

**Український державний університет залізничного транспорту**

**Кафедра електротехніки та електричних машин**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання лабораторних робіт з дисципліни**

**«ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ»**

**для студентів всіх форм навчання**

Харків 2016

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки та електричних машин 10 лютого 2016 р., протокол № 6.

Методичні вказівки призначені для студентів усіх форм навчання спеціальності 144 «Теплоенергетика» та слухачів НН ІПК.

Укладач

доц. О.Є. Зінченко

Рецензент

доц. С.М. Тихонравов

## ЗМІСТ

Вказівки до підготовки і виконання лабораторних робіт.....	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1	
Дослідження електричного стану кіл з лінійними пасивними елементами при постійному струмі.....	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2	
Дослідження двопровідної лінії передачі електричної енергії постійним струмом.....	11
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3	
Дослідження лінійного електричного кола змінного струму з послідовним з'єднанням приймачів. Резонанс напруг.....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4	
Експериментальне дослідження трифазного кола при з'єднанні приймачів енергії „зіркою”.....	22
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5	
Дослідження схем випрямлення.....	29
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6	
Дослідження біполярного транзистора.....	33
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	36

## **ВКАЗІВКИ ДО ПІДГОТОВКИ І ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Для роботи в лабораторії групу студентів ділять на бригади. Кожна бригада повинна виконувати протягом семестру всі лабораторні роботи за планом, складеним кафедрою.

Згідно з планом проведення лабораторних занять студенти завчасно готуються до занять у лабораторії. Підготовка складається з вивчення відповідних розділів теоретичного курсу за конспектами лекцій і навчальної літератури, виконання необхідних розрахунків, а також охайного виконання таблиць спостережень, у які студент повинен записувати всі дані, отримані під час проведення дослідів. Студенти, що виконали всі передбачені планом лабораторні роботи і своєчасно захистили звіти про них, одержують залік за відповідний розділ курсу.

Розрахунково-графічну частину лабораторної роботи, письмові відповіді на питання й оформлення звітів студенти виконують у формі домашньої роботи.

Для забезпечення безпеки роботи у лабораторії і попередження псувань приладів студенти зобов'язані дотримуватись таких правил:

1) при першому відвідуванні лабораторії студенти повинні ретельно ознайомитися з правилами техніки безпеки і правилами внутрішнього розпорядку в лабораторіях кафедри електротехніки й електричних машин;

2) допуск студентів у лабораторію проводиться тільки в години, встановлені розкладом. Ті, хто пропустив зайняття з поважних причин, виконують роботи в спеціально заплановані кафедрою додаткові години;

3) перш ніж приступити до виконання роботи, необхідно здати викладачеві повністю оформлений звіт про попередню роботу. Студенти, що не склали такий звіт, до лабораторної роботи не допускаються;

4) у лабораторії студенти працюють біля своїх стендів, додержуючись установленого порядку і тиші (ходіння по лабораторії без необхідності не допускається). Вихід з лабораторії допускається тільки з дозволу викладача;

5) при складанні схеми необхідно слідкувати за тим, щоб вимірювальні прилади, що вмикаються (реостати й апарати), відповідали робочим значенням струмів і напруг;

б) перед початком роботи стрілки електровимірювальних приладів повинні бути встановлені на нуль, а прилади з декількома межами, крім того, повинні бути ввімкнені на максимальні межі вимірювань;

7) перед тим, як увімкнути установку в роботу, необхідно подати складену схему керівнику для перевірки;

8) якщо за умовами роботи потрібно змінити схему з'єднань, то це потрібно виконувати при знятій нарузі, а перед увімкненням установки знову показати схему для перевірки керівнику;

9) результати вимірювань студенти зобов'язані показати для перевірки викладачу, який дає дозвіл на закінчення роботи. До отримання такого дозволу забороняється розбирати схему;

10) після закінчення роботи схема розбирається, робоче місце приводиться в порядок і здається отримане обладнання;

11) за виконаною роботою кожний студент складає звіт, який здає викладачу перед наступною роботою.

### **Порядок складання звітів**

1 Звіти про роботи виконуються на спеціальних бланках установленної форми на аркушах білого паперу формату А4 відповідно до [5].

2 Звіти виконують чорнилом чітко й акуратно, схеми і графіки з використанням креслярських інструментів.

3 Діаграми виконують у масштабі.

4 У звітах усі буквені позначення й умовні графічні позначення в схемах повинні відповідати [5].

5 Звіти повинні вміщувати:

а) прізвище та ініціали того, хто виконав роботу, номер групи, курсу і дату виконання роботи;

б) номер роботи та її назву;

в) електричні схеми, за якими виконується робота;

г) таблицю з результатами вимірювання і розрахунків;

д) діаграми і графіки;

- е) висновки з роботи;
- ж) відповіді на питання.

6 Звіт приймається до захисту при наявності у ньому відміток викладача про допуск до лабораторної роботи і про перевірку результатів вимірювань.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1**

### **Дослідження електричного стану кіл з лінійними пасивними елементами при постійному струмі**

#### **Мета роботи**

1 Дослідження дослідним шляхом розподілу струмів і напруг у розгалуженому колі постійного струму з одним джерелом ЕРС.

2 Перевірка справедливості першого і другого законів Кірхгофа на прикладі складного електричного кола постійного струму.

#### **Пояснення до роботи**

Закон Ома встановлює залежність між силою струму, напругою й опором для найпростішого електричного кола, що являє собою один замкнутий контур. На практиці зустрічаються більш складні електричні кола, що містять кілька замкнутих контурів і кілька вузлів. Електричний стан такого електричного кола визначається законами Кірхгофа:

першим

$$\sum_{k=1}^n \mathbf{I}_k = \mathbf{0}$$

і другим

$$\sum_{k=1}^n \mathbf{E}_k = \sum_{k=1}^n \mathbf{I}_k \mathbf{R}_k ,$$

або

$$\sum_{k=1}^n \mathbf{U} = \mathbf{0} .$$

У цих рівняннях розглядається алгебраїчна сума виразів, що стоять під знаком суми.

Мета дослідження електричних кіл: визначення струмів, падінь напруг на елементах кола, потужностей, розрахунок опорів, що входять у коло, і т.п. При аналізі електричних кіл розглядають не кола з реальними елементами, а схеми заміщення, що відбивають властивості реальних елементів електричного кола за певних умов.

Розглянемо просте електричне коло, наведене на рисунку 1.1, до якого прикладена напруга  $U = E - IR_0$ . Необхідно визначити струми у всіх вітках при відомих опорах.

Для знаходження загального струму  $I$  необхідно визначити еквівалентний (вхідний) опір  $R_{екв}$  щодо затискачів  $OO'$ .

Процес знаходження  $R_{екв}$  починають з кінця електричного кола:

$$R_{cd} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}; \quad R_{3-6} = R_3 + R_{cd} + R_6; \quad R_{ab} = \frac{R_2 \cdot R_{3-6}}{R_3 + R_{3-6}};$$

$$R_{екв} = R_1 + R_{ab} + R_7 + R_0.$$

Тоді, за законом Ома, загальний струм  $I = \frac{E}{R_{екв}}$ , а, за другим законом Кірхгофа,  $U = E - IR_0$ ,  $U_{ab} = U - I(R_1 + R_7)$ . Далі визначається струм  $I_2 = U_{ab} / R_2$ , струм  $I_3$  можна знайти, скориставшись першим законом Кірхгофа:  $I_3 = I - I_2$ , а застосовуючи формулу розподілу струмів до паралельних віток, знайдемо  $I_4$ :  $I_4 = I_3 \cdot \frac{R_3}{R_4 + R_5}$ , тоді  $I_5 = I_3 - I_4$ .

Аналіз розгалужених лінійних електричних кіл, що містять кілька джерел ЕРС, може виконуватися на безпосередньому застосуванні законів Кірхгофа.

Розглянемо складне електричне коло, наведене на рисунку 1.2.

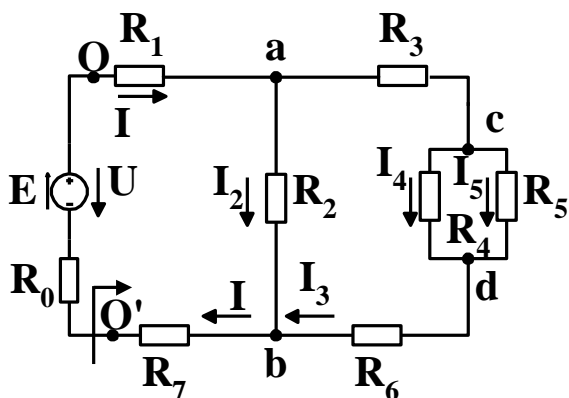


Рисунок 1.1

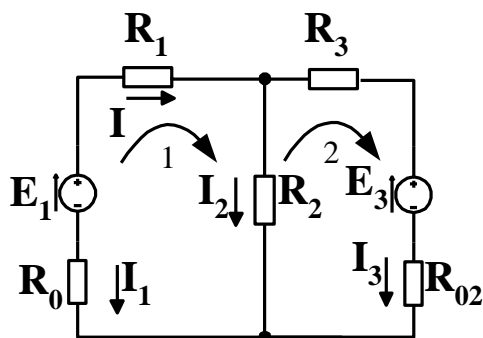


Рисунок 1.2

Коло містить  $n = 2$  контурів і віток  $m = 3$ . Послідовність розрахунку така: а) позначають струми віток, довільно вибравши позитивні напрямки і позначивши їх на схемі стрілками; б) за першим законом Кірхгофа складають  $n-1$  рівнянь; в) за другим законом Кірхгофа складають  $m-(n-1)$  рівнянь, для чого вибирають  $m-(n-1)$  взаємно незалежних контурів і відповідно позначають їх на схемі. У результаті одержуємо систему з  $m$ -рівнянь. На рисунку 1.2 зазначені напрямки струмів і обходу двох контурів, при цьому отримані такі рівняння:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 + I_3; \\ E_1 &= I_1(R_1 + R_{01}) + I_2 R_2; \\ -E_3 &= -I_2 R_2 + I_3(R_3 + R_{02}). \end{aligned}$$

Розв'язуючи систему рівнянь, знаходимо невідомі струми  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ .

Для електричного кола повинен виконуватися і закон збереження енергії, тобто сума потужностей, що віддаються джерелами енергії, дорівнює сумі потужностей, споживаних приймачами,  $\sum EI = \sum I^2 R$ .

Якщо струм через джерело не збігається з напрямком ЕРС, то це джерело розглядається як споживач і відповідний добуток  $EI$  записується зі знаком "мінус".



## Підготовка до роботи

1 Вивчити теоретичний матеріал з розрахунку й аналізу електричних кіл постійного струму, використовуючи конспект лекцій і відповідні розділи підручників.

2 Зробити попередній розрахунок електричної схеми постійного струму (рисунок 1.3) з однією ЕРС  $E$ : 1) перемикач  $\Pi$  в положенні 1; 2) перемикач у положенні 2. Вихідні дані для розрахунків взяти в таблиці варіантів:

а) записати розрахункові рівняння для визначення струмів, падіння напруг і потужності на приймачах електричної енергії і зробити розрахунок;

б) розрахункові дані занести в таблиці 1.1 і 1.2;

в) за розрахунковими даними вибрати межі вимірювань вимірювальних приладів для проведення дослідження двох електричних кіл.

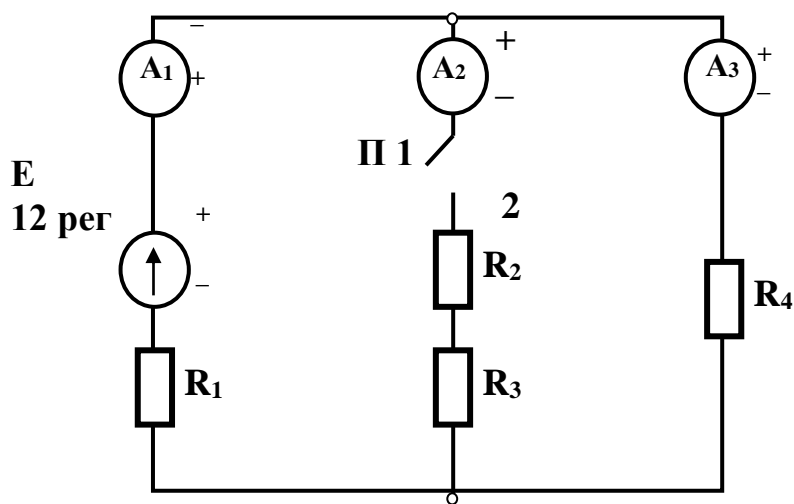


Рисунок 1.3

3 Відповісти на такі питання:

яке з'єднання приймачів енергії називається послідовним, паралельним і мішаним;

подати на графіку зовнішні вольт-амперні характеристики реальних та ідеальних джерел, ЕРС і струму;

як розподіляються струми, напруги і потужності при послідовному і паралельному з'єднанні споживачів.

## Робоче завдання

1 Установити значення ЕРС відповідно до даних таблиці варіантів.

2 Скласти електричне коло згідно з рисунком 1.3 (перемикач П у положенні 1).

3 Виміряти струм і напруги на приймачах електричної енергії.

4 За даними вимірювань напруг на приймачах електричної енергії визначити опори  $R_1, R_2, R_3, R_4$ .

5 Результати вимірювань і розрахунків занести в таблицю 1.1.

6 Провести аналогічні дослідження електричного кола (рисунок 1.3) при переведенні перемикача П у положення “Увімкнено”. Результати вимірювань і розрахунків занести в таблицю 1.2.

Таблиця 1.1

Положення перемикача	Спосіб визначення величини	Е, В	U <sub>1</sub> , В	U <sub>4</sub> , В	I, А	R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>4</sub> , Ом	R <sub>екв</sub> , Вт	P <sub>1</sub> , Вт	P <sub>4</sub> , Вт	P <sub>сп</sub> , Вт	P <sub>Е</sub> , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вимкнено	Розрахунком											
	Вимірюванням											

Таблиця 1.2

Положення перемикача	Спосіб визначення величини	Е, В	U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	U <sub>3</sub> , В	U <sub>4</sub> , В	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	I <sub>3</sub> , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Увімкнено	Розрахунком								
	Вимірюванням								

Продовження таблиці 1.2

R <sub>1</sub> , Ом	R <sub>2</sub> , Ом	R <sub>3</sub> , Ом	R <sub>4</sub> , Ом	R <sub>екв</sub> , Ом	P <sub>1</sub> , Вт	P <sub>2</sub> , Вт	P <sub>3</sub> , Вт	P <sub>4</sub> , Вт	P <sub>сп</sub> , Вт	P <sub>Е</sub> , Вт
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

### **Методичні вказівки**

1 Відповіді на поставлені питання, складені при підготовці до роботи, повинні бути чіткими і досить повними.

2 При складанні електричного кола необхідно використовувати резистори  $R_1, R_2, R_3, R_4$  лабораторного стенда. За джерело ЕРС  $E$  використовувати затискачі (+ 12 - рег), а також відповідні електровимірювальні прилади універсального стенда.

### **Аналіз отриманих результатів**

1 Порівняти результати розрахунку з дослідними даними.

2 Перевірити, наскільки дані, отримані в результаті проведення дослідів, збігаються із законами Кірхгофа.

3 Сформулювати загальні висновки з роботи.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2**

### **Дослідження двопровідної лінії передачі електричної енергії постійним струмом**

#### **Мета роботи**

1 Визначення опору проводів, струму короткого замикання, втрат напруги, втрат потужності і коефіцієнта корисної дії електричної лінії в залежності від величини навантаження при незмінній напрузі джерела.

2 Доведення доцільності підвищення напруги в лінії електропередачі.

#### **Пояснення до роботи**

Передача електричної енергії від електричної станції до приймачів електричної енергії здійснюється по двопровідній лінії, причому величина напруги  $U_1$  на виході електростанції (на вході лінії) підтримується незмінною. Лінія електропередачі має омичний опір  $R_n$ , на якому при підключенні до виходу лінії деякого навантаження  $R_n$  відбувається втрата напруги  $\Delta U$ , тобто до навантаження  $R_n$  підводиться напруга  $U_2 = U_1 - \Delta U$  (рисунок 2.1).

З огляду на те, що напруга  $U_1$  на вході лінії й опір проводів  $R_{\text{л}}$  практично залишаються постійними, струм  $I$  у лінії (струм навантаження), а отже, і  $\Delta U$  залежать від величини навантаження  $R_{\text{н}}$ .

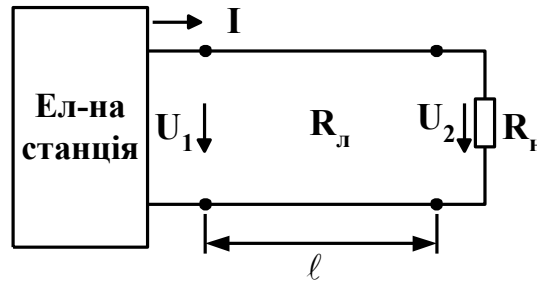


Рисунок 2.1

У режимі холостого ходу, коли лінія розімкнена (навантаження відсутнє і  $R_{\text{н}} = \infty$ ), струм у ній дорівнює нулю.

У режимі короткого замикання, коли лінія замкнена накоротко (опір  $R_{\text{н}} = 0$ ), струм у ній досягає струму короткого замикання, що визначається як  $I_{\text{кз}} = \frac{U_1}{R_{\text{л}}}$  і значно перевищує

величину номінального струму  $I_{\text{ном}}$ . Струм  $I_{\text{кз}}$  є небезпечним для всіх елементів електричного кола і може привести до аварійних ситуацій, яких можна уникнути включенням в електричне коло плавких запобіжників та інших спеціальних автоматичних пристроїв, що відмикають лінію від станції.

У навантажувальному режимі, тобто режимі, коли струм  $I \leq I_{\text{ном}}$ , втрата напруги в проводах ліній  $\Delta U = IR_{\text{л}}$  є функцією опору навантаження. Тому і напруга на затискачах приймача електроенергії також буде змінюватись  $U_2 = U_1 - IR_{\text{л}}$ . Звичайно простіше виміряти  $U_1$  і  $U_2$ , а потім визначити  $\Delta U_{\text{л}} = U_1 - U_2$ . Також експериментально визначаються за результатами вимірювань і опори проводів на підставі закону Ома, тобто  $R_{\text{л}} = \Delta U / I$ . При проходженні по лінії струму  $I$  частина потужності  $P_1$ , що надходить від джерела, втрачається в лінії, викликаючи нагрівання проводів, ці втрати потужності визначаються так:  $\Delta P = I \cdot \Delta U = I^2 \cdot R_{\text{л}}$ . Отже, приймач електричної

енергії, увімкнутий на кінці лінії, буде одержувати меншу потужність  $P_2 = P_1 - \Delta P$ . При збільшенні струму  $I$  зростають втрати потужності в проводах лінії  $\Delta P$  і зменшується ККД лінії

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta U}{U_1} = \frac{R_n}{R_n + R_l},$$

або

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I}{U_1 I} = \frac{U_2}{U_1}.$$

При передачі електроенергії необхідно прагнути зниження втрат у лінії і збільшення ККД лінії. Це можливо шляхом забезпечення  $R_n \gg R_l$ , тобто зменшенням струму  $I$ , що при незмінній потужності  $P_1$  викликає необхідність підвищення напруги  $U_1$  для передачі електричної енергії.

**У погодженому режимі**, коли  $R_n = R_l$ , потужність  $P_1$  дорівнює подвоєній потужності приймача, а ККД для цього режиму  $\eta = 0.5$ . Такий режим застосовується в пристроях автоматики при передачі сигналів по лінії зв'язку, тобто там, де потужності джерела малі і розв'язується задача передачі максимальної потужності від джерела до приймача.

### Підготовка до роботи

1 Вивчити теоретичний матеріал з теми, використовуючи конспект лекцій і відповідні розділи підручників.

2 Записати розрахункові рівняння для визначення таких величин :

ЕРС джерела електричної енергії.....	$E$ ;
потужності, що розвиваються джерелом.....	$P$ ;
потужність, передана джерелом у зовнішнє коло.....	$P_1$ ;
потужності внутрішніх втрат джерела.....	$P_0$ ;
втрати потужності в лінії.....	$\Delta P$ ;
втрати напруги у двопровідній лінії.....	$\Delta U$ ;
опори проводів лінії.....	$R_l$ ;
опори навантаження.....	$R_n$ ;
потужності, споживані навантаженням.....	$P_2$ ;
ККД електричної лінії.....	$\eta_l$ ;

ККД джерела електричної енергії..... $\eta_d$ ;  
ККД електричного кола..... $\eta_k$ .

3 Описати режими роботи електричного кола постійного струму.

### Робоче завдання

1 Скласти електричне коло за рисунком 2.2.

2 Після перевірки викладачем схеми приступити до експерименту.

3 Навантажувальний реостат  $R_H$  поставити в положення максимального опору.

4 Розімкнути вимикач **B**.

5 Установити за допомогою рукоятки "Латр" на вольтметрі напругу, вказану викладачем, і зняти показання приладів.

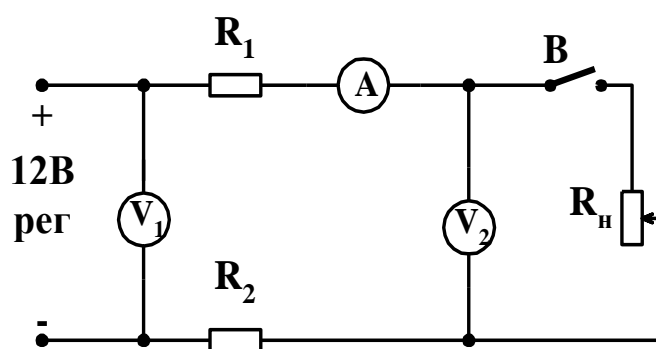


Рисунок 2.2

6 Замкнути вимикач **B** і, підтримуючи незмінною напругу на вході лінії, поступово збільшувати струм за допомогою навантажувального реостата  $R_H$  через **0,1 А**, одночасно знімати показання приладів. Результати вимірювань занести в таблицю і показати викладачу.

**Увага!** 1 Виведене положення реостата відповідає короткому замиканню лінії.

2 Вимірювання при проведенні цього експерименту робити швидко і по закінченні схему від джерела відімкнути.

### Методичні вказівки

1 При складанні електричного кола (рисунок 2.2) необхідно використовувати джерело (+ 12 пер), вимикач **B**, опори  $R_1$  і  $R_2$  –

як проводи лінії, а також відповідні електровимірювальні прилади універсального стенда.

2 Навантажувальний реостат, який регулюється,  $R_n = 30 \text{ Ом}$  (підносний).

### Аналіз отриманих результатів і висновки

1 Використовуючи результати вимірювань і відповідні теоретичні положення, розрахувати для кожного рядка таблиці 2.1 усі величини, зазначені в графі “Обчислено”.

2 За даними таблиці 2.1 побудувати в одних осях координат графіки функцій:

$$U_2 = f(I); \Delta U = f(I); \Delta P = f(I); P_1 = f(I); P_2 = f(I); \eta = f(I).$$

3 Сформулювати загальні висновки з роботи.

Таблиця 2.1

Номери дослідів	Виміряно			Обчислено						
	$U_1,$ В	$U_2,$ В	I, А	$\Delta U,$ В	$R_{л},$ Ом	$R_n,$ Ом	$P_1,$ Вт	$P_2,$ Вт	$\Delta P,$ Вт	$\eta,$ %
1 Холостий хід										
2 Активне навантаження										
3 “-”										
4 “-”										
5 “-”										
6 “-”										
7 “-”										
8 “-”										
9 “-”										
10 Коротке замикання										

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

### Дослідження лінійного електричного кола змінного струму з послідовним з'єднанням приймачів. Резонанс напруг

#### Мета роботи

Дослідження кола змінного струму з послідовними з'єднаннями котушки індуктивності і конденсатора, а також дослідження явища резонансу напруг.

#### Пояснення до роботи

В електричному колі змінного струму з послідовним з'єднанням приймачів діючий струм розраховується за законом Ома:

$$I = \frac{U}{Z},$$

де  $U$  і  $I$  – діючі напруга і струм;  $Z$  – повний опір кола. Повний опір кола з послідовним з'єднанням  $R$ ,  $L$ ,  $C$  визначається за формулою

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2},$$

де  $R$  – активний опір кола;

$X = X_L - X_C$  – реактивний опір кола;

$X_L = \omega L$  – індуктивний опір котушки;

$X_C = \frac{1}{\omega C}$  – ємнісний опір конденсатора.

Для кіл змінного струму з послідовним з'єднанням приймачів будується векторна діаграма напруг (рисунок 3.1, а).

Вектор напруги  $\underline{U}$  на затискачах кола дорівнює геометричній сумі векторів напруг окремих ділянок кола

$$\underline{U} = \underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C.$$



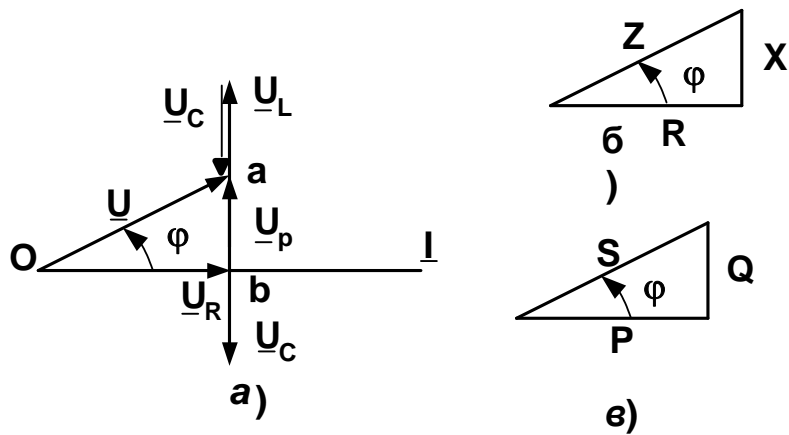


Рисунок 3.1

Модулі векторів напруг, що входять у цей вираз, визначаються за формулами:

$U_R = IR$  – діюча напруга на активному опорі, що збігається по фазі зі струмом;

$U_L = IX_L$  – діюча напруга на індуктивному опорі, що випереджає струм по фазі на кут  $\pi/2$ ;

$U_C = IX_C$  – діюча напруга на ємнісному опорі, що відстає від струму по фазі на кут  $\pi/2$ .

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{U_a^2 + U_p^2},$$

де  $U_a = IR$  – активна складова напруги;  $U_p = U_L - U_C = I(X_L - X_C)$  – реактивна складова напруги.

Трикутник  $oab$ , утворений векторами  $\underline{U}$ ,  $\underline{U}_R$  і  $\underline{U}_P$ , називається трикутником напруг. Подібний йому трикутник, сторони якого в обраному масштабі дорівнюють опорам  $Z$ ,  $R$  і  $X$ , називається трикутником опорів (рисунок 3.1, б). З трикутника напруг випливає, що

$$U_a = U \cos \varphi, U_p = U \sin \varphi, \quad \varphi = \arctg \frac{U_p}{U_a}.$$

Помноживши сторони трикутника напруг на струм, одержимо трикутник потужностей (рисунок 3.1, в). З трикутника потужностей маємо

$P = U_a I = UI \cos \varphi = I^2 R$  – активна потужність кола, Вт;

$Q = Q_L - Q_C = U_p I = UI \sin \varphi = I^2 X$  – реактивна потужність кола, вар;

$S = UI = I^2 Z = \sqrt{P^2 + Q^2}$  – повна потужність кола, ВА.

Відзначимо, що векторна діаграма, зображена на рисунку 3.1, побудована для випадку, коли  $X_L > X_C$ , тобто коло має індуктивний характер і напруга випереджає струм по фазі ( $\varphi > 0$ ).

У колі змінного струму з послідовним з'єднанням котушки індуктивності і конденсатора може спостерігатися явище резонансу напруг. При резонансі напруг струм і напруга кола збігаються по фазі  $\varphi = 0$ . Резонанс настає, коли  $X = X_L - X_C = 0$ , тобто коли  $X_L = X_C$ . З цієї умови знаходимо кутову частоту, при якій у колі настає резонанс,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} ;$$

індуктивний і ємнісний опори при резонансі однакові

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho ,$$

де  $\rho$  – характеристичний опір резонансного контуру.

При резонансі напруг повний опір кола має активний характер  $Z=R$ , а струм у колі досягає найбільшого значення

$$I_0 = \frac{U}{R} .$$

У момент резонансу напруги на реактивних опорах  $X_L$  і  $X_C$  можуть бути значно більші за напруги мережі

$$U_{L0} = U_{C0} = I_0 \rho ,$$

а напруга на активному опорі дорівнює напрузі мережі

$$U_R = I_0 R = U.$$

### Підготовка до роботи

1 Вивчити теоретичний матеріал з розрахунку кола змінного струму з послідовним з'єднанням приймачів, використовуючи конспект лекцій і навчальну літературу.

2 За заданим значенням струму, напруги на вході й активної потужності, споживаної колом, визначити такі параметри кола:

повний опір усього кола .....	$Z$ ;
активний опір кола .....	$R$ ;
ємнісний опір конденсатора .....	$X_C$ ;
індуктивний опір котушки .....	$X_L$ ;
повний опір котушки .....	$Z_K$ ;
коефіцієнт потужності всього кола .....	$\cos\varphi$ ;
коефіцієнт потужності котушки .....	$\cos\varphi_K$ ;
індуктивність котушки .....	$L$ ;
активну напругу кола .....	$U_a$ ;
напругу на індуктивному опорі котушки .....	$U_L$ ;
напругу на конденсаторі .....	$U_C$ ;
реактивну потужність .....	$Q$ ;
повну потужність .....	$S$ ;
резонансну частоту .....	$\omega_0$ .

3 Відповісти на такі питання:

що розуміють під активним, індуктивним, ємнісним і повним опором кола змінного струму;

які співвідношення між струмом і напругою на активному, індуктивному і ємнісному опорах;

поясніть фізичний зміст активної, реактивної і повної потужності кола змінного струму;

у якому електричному колі можливий резонанс напруг і при якій умові;

якими способами можна настроїти контур у резонанс;

як можна знайти резонанс напруг у колі;

чому напруга на реальній котушці індуктивності при резонансі не дорівнює напрузі на затискачах конденсатора?

### Робоче завдання

- 1 Скласти схему кола згідно з рисунком 3.2.
  - 2 Після перевірки викладачем підімкнути коло до джерела змінного струму частотою  $f=50$  Гц і  $U=24$  В.
  - 3 Змінюючи ємність конденсатора в межах від 0 до 140 мкФ, зробити вимірювання струму, напруги й активної потужності кола.
- Результати вимірювань занести в таблиці 3.1, 3.2 і показати викладачу.

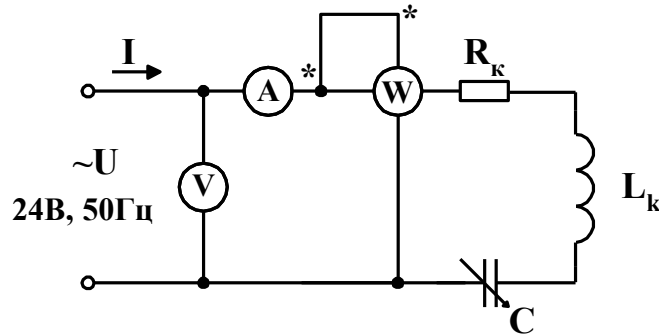


Рисунок 3.2

Таблиця 3.1

Номери дослідів	Виміряно				Обчислено						
	U, В	I, А	P, Вт	C, мкФ	Z, Ом	R <sub>к</sub> , Ом	X <sub>L</sub> , Ом	X <sub>C</sub> , Ом	Z <sub>к</sub> , Ом	cosφ –	φ, град
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
				10							
				20							
				30							
				40							
				50							
				60							
				70							
				80							
				90							
				100							
				110							
				120							
				130							
				140							

Таблиця 3.2

$C$ , мкФ	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
$U_a$														
$U_L$														
$U_C$														

### Методичні вказівки

1 При складанні схеми як її елементи використовувати батарею конденсаторів  $C_1$  стенда зі ступінчастим регулюванням ємності і підносною котушкою індуктивності. Використовувати електровимірні прилади, що є на стенді.

2 Вхідні затискачі електричної схеми підключати до затискачів ОА трифазного джерела живлення на лабораторному стенді ( $\sim 3 \times 36V$ ).

3 При виконанні роботи керуватися загальними вимогами до виконання лабораторної роботи на універсальному стенді і суворо дотримуватися правил техніки безпеки.

### Аналіз отриманих результатів

1 За експериментальними даними зробити обчислення величин, зазначених у таблицях 3.1, 3.2.

2 На аркуші міліметрового паперу побудувати в масштабі такі залежності:

$$I = f(C); U_L = f(C); U_C = f(C); U_a = f(C); \cos \varphi = f(C).$$

Пояснити характер отриманих кривих.

3 Побудувати в масштабі векторні діаграми напруг для трьох випадків:

- а) до настання резонансу;
- б) при резонансі напруг;
- в) після резонансу.

4 Побудувати трикутники напруг, опорів і потужностей для цих трьох випадків.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

### Експериментальне дослідження трифазного кола при з'єднанні приймачів енергії „зіркою”

#### Мета роботи

Дослідження симетричних і несиметричних режимів роботи трифазного кола при з'єднанні приймачів енергії „зіркою”. Особливості три- і чотирипровідного трифазного кола.

#### Пояснення до роботи

1 Чотирипровідне і трипровідне кола. На рисунку 4.1 зображено чотирипровідне коло.

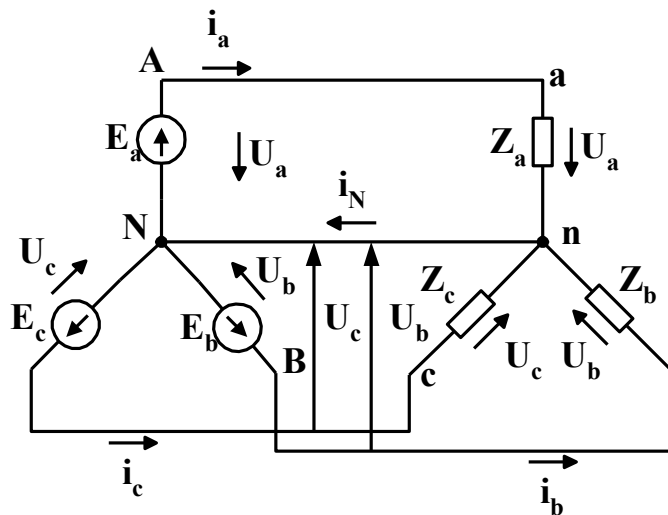


Рисунок 4.1

Якщо знехтувати опорами лінійних і нейтральних проводів, то фазні напруги приймача дорівнюють фазним напругам генератора, тобто

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C.$$

Тоді струми в кожній фазі приймача визначаються за формулами:

$$\underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{I}_b = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_b}; \quad \underline{I}_c = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_c},$$

струм у нейтральному проводі

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C.$$

Зі схеми на рисунку 4.1 видно, що при з'єднанні приймача „зіркою” фазні і лінійні струми рівні між собою. При симетричному навантаженні струми у фазах рівні і зсунуті на той самий кут по відношенню до відповідних фазних напруг. При симетричному навантаженні струм у нейтральному проводі дорівнює нулю і необхідність у цьому проводі відпадає.

Трифазне коло без нейтрального проводу буде трипровідним (рисунок 4.2).

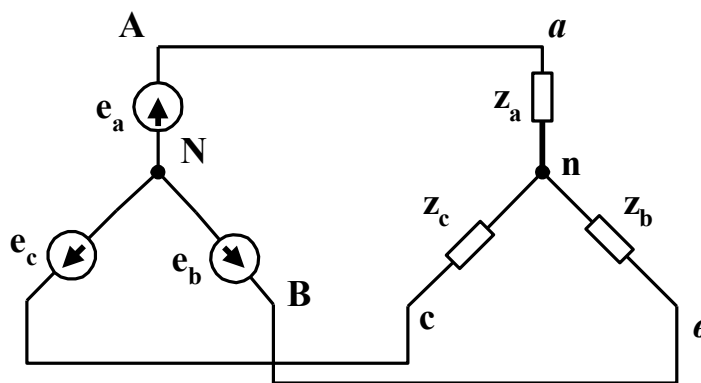


Рисунок 4.2

При з'єднанні „зіркою” симетричних (трифазних) приймачів

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \quad \text{і} \quad I_{\phi} = I_{\text{л}}.$$

Для визначення струмів при симетричному навантаженні досить визначити струм в одній з фаз, що входять у трифазне коло. У трипровідне коло при з'єднанні „зіркою” включаються тільки симетричні трифазні приймачі: електричні двигуни, електричні печі і т.п.

При побудові векторних діаграм для трифазних кіл за вихідні приймаються вектори лінійних напруг  $\underline{U}_{AB}$ ,  $\underline{U}_{BC}$ ,  $\underline{U}_{CA}$ . Система цих напруг задається джерелом електричної енергії. Вона симетрична і на векторній діаграмі утворить рівносторонній трикутник ABC. Вектори фазних напруг  $\underline{U}_A$ ,  $\underline{U}_B$ ,  $\underline{U}_C$

зображуються таким чином, щоб виконувалися векторні співвідношення:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B,$$

$$\underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C,$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A.$$

При цьому точка N розміщена в центрі трикутника ABC. Вектори фазних струмів  $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$  направляють під кутами  $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$  до векторів відповідних фазних напруг.

При несиметричному навантаженні (рисунки 4.3, а і 4.3, б), завдяки нейтральному проводу, напруги на кожній з фаз приймача будуть незмінними і рівними відповідним фазним напругам джерела живлення як за величиною, так і за фазою.

При цьому струми у фазах будуть різними і через нейтральний провід буде протікати струм  $\underline{I}_N \neq 0$ . Отже, нейтральний провід забезпечує симетрію фазних напруг приймача при несиметричних приймачах

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C.$$

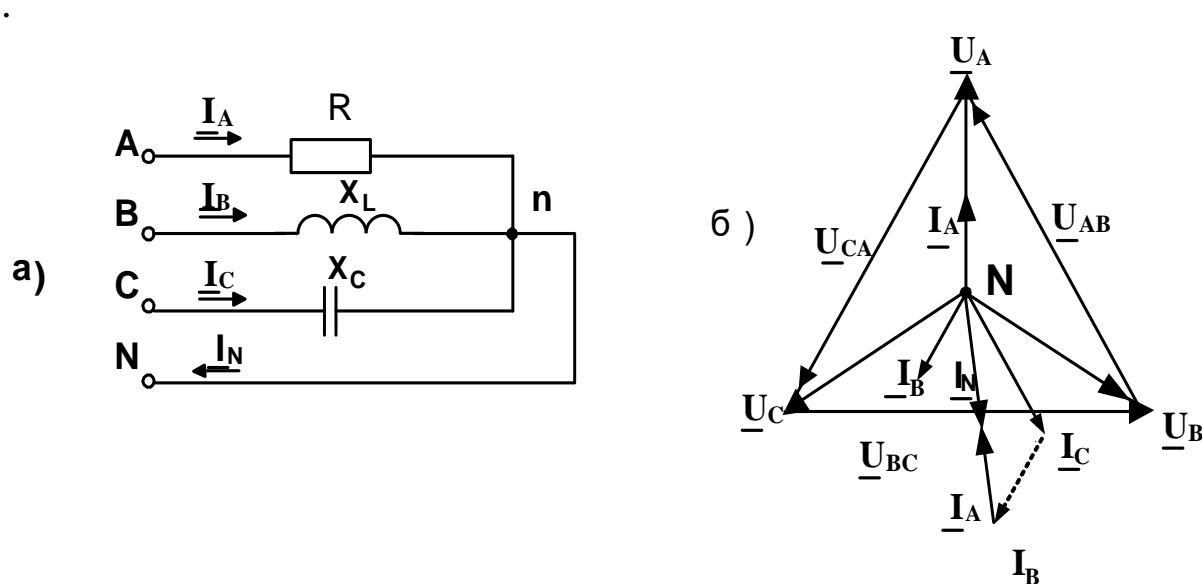


Рисунок 4.3 – Схема ввімкнення несиметричного приймача (а), векторна діаграма напруг і струмів (б)

Тому в чотирипровідну мережу включають однофазні несиметричні приймачі (наприклад лампи розжарювання) і



режим роботи кожної фази приймача, що перебуває під незмінною фазною напругою джерела живлення, не буде залежати від режиму роботи інших фаз. Очевидно, що струми в кожній з фаз можна визначити за формулами, що раніше наводилися, наприклад,  $\underline{I}_A = \underline{U}_A / \underline{Z}_A$ .

У випадку обриву нейтрального проводу і при несиметричному навантаженні між нейтральними точками генератора і приймача виникає напруга зсуву нейтралі  $U_{nN}$ , що викликає перекид фазних напруг на приймачах. Тому в нейтральний провід не вмикають ні плавкі запобіжники, ні рубильники, ні вимикачі.

Для визначення  $U_{nN}$ , можна користуватися формулою вузлової напруги

$$\underline{U}_{nN} = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C},$$

де  $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$  – комплексні провідності фаз навантаження.

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A}, \quad \underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B}, \quad \underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C}.$$

Знаючи  $U_{nN}$ , можна визначити фазні напруги приймачів і розрахувати струми, які протікають через них.

Фазні напруги і струми приймачів будуть відповідно такими:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN},$$

$$\underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_A} = \underline{U}_a \underline{Y}_A; \quad \underline{I}_b = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_B} = \underline{U}_b \underline{Y}_B; \quad \underline{I}_c = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_C} = \underline{U}_c \underline{Y}_C.$$

За відомими  $\underline{U}_a, \underline{U}_b, \underline{U}_c, \underline{U}_{nN}$  і  $\underline{I}_a, \underline{I}_b, \underline{I}_c$  можна побудувати векторну діаграму напруг і струмів для цього випадку (рисунок 4.4).

Векторна діаграма побудована у випадку активного несиметричного навантаження.

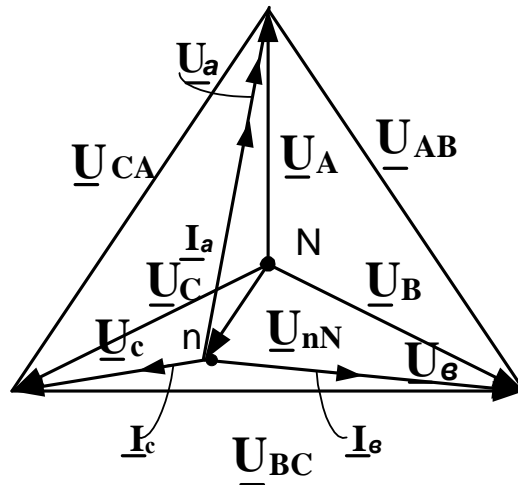


Рисунок 4.4 – Векторна діаграма при зсуві нейтралі

Істотна несиметрія струмів у чотирипровідному трифазному колі виникає при обриві одного з лінійних проводів при перегорянні запобіжника в ньому. Наприклад, при обриві лінійного проводу фази А (рисунок 4.5, а) струм  $I_A = 0$  (лампи, увімкнені в цю фазу, гаснуть). Струм у нейтральному проводі для цього випадку  $I_N = I_B + I_C$ . На рисунку 4.5, б наведена векторна діаграма для цього режиму роботи трифазного кола, коли  $I_B = I_C (R_B = R_C)$ .

### Підготовка до роботи

1 Вивчити теоретичний матеріал про трифазне коло при з'єднанні приймачів енергії за схемою "зірка", використовуючи конспект лекцій, відповідні розділи підручників (див. літературу).

2 Відповісти на питання:

які електричні кола називаються трифазними;

як з'єднати фази струмоприймачів за схемою "зірка";

які напруги називаються фазними і які лінійними;

як вони вимірюються;

які співвідношення між лінійними і фазними струмами і напругами для симетричної трифазної системи при з'єднанні навантаження за схемою "зірка";

пояснити, яке навантаження фаз вважається рівномірним, однорідним;

призначення нейтрального проводу.

як визначається графічно й аналітично величина струму в нейтральному проводі?

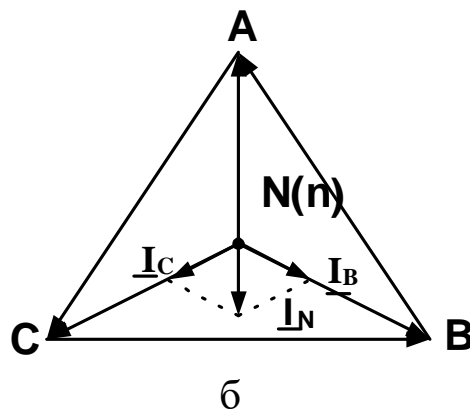
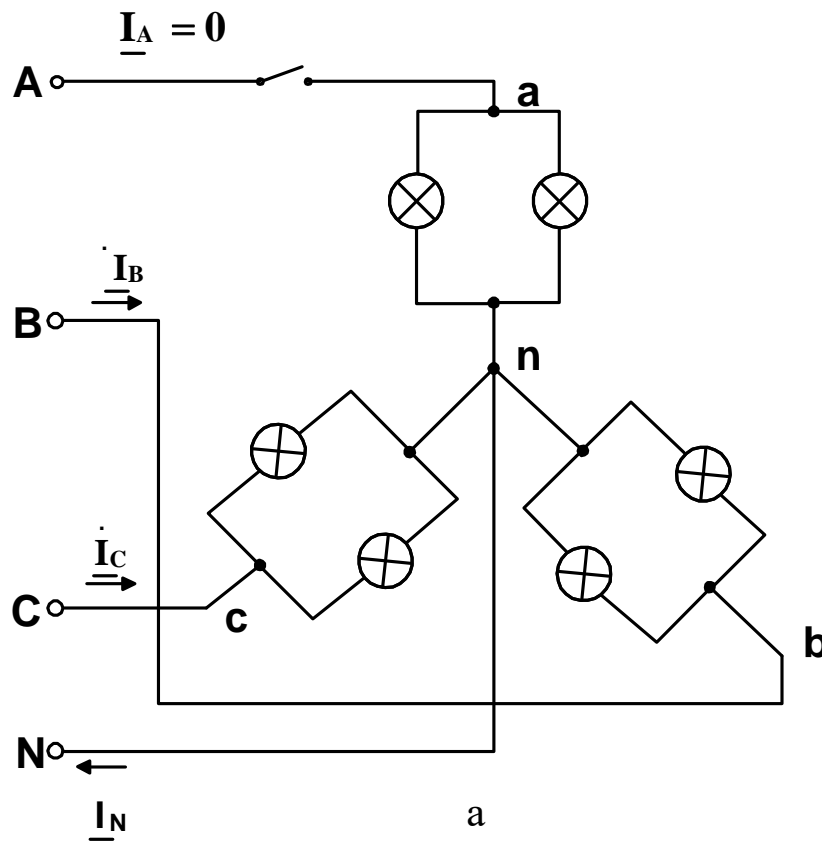


Рисунок 4.5 – Схема трифазного навантаження (а); векторна діаграма при аварійному режимі (б)

### Робоче завдання

1 Скласти електричну схему, як показано на рисунку 4.6, для дослідження трифазного кола при з'єднанні приймачів енергії за схемою "зірка".

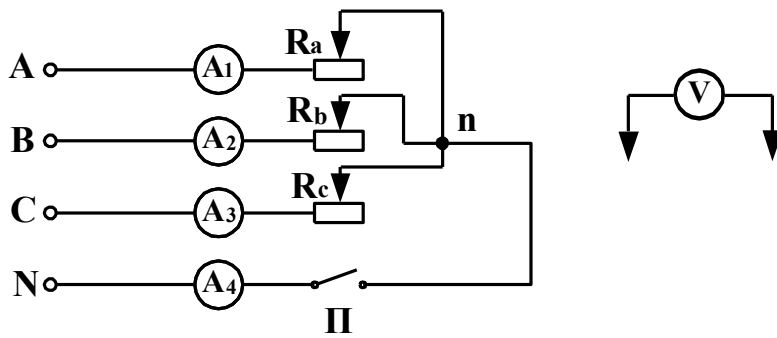


Рисунок 4.6

2 Щоб уникнути короткого замикання в колі, необхідно переконатися, що навантажувальні реостати  $R_a, R_b, R_c$  перебувають у положенні "Введено".

3 Вимірювальні прилади (вольтметри й амперметри) варто вибрати, виходячи із заданого значення напруги мережі ( $\sim 3 \times 36 \text{ В}$ ) і зазначених на навантажувальних реостатах їхніх номінальних даних.

4 Перевірити правильність складання електричної схеми і подати викладачу для перевірки.

5 З дозволу викладача подати напругу на стенд і провести досліди:

а) симетричного навантаження фаз з нейтральним проводом і без нього;

б) несиметричного навантаження фаз з нейтральним проводом і без нього.

6 При всіх перерахованих дослідах виміряти струми у фазах і нульовому проводі, а також фазні і лінійні напруги на навантаженнях і напругу зсуву нейтралі.

7 Дані вимірювань занести в таблицю 4.1 і показати викладачу.

### Методичні вказівки до виконання роботи

1 При складанні схеми рисунка 4.6 необхідно використовувати джерело електричної енергії трифазної напруги  $\sim 3 \times 36 \text{ В}$ , затискачі А, В, С, N (на лабораторному стенді).

2 Вмикання і вимикання нейтрального проводу виконується за допомогою вимикача П (рисунок 4.6).

3 Навантажувальні реостати, використані в електричній схемі (рисунок 4.6), мають номінальні дані  $R = 100\Omega, 2A$  або  $R = 200\Omega, 1A$ .

4 Після закінчення роботи зняти напругу зі стенда. Коло не розбирати. Проаналізувати результати вимірювань і показати викладачу.

5 Після узгодження з викладачем отриманих результатів розібрати електричне коло й упорядкувати робоче місце.

### **Аналіз отриманих результатів і висновки**

1 Визначити розрахунком опори фаз  $R_a, R_b$ , і  $R_c$ . Дані розрахунку занести в таблицю 4.1 у розділ "Обчислене".

2 Побудувати векторну діаграму для випадку несиметричного активного навантаження фаз без нейтрального проводу, використовуючи дані вимірювань таблиці 4.1. При побудові векторної діаграми для випадку несиметричного навантаження фаз без нейтрального проводу положення нейтральної точки приймача (точка  $n$ ) визначається за допомогою циркуля з розхілами, рівними в масштабі фазним напругам приймачів енергії, шляхом зарубок з вершин рівностороннього трикутника  $ABC$ , утвореного векторами лінійних напруг  $\underline{U}_{AB}, \underline{U}_{BC}, \underline{U}_{CA}$ .

3 За векторною діаграмою визначити графічно напругу зсуву нейтралі  $\underline{U}_{Nn}$  і порівняти її з експериментальним значенням (показання вольтметра).

4 Використовуючи дані вимірювань таблиці 4.1, побудувати в масштабі сполучені векторні діаграми струмів і напруг для всіх режимів і визначити за ними графічно струм у нейтральному проводі.



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

### Дослідження схем випрямлення

#### Мета роботи

- 1 Вивчення схем випрямлячів.
- 2 Вивчення фізичних явищ в однонапівперіодному і двонапівперіодному випрямлячах.

#### Підготовка до роботи

1 Користуючись літературою і конспектом, вивчити фізичні явища в однонапівперіодному і двонапівперіодному випрямлячах; схеми випрямлячів і засоби розрахунку параметрів випрямлячів і фільтрів за заданим коефіцієнтом пульсації на вході споживача.

2 Навести принципові електричні схеми однонапівперіодного і двонапівперіодного випрямлячів однофазного змінного струму.

3 Відповісти письмово на такі питання:

описати переваги і недоліки напівпровідникових вентилів, указати, за якими основними параметрами вони вибираються для схем випрямлячів;

для чого застосовуються згладжуючі фільтри на виході випрямлячів?

навести діаграми зміни напруг від часу при навантаженні випрямляча (однофазного двонапівперіодного) без фільтра і з ємнісним згладжуючим фільтром.

#### Завдання до виконання роботи

1 Зібрати схему для дослідження однонапівперіодного випрямляча (рисунок 5.1).

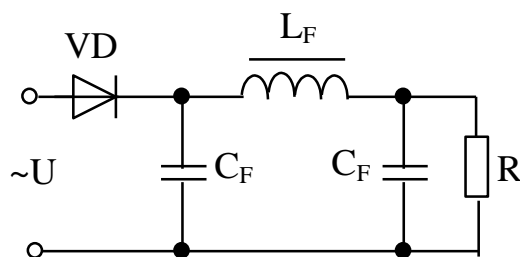


Рисунок 5.1

2 Дослідити форми напруг на навантажувальному резисторі:  
 а) при відсутності фільтра;  
 б) ємнісному фільтрі;  
 в) П-подібному індуктивно-ємнісному фільтрі;  
 Осцилограми напруг накреслити у масштабі.

3 Виміряти амплітуду основної гармоніки  $U_{mo}$  і середнє значення випрямленої напруги  $U_0$ . Отримані значення струмів і напруги занести в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1

Схеми випрямлення	$I_0$ , мА	$U_0$ , В	$U_{mo}$ , В	$K_n$
Однонапівперіодна: а) при відсутності фільтра; б) ємнісному фільтрі; в) П-подібному індуктивно-ємнісному фільтрі				
Мостова: а) при відсутності фільтра; б) ємнісному фільтрі; в) П-подібному індуктивно-ємнісному фільтрі				

4 Зібрати мостову схему (рисунок 5.2) для дослідження двонапівперіодного випрямляча однофазного змінного струму.

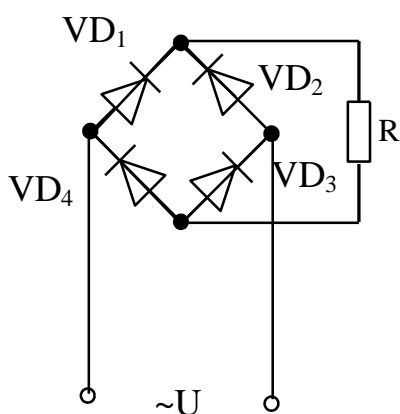


Рисунок 5.2

5. Виміряти амплітуду основної гармоніки  $U_{mo}$  і середнє значення випрямленої напруги  $U_0$ . Отримані значення струмів і напруги занести в таблицю 5.1.



6. Дослідити(з допомогою осцилографа) форми напруг на навантажувальному резисторі:

- а) при відсутності фільтра;
- б) ємнісному фільтрі;
- в) П-подібному індуктивно-ємнісному фільтрі.

Осцилограми напруг накреслити у масштабі.

### **Зміст звіту**

1 Принципові електричні схеми випрямлячів, що досліджуються.

2 Осцилограми напруг для однонапівперіодної і двонапівперіодної схем випрямлення з фільтрами і без фільтрів.

3 Дати порівняльну оцінку однонапівперіодної і двонапівперіодної схем випрямлення.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6**

### **Дослідження біполярного транзистора**

#### **Мета роботи**

- 1 Вивчення схем увімкнення транзистора.
- 2 Вивчення засобу зняття статичних характеристик (вхідних і вихідних) і визначення  $h$ - параметрів транзистора.

#### **Підготовка до роботи**

1 Вивчити теорію роботи біполярного транзистора, схем увімкнення, засобів зняття його статистичних характеристик і визначення по них  $h$ -параметрів.

2 Навести принципову електричну схему для зняття статичних (вхідних і вихідних) характеристик транзистора при увімкненні його за схемою із загальною базою і загальним емітером.

3 Визначити  $h$ -параметри за статичними характеристиками транзистора для номінального режиму при включенні його за схемою із загальним емітером і загальною базою.

Відповісти письмово на такі питання:

як утворюється напівпровідник, що має домішкову електропровідність  $n$  і  $p$  типу;

які зовнішні чинники впливають на зміну електропровідності напівпровідників;

пояснити будову і фізичні принципи роботи транзисторів типу р-п-р і п-р-п;

пояснити принцип дії польових транзисторів.

### Завдання до виконання роботи

1 Зібрати схему для зняття статичних характеристик транзистора в схемі із загальною базою (рисунок 6.1).

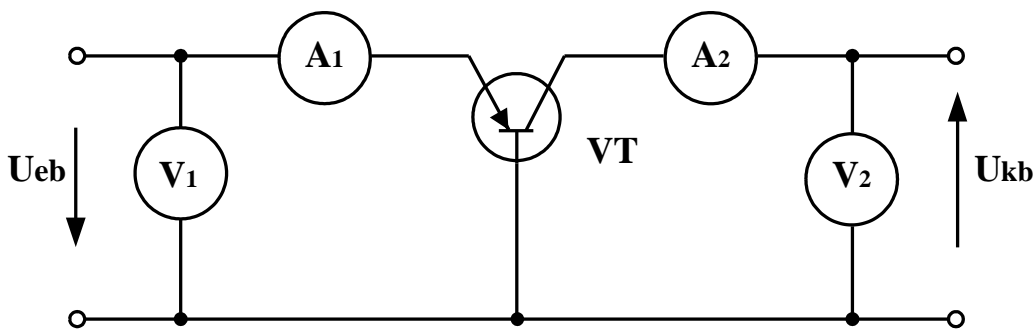


Рисунок 6.1

2 Зняти вхідні характеристики транзистора в схемі із загальною базою  $I_e = f(U_{eб})$  для двох значень колекторної напруги. Дані вимірів занести в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1

$U_{кб} =$	В	$U_{eб}, В$							
		$I_e, мА$							
$U_{кб} =$	В	$U_{eб}, В$							
		$I_e, мА$							

3 Зняти вихідні характеристики транзистора в схемі із загальною базою  $I_k = f(U_{кe})$  для окремих значень струму емітера. Дані вимірів занести в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2

$I_{e1} =$	А	$U_{кб}, В$							
		$I_k, мА$							
$I_{e2} =$	А	$U_{кб}, В$							
		$I_k, мА$							
$I_{e3} =$	А	$U_{кб}, В$							
		$I_k, мА$							

4 Зібрати схему для зняття статичних характеристик транзистора в схемі із загальним емітером (рисунок 6.2).

5 Зняти входні характеристики транзистора в схемі із загальним емітером  $I_b=f(U_{бе})$  для двох значень напруги на колекторі. Дані вимірів занести в таблицю 6.3.

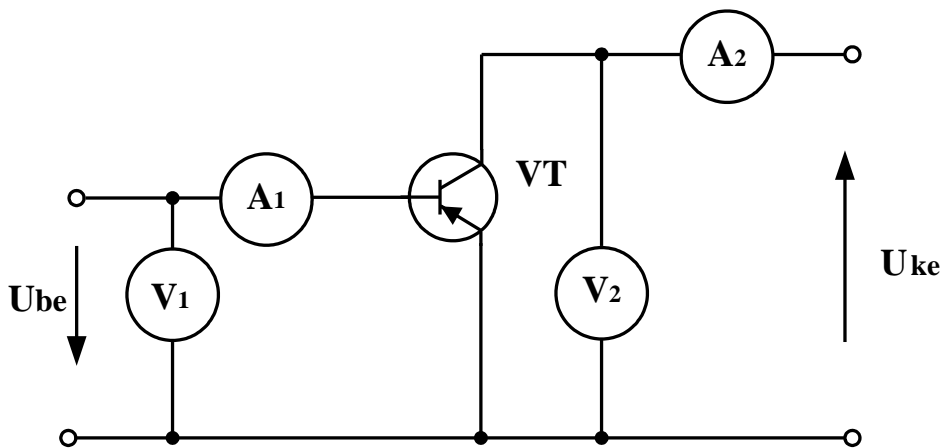


Рисунок 6.2

Таблиця 6.3

$U_{ке} =$	В	$U_{бе}, В$							
		$I_b, мА$							
$U_{ке} =$	В	$U_{бе}, В$							
		$I_b, мА$							

6 Зняти вихідні характеристики транзистора  $I_k=f(U_{ке})$  в схемі із загальним емітером для трьох значень струму бази і занести в таблицю 6.4.

Таблиця 6.4

$I_{61} =$ мА	$U_{ке}, В$							
	$I_k, мА$							
$I_{62} =$ мА	$U_{ке}, В$							
	$I_k, мА$							
$I_{63} =$ мА	$U_{ке}, В$							
	$I_k, мА$							

### Зміст звіту

- 1 Принципові електричні схеми дослідження характеристик транзистора.
- 2 Статичні характеристики транзистора і його  $h$  - параметри.
- 3 Побудовані за даними лабораторних досліджень статичні характеристики транзистора і розрахунок його  $h$  – параметрів.
- 4 Аналіз довідкових даних і лабораторних результатів досліджень.
- 5 Висновки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Касаткин, А.С. Электротехника [Текст]/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высш. шк., 2000.
- 2 Электротехника [Текст]/ под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1985.
- 3 Паначевний, Б.І. Загальна електротехніка: теорія і практикум [Текст] / Б.І. Паначевний, Ю.Ф. Свєргун. – К.: Каравела, 2004.
- 4 Новиков, Ю.Н. Электротехника и электроника [Текст] / Ю.Н. Новиков. – СПб.: Питер, 2005.
- 5 Коновалов, Е.В. Студентська навчальна звітність [Текст]/ Е.В. Коновалов, Л.М. Козар. – Харків: УкрДАЗТ, 2005.



