

**Український державний університет залізничного
транспорту**

Кафедра електротехніки та електричних машин

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»
для студентів напряму підготовки 6.070105
«РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ»
всіх форм навчання**

Харків 2015

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки та електричних машин 2 березня 2015 р., протокол № 8.

Методичні вказівки призначено для студентів напряму підготовки 6.070105 «Рухомий склад залізниць» усіх форм навчання спеціальностей «Вагони та вагонне господарство», «Локомотиви та локомотивне господарство» 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.....	15
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. Експериментальне дослідження трифазного кола при з'єднанні приймачів енергії „зіркою”.....	21
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. Повірка електровимірювальних приладів.....	30
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. Розширення меж вимірювання приладів за допомогою масштабних перетворювачів.....	35
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. Вимірювання малих, великих і середніх опорів.....	44
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	50

ВКАЗІВКИ ДО ПІДГОТОВКИ І ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для роботи в лабораторії групу студентів ділять на бригади. Кожна бригада має 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 навчальною літературою, виконання необхідних розрахунків, а також акуратного виконання таблиць спостережень, у які студент повинен записувати усі дані, отримані під час проведення дослідів. Студенти, що виконали усі 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 і оформлення звітів студенти виконують у формі домашньої роботи.

Для забезпечення безпеки роботи у лабораторії і попередження псування 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. Студенти, які пропустили зайняття з поважних причин, виконують роботи в спеціально заплановані кафедрою додаткові години;

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

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

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

б) перед початком роботи стрілки електровимірювальних приладів мають бути встановлені на нуль, а прилади з декількома межами, крім того, мають 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 вимагається змінити схему з'єднань, то це потрібно виконувати при знятій напрузі, а перед ввімкненням 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 подає викладачу перед наступною роботою.

ПОРЯДОК СКЛАДАННЯ ЗВІТІВ

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

2 Звіти виконують чорнилами чітко і акуратно, схеми і графіки – з використанням креслярських інструментів.

3 Діаграми виконують у масштабі.

4 У звітах усі буквені позначення і умовні графічні позначення у схемах мають відповідати [5].

5 Звіти мають вміщувати:

а) прізвище та ініціали студента, який 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.

б Звіт приймається до захисту за 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 I і II 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 трапляються 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 тощо. 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 в усіх 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 II 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 I 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. 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 I законом Кірхгофа складають $n-1$ рівнянь; в) за II законом Кірхгофа складають $m-(n-1)$ рівнянь, для чого вибирають $m-(n-1)$ взаємно незалежних контурів і відповідно позначають їх на схемі.

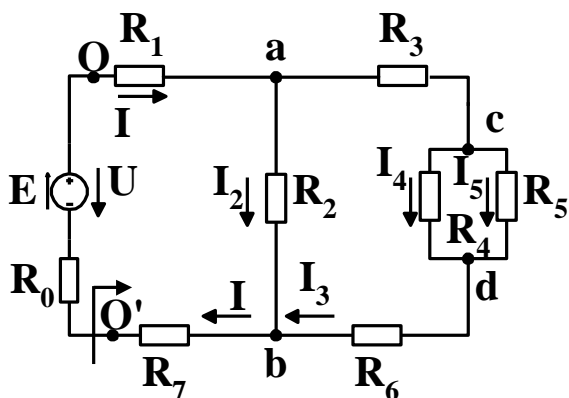


Рисунок 1.1

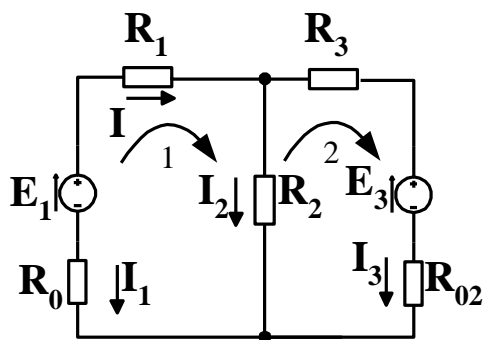


Рисунок 1.2

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 має 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 П у 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.

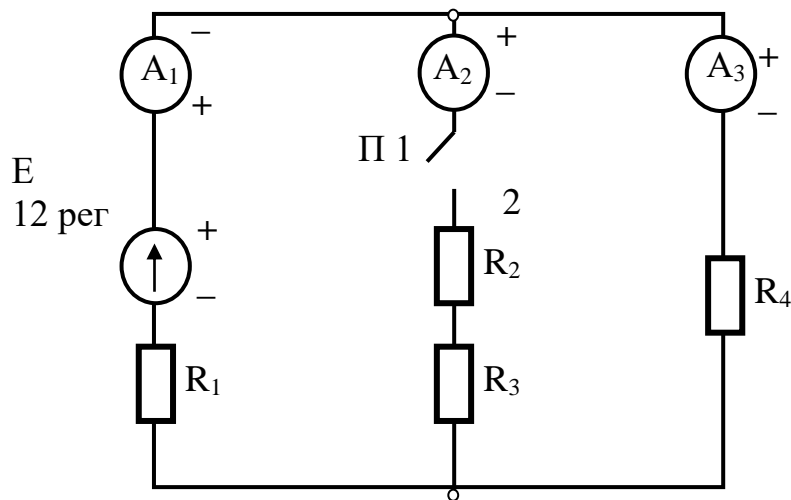


Рисунок 1.3

3 Відповісти на такі питання:

Яке з'єднання приймачів енергії називається послідовним, паралельним і мішаним?

Подати на графіку зовнішні вольт-амперні характеристики реальних і 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 “Ввімкнуто”. Результати вимірювань і розрахунків занести в таблицю 1.2.

Таблиця 1.1

Положення перемикача	Спосіб визначення величини	E	U₁	U₄	I	R₁	R₄	R_{екв}	P₁	P₄	P_{сп}	P_E
		В	В	В	А	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	Вт	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	E	U₁	U₂	U₃	U₄	I₁	I₂	I₃
		В	В	В	В	В	А	А	А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ввімкнено	Розрахунком								
	Вимірюванням								

Продовження таблиці 1.2

R₁	R₂	R₃	R₄	R_{екв}	P₁	P₂	P₃	P₄	P_E	P_{пр}
Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт
11	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20

Методичні вказівки

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

2 При складанні електричного кола необхідно використовувати резистори **R₁, R₂, R₃, R₄** лабораторного стенда. За джерело ЕРС **E** використовувати затискачі (+ 12 - рег), а також відповідні електровимірювальні прилади універсального стенда.

Аналіз отриманих результатів і висновки

- 1 Порівняти результати розрахунку з дослідними даними.
- 2 Перевірити, наскільки дані, отримані в результаті проведення дослідів, співпадають із законами Кірхгофа.
- 3 Сформулювати загальні висновки щодо 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 залежно 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 $R_{\text{л}}$, на якому при підключенні до виходу лінії деякого навантаження $R_{\text{н}}$ відбувається втрата напруги ΔU , тобто до навантаження $R_{\text{н}}$ підводиться напруга $U_2 = U_1 - \Delta U$ (рисунок 2.1).

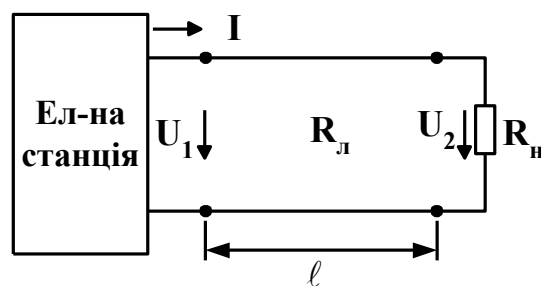


Рисунок 2.1

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 ΔU залежать від величини навантаження $R_{\text{н}}$.

У режимі холостого ходу, коли лінія розімкнена (навантаження немає 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 призвести 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, губиться 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, ввімкнутий на кінці лінії, буде одержувати меншу потужність $P_2 = P_1 - \Delta P$. При збільшенні струму I зростають втрати потужності в проводах лінії ΔP і зменшується ККД лінії:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta U}{U_1} = \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{л}}},$$

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..... ΔP ;
втрати напруги у двопровідній лінії..... ΔU ;
опори проводів лінії..... R_l ;
опори навантаження..... R_n ;
потужності, споживані навантаженням..... P_2 ;
ККД електричної лінії..... η_l ;
ККД джерела електричної енергії..... η_d ;
ККД електричного кола..... η_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.

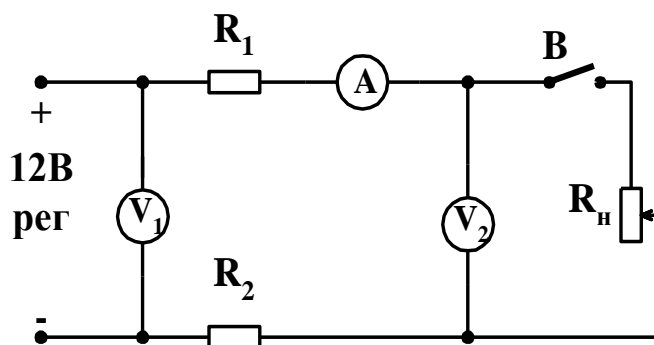


Рисунок 2.2

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 даного експерименту робити швидко і по закінченні схему від джерела відімкнути.

Методичні вказівки

1 При складанні електричного кола (рисунок 2.2) необхідно використовувати джерело (+ 12 рег), вимикач B , опори R_1 і R_2 – як проводи лінії, а також відповідні електровимірювальні прилади універсального стенда.

2 Навантажувальний реостат, який регулюється, $R_H = 30$ 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	U_2	I	ΔU	R_L	R_H	P_1	P_2	ΔP	η
	V	V	A	V	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	%
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:

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

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

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

де \mathbf{R} – активний опір кола;

$\mathbf{X} = \mathbf{X}_L - \mathbf{X}_C$ – реактивний опір кола;

$\mathbf{X}_L = \omega \mathbf{L}$ – індуктивний опір котушки;

$\mathbf{X}_C = \frac{1}{\omega \mathbf{C}}$ – ємнісний опір конденсатора.

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

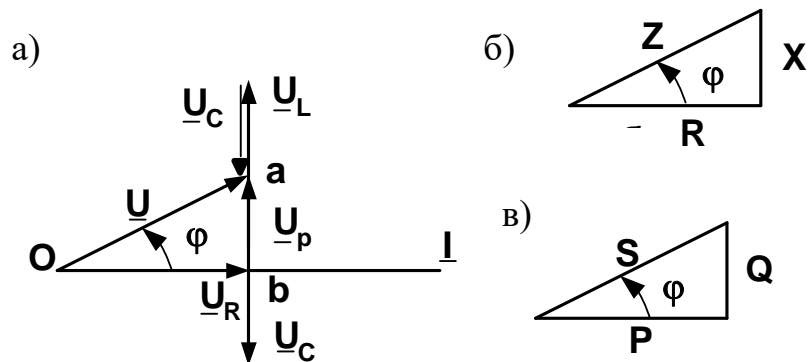


Рисунок 3.1

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

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

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

$\mathbf{U}_R = \mathbf{I}\mathbf{R}$ – діюча напруга на активному опорі, що збігається по фазі зі струмом;

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

$U_C = I X_C$ – 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 $U_a = I R$ – 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

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

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

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

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

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

Зазначимо, 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 опір при резонансі однакові:

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

де ρ – 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 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.....	ω_0 .

3 Відповісти на 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 за якої умови?

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.

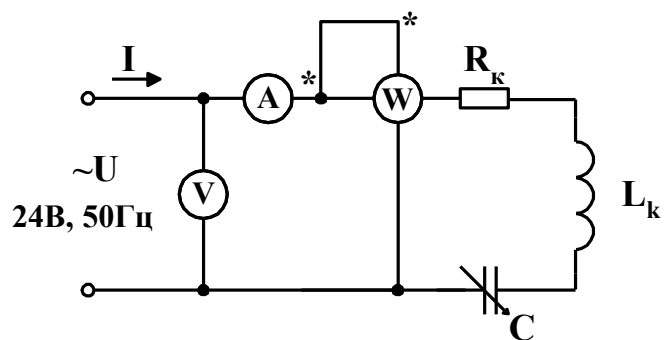


Рисунок 3.2

Таблиця 3.1

Номери дослідів	Виміряно				Обчислено						
	U, В	I, А	P, Вт	C, мкф	Z, Ом	R _к , Ом	X _L , Ом	X _C , Ом	Z _к , 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 ($\sim 3 \times 36 \text{ В}$).

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.

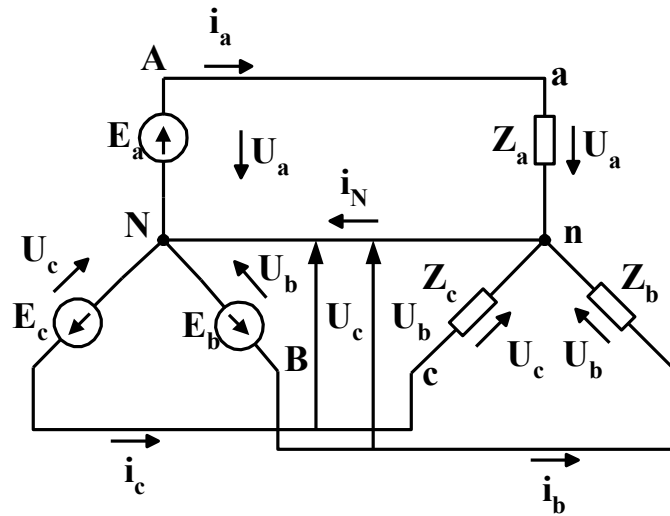


Рисунок 4.1

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).

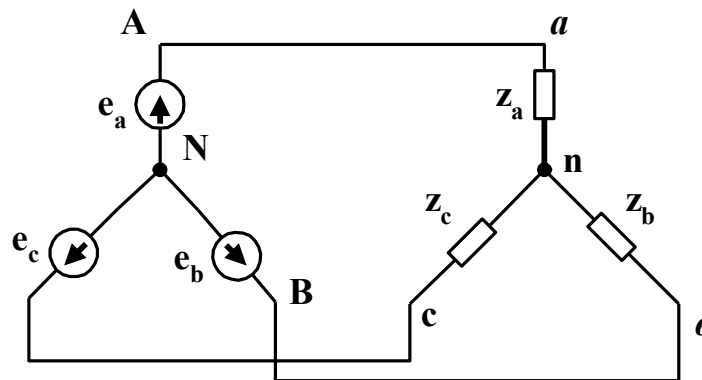


Рисунок 4.2

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 тощо.

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:

$$\begin{aligned} \underline{U}_{AB} &= \underline{U}_A - \underline{U}_B, \\ \underline{U}_{BC} &= \underline{U}_B - \underline{U}_C, \\ \underline{U}_{CA} &= \underline{U}_C - \underline{U}_A. \end{aligned}$$

При цьому точка N знаходиться в центрі трикутника ABC. Вектори фазних струмів \underline{I}_A , \underline{I}_B , \underline{I}_C направляють під кутами ϕ_a, ϕ_b, ϕ_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

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

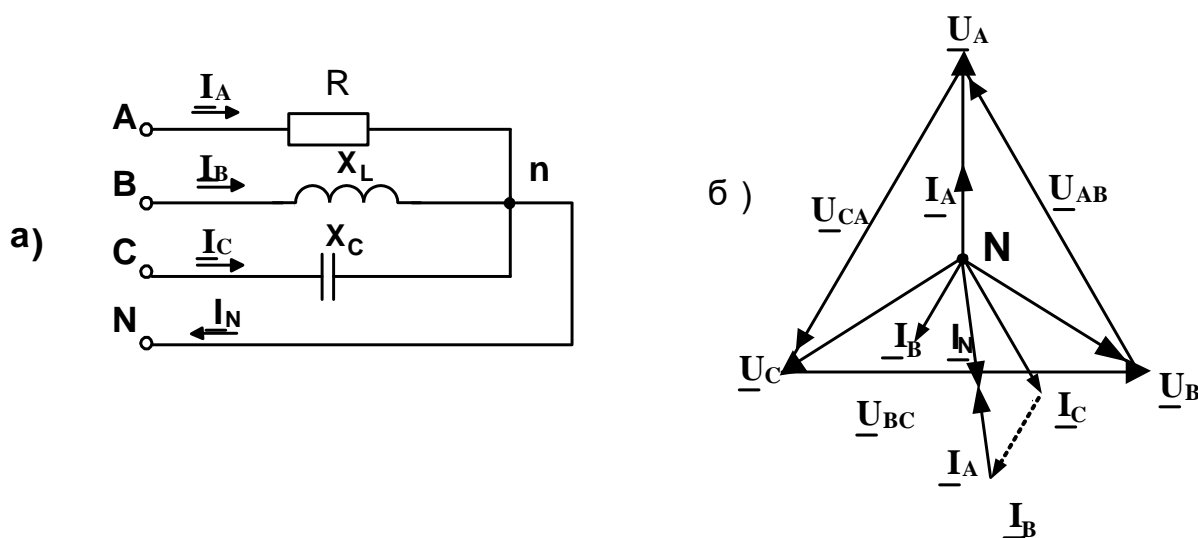


Рисунок 4.3 – Схема ввімкнення несиметричного приймача (а), векторна діаграма напруг і струмів (б)

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 \dot{U}'_{nN} , що викликає перекіс фазних напруг на приймачах. Тому в

нейтральний провід не вмикають ні плавкі запобіжники, ні рубильники, ні вимикачі.

Для визначення \underline{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 \underline{U}_{nN} , можна визначити фазні напруги приймачів і розрахувати струми, які протікають через них.

Фазні напруги і струми приймачів будуть відповідно такими:

$$\begin{aligned} \underline{U}_a &= \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}; & \underline{U}_b &= \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}; & \underline{U}_c &= \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}, \\ \underline{I}_a &= \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_A} = \underline{U}_a \underline{Y}_A; & \underline{I}_b &= \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_B} = \underline{U}_b \underline{Y}_B; & \underline{I}_c &= \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_C} = \underline{U}_c \underline{Y}_C. \end{aligned}$$

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).

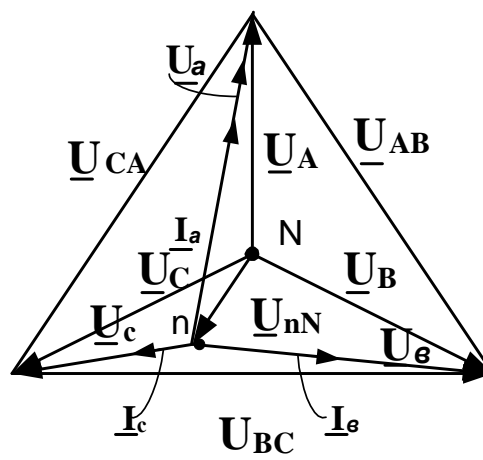


Рисунок 4.4 – Векторна діаграма при зсуві нейтралі

Векторна діаграма побудована у випадку активного несиметричного навантаження.

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 $\underline{I}_A = 0$ (лампи, включені в цю фазу, гаснуть). Струм у нейтральному проводі для цього випадку $\underline{I}_N = \underline{I}_B + \underline{I}_C$. На рисунку 4.5, б наведена векторна діаграма для цього режиму роботи трифазного кола, коли $\underline{I}_B = \underline{I}_C$ ($R_B = R_C$).

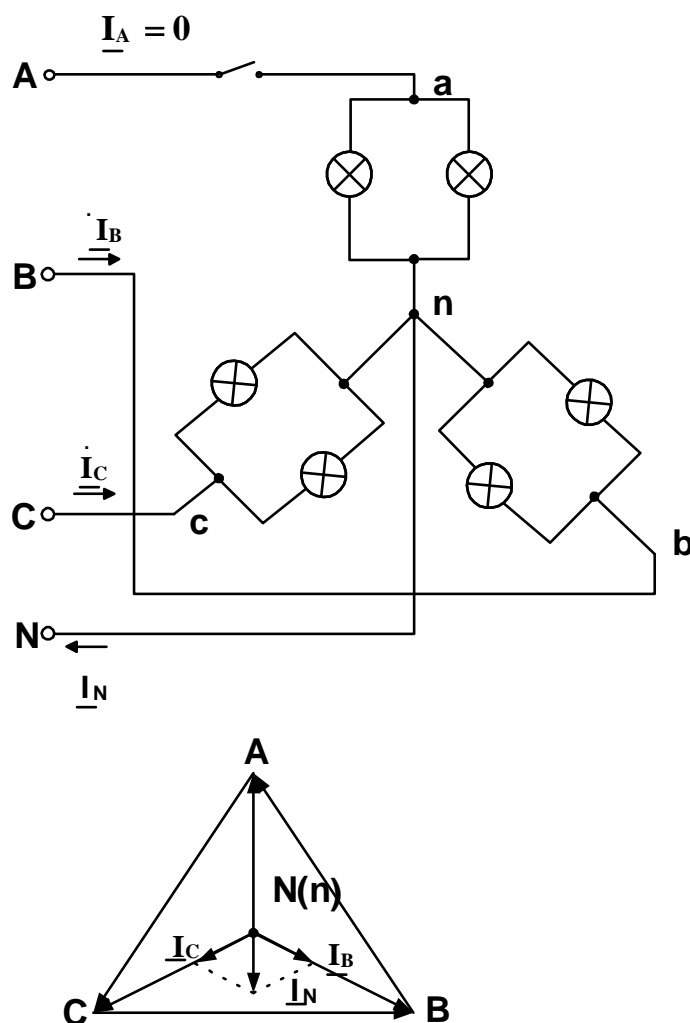


Рисунок 4.5 – Схема трифазного навантаження (а); векторна діаграма при аварійному режимі (б)

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. список літератури).

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?

Робоче завдання

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

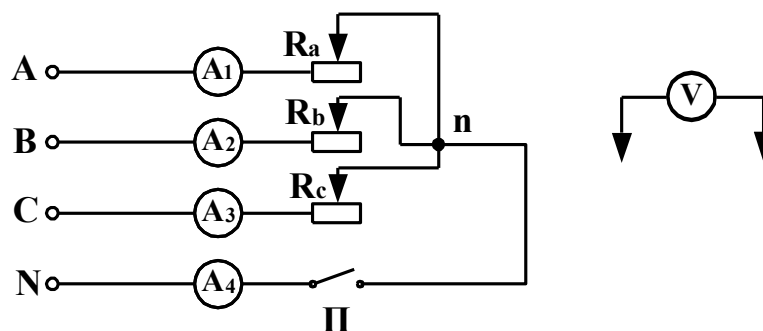


Рисунок 4.6

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) слід 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 перелічених 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

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

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

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

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 і 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", дивитись також додаток А.

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 вольметра).

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

Повірка електровимірювальних приладів

Мета роботи: ознайомитися з методами перевірки електровимірювальних приладів, побудованими на зніманні показань приладу, що перевіряється, і зразкового.

Пояснення до роботи

Метрологічний нагляд за технічним станом засобів вимірювань у нашій державі здійснюється Державною метрологічною службою, яка керується Держстандартом України. Під керівництвом Державної метрологічної служби діють органи відомчих метрологічних служб, утворених міністерствами і відомствами для забезпечення метрологічного нагляду у своїй галузі народного господарства.

Повірка засобів вимірювань – це визначення державним чи відомчим метрологічним органом похибки засобів вимірювань і встановлення їх придатності до використання. Повірка здійснюється періодично відповідно до державних стандартів чи

інструкцій і метрологічних вказівок Держстандарту. Позитивні результати повірки засвідчуються: а) накладанням на засоби вимірювання перевірного клейма встановленого зразка; б) видачею посвідчення про повірку.

Засоби вимірювань, визнані за результатами повірки не придатними до використання, до подальшої експлуатації не допускаються, про що робиться відповідний запис у паспорті чи свідоцтві приладу.

Повірка вимірювальних приладів у цій лабораторній роботі виконується методом звіряння показань приладу, що перевіряється, і зразкового при вимірюванні однієї і тієї ж величини.

При виконанні робочих повірок будемо вважати, що прилад використовується як зразковий, якщо межі його припустимої похибки менші, ніж у приладі, що перевіряється, в три чи більше число разів на всьому діапазоні вимірювання досліджуваної величини. Якщо верхня межа вимірювання зразкового приладу дорівнює верхній межі вимірювання приладу, що перевіряється, тоді клас точності приладу, що перевіряється, і зразкового мають відповідати даним таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Клас точності приладу, що перевіряється	0,5	1,0	1,5 + 2,5	4,0
Клас точності зразкового приладу	0,1	0,2	0,5	1,0

Прилади класів точності 0,05; 0,1; 0,2 перевіряються за допомогою високоомних компенсаторів (потенціометрів), які забезпечують межі похибок вимірювання, що вимагаються. Електричні схеми для повірки приладів мають забезпечувати однакові значення вимірюваної величини, підведеної до приладу, що перевіряється, і зразкового. Тому під час повірки амперметри вмикаються в коло послідовно, вольтметри – паралельно.

Схема повірки й апаратура, що застосовується, мають забезпечити:

1) можливість плавного регулювання показників приладів на всій робочій частині шкали;

2) зручність роботи.

Ця лабораторна робота передбачає виконання навчальної повірки амперметра і вольтметра.

Підготовка до роботи

1 Вивчити теоретичний матеріал, що належить до видів похибок вимірювань, до поняття класу точності і його зв'язку з межами допустимої похибки.

2 Відповісти письмово на такі запитання:

а) які умови експлуатації приладу називаються нормальними?

б) за якою ознакою підбираються зразкові прилади?

в) яка похибка називається основною?

г) за якою похибкою визначається клас точності приладу?

Робоче завдання з повірки амперметра

1 Скласти схему для повірки амперметра, наведену на рисунку 5.1.

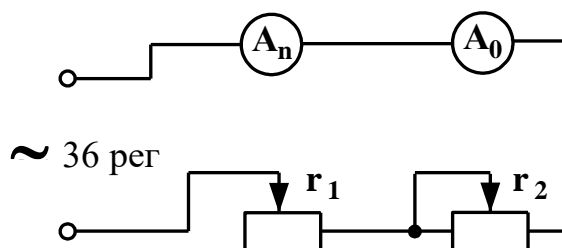


Рисунок 5.1

Перед початком повірки необхідно:

а) записати типи, класи точності зразкового приладу і того, що перевіряється, а також межі вимірювань, що використовуються;

б) встановити прилади в нормальне для них положення;

в) встановити коректором стрілки приладів на нуль.

2 Подати напругу на схему і переконатися у можливості плавного регулювання показників у межах всієї шкали приладу, що перевіряється.

3 Дати приладу, що перевіряється, відхил і залишити прилади прогрітися протягом 5 – 10 хв. Потім вимкнути.

4 Упевнившись, що стрілка обох приладів при ввімкненому живленні займає нульове положення, зазначити це у першому рядку таблиці 5.2.

5 Увімкнувши живлення, плавним переміщенням рухомих контактів навантажувальних реостатів почати змінювати струми так, щоб стрілка амперметра, що перевіряється, послідовно встановлювалась над кожною оцифрованою поділкою шкали, при цьому записувати показання обох амперметрів. Регулювання струмів слід вести так, щоб показання амперметра, що перевіряється, спочатку збільшувалися від нуля до максимуму (хід угору), а потім плавно зменшувалися до нуля (хід вниз).

6 Показати дані спостережень викладачу, розібрати схему.

Таблиця 5.2

Номер спостереження	Показання амперметра, що перевіряється A_1		Показання зразкового амперметра A_2				Варіації V	Поправка Δ_1	Похибки		Примітка
			угору по шкалі		вниз по шкалі				Абсолютна Δ	Приведена γ	
			поділ	А	поділ	А					

Робоче завдання з повірки вольтметра

1 Скласти схему робочого моста для повірки вольтметра (рисунок 5.2).

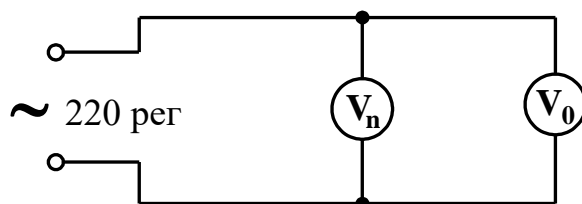


Рисунок 5.2

2 Виконати повірку вольтметра, користуючись методикою, викладеною для застосування до амперметра. Показання приладів, що знімаються в процесі повірки, занести в таблицю 5.3.

3 Показати результати спостережень викладачеві, розібрати схему.

Таблиця 5.3

Номер спостереження	Показання вольтметра, що перевіряється, U_p		Показання зразкового вольтметра U_z				Варіації V	Поправка Δ_p	Похибки		Примітка
			угору по шкалі		вниз по шкалі				Абсолютна Δ	Приведена γ	
			поділ	В	поділ	В					

Методичні вказівки

1 При складанні схеми для перевірки технічного амперметра необхідно використовувати амперметр A_p , що перевіряється, з межею вимірювання до **1 А** і класом точності, нижчим, ніж зразковий амперметр A . Зразковий прилад A_0 , резистори r_1 , і r_2 і джерело регульованого живлення $U=36 В$ взяти з універсального стенда УЛС–ТОЕ 1.

2 При складанні схеми для перевірки технічного вольтметра необхідно використовувати вольтметр, що перевіряється, з межею вимірювання до **150 В**, зразковий вольтметр універсального стенда УЛС–ТОЕ 1, регульоване джерело живлення $U=220 В_{рег}$.

3 При виконанні роботи керуватися загальними вимогами щодо виконання лабораторних робіт на стенді УЛС–ТОЕ 1, суворо дотримуючись правил техніки безпеки.

Аналіз отриманих результатів і висновки

1 За отриманими даними визначити Δ – абсолютну і γ – приведену похибки, V – варіації і Δ_p – поправку приладів.

2 За даними досліду і розрахунку побудувати криві поправок залежно від показань приладів.

3 Дати висновок про відповідність чи невідповідність приладів, що перевірялись, своїм класам точності.

Примітки

1 *Абсолютна похибка приладу Δ* – це похибка, що дорівнює різниці між значенням величини, яка вимірюється приладом, і її дійсним значенням.

$$\Delta = A_{\text{п}} - A_{\text{о}}.$$

2 *Поправка приладу $\Delta_{\text{п}}$* – це абсолютна похибка, узятая із зворотним знаком.

$$A_{\text{п}} = -\Delta = A_{\text{о}} - A_{\text{п}}.$$

3 *Приведена похибка γ* – це виражене у відсотках відношення абсолютної похибки до верхньої межі вимірювання приладу.

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_{\text{н}}} \cdot 100\% \quad (\text{для аналогових приладів}).$$

4 *Варіація приладу \mathbf{B}* характеризує стійкість показань до даного заміру.

$$\mathbf{B} = |A'_{\text{о}} - A''_{\text{о}}|,$$

де $A'_{\text{о}}$ і $A''_{\text{о}}$ – показники дійсних значень, визначених за показниками зразкових приладів при підході до відмітки, що перевіряється, з боку більших і менших значень.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

Розширення меж вимірювання приладів за допомогою масштабних перетворювачів

Мета роботи: набути практичні навички з розширення меж вимірювання приладів на постійному і змінному струмі; визначити похибки приладів з розширеними межами вимірювання.

Пояснення до роботи

У практиці електричних вимірювань широко використовуються масштабні вимірювальні перетворювачі:

шунти, додаткові резистори, вимірювальні трансформатори струму і напруги, дільники напруги та ін. Шунти і додаткові резистори застосовуються для розширення меж вимірювання приладів по струму і напрузі в колах постійного струму. В колах змінного струму з цією метою, поряд з використанням додаткових резисторів (до напруги 500 В), застосовуються вимірювальні трансформатори струму і напруги.

Шунтами називаються калібровані резистори, що вмикаються паралельно вимірювальному механізму (рисунок 6.1). Вони служать для розширення меж вимірювання приладів по струму.

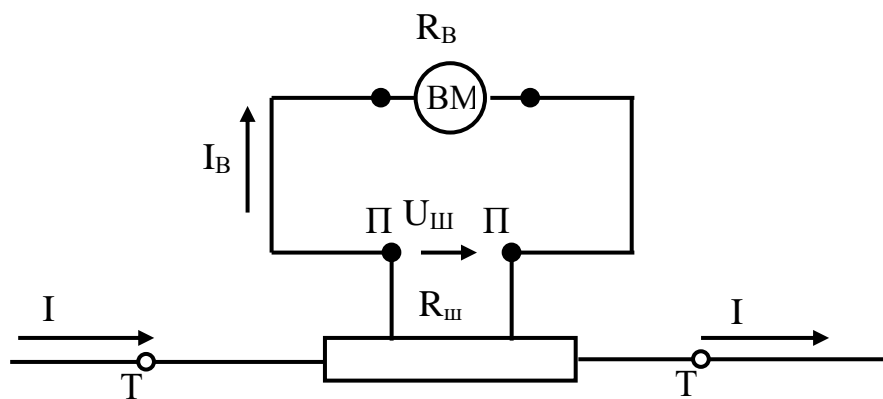


Рисунок 6.1

Шунти виготовляють у вигляді чотиризатискних резисторів з опором $R_{ш}$. До потенціальних затискачів Π - Π підключається вимірювальний механізм (BM) з внутрішнім опором $R_{в}$ і припустимим струмом I (номінальний струм приладу), за допомогою струмових затискачів T - T шунт вмикають у коло вимірюваного струму $I_{в}$. Наявність двох пар затискачів виключає вплив перехідних опорів контактів у місцях підключення проводів.

Залежність між вимірюваним струмом I і струмом BM $I_{в}$ визначається коефіцієнтом індукування, що показує, у скільки разів розширено межу вимірювання по струму:

$$n = \frac{I}{I_{в}}, \quad (6.1)$$

де n вибирають з ряду цілих чисел ($n = 2; 5; 10; 100$ і т. д.). Значення опору шунта визначають співвідношенням

$$R_{ш} = \frac{R_B}{n-1}. \quad (6.2)$$

Шунти виготовляють з манганінових стержнів або пластин, що мають високий опір і низький температурний коефіцієнт, і застосовують, в основному, для розширення діапазону вимірювання ВМ магнітоелектричної системи. Застосовувати шунти для розширення меж вимірювань приладів змінного струму недоцільно, тому що вимірювальні механізми систем приладів змінного струму споживають відносно велику потужність, що призводить до необхідності мати значне $U_{ш}$, а відповідно, і $R_{ш}$, що в свою чергу призводить до збільшення габаритів і маси шунта. Окрім того, застосування шунтів на змінному струмі призводить до похибки, обумовленої перерозподілом струму I_B і $I_{ш}$ при різних частотах через вплив реактивних опорів вимірювального механізму і шунта. Конструктивно шунти виконуються внутрішніми (до 30 А) і зовнішніми; одноможевими і багатомежевими. Зовнішні шунти підрозділяються на індивідуальні й універсальні (калібровані), розраховані на номінальну напругу 10; 15; 30; 50; 60; 75; 300 мВ.

За точністю підгону шунти поділяються на класи: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5. Клас точності відповідає основній відносній похибці опору шунта, вираженій у відсотках.

Додатковим резистором називається калібрувальний резистор, що вмикається послідовно з вимірювальним механізмом (рисунок 6.2). Додаткові резистори служать для розширення меж вимірювання ВМ по напрузі.

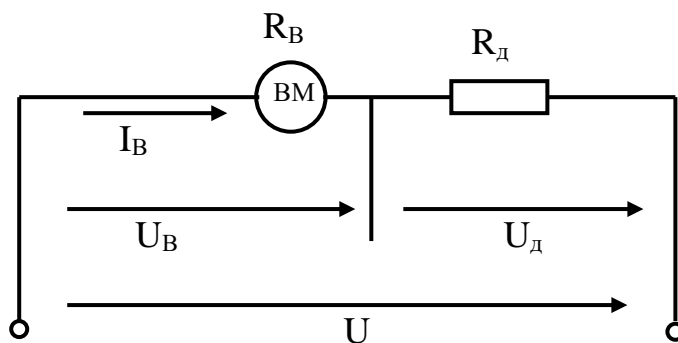


Рисунок 6.2

Резистор r_d обмежує струм I_B у колі ВМ і дозволяє використовувати ВМ при вимірюванні більших напруг U_d , ніж допустимі для ВМ напруги U_B (номінальна напруга ВМ). Функціональний зв'язок між струмом і вимірюваною напругою визначається рівнянням

$$I_B = \frac{U}{R_d + R_B} = \frac{U_B}{R_B}, \quad R_d = R_B(m - 1), \quad (6.3)$$

де m – коефіцієнт ділення напруги, який показує, у скільки разів розширено межу вимірювання по напрузі, $m = \frac{U}{U_B}$.

Додаткові резистори виготовляються з манганінового ізолюваного дроту, який намотується на діелектричний каркас у вигляді котушки чи пластини. Застосовуються внутрішні, вбудовані в корпус приладу і зовнішні резистори.

Калібрувальні додаткові резистори за точністю поділяються на класи: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 і виготовляються на номінальні струми від 0,01 до 60 мА.

Вимірювальні трансформатори призначені для перетворення змінного струму I_1 у струм I_2 (трансформатори струму) і змінної напруги U_1 у U_2 (трансформатори напруги). Вони застосовуються для розширення меж вимірювання приладів на змінному струмі (амперметрів, вольтметрів, ватметрів, фазометрів і т. д.), гальванічного розділення вимірювальних кіл від проводів високої напруги.

На рисунку 6.3, а, б показані схеми вмикання вимірювальних трансформаторів струму і напруги.

Первинна обмотка трансформатора струму, виводи якої маркуються L_1 і L_2 (лінія), вмикається в коло послідовно з навантаженням. До початку первинної обмотки (затискач L_1) необхідно під'єднати дріт, що йде від джерела живлення; до виводів вторинної обмотки B_1 і B_2 (вимір) підключають амперметри, струмові котушки ватметрів, фазометрів та інших приладів, межі вимірювання яких розширюються.

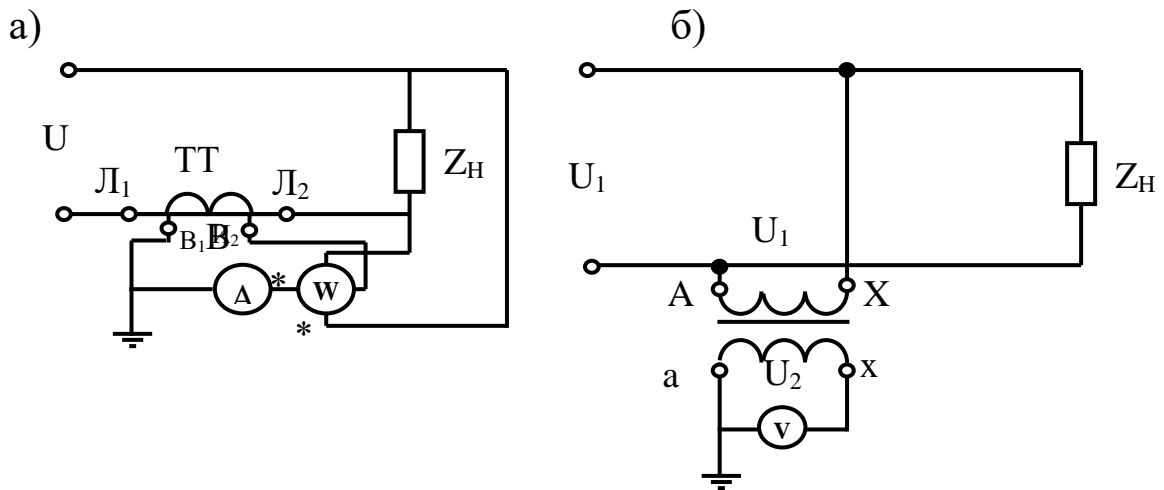


Рисунок 6.3

Паспортними даними трансформатора струму є:

- номінальний струм первинного кола (I_{1H} – до 60000 А);
- номінальний струм вторинного кола ($I_{2H} = 5$ А або 1 А);
- номінальний опір навантаження вторинної обмотки (від 0,1 до 4,0 Ом);
- клас точності (лабораторних ТТ-0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2 і стаціонарних ТТ-0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10).

При виборі ТТ за паспортними даними необхідно пам'ятати, що сума опорів струмових котушок приладів, межі вимірювання яких розширюються, не повинна перевищувати його номінальний опір. Невиконання цієї умови призводить до збільшення похибки вимірювання.

У вторинну обмотку ТТ вмикають прилади з малим опором, тому номінальним для роботи ТТ є режим, близький до короткого замикання, і розрив його вторинного кола стає аварійним. У номінальному режимі вимірюваний струм у первинній обмотці створює магніторушійну силу (МРС), значна частина якої компенсується МРС вторинної обмотки, тобто

$$\omega_1 I_1 \approx \omega_2 I_2, \quad (6.4)$$

де ω_1 і ω_2 – число витків первинної і відповідно вторинної обмотки ТТ (завжди $\omega_1 < \omega_2$).

Якщо розімкнути вторинну обмотку трансформатора, то припиниться розмагнічувальна дія її струму. При цьому магнітний потік у магнітопроводі різко збільшується, що призводить до збільшення втрат у сталі осердя, що викликає його надмірне нагрівання («пожежа» в сталі). Окрім того, великий магнітний потік збуджує у вторинній обмотці велику ЕРС, пікове значення якої може досягати небезпечної для життя величини.

Тому необхідно пам'ятати, що при ввімкненій первинній обмотці розмикати вторинну обмотку ТТ **категорично забороняється!**

Первинну обмотку трансформатора напруги (ТН) підключають до кола з напругою, що вимірюється, паралельно і її виводи маркують А і Х; до затискачів вторинної обмотки (а і х) ТН підключають вольтметри, кола напруги ватметрів та інших приладів, межі вимірювання яких розширюються.

Режим роботи ТН характеризується незначними змінами напруги первинної обмотки.

Вторинна обмотка замкнена на великий опір (приладів), внаслідок чого струми в обмотках малі, і, таким чином, ТН працюють у режимі, близькому до холостого ходу.

Паспортними даними є:

- номінальна первинна напруга ($U_{1Н}$ – до 35 кВ);
- номінальна вторинна напруга ($U_{2Н}=100/\sqrt{3}$; 100 і 150 В);
- номінальна потужність (лабораторних ТН від 5 до 25 В А; стаціонарних ТН до 1200 В А);
- клас точності (лабораторних ТН - 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; стаціонарних ТН - 0,2; 0,5; 1; 3).

При виборі ТН за його паспортними даними необхідно пам'ятати, що сумарна потужність, яку споживають прилади, ввімкнені у вторинне коло, не повинна перебільшувати номінальної потужності ТН. Невиконання цієї умови призводить до збільшення похибки вимірювання напруги. При сумісному вмиканні вимірювальних трансформаторів, наприклад з ватметром, необхідно мати на увазі, що затискач «А»-ТН має бути з'єднаним з дротом, що йде від джерела живлення до затискача Л₁ ТТ (рисунок 6.4).

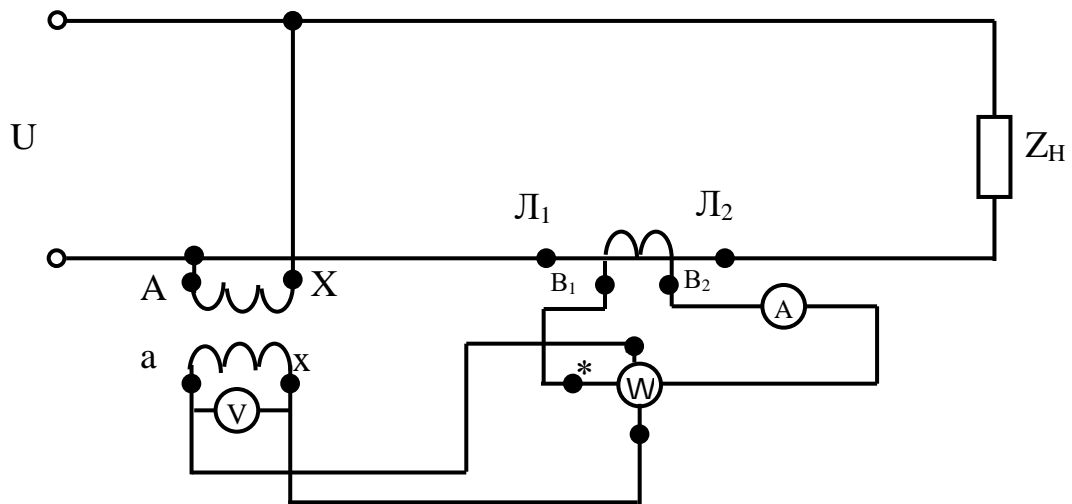


Рисунок 6.4

При такому з'єднанні генераторні затискачі ватметра (помічені зірочкою) мають бути під'єднані так: затискач I^* ватметра – до режиму I_1 ТТ; затискач U^* ватметра – до затискача «а» – ТН.

Недотримання цих правил призводить до додаткових похибок. Такий самий порядок з'єднання й інших приладів, що мають генераторні затискачі. Значення вимірюваних величин визначають шляхом множення показань приладів (I_2, U_2 чи P_w) на номінальні коефіцієнти трансформації:

$$K_{1H}=I_{1H} / I_{2H} \quad K_H=U_{1H} / U_{2H}. \quad (6.5)$$

Величини I_{1H} , I_{2H} , U_{1H} , U_{2H} вказані на щитку трансформатора.

Однак відношення струмів і напруг первинної і вторинної обмоток постійні тільки в ідеального трансформатора. У реальних трансформаторах дійсні значення коефіцієнтів трансформації залежать від режиму роботи трансформатора (характеру і значення навантаження вторинного кола, частоти струму, якості магнітопроводу і т. д.). Тому вираховані за показаннями приладів значення напруг $U_1=K_H$ чи струмів $I_1=K_{1H} I_2$ відрізняються від дійсних значень U_1 чи I_1 . Відносну похибку внаслідок нерівності дійсного і номінального значень коефіцієнтів трансформації визначають за формулами:

$$\left. \begin{aligned} \delta_I &= \frac{I'_1 - I_1}{I} \cdot 100 = \frac{K_{IH} - K_{ID}}{K_{Ig}} \cdot 100 \\ \delta_U &= \frac{U'_1 - U_1}{U_1} \cdot 100 = \frac{K_{UH} - K_{UD}}{K_{UD}} \cdot 100 \end{aligned} \right\}, \quad (6.6)$$

де $K_{ID} = I_1 / I_2$, $K_{UD} = U_1 / U_2$ – дійсні коефіцієнти трансформації.

Окрім того, в реальних вимірювальних трансформаторах є ще і кутова похибка, яка виникає за рахунок фазового зсуву вторинних величин відносно первинних. Кутова похибка має суттєве значення при використанні вимірювальних трансформаторів для вимірювання потужності і в інших випадках.

Підготовка до роботи

1 Вивчити теоретичний матеріал з масштабних вимірювальних перетворювачів.

2 Відповісти письмово на такі запитання:

а) шкала міліамперметра магнітоелектричної системи з опором 4 Ом розбита на 300 поділок, ціна поділки 0,1 мА/поділ.

Визначити опір шунта, якщо цим приладом необхідно виміряти струм 15 А; величину додаткового опору, якщо цим приладом необхідно виміряти напругу 150 В;

б) накреслити і пояснити схему під'єднання ватметра з $U_H = 150$ В і $I_H = 5$ А в мережу змінного струму з

$$U = 100 \text{ В} \quad \text{і} \quad I = 20 \text{ А,}$$

$$U = 500 \text{ В} \quad \text{і} \quad I = 20 \text{ А;}$$

в) які величини є паспортними для вимірювальних трансформаторів струму і напруги? Чим обмежується кількість приладів, під'єднаних до вимірювальних трансформаторів?

г) у чому полягає процес градуювання вимірювальних приладів?

Робоче завдання

1 Ознайомитись з вибраними для роботи приладами, їх основними характеристиками. Дані приладів занести до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Найменування приладу	Система приладу	Тип приладу	Вид вимірюваної величини	Межі вимірювання	Ціна поділки	Клас точності	Заводський номер	Рік випуску

2 Розширити межі вимірювання вольтметра магнітоелектричної системи М45М до величини, вказаної викладачем. Послідовність операцій рекомендується така:

1) виміряти мостом постійного струму внутрішній опір вольтметра r_v на заданій межі вимірювання і розрахувати величину додаткового опору.

2) за результатами розрахунку підібрати додатковий опір і провести градуювання регульованого вольтметра, склавши схему (рисунок 6.5).

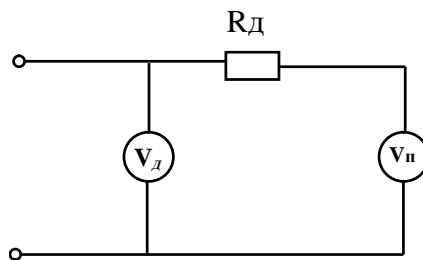


Рисунок 6.5

У схемі (рисунок 6.5): V_0 – зразковий вольтметр В7-27; V – регульований вольтметр М45М; R_d – додатковий резистор, в якості якого використовується магазин опорів Р33.

Регулюючи напругу джерела живлення, встановити стрілку зразкового вольтметра на відмітку шкали, що відповідає значенню напруги, до якої розширялись межі вимірювання вольтметра М45М. При цьому стрілка регульованого вольтметра

має відхилитися до номінальної відмітки на шкалі. Якщо межа вимірювання відрізняється від необхідного опору, то величину додаткового опору необхідно змінити в потрібний бік.

Зменшуючи напругу від номінальної до нуля, встановлювати стрілку градуйованого вольтметра по чергово на всіх оцифрованих поділках шкали (хід донизу).

Показання приладів, що відповідають положенню стрілки регульованого вольтметра V_{II} на кожній оцифрованій поділці шкали, і показання зразкового вольтметра V_{DI} занести до таблиці 6.2. Далі повторити вимірювання у зворотному порядку, змінюючи напругу від нуля до номінальної (хід угору). Показання приладів V і V_{D2} занести в ту ж саму таблицю.

Таблиця 6.2

Результати вимірювань і розрахунку						
V_{II} , поділлка шкали	V_{DI} , В	V_{D2} , В	R_v , Ом	$U_{оср}$, В	R_D , Ом	$R_{D_{екс}}$, Ом

Аналіз отриманих результатів та висновки

1 За даними результатів вимірювань, наведеними у таблиці 6.2, побудувати градууювальну криву вольтметра з додатковим резистором $U_{оср.} = f(U_{поділ. шкали})$.

2 Зробити висновки з роботи. У висновках вказати причини, які обмежують межі вимірювань приладів магнітоелектричної системи.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

Вимірювання малих, великих і середніх опорів

Мета роботи: ознайомитися з методиками і засобами вимірювання малих, великих і середніх опорів, а також з оцінкою похибок вимірювань.

Пояснення до роботи

Опори в діапазоні від 10^{-8} до 1 Ом належать до малих, від 1 Ом до 10^6 Ом – до середніх, вище 10^6 Ом – до великих.

Прямими називаються методи вимірювання, при яких шукані величини знаходять безпосередньо із дослідних даних.

Середні опори вимірюють одинарними мостами постійного струму, цифровими електронними і магнітоелектричними омметрами.

Для вимірювання з високою точністю застосовують мости постійного струму, класи точності яких перебувають у діапазоні 0,005; 0,01; 0,02.

Мости постійного струму належать до засобів вимірювання, що діють за принципом порівнювання вимірюваної величини з мірою (зразкові опори плечей моста).

Схема моста для вимірювання середніх опорів наведена на рисунку 7.1.

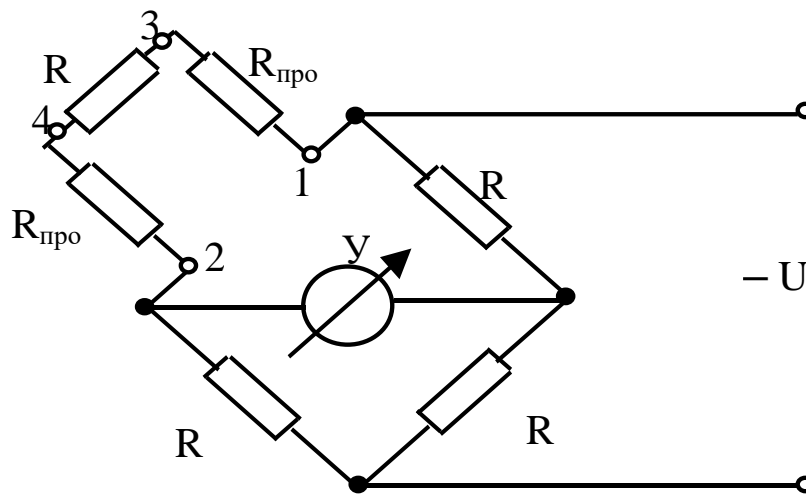


Рисунок 7.1

Значення шуканого опору визначається за формулою

$$R_X + 2R_{\text{пров}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}.$$

Малі опори вимірюють подвійними мостами постійного струму, одинарними мостами та електронними міліомметрами.

Схема одинарного моста для вимірювання малих опорів наведена на рисунку 7.2. Це схема з чотирма затискачами вмикання вимірюваного опору, в якій виключений вплив на вимірюваний опір підвідних проводів.

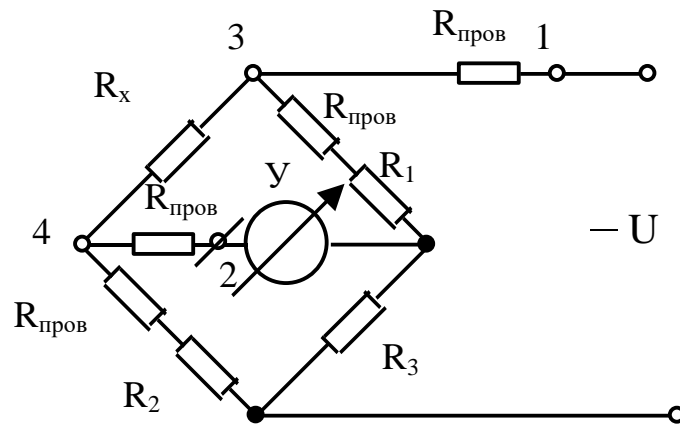


Рисунок 7.2

Діапазон вимірюваних опорів цієї схеми $10^{-4} \div 10$ Ом. Клас точності моста в цьому діапазоні $0,02 \div 1,0$.

Вимірювання великих опорів проводять одинарними мостами постійного струму, цифровими омметрами, електронними і магнітоелектричними мегаомметрами.

Найпростішими є магнітоелектричні мегаомметри, побудовані на основі логотричного механізму. Їх діапазон вимірювань $10^5 \div 10^9$ Ом. Клас точності не нормується.

При посередніх методах вимірювань шукане значення величини знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною й іншими, визначеними шляхом прямих вимірювань.

Посередні вимірювання опорів звичайно виконують методом *амперметра і вольтметра*. Цей метод можна використовувати для вимірювання опорів усіх діапазонів. Йому відповідають два варіанти з'єднання вимірювальних приладів і випробного резистора, наведені на рисунках 7.3, а, б.

При з'єднанні за варіантом *а*

$$r_X = \frac{U_v}{I - \frac{U_v}{r_v}}; \quad (7.1)$$

при використанні варіанта *б*

$$r_X = \frac{U - I_X \cdot r_A}{I_X}. \quad (7.2)$$

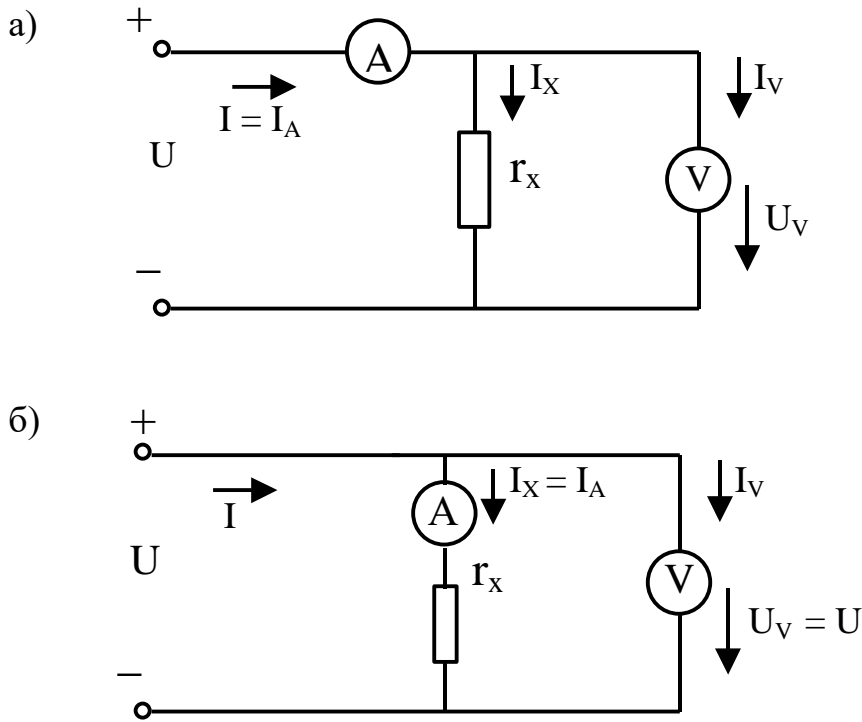


Рисунок 7.3

Похибка результатів посередніх вимірювань, отриманих після обчислення за виразами (7.1) або (7.2), визначається інструментальними похибками прямих вимірювань величин I і U_V , I_X і U і похибками, з якими відомі внутрішні опори r_V і r_A .

Однак у ряді випадків, замість точних за своєю фізичною суттю виразів (7.1), (7.2), використовують приблизні співвідношення, одержані з виразів (7.1), (7.2) при умові:

$$r_V \rightarrow \infty; \quad r_A \rightarrow 0;$$

$$r'_X = \frac{U_V}{I}; \quad (7.3)$$

$$r''_X = \frac{U}{I_X}. \quad (7.4)$$

Застосування наближених залежностей вносить у результати вимірювань опору методичну похибку, яка для варіанта а складає

$$\delta'_{мет} = \frac{r'_X - r_X}{r_X} \cdot 100\% = -\frac{r_X}{r_X + r_V} \cdot 100\%; \quad (7.5)$$

а для варіанта б

$$\delta''_{мет} = \frac{r_X'' - r_X}{r_X} \cdot 100\% = -\frac{r_A}{r_X} \cdot 100\%. \quad (7.6)$$

З виразів (7.5), (7.6) видно, що при використанні приблизних співвідношень варіант а переважає, якщо $r_X \ll r_v$ («малі» вимірювані опори), а варіант б – при $r_X \gg r_A$ («великі» вимірювані опори). Невиконання цих умов може призвести до таких значних методичних похибок, що результат вимірювань буде повністю знецінений.

Підготовка до роботи

1 Вивчити теоретичний матеріал з методів і засобів вимірювання малих, середніх і великих опорів.

2 Відповісти письмово на такі питання:

- а) які опори належать до малих, середніх і великих?
- б) основні методи і засоби вимірювання малих, середніх і великих опорів;
- в) позитивні якості і негативні методи амперметра і вольтметра для вимірювання опорів;
- г) записати і пояснити умову рівноваги моста;
- д) що означає число класу точності моста?
- е) чим відрізняються чутливість моста і мостової схеми; якими виразами вони визначаються?

Робоче завдання

Вимірювання малих опорів.

1 Ознайомитися з конструкцією та особливістю вимірювання одинарним мостом постійного струму малих опорів.

Увага! Щоб уникнути перевантаження нуля-індикаторів, починати вимірювання слід при натиснутій кнопці «Грубо», переходячи до кнопки «Точно» тільки на завершальній стадії балансування моста.

2 Виміряти одинарним мостом постійного струму опори проводів (за вказівкою викладача). Результати занести до таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Опори, що вимірюються	Малі опори		Середні опори						Великі опори		
	Дроти		Резистори		Прилади				Опори ізоляції		
	$R_{1n},$ МОм	$R_{1n},$ МОм	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_{A1},$ Ом	$R_{V1},$ Ом	$R_{A2},$ Ом	$R_{V2},$ Ом	$R_{u12},$ МОм	$R_{u1},$ МОм	$R_{u2},$ МОм
r											
γ											
Δr											

Вимірювання середніх опорів.

1 Виміряти за допомогою моста постійного струму опори резисторів стенда УЛС (за вказівкою викладача) і занести результати до таблиці 7.1.

2 Виміряти за допомогою моста внутрішні опори амперметрів і вольтметрів (прилади і межі вимірювань, на яких визначаються опори, вказуються викладачем). Результати занести до таблиці 7.1.

3 Виміряти методом амперметра і вольтметра опір резистора (за вказівкою викладача), використовуючи варіанти *a* і *б* з'єднання вимірювальних приладів і випробного резистора. Як джерело напруги застосувати джерело «12 В_{рег.}»; вимірювальні прилади вказуються викладачем. Показання приладів занести до таблиці 7.2.

4 Повторити вимірювання, вказані в пункті 3, стосовно резистора r_{17} , використовуючи джерело «110 В_{рег.}» та вказані викладачем вимірювальні прилади. Показання приладів занести до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

Резистор стенда УЛС, що досліджується	Варіант схеми з'єднання	Виміри		Розрахунок				
		$U_V,$ В	$I_A,$ А	$r_X,$ Ом	$r'_X,$ Ом	$r''_X,$ Ом	$\delta'_{мет},$ %	$\delta''_{мет},$ %
r	<i>a</i>					-		-
	<i>б</i>				-		-	
r_{17}	<i>a</i>					-		-
	<i>б</i>				-		-	

Вимірювання великих опорів.

1 Ознайомитися з наявною апаратурою для вимірювання великих опорів.

2 Користуючись мегаомметром, визначити опір ізоляції двопровідної лінії і опір ізоляції між кожним проводом і землею. Результати вимірювань записати до таблиці 7.1.

Увага! При роботі з мегаомметром необхідно звернути увагу на те, що напруга на його затискачах може бути $500 \div 2000$ В.

Аналіз отриманих результатів і висновки

1 Записати відносні і вирахувати абсолютні похибки вимірювань. Занести ці результати до таблиці 7.1.

2 Обчислити величини $r_X, r'_X, r''_X, \delta'_{мет}, \delta''_{мет}$, занести їх до таблиці 7.2. Порівняти значення $\delta'_{мет}$, що належать до вимірів r і r_{17} , встановити причину їх відміни. Повторити те ж саме для значень $\delta''_{мет}$.

3 Вивести залежності, що зв'язують абсолютні похибки результатів обчислень за формулами (7.1) і (7.2) з похибками прямих вимірювань, що входять у праві частини виразів (7.1) і (7.2).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Касаткин, А.С. Электротехника [Текст] / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высшая школа, 2000.

2 Электротехника [Текст]/ под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1985.

3 Паначевний, Б.І. Загальна електротехніка: теорія і практикум [Текст] / Б.І. Паначевний, Ю.Ф. Свєргун. – К.: Каравела, 2004.

4 Основы метрологии и электрические измерения [Текст] / под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоиздат, 1987.

5 Коновалов, Є.В. Студентська навчальна звітність [Текст] / Є.В. Коновалов, Л.М. Козар. – Харків: УкрДАЗТ, 2005.