обмоток амперметрів дорівнюють нулю;
- 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. Розрахункова схема однієї фази (фази A) електричного кола експериментальної установки для симетричних складових прямої послідовності має вигляд, наведений на рисунку 17.3. Розрахункова схема однієї фази (фази A) електричного кола експериментальної установки для симетричних складових зворотної послідовності має вигляд, наведений на рисунку 17.4.

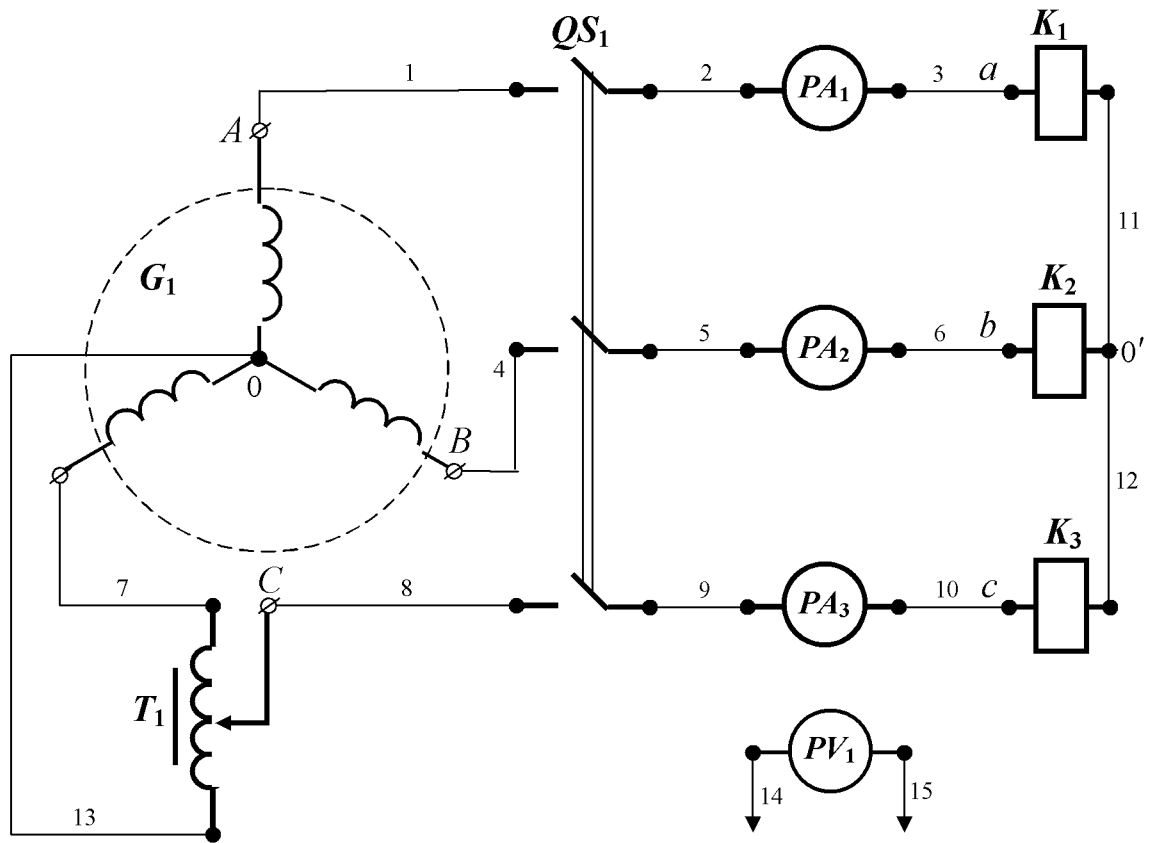


Рисунок 17.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

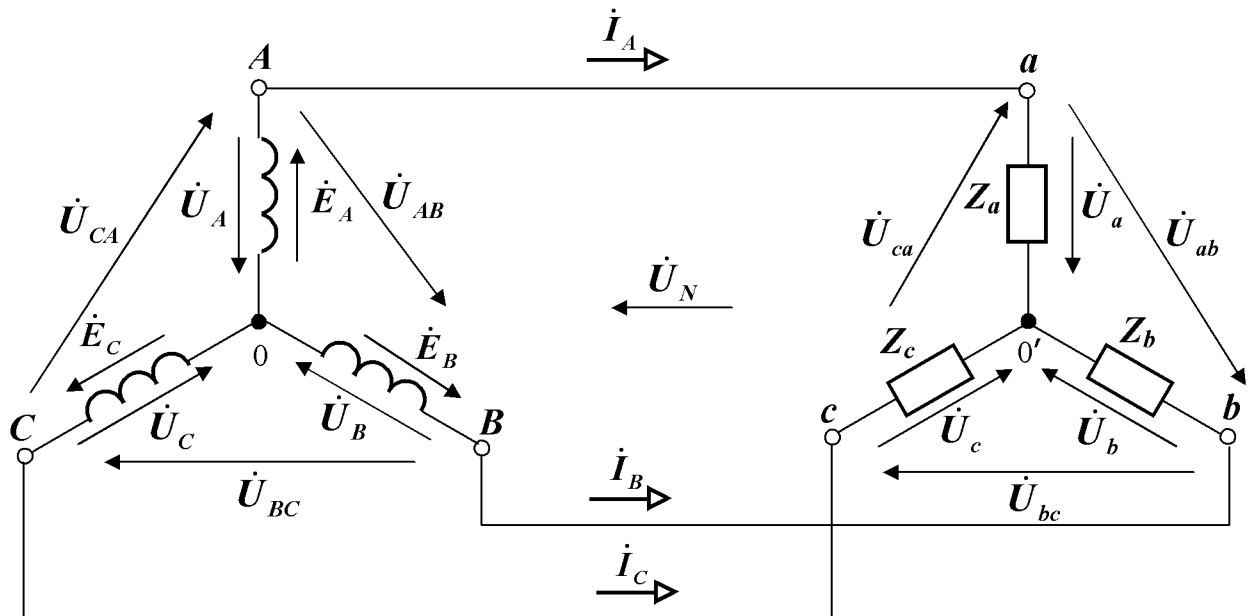


Рисунок 17.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки

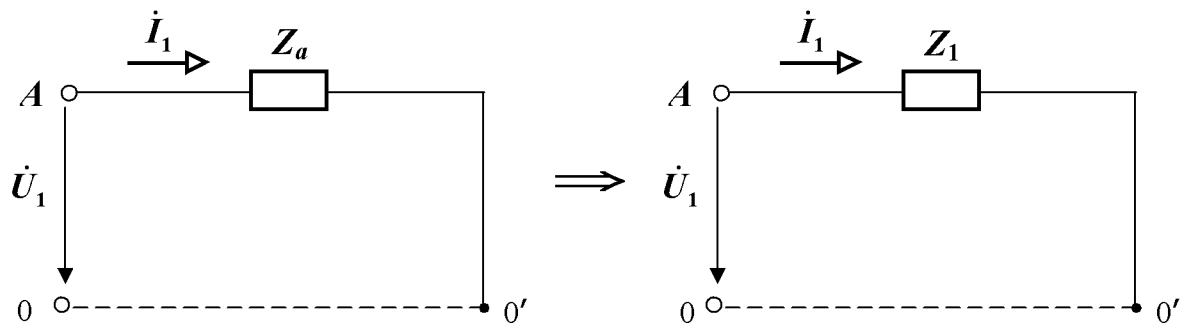


Рисунок 17.3 – Розрахункова схема фази A електричного кола експериментальної установки для симетричних складових прямої послідовності

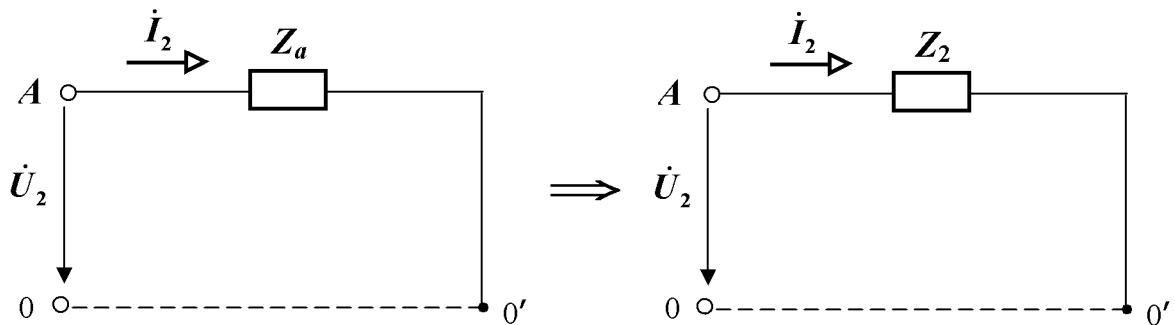


Рисунок 17.4 – Розрахункова схема фази A електричного кола експериментальної установки для симетричних складових зворотної послідовності

На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:

- \dot{E}_A – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі A генератора, B ;
- \dot{E}_B – комплекс діючого значення е.р.с. у фазі B генератора, B ;
- \dot{E}_C – комплекс діючого значення е.р.с. 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, Om ;
- Z_2 – комплекс повного опору симетричній складовій зворотної послідовності струму у фазі a навантаження, 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, ніж номінальне значення.

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	$U_a,$ 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:

$$Z_a = r_a + jx_a, \quad (17.1)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= \bar{z}_a \cdot e^{j\varphi_a}; \\ \bar{z}_a &= \sqrt{r_a^2 + x_a^2}; \\ \varphi_a &= \arctg \frac{x_a}{r_a}, \end{aligned} \right\} \quad (17.2)$$

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:

$$Z_1 = Z_a; \quad Z_2 = Z_a. \quad (17.3)$$

5.7 Записати за допомогою експериментальних даних комплекси діючих значень фазних напруг генератора у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза напруги на фазі A дорівнює $\psi_{uA} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_A = U_A \cdot e^{j\psi_{uA}}; \quad (17.4)$$

$$\dot{U}_B = U_B \cdot e^{j(\psi_{uA} - 120^\circ)}; \quad (17.5)$$

$$\dot{U}_C = U_C \cdot e^{j(\psi_{uA} - 240^\circ)}. \quad (17.6)$$

5.8 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень симетричних складових прямої, зворотної і нульової послідовностей напруги фази A генератора у показовій формі:

$$\dot{U}_1 = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + a \cdot \dot{U}_B + a^2 \cdot \dot{U}_C); \quad (17.7)$$

$$\dot{U}_2 = \frac{1}{3} \cdot (\dot{U}_A + a^2 \cdot \dot{U}_B + a \cdot \dot{U}_C). \quad (17.8)$$

5.9 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:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1}; \quad (17.9)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{Z_2}. \quad (17.10)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекси діючих значень сил струмів у фазах навантаження у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_1 + \dot{I}_2; \quad (17.11)$$

$$\dot{I}_B = a^2 \cdot \dot{I}_1 + a \cdot \dot{I}_2; \quad (17.12)$$

$$\dot{I}_C = a \cdot \dot{I}_1 + a^2 \cdot \dot{I}_2, \quad (17.13)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.11 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:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}; \quad (17.14)$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}; \quad (17.15)$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{Z_c} \quad (17.16)$$

і порівняти їх модулі зі значеннями, отриманими при вимірюванні.

5.12 Визначити комплекс повної потужності, яку розвиває генератор, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_2 = \dot{E}_A \cdot \dot{I}_A^* + \dot{E}_B \cdot \dot{I}_B^* + \dot{E}_C \cdot \dot{I}_C^* \quad (17.17)$$

5.13 Визначити комплекс повної потужності, яку споживає навантаження, у алгебраїчній і показовій формах, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_n = \dot{U}_a \cdot \dot{I}_a^* + \dot{U}_b \cdot \dot{I}_b^* + \dot{U}_c \cdot \dot{I}_c^* \quad (17.18)$$

5.14 Скласти баланс потужностей кола та перевірити його

5.15 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	$\dot{I}_{A,A}$ 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

5.16 Перевірити розрахунок лінійних струмів, склавши для вузла 0' розрахункової схеми рівняння за першим законом Кірхгофа.

5.17 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, у чому суть розрахунку трифазного кола «зірка – зірка» у разі несиметрії джерела;
- 2) пояснити, яка послідовність розрахунку трифазного кола «зірка – зірка» у разі несиметрії джерела;
- 3) пояснити, як розрахувати симетричні складові напруг несиметричного трифазного джерела, з'єднаного зіркою;
- 4) пояснити, як розрахувати опори прямої і зворотної послідовності несиметричного трифазного кола «зірка – зірка» у разі несиметрії джерела;
- 5) пояснити, як розрахувати симетричні складові струмів несиметричного трифазного кола «зірка – зірка» у разі несиметрії джерела;
- 6) пояснити, як розрахувати струми несиметричного трифазного кола «зірка – зірка» через їх симетричні складові;
- 7) пояснити, що таке баланс потужностей кола, та як його скласти.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).
- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 17.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Таблиця 17.2.
- 6.9 Перевірка за першим законом Кірхгофа.
- 6.10 Висновок по роботі.

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 № 18

Тема. Дослідження конструктивних схем та принципів дій трифазних електричних двигунів

Мета: придбання практичних навичок у описанні конструктивних схем трифазних електричних двигунів та визначенні призначення елементів конструкції у принципі дії трифазного електродвигуна

1 ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА:

- 1.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою 11 «Трифазні електричні кола з обертовими електричними машинами» пп.11.1 – 11.4 [1, с. 168–179].
- 1.2 Виконати навчально-контролюючі завдання в таблицях 11.1 – 11.2 [2].
- 1.3 Відповісти на контрольні запитання.
- 1.4 Виконати пункти 6.1 – 6.6 звіту.

2 ПРОГРАМА РОБОТИ:

- 2.1 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з конструктивними схемами трифазних електродвигунів.
- 2.3 Ознайомитись з принципами дії трифазних електродвигунів.
- 2.4 Розрахувати фізичні величини, що характеризують роботу трифазних електродвигунів.
- 2.5 Оформити звіт та захистити його.

3 ОПИС КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ТРИФАЗНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором складається зі статора (зовнішньої нерухомої частини) та ротора (внутрішньої рухомої частини). Статор являє собою полий циліндр і складається з магнітопроводу 1, у пазах якого розташовано три обмотки 2, вісі яких зсунені у просторі на 120° . У середині статора розташований ротор, який складається з валу 5, на якому розташований магнітопровід 6. У пазах цього магнітопроводу розміщена короткозамкнена обмотка, яка складається-

ся зі стрижнів 4, замкнених накоротко за допомогою короткозамикаючих кілець 3.

Конструктивна схема трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором наведена на рисунку 18.1а.

Трифазний асинхронний електродвигун з фазним ротором складається зі статора (зовнішньої нерухомої частини) та ротора (внутрішньої рухомої частини). Статор являє собою полий циліндр і складається з магнітопроводу 1, у пазах якого розташовано три обмотки 2, вісі яких зсунені у просторі на 120° . Усередині статора розташований ротор, який складається з валу 5, на якому розташований магнітопровід 3. У пазах цього магнітопроводу розміщені три обмотки (такі ж, як і на статорі), вісі яких зсунені у просторі на 120° .

Конструктивна схема трифазного асинхронного електродвигуна з фазним ротором наведена на рисунку 18.1б.

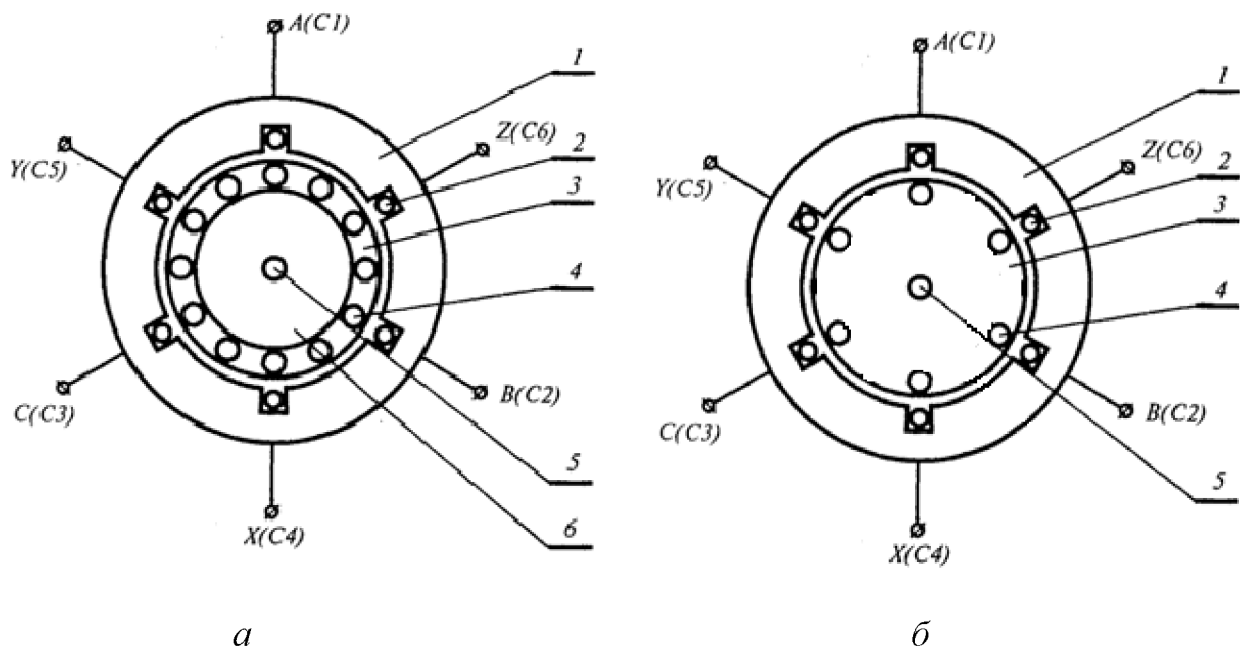


Рисунок 18.1 – Конструктивні схеми трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором (а) і з фазним ротором (б)

Трифазний синхронний електродвигун складається зі статора (зовнішньої нерухомої частини) та ротора (внутрішньої рухомої частини). Статор являє собою полий циліндр і складається з магнітопроводу 1, у пазах якого розташовано три обмотки 2, вісі яких зсунені у просторі на 120° . Усередині статора розташований ротор, який складається з магнітопроводу 3, на якому розміщена обмотка 4 (її називають обмоткою постійного струму). На полюсах (N і S) ротора розташована короткозамкнена обмотка 5.

Конструктивна схема трифазного генератора наведена на рисунку 18.2.

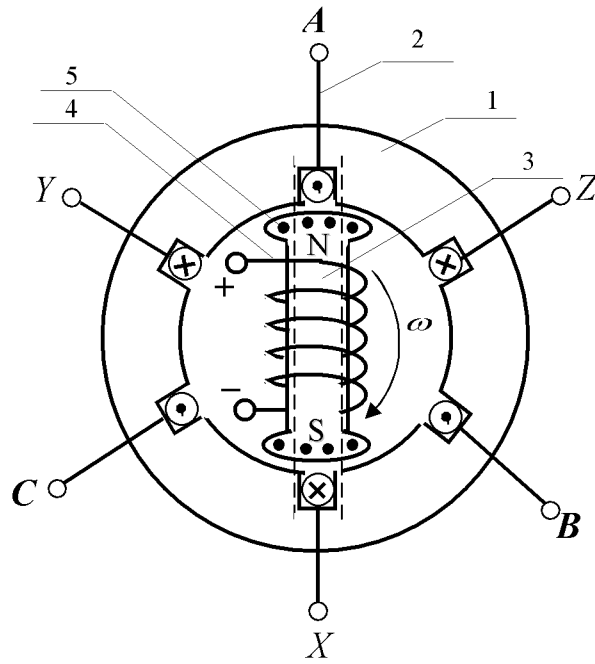


Рисунок 18.2 – Конструктивна схема трифазного синхронного електродвигуна

4 ПРИНЦИПИ ДІЙ ТРИФАЗНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Принцип дії трифазних асинхронних електродвигунів наступний. До затискачів обмоток статора підводяться синусоїдні напруги, зсунені за фазою на 120° . Внаслідок цього у обмотках протікають синусоїдні струми, зсунені за фазою на 120° . Навколо цих струмів утворюється обертове магнітне поле, яке пронизує обмотку ротора і наводить у ній синусоїдні е.р.с., які призводять до виникнення у цій обмотці синусоїдних струмів. Взаємодія зазначених струмів з магнітним полем призводять до того, що на провідники обмотки ротора починають діяти електромагнітні сили у напрямку обертання магнітного поля, внаслідок чого ротор починає обертатись.

Із прискоренням обертання ротора швидкість обертання магнітного поля щодо нього буде зменшуватися і в момент, коли швидкість обертання ротора наблизиться до швидкості обертання магнітного поля, значно зменшаться електрорушійні сили, які наводяться в обмотці ротора, сили струмів в цій обмотці та обертаючий момент. Якщо цей момент буде менше моменту опору на валу електродвигуна, то ротор почне пригальмовуватися. В результаті чого збільшаться е.р.с., сили струмів та обертаючий момент до такої величини, коли він стане дорівнювати моменту опору на валу електродвигуна. Таким чином, обертаючий момент електродвигуна завжди буде дорівнювати моменту опору на його валу. При збільшенні моменту опору на валу електродвигуна швидкість ротора буде зменшуватися і навпаки.

Отже ротор і магнітне поле обертаються з різними швидкостями (асинхронно). Обертове магнітне поле і ротор з однією швидкістю природ-

ним шляхом обертатись не можуть. Якщо обертати ротор з такою ж швидкістю, як і магнітне поле, то зміни магнітного поля відносно обмотки ротора не буде, тому у ній не будуть наводитись е.р.с., протікати струми і діяти електромагнітні сили з боку магнітного поля.

Принцип дії трифазного синхронного електродвигуна наступний. До затискачів обмоток статора підводяться синусоїдні напруги, зсунені за фазою на 120° . Внаслідок цього у обмотках протікають синусоїдні струми, зсунені за фазою на 120° . Навколо цих струмів утворюється обертове магнітне поле, яке пронизує короткозамкнену обмотку ротора і наводить у ній синусоїдні е.р.с., які призводять до виникнення у цій обмотці синусоїдних струмів. Взаємодія зазначених струмів з магнітним полем призводять до того, що на провідники короткозамкненої обмотки ротора починають діяти електромагнітні сили у напрямку обертання магнітного поля, внаслідок чого ротор починає обертатись зі швидкістю меншою за швидкість обертання магнітного поля. Після цього до обмотки постійного струму ротора підводиться постійна напруга, під дією якої у цій обмотці протікає постійний струм. Взаємодія постійного струму з обертовим магнітним полем призводить до того, що на провідники обмотки ротора з постійним струмом починають додатково діяти електромагнітні сили з боку магнітного поля і ротор починає обертатись з такою ж швидкістю, як і магнітне поле.

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Ознайомитись з конструктивними схемами трифазних електродвигунів.

5.2 Ознайомитись з принципами дій трифазних електродвигунів.

5.3 Перелічити та описати фізичні явища, на яких ґрунтується принципи дій трифазних електродвигунів (кожного окремо), результати занести в таблицю 18.1.

Таблиця 18.1 – Фізичні явища

Назва фізичного явища	Опис фізичного явища

5.4 Записати за вказівкою викладача значення вихідних фізичних величин, що характеризують роботу трифазного асинхронного електродвигуна у таблицю 18.2.

Таблиця 18.2 – Значення вихідних фізичних величин, що характеризують роботу трифазного асинхронного електродвигуна

Частота струму у обмотці статора ($f_1, \Gamma y$)	Кількість пар полюсів обмотки статора (p)	Частота обертання ротора ($n, об./хв.$)

5.5 Визначити за допомогою вихідних даних частоту обертання магнітного поля асинхронного електродвигуна, використовуючи рівняння:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (18.1)$$

5.6 Визначити за допомогою вихідних даних частоту обертання магнітного поля асинхронного електродвигуна у разі збільшення частоти струму у обмотці статора на ____ % (задає викладач), використовуючи рівняння (18.1).

5.7 Визначити за допомогою вихідних даних частоту обертання магнітного поля асинхронного електродвигуна у разі зменшення частоти струму у обмотці статора на ____ % (задає викладач), використовуючи рівняння (18.1).

5.8 Визначити за допомогою вихідних даних частоту обертання магнітного поля асинхронного електродвигуна у разі збільшення кількості пар полюсів обмотки статора на _____ (задає викладач), використовуючи рівняння (18.1).

5.9 Визначити за допомогою вихідних даних частоту обертання магнітного поля асинхронного електродвигуна у разі зменшення кількості пар полюсів обмотки статора на _____ (задає викладач), використовуючи рівняння (18.1).

5.10 Визначити за допомогою вихідних і розрахункових даних абсолютне ковзання асинхронного електродвигуна, використовуючи рівняння:

$$\Delta n = n_0 - n, \quad (18.2)$$

де n_0 – синхронна швидкість обертання електродвигуна з п.5.5, *об./хв.*

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних відносне ковзання асинхронного електродвигуна, використовуючи рівняння:

$$s = \frac{\Delta n}{n_0} \quad (18.3)$$

5.12 Результати розрахунків занести в таблицю 18.3.

Таблиця 18.3 – Фізичні величини, що характеризують трифазний асинхронний електродвигун

n_0 , <i>об./хв.</i>	Δn , <i>об./хв.</i>	s	n , <i>об./хв.</i>

4.13 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, який пристрій називають трифазним асинхронним електродвигуном, і для чого його застосовують;
- 2) пояснити, з яких основних елементів складається трифазний асинхронний електродвигун, та для чого вони призначені;
- 3) пояснити, чим відрізняється короткозамкнений ротор трифазного асинхронного електродвигуна від фазного;
- 4) пояснити, на якому фізичному явищі ґрунтується принцип дії трифазного асинхронного електродвигуна, та у чому його суть;
- 5) пояснити, що таке синхронна швидкість обертання трифазного асинхронного електродвигуна, від чого і як вона залежить;
- 6) пояснити, що таке ковзання трифазного асинхронного електродвигуна, від чого і як воно залежить;
- 7) пояснити, який пристрій називають трифазним синхронним електродвигуном, і для чого його застосовують;
- 8) пояснити, з яких основних елементів складається трифазний синхронний електродвигун, та для чого вони призначені;
- 9) пояснити, чим відрізняється трифазний синхронний електродвигун від асинхронного.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Найменування лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Конструктивні схеми трифазних електродвигунів.

6.4 Принципи дій трифазних електродвигунів.

6.5 Таблиця 18.1.

6.6 Таблиця 18.2.

6.7 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.8 Розрахунок шуканих величин.

6.9 Таблиця 18.3.

6.10 Висновок по роботі.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Опишіть конструкцію трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором.

7.2 Опишіть конструкцію трифазного асинхронного електродвигуна з фазним ротором.

7.3 Що загального у конструкціях трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором і з фазним ротором?

7.4 Чим відрізняються конструкції трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором і з фазним ротором?

- 7.5 Що таке фаза трифазного асинхронного електродвигуна?
- 7.6 Який трифазний асинхронний електродвигун називають симетричним?
- 7.7 Який трифазний асинхронний електродвигун називають несиметричним?
- 7.8 Які фізичні явища покладені в основу принципу дії трифазного асинхронного електродвигуна?
- 7.9 Опишіть фізичні явища, які покладені в основу принципу дії трифазного асинхронного електродвигуна.
- 7.10 Опишіть принцип дії трифазного асинхронного електродвигуна.
- 7.11 Чому трифазний асинхронний електродвигун назвали асинхронним?
- 7.12 Чому магнітне поле і ротор у трифазного асинхронного електродвигуна природним шляхом не можуть обертатись з однією швидкістю в один бік?
- 7.13 Яке магнітне поле називають обертовим?
- 7.14 Запишіть рівняння магнітної індукції фази A трифазного асинхронного електродвигуна.
- 7.15 Запишіть рівняння магнітної індукції обертового магнітного поля.
- 7.16 Запишіть рівняння частоти обертання обертового магнітного поля.
- 7.17 Як буде змінюватися частота обертання обертового магнітного поля при збільшенні або зменшенні частоти струму у обмотці статора? Доведіть.
- 7.18 Як буде змінюватися частота обертання обертового магнітного поля при збільшенні або зменшенні кількості пар полюсів обмотки статора? Доведіть.
- 7.19 Запишіть рівняння абсолютного ковзання трифазного асинхронного електродвигуна.
- 7.20 Запишіть рівняння відносного ковзання трифазного асинхронного електродвигуна.
- 7.21 Запишіть рівняння швидкісної характеристики трифазного асинхронного електродвигуна.
- 7.22 Як буде змінюватися частота обертання ротора асинхронного електродвигуна при збільшенні або зменшенні частоти струму у обмотці статора? Доведіть.
- 7.23 Як буде змінюватися частота обертання ротора асинхронного електродвигуна при збільшенні або зменшенні кількості пар полюсів обмотки статора? Доведіть.
- 7.24 Опишіть конструкцію трифазного синхронного електродвигуна.
- 7.25 Що таке фаза трифазного синхронного електродвигуна?
- 7.26 Який трифазний синхронний електродвигун називають симетричним?
- 7.27 Який трифазний синхронний електродвигун називають несиметричним?
- 7.28 Які фізичні явища покладені в основу принципу дії трифазного синхронного електродвигуна?

- 7.29 Опишіть фізичні явища, які покладені в основу принципу дії трифазного синхронного електродвигуна.
- 7.30 Опишіть принцип дії трифазного синхронного електродвигуна.
- 7.31 Що загального у конструкціях трифазного асинхронного електродвигуна і трифазного синхронного електродвигуна?
- 7.32 Чим відрізняються конструкції трифазного асинхронного електродвигуна і трифазного синхронного електродвигуна?
- 7.33 Що загального у принципах дій трифазного асинхронного електродвигуна і трифазного синхронного електродвигуна?
- 7.34 Чим відрізняються принципи дій трифазного асинхронного електродвигуна і трифазного синхронного електродвигуна?
- 7.35 Чому трифазний синхронний електродвигун назвали синхронним?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 19

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 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 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 19.1.

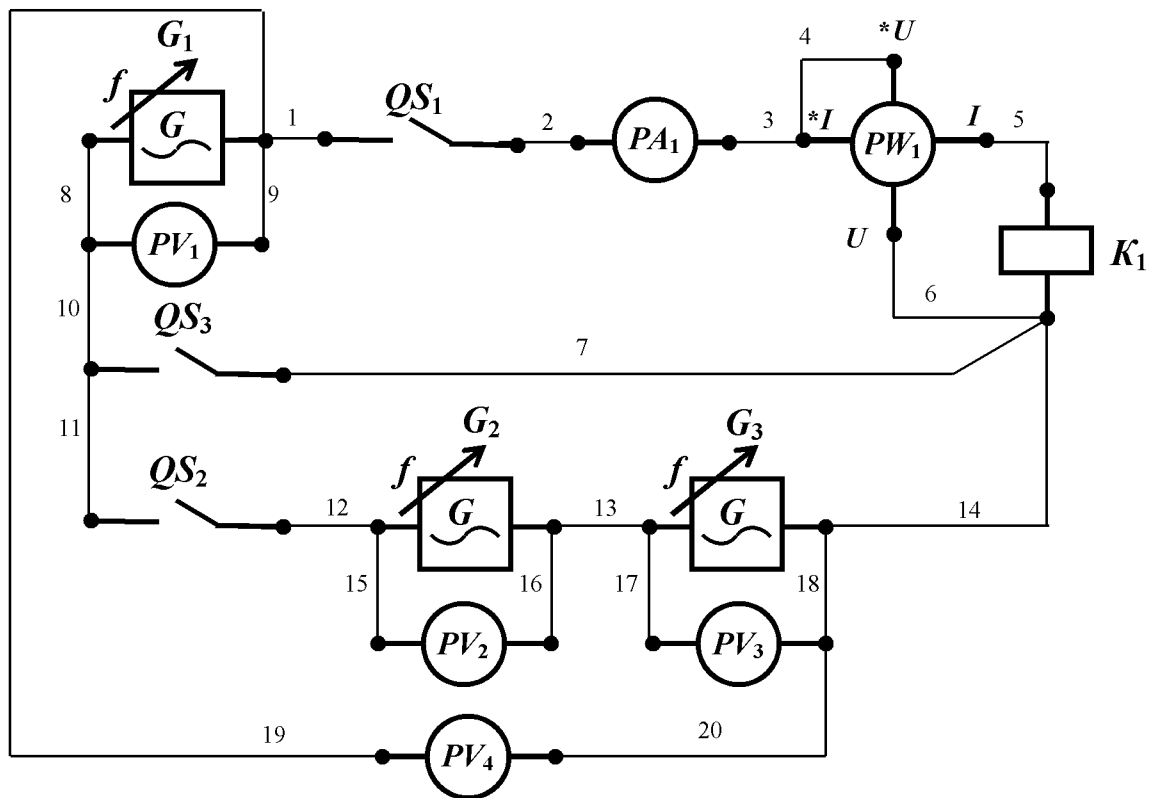


Рисунок 19.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

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 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 19.2.

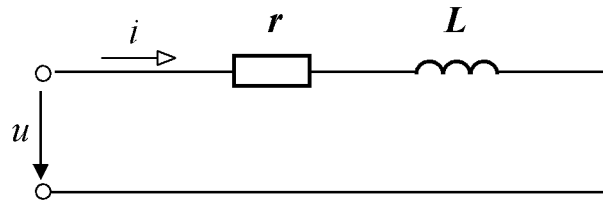


Рисунок 19.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_2 , QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_1

Розрахункові схеми для струмів окремих гармонік мають вигляд, наведений на рисунку 19.3 (рис.19.3а – для струму нульової гармоніки, рис.19.3б – для струму основної (першої) гармоніки, рис.19.3в – 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 19.3б.

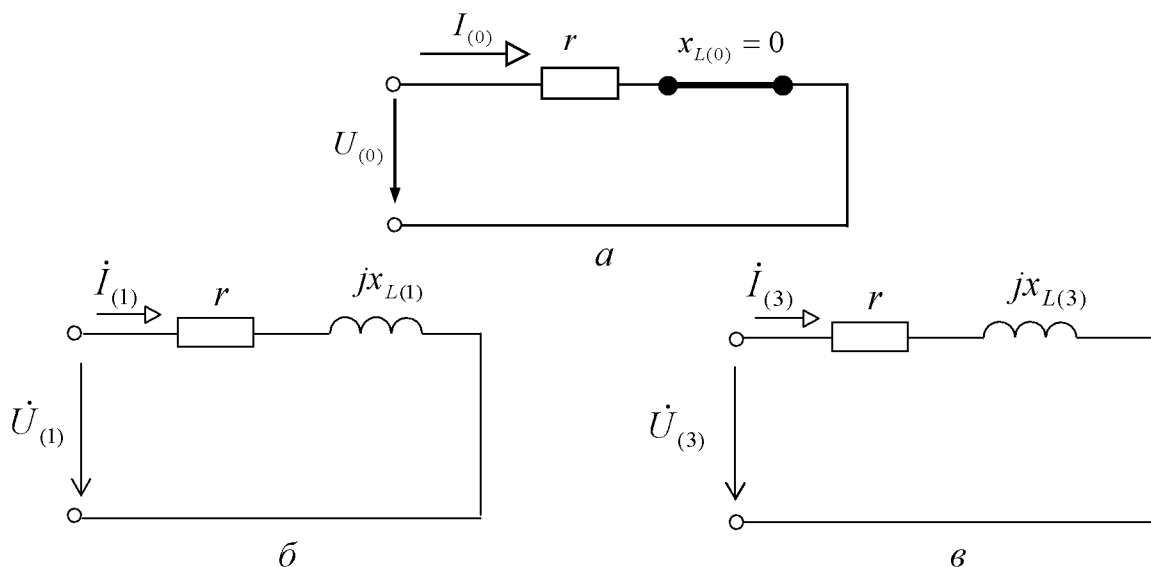


Рисунок 19.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_2 , QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_1 для окремих гармонік (а – нульової; б – основної (першої); в – третьої)

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, Om ;
- L – індуктивність котушки, H ;
- $x_{L(0)}$ – індуктивний опір котушки струму нульової гармоніки, Om ;
- $jx_{L(1)}$ – комплекс індуктивного опору котушки струму першої гармоніки, Om ;
- $jx_{L(3)}$ – комплекс індуктивного опору котушки струму третьої гармоніки, Om .

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 19.1, 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 19.1, розімкнути вимикачі QS_1 і QS_2 .

Таблиця 19.1 – 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 зніматися	не зніматися	не зніматися		
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:

$$P_{(1)} = r \cdot I_{(1)}^2. \quad (19.1)$$

- 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):

$$I_{(1)} = \frac{U_{(1)}}{z_{(1)}}. \quad (19.2)$$

5.10 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки першій (основній) гармоніці струму, використовуючи рівняння:

$$z_{(1)} = \sqrt{r^2 + x_{L(1)}^2}. \quad (19.3)$$

5.11 Визначити за допомогою розрахункових даних кут зсуву фаз між напругою і струмом першої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$\varphi_{(1)} = \arctg \frac{x_{L(1)}}{r}. \quad (19.4)$$

5.12 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору котушки струму основної (першої) гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(1)} = z_{(1)} \cdot e^{j\varphi_{(1)}}. \quad (19.5)$$

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 викладч), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{(1)} = U_{(1)} e^{j\psi_{u(1)}}. \quad (19.6)$$

5.15 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту рівняння миттєвої напруги основної (першої) гармоніки, використовуючи рівняння:

$$u_{(1)} = \sqrt{2} \cdot U_{(1)} \sin(\omega t + \psi_{u(1)}). \quad (19.7)$$

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):

$$\dot{I}_{(1)} = \frac{\dot{U}_{(1)}}{Z_{(1)}}. \quad (19.8)$$

5.17 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму основної (першої) гармоніки, використовуючи рівняння:

$$i_{(1)} = \sqrt{2} \cdot I_{(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}). \quad (19.9)$$

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності основної (першої) гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(1)} = \dot{U}_{(1)} \cdot \dot{I}_{(1)}^*, \quad (19.10)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(1)} = P_{(1)} + jQ_{L(1)}. \quad (19.11)$$

Аналіз нульової гармоніки

5.19 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(0)} = k \cdot x_{L(1)}, \quad (19.12)$$

де k – номер гармоніки.

5.20 Визначити за допомогою розрахункових даних повний опір котушки струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$z_{(0)} = \sqrt{r^2 + x_{L(0)}^2}. \quad (19.13)$$

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:

$$I_{(0)} = \frac{U_{(0)}}{z_{(0)}}. \quad (19.14)$$

5.23 Визначити за допомогою експериментальних та розрахункових даних другого експерименту потужність нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$P_{(0)} = U_{(0)} \cdot I_{(0)}. \quad (19.15)$$

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:

$$\dot{U}_{(3)} = U_{(3)} e^{j\psi_{u(3)}}. \quad (19.16)$$

5.26 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту рівняння миттєвої напруги третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$u_{(3)} = \sqrt{2} \cdot U_{(3)} \sin(\omega t + \psi_{u(3)}). \quad (19.17)$$

5.27 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(3)} = k \cdot x_{L(1)}. \quad (19.18)$$

5.28 Записати за допомогою експериментальних та розрахункових даних комплекс повного опору кола струму третьої гармоніки у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(3)} = r + jx_{L(3)}. \quad (19.19)$$

5.29 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору котушки струму третьої гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(3)} = \underline{z}_{(3)} \cdot e^{j\varphi_{(3)}}. \quad (19.20)$$

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):

$$\dot{i}_{(3)} = \frac{\dot{U}_{(3)}}{Z_{(3)}}. \quad (19.21)$$

5.31 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$i_{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{(3)} \sin(\omega t + \psi_{i(3)}). \quad (19.22)$$

5.32 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності третьої гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(3)} = \dot{U}_{(3)} \cdot \dot{I}_{(3)}^*, \quad (19.23)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(3)} = P_{(3)} + jQ_{L(3)}. \quad (19.24)$$

Аналіз електричного кола в цілому

5.33 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$u = U_{(0)} + U_{m(1)} \sin(\omega t + \psi_{u(1)}) + U_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_{u(3)}). \quad (19.25)$$

5.34 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму у колі, використовуючи рівняння:

$$i = I_{(0)} + I_{m(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}) + I_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_{i(3)}). \quad (19.26)$$

5.35 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$U = \sqrt{U_{(0)}^2 + U_{(1)}^2 + U_{(3)}^2}, \quad (19.27)$$

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:

$$I = \sqrt{I_{(0)}^2 + I_{(1)}^2 + I_{(3)}^2}, \quad (19.28)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у другому експерименті.

5.37 Визначити за допомогою розрахункових даних активну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$P = P_{(0)} + P_{(1)} + P_{(3)}. \quad (19.29)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у другому експерименті.

5.38 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$Q_L = Q_{L(1)} + Q_{L(3)}. \quad (19.30)$$

5.39 Визначити за допомогою розрахункових даних повну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$S = U \cdot I. \quad (19.31)$$

5.40 Визначити за допомогою розрахункових даних потужність скривлення, використовуючи рівняння:

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_L^2}. \quad (19.32)$$

5.41 Результати розрахунків занести в таблицю 19.2.

Таблиця 19.2 – 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 19.2

$P_{(0)}, Bm$	$\tilde{S}_{(1)}, BA$ показова форма	$\tilde{S}_{(1)}, BA$ алгебраїчна форма	$\tilde{S}_{(3)}, BA$ показова форма	$\tilde{S}_{(3)}, BA$ алгебраїчна форма	P, Bm	Q_L, BA_p	S, BA	T, BA

5.17 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, який струм є періодичним несинусоїдним;
- 2) пояснити, що таке гармоніка періодичного несинусоїдного струму;
- 3) пояснити, яку гармоніку періодичного несинусоїдного струму називають нульовою;
- 4) пояснити, яку гармоніку періодичного несинусоїдного струму називають першою (основною);
- 5) пояснити, які гармоніки періодичного несинусоїдного струму називають вищими;
- 6) пояснити, яка послідовність розрахунку кола періодичного несинусоїдного струму;
- 7) пояснити, як залежать активний та індуктивний опори котушки від номеру гармоніки періодичного несинусоїдного струму;
- 8) пояснити, як розрахувати комплекс діючого значення певної гармоніки періодичного несинусоїдного струму;
- 9) пояснити, як розрахувати комплекс повної потужності певної гармоніки періодичного несинусоїдного струму;
- 10) пояснити, як розрахувати миттєве значення періодичного несинусоїдного струму через миттєві значення сил струмів окремих гармонік;
- 11) пояснити, як розрахувати діюче значення періодичного несинусоїдного струму через діючі значення сил струмів окремих гармонік;
- 12) пояснити, як розрахувати миттєве значення напруги у колі періодичного несинусоїдного струму через миттєві значення напруг окремих гармонік;
- 13) пояснити, як розрахувати діюче значення напруги у колі періодичного несинусоїдного струму через діючі значення напруг окремих гармонік;
- 14) пояснити, як розрахувати потужності у колі періодичного несинусоїдного струму з котушкою через значення потужностей окремих гармонік.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 19.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Таблиця 19.2.
- 6.9 Висновок по роботі.

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.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 20

Тема. Дослідження кола несинусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором

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

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 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 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 і конденсатор C_1 . На затискачах кожного генератора включені відповідно вольтметри PV_1 , PV_2 , PV_3 , на затискачі послідовного з'єднання генераторів включений вольтметр PV_4 , на затискачі конденсатора включений вольтметр PV_5 . 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 20.1.

Розрахункові схеми для струмів окремих гармонік мають вигляд, наведений на рисунку 20.3 (рис.20.3а – для струму нульової гармоніки, рис.20.3б – для струму основної (першої) гармоніки, рис.20.3в – 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 20.3б.

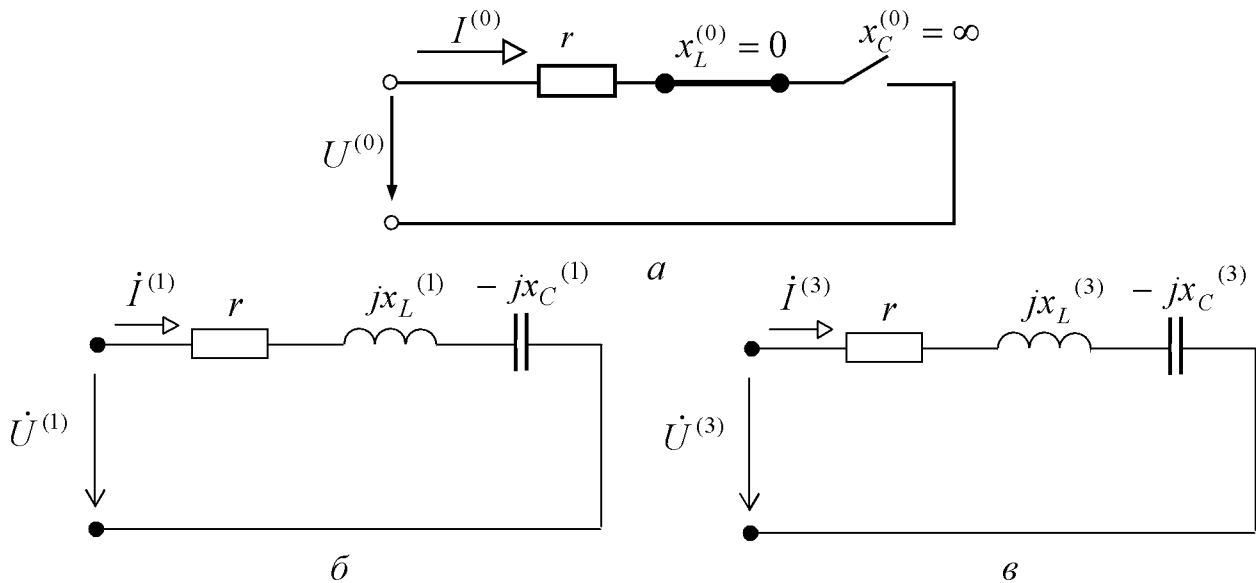


Рисунок 20.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_2 , QS_3 і розімкненому вимикачеві QS_1 для окремих гармонік (а – нульової; б – основної (першої); в – третьої)

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 ;
- C – ємність конденсатора, Φ ;
- $x_C^{(0)}$ – ємнісний опір конденсатора струму нульової гармоніки, Ω ;

- $jx_c^{(1)}$ – комплекс ємнісного опору конденсатора струму першої гармоніки, Ом;
- $jx_c^{(3)}$ – комплекс ємнісного опору конденсатора струму третьої гармоніки, Ом.

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 20.1, 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 20.1, розімкнути вимикачі QS_1 і QS_2 .

Таблиця 20.1 – Показання приладів

Умови проведення експериментів	Показання приладів						
	$U_1,$ B	$U_2,$ B	$U_3,$ B	$U_4,$ B	$U_5,$ 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					не знімати		

Аналіз першої гармоніки

- 5.7 Записати за допомогою експериментальних даних першого експерименту:
 - діюче значення напруги на затискачах кола ($U_{(1)}$);
 - діюче значення напруги на затискачах конденсатора ($U_{c(1)}$);
 - діюче значення сили струму в колі ($I_{(1)}$);
 - активну потужність, споживану колом ($P_{(1)}$).
- 5.8 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту параметри кола для першої (основної) гармоніки струму, використовуючи рівняння:
 - активний опір котушки

$$P_{(1)} = r \cdot I_{(1)}^2; \quad (20.1)$$

- повний опір кола

$$I_{(1)} = \frac{U_{(1)}}{\underline{z}_{(1)}}; \quad (20.2)$$

– реактивний опір кола

$$\underline{z}_{(1)} = \sqrt{r^2 + x_{(1)}^2}; \quad (20.3)$$

– ємнісний опір конденсатора

$$I_{(1)} = \frac{U_{c(1)}}{x_{c(1)}}; \quad (20.4)$$

– індуктивний опір котушки

$$x_{(1)} = x_{L(1)} - x_{c(1)}; \quad (20.5)$$

– кут зсуву фаз кола

$$\varphi_{(1)} = \arctg \frac{x_{(1)}}{r}. \quad (20.6)$$

5.9 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола струму основної (першої) гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(1)} = \underline{z}_{(1)} \cdot e^{j\varphi_{(1)}}. \quad (20.7)$$

5.11 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту діюче значення напруги на затискачах першого генератора ($U_{(1)}$).

5.11 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:

$$\dot{U}_{(1)} = U_{(1)} e^{j\psi_{u(1)}}. \quad (20.8)$$

5.12 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту рівняння миттєвої напруги основної (першої) гармоніки, використовуючи рівняння:

$$u_{(1)} = \sqrt{2} \cdot U_{(1)} \sin(\omega t + \psi_{u(1)}). \quad (20.9)$$

5.13 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):

$$\dot{I}_{(1)} = \frac{\dot{U}_{(1)}}{Z_{(1)}}. \quad (20.10)$$

5.14 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму основної (першої) гармоніки, використовуючи рівняння:

$$i_{(1)} = \sqrt{2} \cdot I_{(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}). \quad (20.11)$$

5.15 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності основної (першої) гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(1)} = \dot{U}_{(1)} \cdot \dot{I}_{(1)}^*, \quad (20.12)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(1)} = P_{(1)} + jQ_{(1)}. \quad (20.13)$$

Аналіз нульової гармоніки

5.16 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(0)} = k \cdot x_{L(1)}, \quad (20.14)$$

де k – номер гармоніки.

5.17 Визначити за допомогою розрахункових даних ємнісний опір конденсатора струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{c(0)} = \frac{1}{k \cdot x_{c(1)}}. \quad (20.15)$$

5.18 Визначити за допомогою розрахункових даних повний опір кола струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$z_{(0)} = \sqrt{r^2 + (x_{L(0)} - x_{c(0)})^2}. \quad (20.16)$$

5.19 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту діюче значення напруги на затискачах третього генератора ($U_{(0)}$).

5.20 Визначити за допомогою експериментальних та розрахункових даних другого експерименту силу струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$I_{(0)} = \frac{U_{(0)}}{z_{(0)}}. \quad (20.17)$$

5.21 Визначити за допомогою експериментальних та розрахункових даних другого експерименту потужність нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$P_{(0)} = U_{(0)} \cdot I_{(0)}. \quad (20.18)$$

Аналіз третьої гармоніки

5.22 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту діюче значення напруги на затискачах другого генератора ($U_{(3)}$).

5.23 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:

$$\dot{U}_{(3)} = U_{(3)} e^{j\psi_{u(3)}}. \quad (20.19)$$

5.24 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту рівняння миттєвої напруги третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$u_{(3)} = \sqrt{2} \cdot U_{(3)} \sin(\omega t + \psi_{u(3)}). \quad (20.20)$$

5.25 Визначити за допомогою розрахункових даних індуктивний опір котушки струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{L(3)} = k \cdot x_{L(1)}. \quad (20.21)$$

5.26 Визначити за допомогою розрахункових даних ємнісний опір конденсатора струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{c(3)} = \frac{x_{c(1)}}{k}. \quad (20.22)$$

5.27 Записати за допомогою експериментальних та розрахункових даних комплекс повного опору кола струму третьої гармоніки у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(3)} = r + j(x_{L(3)} - x_{c(3)}). \quad (20.23)$$

5.28 Записати за допомогою розрахункових даних комплекс повного опору кола струму третьої гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$Z_{(3)} = \underline{z}_{(3)} \cdot e^{j\varphi_{(3)}}. \quad (20.24)$$

5.29 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):

$$\dot{I}_{(3)} = \frac{\dot{U}_{(3)}}{Z_{(3)}}. \quad (20.25)$$

5.30 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$i_{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{(3)} \sin(\omega t + \psi_{i(3)}). \quad (20.26)$$

5.31 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності третьої гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(3)} = \dot{U}_{(3)} \cdot I_{(3)}^* , \quad (20.27)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(3)} = P_{(3)} + jQ_{(3)} . \quad (20.28)$$

Аналіз електричного кола в цілому

5.32 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$u = U_{(0)} + U_{m(1)} \sin(\omega t + \psi_{u(1)}) + U_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_{u(3)}) . \quad (20.29)$$

5.33 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму у колі, використовуючи рівняння:

$$i = I_{(0)} + I_{m(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}) + I_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_{i(3)}) . \quad (20.30)$$

5.34 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$U = \sqrt{U_{(0)}^2 + U_{(1)}^2 + U_{(3)}^2} , \quad (20.31)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у другому експерименті.

5.35 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення сили струму кола, використовуючи рівняння:

$$I = \sqrt{I_{(0)}^2 + I_{(1)}^2 + I_{(3)}^2} , \quad (20.32)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у другому експерименті.

5.36 Визначити за допомогою розрахункових даних активну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$P = P_{(0)} + P_{(1)} + P_{(3)} . \quad (20.33)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у другому експерименті.

5.37 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$Q = Q_{(1)} + Q_{(3)}. \quad (20.34)$$

5.38 Визначити за допомогою розрахункових даних повну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$S = U \cdot I. \quad (20.35)$$

5.39 Визначити за допомогою розрахункових даних потужність скривлення, використовуючи рівняння:

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}. \quad (20.36)$$

5.40 Результати розрахунків занести в таблицю 20.2.

Таблиця 20.2 – 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 20.2

$P_{(0)}, Вт$	$\tilde{S}_{(1)}, ВА$ показова форма	$\tilde{S}_{(1)}, ВА$ алгебраїчна форма	$\tilde{S}_{(3)}, ВА$ показова форма	$\tilde{S}_{(3)}, ВА$ алгебраїчна форма	$P, Вт$	$Q, ВАр$	$S, ВА$	$T, ВА$

5.17 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, як залежать активний, індуктивний та ємнісний опори нерозгалуженого кола від номеру гармоніки періодичного несинусоїдного струму;
- 2) пояснити, чому дорівнює струм і потужність нульової гармоніки у нерозгалуженому колі періодичного несинусоїдного струму з ємністю за наявності нульової гармоніки напруги;

- 3) пояснити, як розрахувати комплекс діючого значення певної гармоніки періодичного несинусоїдного струму;
- 4) пояснити, як розрахувати комплекс повної потужності певної гармоніки періодичного несинусоїдного струму;
- 5) пояснити, як розрахувати діюче значення періодичного несинусоїдного струму через діючі значення сил струмів окремих гармонік;
- 6) пояснити, як розрахувати діюче значення напруги у колі періодичного несинусоїдного струму через діючі значення напруг окремих гармонік;
- 7) пояснити, як розрахувати потужності у колі періодичного несинусоїдного струму з котушкою і конденсатором через значення потужностей окремих гармонік.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

- 6.1 Тема лабораторної роботи.
- 6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).
- 6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.
- 6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.
- 6.5 Таблиця 20.1.
- 6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.
- 6.7 Розрахунок шуканих величин.
- 6.8 Таблиця 20.2.
- 6.9 Висновок по роботі.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Складіть розрахункову схему однофазного кола, яке складається з послідовно з'єднаних котушки і конденсатора, 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 ємнісного опору кола з п.7.3. Чому дорівнює цей опір у даному випадку?
- 7.6 Запишіть вираз для розрахунку повного опору кола з п.7.3. Чому дорівнює цей опір у даному випадку?
- 7.7 Запишіть вираз для розрахунку сили струму кола з п.7.3.
- 7.8 Запишіть вираз для розрахунку потужності кола з п.7.3.

- 7.9 Складіть розрахункову схему кола з п.7.1 для струму основної (першої) гармоніки в комплексній формі для діючих значень.
- 7.10 Запишіть вираз для розрахунку індуктивного опору кола з п.7.9.
- 7.11 Запишіть вираз для розрахунку ємнісного опору кола з п.7.9.
- 7.12 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повного опору кола з п.7.9.
- 7.13 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму кола з п.7.9.
- 7.14 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола з п.7.9.
- 7.15 Складіть розрахункову схему кола з п.7.1 для струму третьої гармоніки в комплексній формі для діючих значень.
- 7.16 Запишіть вираз для розрахунку індуктивного опору кола з п.7.15.
- 7.17 Запишіть вираз для розрахунку ємнісного опору кола з п.7.15.
- 7.18 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повного опору кола з п.7.15.
- 7.19 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму кола з п.7.15.
- 7.20 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола з п.7.15.
- 7.21 Запишіть вираз для розрахунку діючого значення напруги на затискачах кола з п.7.1.
- 7.22 Запишіть вираз для розрахунку діючого значення сили струму кола з п.7.1.
- 7.23 Запишіть вираз для розрахунку активної потужності кола з п.7.1.
- 7.24 Запишіть вираз для розрахунку реактивної потужності кола з п.7.1.
- 7.25 Запишіть вираз для розрахунку повної потужності кола з п.7.1.
- 7.26 Запишіть вираз для розрахунку потужності скривлення кола з п.7.1.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 21

Тема. Дослідження кола несинусоїдного струму з реальною котушкою і конденсатором

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

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 Прозвітувати про виконання завдань для самостійної роботи студента.
- 2.2 Ознайомитись з приладами та апаратурою, що застосовуються в роботі.
- 2.3 Зібрати схему експериментальної установки.
- 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 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 підключені паралельно з'єднані резистор R_1 і конденсатор C_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 21.1.

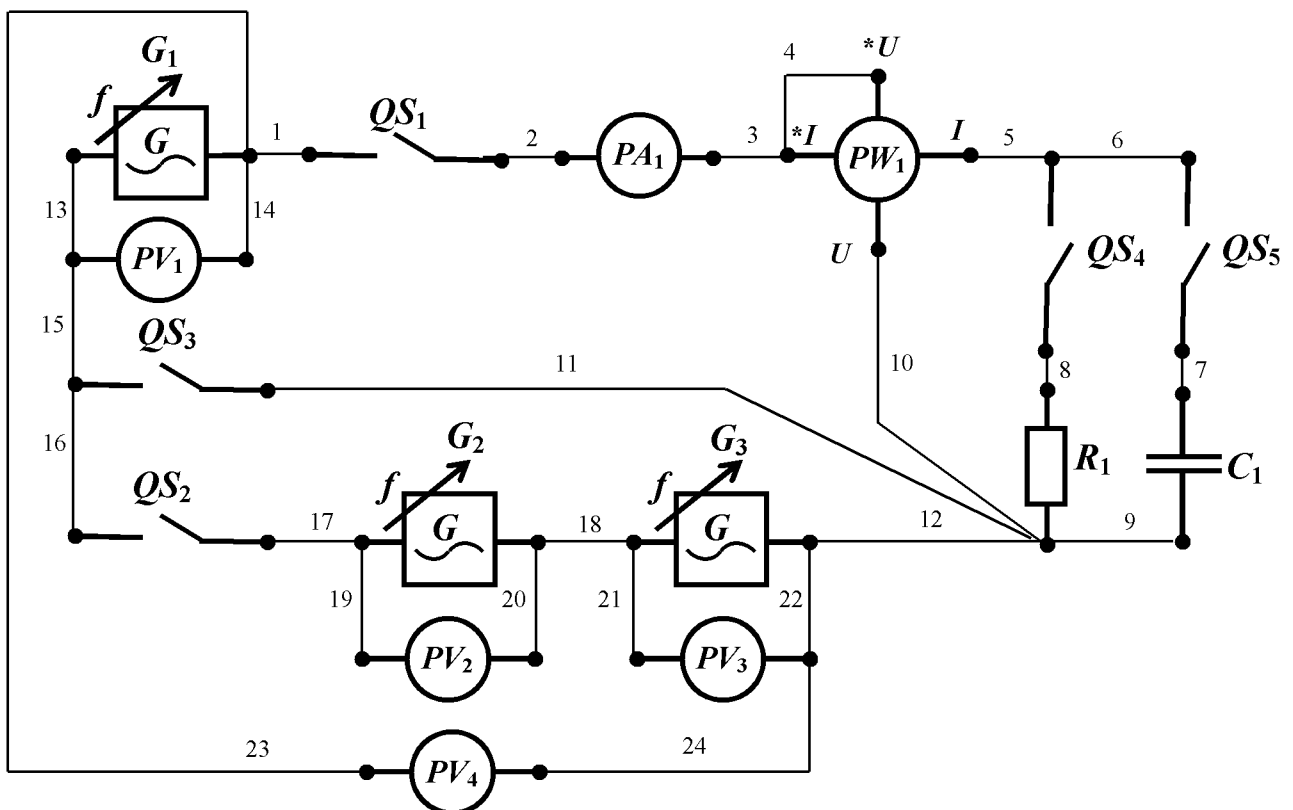


Рисунок 21.1 – Принципова електрична схема експериментальної установки

Для складання схеми необхідно мати 24 провідника (на схемі позначені номерами 1-24).

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 , QS_4 , QS_5 і розімкненому вимикачеві QS_3 утворюється лінійне розгалужене коло несинусоїдного струму. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки для миттєвих значень має вигляд, наведений на рисунку 21.2.

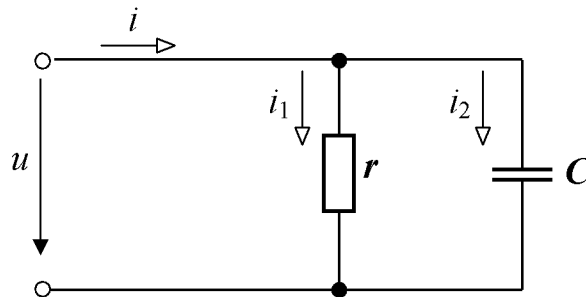


Рисунок 21.2 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS_1 , QS_3 , QS_4 , QS_5 і розімкненому вимикачеві QS_2

Розрахункові схеми для струмів окремих гармонік у комплексній формі (для діючих значень) мають вигляд, наведений на рисунку 21.3 (рис.21.3а – для струму нульової гармоніки, рис.21.3б – для струму основної (першої) гармоніки, рис.21.3в – для струму третьої гармоніки).

При замкнених вимикачах QS_1 , QS_3 , QS_4 і розімкнених вимикачах QS_2 , QS_5 утворюється лінійне нерозгалужене коло синусоїдного струму з резистором. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки у комплексній формі (для діючих значень) має вигляд, наведений на рисунку 21.4а. При замкнених вимикачах QS_1 , QS_3 , QS_5 і розімкнених вимикачах QS_2 , QS_4 утворюється лінійне нерозгалужене коло синусоїдного струму з ємністю. Тоді розрахункова схема електричного кола експериментальної установки у комплексній формі (для діючих значень) має вигляд, наведений на рисунку 21.4б.

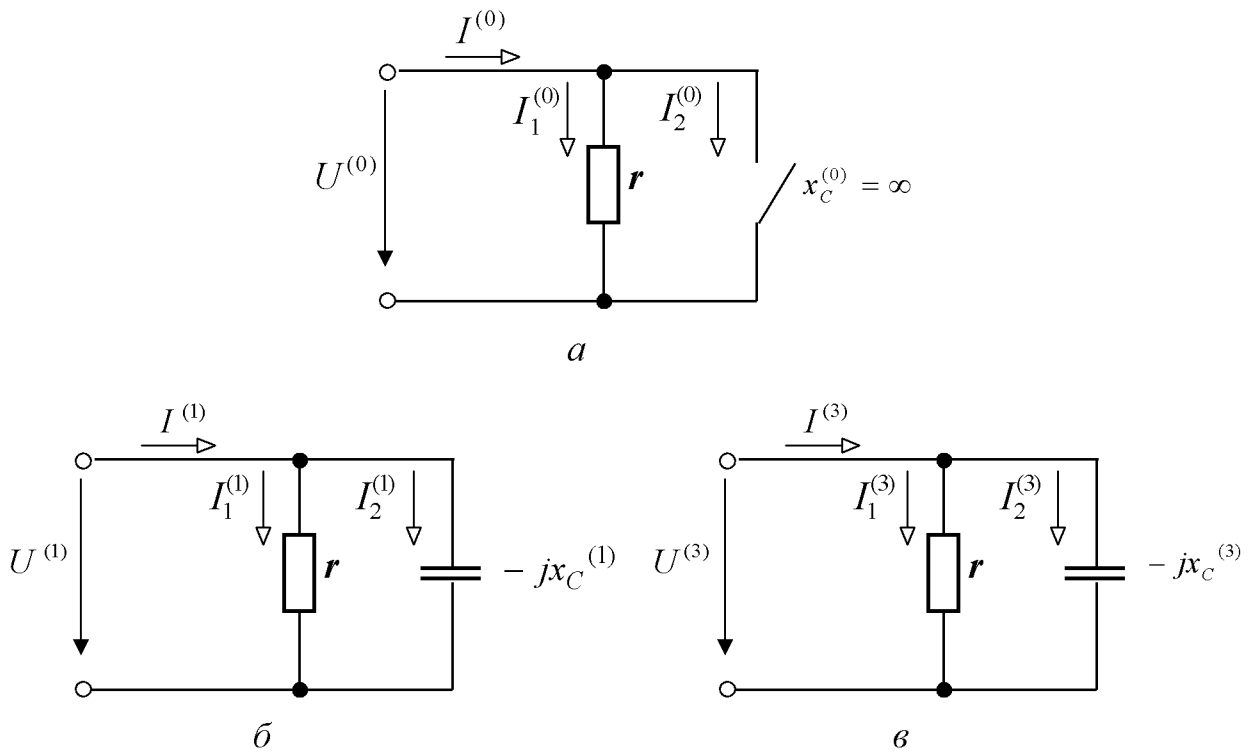


Рисунок 21.3 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки при замкнених вимикачах QS₁, QS₃, QS₄, QS₅ і розімкненому вимикачеві QS₂ для окремих гармонік (*a* – нульової; *б* – основної (першої); *в* – третьої)

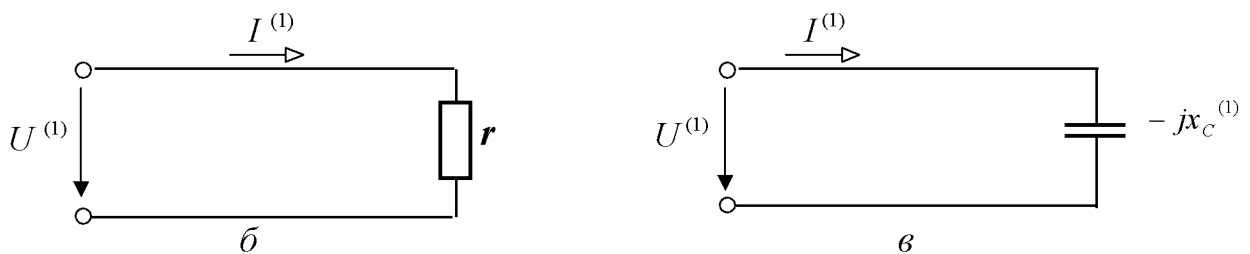


Рисунок 21.4 – Розрахункова схема електричного кола експериментальної установки для визначення параметрів кола (*a* – при замкнених вимикачах QS₁, QS₃, QS₄ і розімкнених вимикачах QS₂, QS₅; *б* – при замкнених вимикачах QS₁, QS₃, QS₅ і розімкнених вимикачах QS₂, QS₄)

- На розрахункових схемах введені наступні умовні позначення:
- u – миттєве значення напруги на затискачах кола, В;
 - $U^{(0)}$ – діюче значення напруги нульової гармоніки, В;
 - $\dot{U}^{(1)}$ – комплекс діючого значення напруги першої гармоніки, В;
 - $\dot{U}^{(3)}$ – комплекс діючого значення напруги третьої гармоніки, В;
 - i – миттєве значення сили струму кола, А;

- $I^{(0)}$ – діюче значення сили струму нульової гармоніки у загальній частині кола, A ;
- $\dot{I}^{(1)}$ – комплекс діючого значення сили струму першої гармоніки у загальній частині кола, A ;
- $\dot{I}^{(3)}$ – комплекс діючого значення сили струму третьої гармоніки у загальній частині кола, A ;
- $I_1^{(0)}$ – діюче значення сили струму нульової гармоніки у резисторі, A ;
- $\dot{I}_1^{(1)}$ – комплекс діючого значення струму першої гармоніки у резисторі, A ;
- $\dot{I}_1^{(3)}$ – комплекс діючого значення струму третьої гармоніки у резисторі, A ;
- $I_2^{(0)}$ – діюче значення сили струму нульової гармоніки у конденсаторі, A ;
- $\dot{I}_2^{(1)}$ – комплекс діючого значення струму першої гармоніки у конденсаторі, A ;
- $\dot{I}_2^{(3)}$ – комплекс діючого значення струму третьої гармоніки у конденсаторі, A ;
- r – активний опір резистора, Ω ;
- C – ємність конденсатора, Φ ;
- $x_c^{(0)}$ – ємнісний опір конденсатора струму нульової гармоніки, Ω ;
- $-jx_c^{(1)}$ – комплекс ємнісного опору конденсатора струму першої гармоніки, Ω ;
- $-jx_c^{(3)}$ – комплекс ємнісного опору конденсатора 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, QS_3, QS_4 .
- 5.4 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 21.1, розімкнути вимикачі QS_1, QS_3, QS_4 .
- 5.5 Замкнути вимикачі QS_1, QS_3, QS_5 .
- 5.6 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 21.1, розімкнути вимикачі QS_1, QS_3, QS_5 .
- 5.7 Замкнути вимикачі QS_1, QS_3, QS_4, QS_5 .
- 5.8 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 21.1, розімкнути вимикачі QS_1, QS_3, QS_4, QS_5 .
- 5.9 Замкнути вимикачі QS_1, QS_2, QS_4, QS_5 .
- 5.10 Зняти показання приладів, результати занести в таблицю 21.1, розімкнути вимикачі QS_1, QS_2, QS_4, QS_5 .

Таблиця 21.1 – 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 , QS ₄ замкнені, вимикач QS ₂ , QS ₅ розімкнені		не знімати	не знімати	не знімати		
2 Вимикачі QS ₁ , QS ₃ , QS ₅ замкнені, вимикач QS ₂ , QS ₄ розімкнені		не знімати	не знімати	не знімати		
3 Вимикачі QS ₁ , QS ₃ , QS ₄ , QS ₅ , замкнені, вимикач QS ₂ розімкнений		не знімати	не знімати	не знімати		
4 Вимикачі QS ₁ , QS ₃ , QS ₄ , QS ₅ , замкнені, вимикач QS ₃ розімкнений						

Аналіз першої гармоніки

5.11 Записати за допомогою експериментальних даних першого експерименту:

- діюче значення напруги на затискачах резистора ($U_{r(1)}$);
- діюче значення сили струму в колі ($I_{(1)}$);
- активну потужність, споживану колом ($P_{(1)}$).

5.12 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту опір резистора для першої (основної) гармоніки струму, використовуючи рівняння:

$$P_{(1)} = r \cdot I_{(1)}^2. \quad (21.1)$$

5.13 Записати за допомогою експериментальних даних другого експерименту:

- діюче значення напруги на затискачах кола ($U_{c(1)}$);
- діюче значення сили струму в колі ($I_{(1)}$).

5.14 Визначити за допомогою експериментальних даних першого експерименту опір конденсатора для першої (основної) гармоніки струму, використовуючи рівняння:

$$I_{(1)} = \frac{U_{c(1)}}{x_{c(1)}}. \quad (21.2)$$

5.15 Визначити комплекс повного опору кола для першої (основної) гармоніки струму, використовуючи рівняння:

$$Z_{(1)} = \frac{r \cdot x_{c(1)} \cdot e^{j90^\circ}}{r + jx_{c(1)}}. \quad (21.3)$$

5.16 Записати за допомогою експериментальних даних третього експерименту діюче значення напруги на затискачах першого генератора ($U_{(1)}$).

5.17 Записати за допомогою експериментальних даних третього експерименту комплекс діючого значення напруги основної (першої) гармоніки у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза $\psi_{u(1)} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викадач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{(1)} = U_{(1)} e^{j\psi_{u(1)}}. \quad (21.4)$$

5.18 Записати за допомогою експериментальних даних третього експерименту рівняння миттєвої напруги основної (першої) гармоніки, використовуючи рівняння:

$$u_{(1)} = \sqrt{2} \cdot U_{(1)} \sin(\omega t + \psi_{u(1)}). \quad (21.5)$$

5.19 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):

$$\dot{I}_{(1)} = \frac{\dot{U}_{(1)}}{Z_{(1)}}. \quad (21.6)$$

5.20 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму основної (першої) гармоніки, використовуючи рівняння:

$$i_{(1)} = \sqrt{2} \cdot I_{(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}). \quad (21.7)$$

5.21 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності основної (першої) гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(1)} = \dot{U}_{(1)} \cdot \dot{I}_{(1)}^*, \quad (21.8)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(1)} = P_{(1)} + jQ_{(1)}. \quad (21.9)$$

Аналіз нульової гармоніки

5.22 Визначити за допомогою розрахункових даних ємнісний опір конденсатора струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{c(0)} = \frac{x_{c(1)}}{k}, \quad (21.10)$$

де k – номер гармоніки.

5.23 Визначити за допомогою розрахункових даних повний опір котушки струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$\bar{z}_{(0)} = r. \quad (21.12)$$

5.24 Записати за допомогою експериментальних даних четвертого експерименту діюче значення напруги на затискачах третього генератора ($U_{(0)}$).

5.25 Визначити за допомогою експериментальних та розрахункових даних другого експерименту силу струму нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$I_{(0)} = \frac{U_{(0)}}{\bar{z}_{(0)}}. \quad (21.13)$$

5.26 Визначити за допомогою експериментальних та розрахункових даних четвертого експерименту потужність нульової гармоніки, використовуючи рівняння:

$$P_{(0)} = U_{(0)} \cdot I_{(0)}. \quad (21.14)$$

Аналіз третьої гармоніки

5.27 Записати за допомогою експериментальних даних четвертого експерименту діюче значення напруги на затискачах другого генератора ($U_{(3)}$).

5.28 Записати за допомогою експериментальних даних четвертого експерименту комплекс діючого значення напруги третьої гармоніки у показовій формі, прийнявши, що початкова фаза $\psi_{u(3)} = \underline{\hspace{2cm}}$ (задає викладач), використовуючи рівняння:

$$\dot{U}_{(3)} = U_{(3)} e^{j\psi_{u(3)}}. \quad (21.15)$$

5.29 Записати за допомогою експериментальних даних четвертого експерименту рівняння миттєвої напруги третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$u_{(3)} = \sqrt{2} \cdot U_{(3)} \sin(\omega t + \psi_{u(3)}). \quad (21.16)$$

5.30 Визначити за допомогою розрахункових даних ємнісний опір конденсатора струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$x_{c(3)} = \frac{x_{c(1)}}{k}. \quad (21.17)$$

5.31 Визначити за допомогою експериментальних та розрахункових даних комплекс повного опору кола струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$Z_{(3)} = \frac{r \cdot x_{c(3)} \cdot e^{j90^\circ}}{r + jx_{c(3)}}. \quad (21.18)$$

5.32 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):

$$\dot{I}_{(3)} = \frac{\dot{U}_{(3)}}{Z_{(3)}}. \quad (21.19)$$

5.33 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму третьої гармоніки, використовуючи рівняння:

$$i_{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{(3)} \sin(\omega t + \psi_{i(3)}). \quad (21.20)$$

5.34 Визначити за допомогою розрахункових даних комплекс повної потужності третьої гармоніки у показовій формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(3)} = \dot{U}_{(3)} \cdot \dot{I}_{(3)}^*, \quad (21.21)$$

і записати його у алгебраїчній формі, використовуючи рівняння:

$$\tilde{S}_{(3)} = P_{(3)} + jQ_{(3)}. \quad (21.22)$$

Аналіз електричного кола в цілому

5.35 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвої напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$u = U_{(0)} + U_{m(1)} \sin(\omega t + \psi_{u(1)}) + U_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_{u(3)}). \quad (21.23)$$

5.36 Записати за допомогою розрахункових даних рівняння миттєвого струму у колі, використовуючи рівняння:

$$i = I_{(0)} + I_{m(1)} \sin(\omega t + \psi_{i(1)}) + I_{m(3)} \sin(3\omega t + \psi_{i(3)}). \quad (21.24)$$

5.37 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення напруги на затискачах кола, використовуючи рівняння:

$$U = \sqrt{U_{(0)}^2 + U_{(1)}^2 + U_{(3)}^2}, \quad (21.25)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у четвертому експерименті.

5.38 Визначити за допомогою розрахункових даних діюче значення сили струму кола, використовуючи рівняння:

$$I = \sqrt{I_{(0)}^2 + I_{(1)}^2 + I_{(3)}^2}, \quad (21.26)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у четвертому експерименті.

5.39 Визначити за допомогою розрахункових даних активну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$P = P_{(0)} + P_{(1)} + P_{(3)}. \quad (21.27)$$

і порівняти його із відповідним значенням, отриманим при вимірюванні у четвертому експерименті.

5.40 Визначити за допомогою розрахункових даних реактивну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$Q_L = Q_{(1)} + Q_{(3)}. \quad (21.28)$$

5.41 Визначити за допомогою розрахункових даних повну потужність кола, використовуючи рівняння:

$$S = U \cdot I . \quad (21.29)$$

5.42 Визначити за допомогою розрахункових даних потужність скривлення, використовуючи рівняння:

$$T = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} . \quad (21.30)$$

5.43 Результати розрахунків занести в таблицю 21.2.

Таблиця 21.2 – 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 21.2

$P_{(0)}, Вт$	$\tilde{S}_{(1)}, ВА$ показова форма	$\tilde{S}_{(1)}, ВА$ алгебраїчна форма	$\tilde{S}_{(3)}, ВА$ показова форма	$\tilde{S}_{(3)}, ВА$ алгебраїчна форма	$P, Вт$	$Q, ВАр$	$S, ВА$	$T, ВА$

5.17 Зробити висновок по роботі, розкривши наступні питання:

- 1) пояснити, яка послідовність розрахунку розгалуженого кола періодичного несинусоїдного струму;
- 2) пояснити, що відображає потужність скривлення у колі періодичного несинусоїдного струму.

6 СТРУКТУРА ЗВІТУ

6.1 Тема лабораторної роботи.

6.2 Виконані завдання для домашньої підготовки з пункту 1.2 (завдання інформаційно-репродуктивного характеру – скорочено, завдання практично-стереотипного характеру – розгорнуто).

6.3 Принципова електрична схема експериментальної установки.

6.4 Розрахункові схеми електричного кола експериментальної установки.

6.5 Таблиця 21.1.

6.6 Алгоритм розрахунку шуканих величин.

6.7 Розрахунок шуканих величин.

6.8 Таблиця 21.2.

6.9 Висновок по роботі.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

7.1 Складіть розрахункову схему кола з паралельно з'єднаними резистором та ідеальним конденсатором, 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 ємнісного опору конденсатора 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 у резисторі з п.7.3.

7.7 Запишіть вираз для розрахунку сили струму у конденсаторі з п.7.3.

7.8 Запишіть вираз для розрахунку сили струму у загальній частині кола з п.7.3.

7.9 Запишіть вираз для розрахунку потужності кола з п.7.3.

7.10 Складіть розрахункову схему кола з п.7.1 для струму основної (першої) гармоніки в комплексній формі для діючих значень.

7.11 Запишіть вираз для розрахунку ємнісного опору конденсатора з п.7.10.

7.12 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму у резисторі для п.7.10.

7.13 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму у конденсаторі для п.7.10.

7.14 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму у загальній частині кола для п.7.10.

7.15 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності резистора для п.7.10.

7.16 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності конденсатора для п.7.10.

7.17 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола для п.7.10.

7.18 Складіть розрахункову схему кола з п.7.1 для струму третьої гармоніки в комплексній формі для діючих значень.

7.19 Запишіть вираз для розрахунку ємнісного опору конденсатора з п.7.18.

7.20 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму у резисторі для п.7.18.

7.21 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму у конденсаторі для п.7.18.

- 7.22 Запишіть вираз для розрахунку комплексу діючого значення сили струму у загальній частині кола для п.7.18.
- 7.23 Запишіть вираз для розрахунку комплексу повної потужності кола з п.7.18.
- 7.24 Запишіть вираз для розрахунку діючого значення напруги на затискачах кола з п.7.1.
- 7.25 Запишіть вираз для розрахунку діючого значення сили струму у резисторі з п.7.1.
- 7.26 Запишіть вираз для розрахунку діючого значення сили струму у конденсаторі з п.7.1.
- 7.27 Запишіть вираз для розрахунку діючого значення сили струму кола з п.7.1.
- 7.28 Запишіть вираз для розрахунку активної потужності кола з п.7.1.
- 7.29 Запишіть вираз для розрахунку реактивної потужності кола з п.7.1.
- 7.30 Запишіть вираз для розрахунку повної потужності кола з п.7.1.
- 7.31 Запишіть вираз для розрахунку потужності скривлення кола з п.7.1.

Додаток А

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Звіт з лабораторної роботи оформлюється на аркушах формату А4 рукописним шляхом або шляхом комп'ютерного набору наступним чином: першим аркушем є титульний аркуш, на якому взують:

«Лабораторна робота з електротехніки на тему «...».
Виконав студент 21-ЕЕ групи П.І.Б.»

Далі йде сам звіт, на початку якого наводять виконані завдання СРС. При написанні відповідей на тести інформаційно-репродуктивного характеру вказують:

- номер таблиці;
- номер запитання (завдання) з таблиці;
- номер відповіді на запитання (завдання) з таблиці.

Тобто, табл.1.1: 1 – 5, 2 – 8 і так далі.

При написанні відповідей на тести практично-стереотипного характеру вказують:

- номер таблиці;
- наводять розв'язання задачі з цієї таблиці у такій послідовності:
 - ✓ стисло записують дано;
 - ✓ вказують номер завдання з таблиці;
 - ✓ записують формулу для розрахунку;
 - ✓ підставляють у неї значення фізичних величин;
 - ✓ знаходять результат;
- номер завдання з таблиці;
- номер відповіді на завдання з таблиці.

Після виконаних завдань СРС наводять виконані пункти звіту (дивись розділ 6 «Структура звіту» до лабораторної роботи): необхідні схеми, формули, розрахунки, таблиці та рисунки.

Звіт до лабораторної роботи починають готувати, виконуючи всі завдання, вказані у розділі 1 «Завдання самостійної роботи студента». Студенти, які не виконують завдання цього розділу, до лабораторної роботи не допускаються.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

За виконання 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 2 / В.В. Овчаров. – Мелітополь: Люкс, 2007. – 215 с.
2. Овчаров В.В. Тематичні діагностичні тести з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки, частина 2» / В.В.Овчаров, О.Ю.Вовк. – Мелітополь : ТДАТУ, 2013. – 114 с.
3. Зевеке Г.В. Основы теории цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. – М. : Гардарики, 2007. – 701 с.