

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання практичних занять та самостійних робіт**

**з дисципліни**

***«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»***

**Харків – 2024**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 26 квітня 2024 р., протокол № 8.

Методичні вказівки складаються з типових багатоваріантних завдань і прикладів розрахунків за основними розділами дисципліни «Електротехніка та електричні вимірювання». Призначені для проведення практичних занять активним методом та самостійної роботи для здобувачів вищої освіти спеціальності 273 «Залізничний транспорт» усіх форм навчання.

Укладач

доц. О. Є. Зінченко

Рецензент

проф. О. М. Ананьєва

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Розрахунок простих електричних кіл постійного струму.....	5
2 Розрахунок складних електричних кіл постійного струму.....	10
3 Розрахунок простих кіл синусоїдного струму.....	14
4 Розрахунок трифазного електричного кола при з'єднанні навантаження зіркою.....	20
5 Електричні вимірювання.....	24
Список літератури.....	30

## **ВСТУП**

Практичне опрацювання лекційного матеріалу є невід'ємною частиною вивчення дисципліни «Електротехніка та електричні вимірювання». Перед виконанням завдань необхідно повторити теоретичні знання, використовуючи конспект лекцій та відповідні підручники [1 – 3].

Структура цієї розробки логічно ув'язана з освітніми та навчальними програмами з дисципліни «Електротехніка та електричні вимірювання» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня.

Методичні вказівки складаються з типових багатоваріантних завдань та прикладів розрахунків за основними розділами дисципліни. Окремі розділи курсу більш ретельно вивчаються на лабораторному практикумі.

Методичні вказівки призначено для проведення практичних занять активним методом, у такому випадку варіант завдань задається викладачем. За самостійної роботи варіант можна вибирати довільно. Для більш гарного опрацювання можна розв'язувати два і більше завдань з однієї теми. Завдання можна використовувати для виконання контрольних робіт здобувачів заочної форми навчання.

Автором цієї методичної розробки використано деякі завдання методичних розробок кафедри [2], [4], [5] але методичні вказівки більш детальні та задачі доповнені прикладами розв'язання.

# 1 РОЗРАХУНОК ПРОСТИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

## 1.1 Завдання

На рисунках 1.1-1.4 зображено варіанти простих електричних кіл постійного струму. Значення ЕРС та опорів резисторів наведено в таблиці 1.1.

Необхідно знайти струми в колі та перевірити правильність розрахунку складанням балансу потужностей.

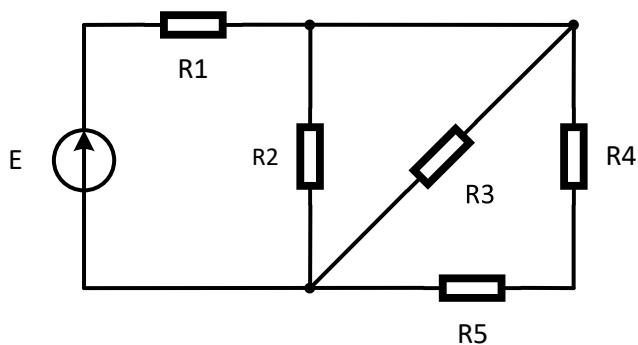


Рисунок 1.1

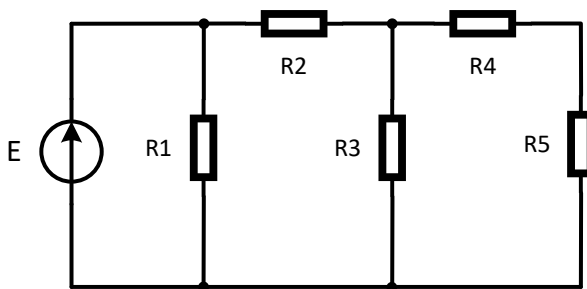


Рисунок 1.2

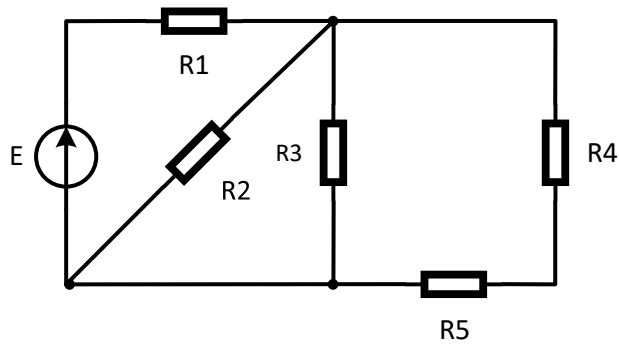


Рисунок 1.3

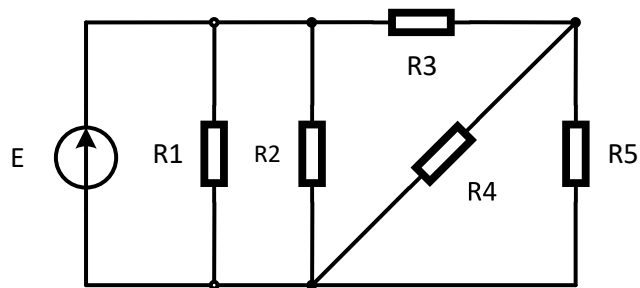


Рисунок 1.4

Таблиця 1.1

Схеми	$E$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$
1.1	100	10	8	5	6	4
1.2	50	5	8	4	5	3
1.3	120	12	10	15	10	5
1.4	80	8	10	5	6	4

## 1.2 Приклад розрахунку

На рисунку 1.5 представлено просте електричне коло постійного струму.

Вихідні дані для розрахунку:

$E=150\text{ В}$ ,  $R_1=15\text{ Ом}$ ,  $R_2=20\text{ Ом}$ ,  $R_3=10\text{ Ом}$ ,  $R_4=8\text{ Ом}$ ,  $R_5=12\text{ Ом}$ .

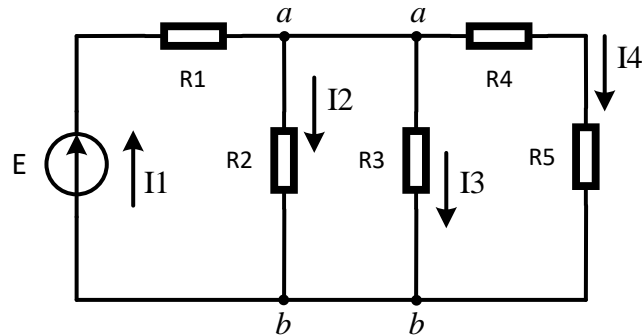


Рисунок 1.5

Необхідно знайти струми в колі та перевірити правильність розрахунку складанням балансу потужностей.

*Послідовність розрахунку.*

Задаємо напрями невідомих струмів у вітках кола як показано на рисунку 1.5. Використаємо метод послідовних спрощень для знаходження цих струмів.

Почнемо спрощувати схему з резисторів  $R_4$  та  $R_5$ , які з'єднані послідовно. Замінюємо їх еквівалентним резистором  $R_{45}$  (рисунок 1.6), і знаходимо, використовуючи властивості послідовного з'єднання:

$$R_{45} = R_4 + R_5 = 20\text{ Ом}.$$

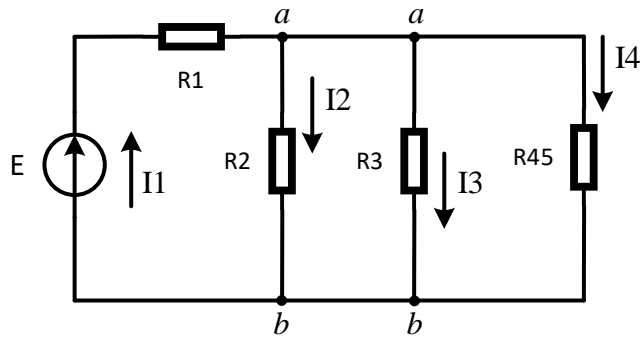


Рисунок 1.6

Резистори  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_{45}$  з'єднані паралельно. Замінюємо їх еквівалентним резистором  $R_{2345}$  (рисунок 1.7), і знаходимо, використовуючи властивості паралельного з'єднання:

$$R_{2345} = 1 / (1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_{45}) = 5 \text{ Ом} .$$

У схемі на рисунку 1.7 усі елементи з'єднані послідовно. Знаходимо еквівалентний опір кола та за законом Ома струм  $I_1$ :

$$R_{\text{екв}} = R_1 + R_{2345} = 20 \text{ Ом} ;$$

$$I_1 = 1/R_{\text{екв}} = 7,5 \text{ А} .$$

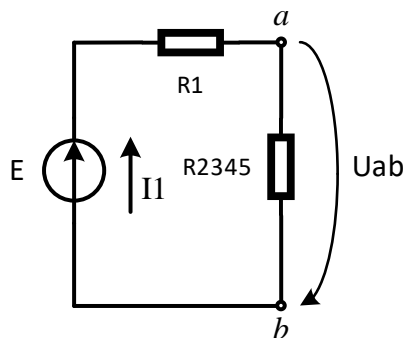


Рисунок 1.7



Для знаходження струмів  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  необхідно спочатку визначити напругу  $U_{ab}$ . Знаходимо цю напругу зі схеми 1.7 за законом Ома:

$$U_{ab} = I_1 \cdot R_{2345} = 37,5 \text{ В} .$$

Далі за законом Ома знайдемо струми  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ :

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} = 1,875 \text{ А} ;$$

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3} = 3,75 \text{ А} ;$$

$$I_4 = \frac{U_{ab}}{R_{45}} = 1,875 \text{ А} .$$

Тепер перевіримо правильність розрахунку, склавши баланс потужностей.

Потужність джерела електричної енергії дорівнює

$$P_{дж} = E \cdot I_1 = 1125 \text{ Вт} .$$

Потужність споживачів дорівнює

$$P_{сп} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_4^2 \cdot R_5 = 1125 \text{ Вт} .$$

$P_{дж} = P_{сп}$  , що підтверджує правильність розрахунку.

## 2 РОЗРАХУНОК СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

### 2.1 Завдання

На рисунках 2.1-2.3 зображено варіанти складних електричних кіл постійного струму. Значення ЕРС та опорів резисторів наведено в таблиці 2.1.

Необхідно знайти струми в колі та перевірити правильність розрахунку складанням балансу потужностей.

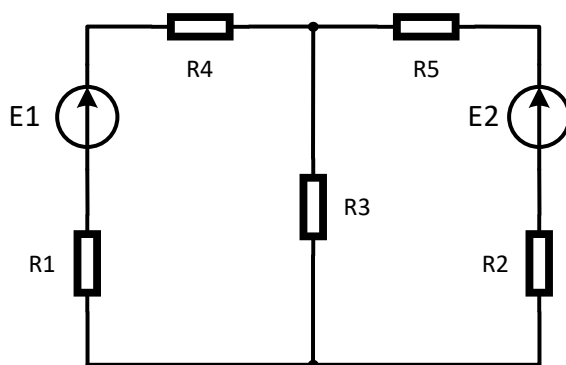


Рисунок 2.1

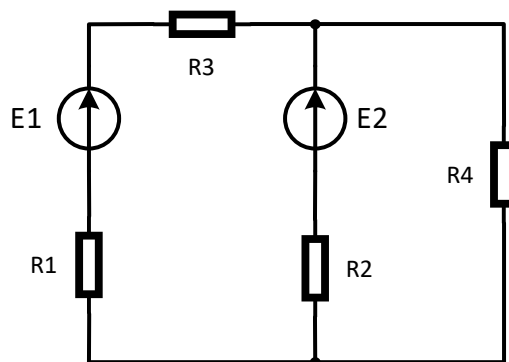


Рисунок 2.2

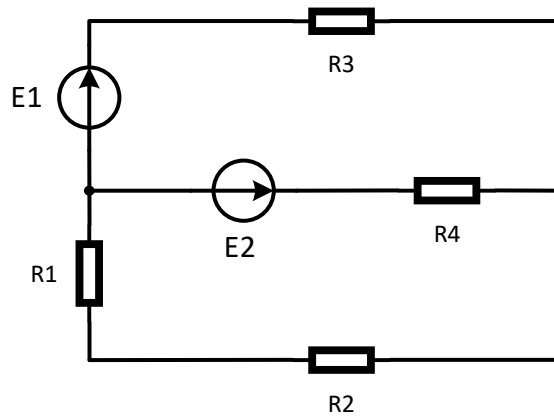


Рисунок 2.3

Таблиця 2.1

Схеми	Пара- метри	Варіанти									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.1	E1	200	300	450	80	10	15	100	300	10	20
	E2	300	200	80	50	15	10	300	100	20	10
	R1	1	2	5	3	0,1	0,2	0,3	0,4	2	4
	R2	2	1	3	5	0,2	0,1	0,5	0,3	4	2
	R3	8	12	6	9	12	16	20	15	18	12
	R4	12	16	8	10	14	20	6	3	4	24
	R5	10	10	12	8	3	4	9	12	12	12
2.2	E1	120	120	110	125	100	220	127	215	225	75
	E2	114	106	126	119	115	215	200	105	135	140
	R1	2	4	6	8	1	3	5	7	9	10
	R2	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
	R3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
	R4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
2.3	E1	120	200	125	225	250	300	175	180	150	170
	E2	100	110	130	140	150	120	160	180	190	200
	R1	10	12	14	16	18	20	18	16	14	12
	R2	11	12	13	14	15	14	13	12	11	10
	R3	2	4	1	3	6	5	7	8	9	2
	R4	5	10	15	20	7	9	10	12	14	16

## 2.2 Приклад розрахунку

На рисунку 2.4 представлено складне електричне коло постійного струму.

Вихідні дані для розрахунку:  $E_1=100$  В,  $E_2=80$  В,  $R_1=20$  Ом,  $R_2=10$  Ом,  $R_3=20$  Ом,  $R_4=10$  Ом.

Необхідно знайти струми в колі та перевірити правильність розрахунку складанням балансу потужностей.

*Послідовність розрахунку.*

Задаємо напрями невідомих струмів у вітках кола як показано на рисунку 2.4. Кількість невідомих струмів дорівнює трьом. Отже, необхідно скласти три рівняння за законами Кірхгофа для визначення цих струмів.

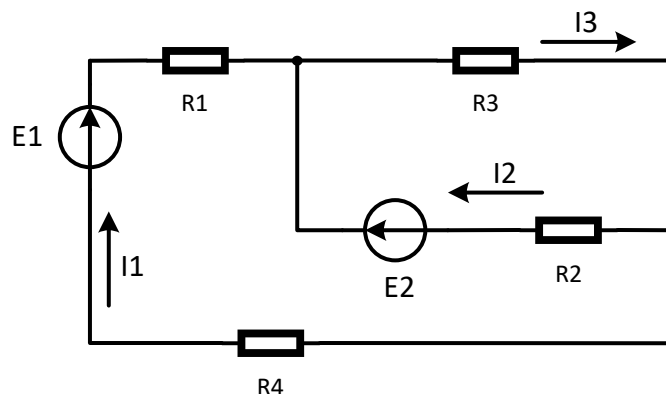


Рисунок 2.4

Визначимо кількість рівнянь, які необхідно скласти за першим законом Кірхгофа. Для цього від кількості вузлів в схемі необхідно відняти 1.  $2-1=1$ .

Складаємо одне рівняння за першим законом Кірхгофа:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0.$$

Тоді ще два рівняння складаємо за другим законом Кірхгофа:

$$I_1(R_1 + R_4) + I_3R_3 = E_1;$$

$$I_2R_2 + I_3R_3 = E_2.$$

Складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0; \\ I_1(R_1 + R_4) + I_3R_3 = E_1; \\ I_2R_2 + I_3R_3 = E_2. \end{cases}$$

Підставляємо в систему вихідні дані та записуємо в канонічному вигляді. Результатом розв'язання цієї системи будуть саме шукані струми у вітках кола.

$$\begin{cases} 1 \cdot I_1 + 1 \cdot I_2 + (-1) \cdot I_3 = 0; \\ 30 \cdot I_1 + 0 \cdot I_2 + 20 \cdot I_3 = 100; \\ 0 \cdot I_1 + 10 \cdot I_2 + 20 \cdot I_3 = 80. \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 30 & 0 & 20 \\ 0 & 10 & 20 \end{vmatrix} = -1100; \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 100 & 0 & 20 \\ 80 & 10 & 20 \end{vmatrix} = -1400;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 30 & 100 & 20 \\ 0 & 80 & 20 \end{vmatrix} = -2000; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 30 & 0 & 100 \\ 0 & 10 & 80 \end{vmatrix} = -3400;$$

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-1400}{-1100} = 1,27 \text{ А}, \quad I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-2000}{-1100} = 1,82 \text{ А}, \quad I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{-3400}{-1100} = 3,1 \text{ А}.$$

Перевіряємо правильність розрахунку складанням балансу потужностей

$$P_{дж} = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 = 100 \cdot 1,27 + 80 \cdot 1,82 = 272,6 \text{ Вт};$$

$$P_{спож} = I_1^2 \cdot (R_1 + R_4) + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = \\ = 1,27^2 \cdot (10 + 20) + 1,27^2 \cdot 10 + 3,1^2 \cdot 20 = 272,7 \text{ Вт};$$

$$P_{дж} \approx P_{спож}.$$

### 3 РОЗРАХУНОК ПРОСТИХ КІЛ СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ

#### 3.1 Завдання

На рисунках 3.1-3.3 зображено варіанти простих електричних кіл синусоїдного струму. Значення ЕРС та опорів активних та реактивних елементів наведено в таблиці 3.1.

Необхідно знайти струми в колі та перевірити правильність розрахунку складанням балансу потужностей.

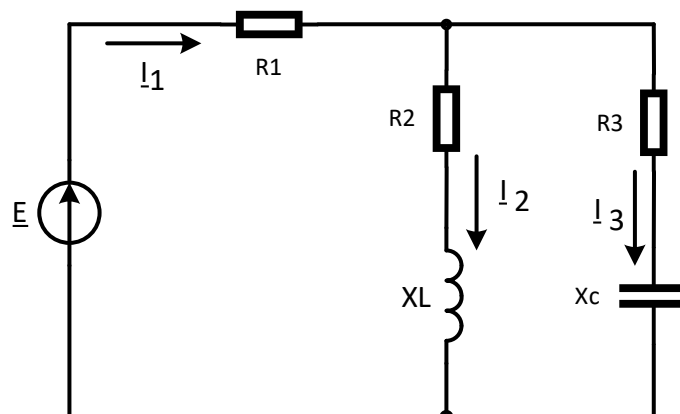


Рисунок 3.1

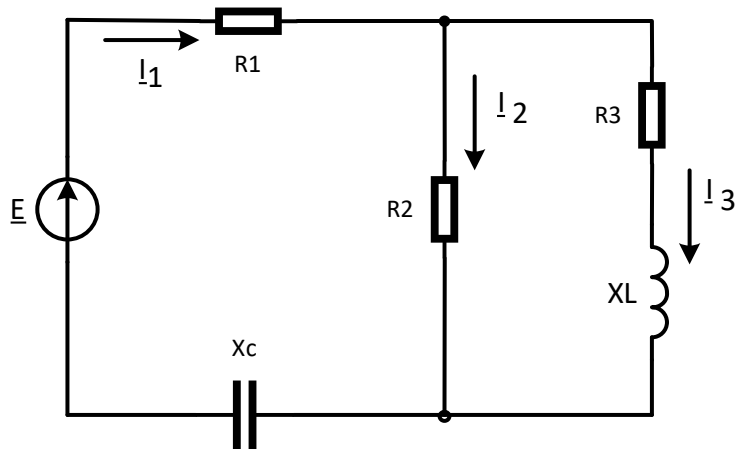


Рисунок 3.2

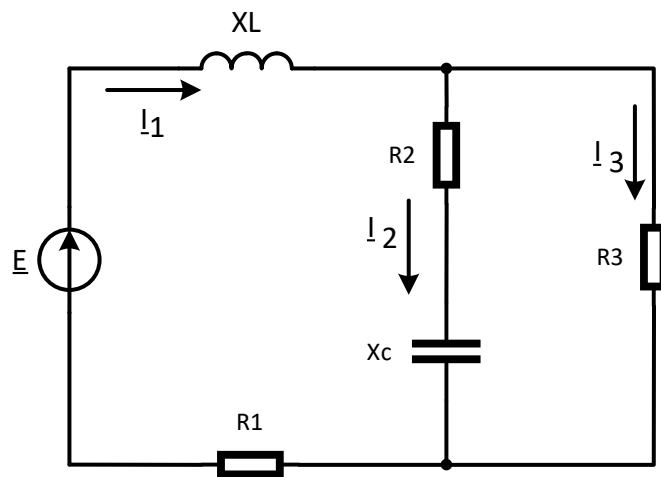


Рисунок 3.3

Таблица 3.1

Схема	$E, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$X_L, Ом$	$X_C, Ом$
3.1	$40 e^{j75^\circ}$	4	5	4	5	3
3.2	$20 e^{-j60^\circ}$	5	6	3	4	5
3.3	$80 e^{j30^\circ}$	6	4	5	8	4

### 3.2 Приклад розрахунку

На рисунку 3.4 представлено просте електричне коло синусоїдного струму.

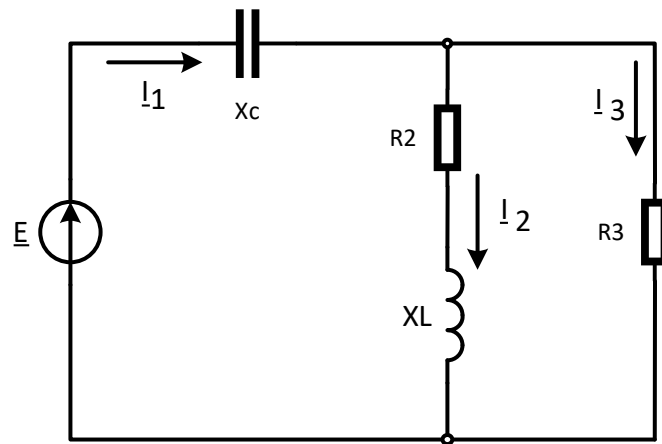


Рисунок 3.4

Вихідні дані для розрахунку:  $\underline{E} = 50 \cdot e^{-j42^\circ}$  В,  $X_L = 6$  Ом,  $X_C = 14$  Ом,  $R_2 = 4,5$  Ом,  $R_3 = 5$  Ом.

Необхідно знайти струми в колі, побудувати векторну діаграму струмів, побудувати векторну діаграму напруг для одного контуру та перевірити правильність розрахунку складанням балансу потужностей.

*Послідовність розрахунку.*

Розраховуємо повні комплексні опори віток кола. Представимо їх спочатку в алгебраїчній формі та переводимо їх у показову форму.

$$\underline{Z}_1 = -jX_C = -j14 = 14e^{-j90^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_L = 4,5 + j6 = 7,5e^{j53^\circ} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 = 5 = 5e^{j0^\circ} \text{ Ом}.$$



Знаходимо еквівалентний опір паралельно з'єднаних опорів другої та третьої віток.

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{7,5e^{j53^\circ} \cdot 5e^{j0^\circ}}{4,5 + j6 + 5} = \frac{37,5e^{j53^\circ}}{9,5 + j6} = \frac{37,5e^{j53^\circ}}{11,24e^{j32^\circ}} = 3,34e^{j21^\circ} = 3,12 + j1,19 \text{ Ом.}$$

Знаходимо повний опір всього кола відносно затискачів ЕРС як послідовне з'єднання опорів  $\underline{Z}_1$  та  $\underline{Z}_{23}$ .

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = -j14 + 3,12 + j1,19 = 3,12 - j12,81 = 13,18e^{j76^\circ} \text{ Ом.}$$

Знаходимо струм  $\underline{I}_1$  за законом Ома.

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}} = \frac{50e^{-j42^\circ}}{13,18e^{-j76^\circ}} = 3,79e^{j34^\circ} = 3,131 + j2,136 \text{ Ом.}$$

Знаходимо струми  $\underline{I}_2$  та  $\underline{I}_3$  за формулами розкиду.

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{3,79e^{j34^\circ} \cdot 5e^{j0^\circ}}{11,24e^{j32^\circ}} = 1,69e^{j2^\circ} = 1,69 + j0,06 \text{ А;}$$

$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{3,79e^{j34^\circ} \cdot 7,5e^{j53^\circ}}{11,24e^{j32^\circ}} = 2,53e^{j55^\circ} = 1,45 + j2,08 \text{ А.}$$

Складаємо баланс потужностей.

Потужність джерела напруги:

$$\underline{S}_{дж} = \underline{E} \cdot \underline{I}_1''$$

де  $\underline{I}_1''$  – спряжений комплекс струму.

$$\underline{S}_{дж} = 50e^{-j42^\circ} \cdot 3,79e^{-j34^\circ} = 189,5e^{-j76^\circ} = 45,8 - j183,9 \text{ ВА.}$$

Активна потужність, яка споживається резисторами:

$$P = I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 = 1,69^2 \cdot 4,5 + 2,53^2 \cdot 5 = 45,1 \text{ Вт.}$$

Реактивна потужність, яка споживається реактивними елементами:

$$Q = I_1^2 \cdot (-X_C) + I_2^2 \cdot X_L = 3,79^2 \cdot (-14) + 1,69^2 \cdot 6 = -183,9 \text{ Вар.}$$

Отже, баланс потужності підтверджує правильність розрахунку.

Знаходимо падіння напруги на елементах першої та другої вітки для побудови векторної діаграми напруг для окремого контуру.

$$\underline{U}_C = \underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_C = 3,79e^{j34^\circ} \cdot 14e^{-j90^\circ} = 53,06e^{-j56^\circ} = 29,9 - j43,82 \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{R2} = \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_R = 1,69e^{j2^\circ} \cdot 4,5e^{j0^\circ} = 7,61e^{j2^\circ} = 7,61 + j0,274 \text{ В;}$$

$$\underline{U}_L = \underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_L = 1,69e^{j2^\circ} \cdot 6e^{j90^\circ} = 10,14e^{j92^\circ} = 0,36 - j10,13 \text{ В.}$$

Будуємо векторну діаграму струмів (рисунок 3.5), що відображає перший закон Кірхгофа:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3.$$

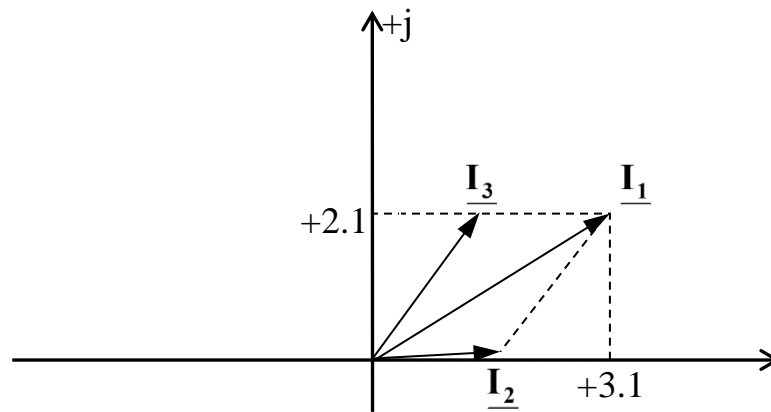


Рисунок 3.5

Векторна діаграма напруг у контурі (рисунок 3.6) відображає другий закон Кірхгофа:

$$\underline{E} = \underline{U}_C + \underline{U}_{R2} + \underline{U}_L.$$

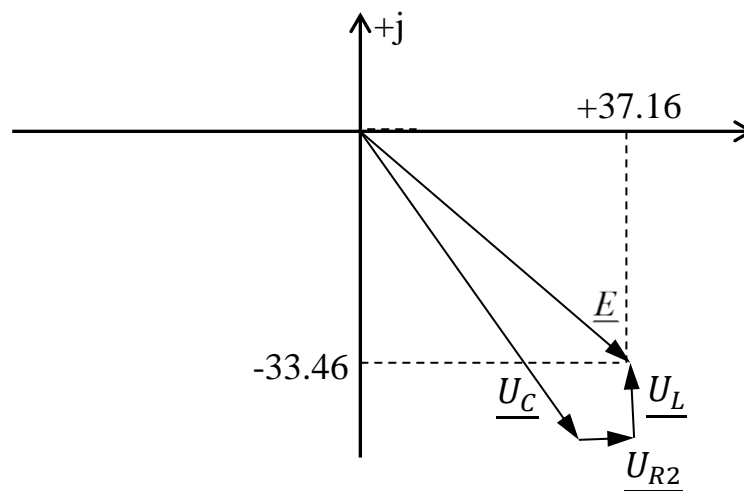


Рисунок 3.6

## 4 РОЗРАХУНОК ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА ПРИ З'ЄДНАННІ НАВАНТАЖЕННЯ ЗІРКОЮ

### 4.1 Завдання

На рисунках 4.1-4.3 зображено варіанти трифазних електричних кіл синусоїдного струму. Значення лінійної напруги та опори навантаження фаз наведено в таблиці 4.1.

Необхідно знайти фазні струми та струм в нейтральному проводі. Правильність розрахунку перевірити складанням балансу потужностей.

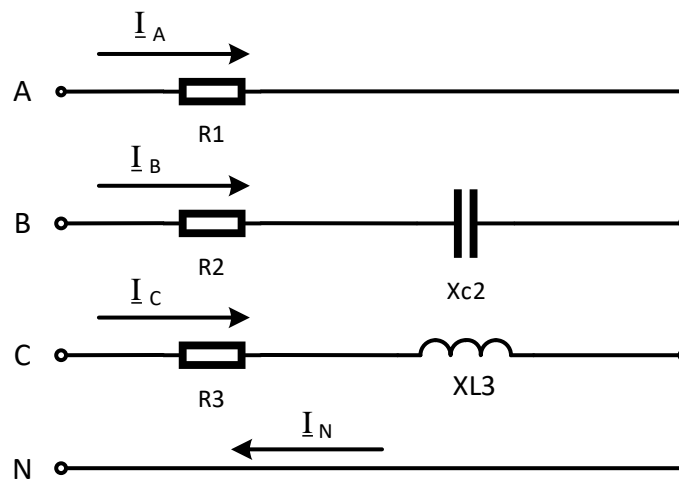


Рисунок 4.1

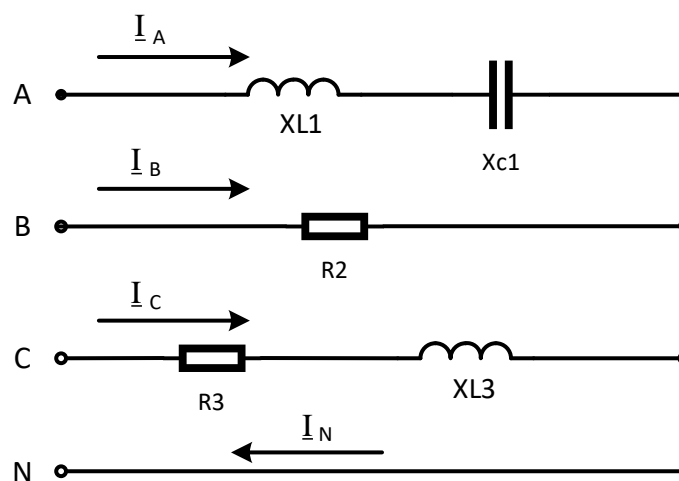


Рисунок 4.2

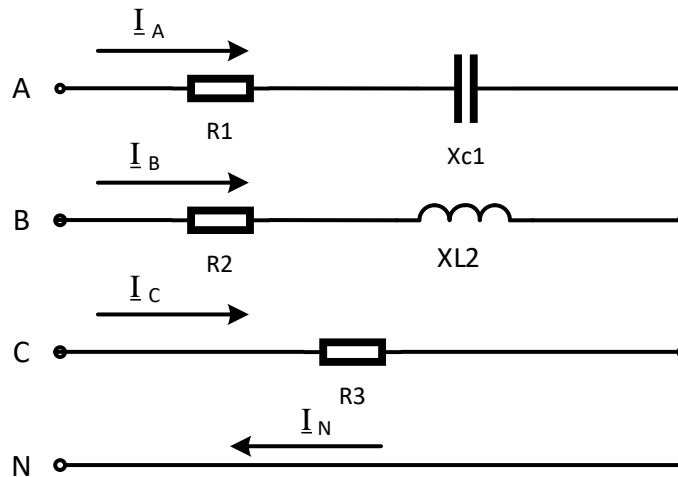


Рисунок 4.3

Таблиця 4.1

Схема	U <sub>л</sub> , В	Опори, Ом								
		R <sub>1</sub>	X <sub>L1</sub>	X <sub>C1</sub>	R <sub>2</sub>	X <sub>L2</sub>	X <sub>C2</sub>	R <sub>3</sub>	X <sub>L3</sub>	X <sub>C3</sub>
4.1	220	4	-	-	4	-	7	4	7	-
4.2	380	-	4	8	6	-	-	2	8	-
4.3	660	8	-	5	3	6	-	5	-	-

## 4.2 Приклад розрахунку

На рисунку 4.4 представлено трифазне електричне коло при з'єднанні навантаження «зіркою».

Вихідні дані для розрахунку: U<sub>л</sub>=220 В, R<sub>1</sub>=8 Ом, X<sub>C1</sub>=6 Ом, R<sub>2</sub>=7 Ом, R<sub>3</sub>=9 Ом, X<sub>L3</sub>=4 Ом, X<sub>C3</sub>=5 Ом.

Необхідно знайти фазні струми та струм в нейтральному проводі, знайти потужності, які споживаються колом, коефіцієнт потужності.

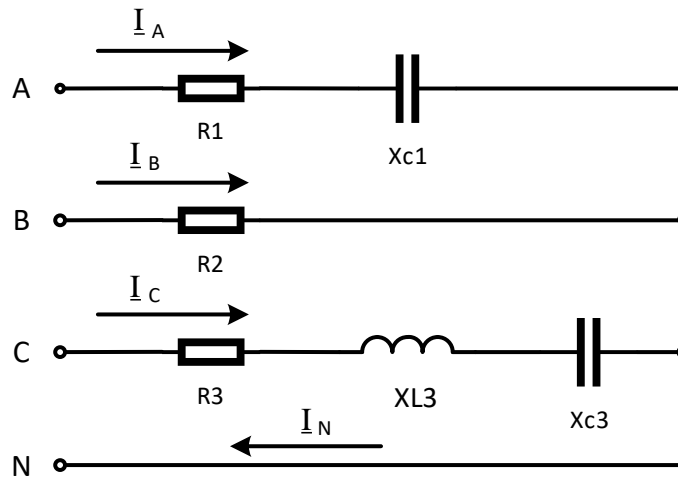


Рисунок 4.4

Визначаємо діюче значення фазної напруги та записуємо фазну напругу кожної фази в комплексній формі:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В};$$

$$\underline{U}_A = U_{\phi} \cdot e^{j0^{\circ}} = 127 \cdot e^{j0^{\circ}} \text{ В};$$

$$\underline{U}_B = U_{\phi} \cdot e^{-j120^{\circ}} = 127 \cdot e^{-j120^{\circ}} \text{ В};$$

$$\underline{U}_C = U_{\phi} \cdot e^{j120^{\circ}} = 127 \cdot e^{j120^{\circ}} \text{ В}.$$

Визначаємо повні опори кожної фази:

$$\underline{Z}_A = R_1 - jX_{C1} = 8 - j6 = 10e^{-j37^{\circ}} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_B = R_2 = 7 = 7e^{j0^{\circ}} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_C = R_3 + j(X_{L3} - X_{C3}) = 9 + j(4 - 5) = 9 - j1 = 9,1e^{-j6^{\circ}} \text{ Ом}.$$

Визначаємо фазні струми:

$$\underline{I}_A = \frac{U_A}{Z_A} = \frac{127 \cdot e^{j0^\circ}}{10e^{-j37^\circ}} = 12,7e^{j37^\circ} = 10,16 + j7,62 \text{ A};$$

$$\underline{I}_B = \frac{U_B}{Z_B} = \frac{127 \cdot e^{-j120^\circ}}{7e^{j0^\circ}} = 18,15e^{-j120^\circ} = -9,08 - j15,7 \text{ A};$$

$$\underline{I}_C = \frac{U_C}{Z_C} = \frac{127 \cdot e^{j120^\circ}}{9,1e^{-j6^\circ}} = 14,02e^{j126^\circ} = -8,31 + j11,29 \text{ A};$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_N &= \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 10,16 + j7,62 - 9,08 - j15,7 - 8,31 + j11,29 = \\ &= -7,23 + j3,21 = 7,91e^{j156^\circ} \text{ A}. \end{aligned}$$

Обчислюємо активну, реактивну потужності кожної фази і всієї системи живлення.

Активна потужність:

$$P_A = I_A^2 \cdot R_1 = 12,7^2 \cdot 8 = 1290 \text{ Вт};$$

$$P_B = I_B^2 \cdot R_2 = 18,15^2 \cdot 7 = 2306 \text{ Вт};$$

$$P_C = I_C^2 \cdot R_3 = 14,02^2 \cdot 9 = 1769 \text{ Вт}.$$

Реактивна потужність:

$$Q_A = I_A^2 \cdot (-X_{C1}) = 3,79^2 \cdot (-6) = -968 \text{ Вар};$$

$$Q_B = I_B^2 \cdot 0 = 0 \text{ Вар};$$

$$Q_C = I_C^2 \cdot (X_{L3} - X_{C3}) = 14,02^2 \cdot (4 - 5) = -197 \text{ Вар}.$$

Обчислюємо активну, реактивну, повну потужності всієї системи живлення:

$$P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C = 1290 + 2306 + 1769 = 5365 \text{ Вт};$$

$$Q_{3\phi} = Q_A + Q_B + Q_C = -968 + 0 - 197 = -1164 \text{ Вар};$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2} = \sqrt{5365^2 + (-1164)^2} = 5490 \text{ ВА}.$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}} = \frac{5365}{5490} = 0,97 .$$

## 5 ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

**5.1** Проведено перевірку вольтметра. Прилад має межу вимірювання 300 В, кількість поділок 75, клас точності 1.0. На позначках 30, 40, 50, 60, 75 поділок, абсолютна похибка склала 0,85, 1,2, 0,9, 0,6, 0,89 Вольт відповідно.

Визначити, чи відповідає прилад указаному класу точності та відносні похибки на вищевказаних позначках.

*Приклад розрахунку.*

Клас точності приладу визначається за максимальним допустимим значенням зведеної похибки. Максимальне значення зведеної похибки:

$$\gamma = 1 \% .$$

З іншої сторони зведена похибка визначається як

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_n} \cdot 100 \% ,$$

де  $\Delta A$  – абсолютна похибка;

$A_n$  – номінальне значення приладу (межа вимірювання).

Знайдемо максимальну можливу абсолютну похибку вольтметра як



$$\Delta U = \frac{\gamma \cdot U_H}{100} = \frac{1 \cdot 300}{100} = 3 \text{ В.}$$

За умовою задачі, абсолютні похибки на усіх позначках не перевищують 3 В. Це дає змогу зробити висновок, що вольтметр відповідає вказаному класу точності.

Відносна похибка приладу визначається за формулою:

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_d} \cdot 100 \% ,$$

де  $A_d$  – дійсне значення вимірювальної величини.

Ціна поділки:

$$C_U = \frac{U_H}{N} ,$$

де  $N$  – кількість поділок вольтметра.

$$C_U = \frac{300}{75} = 4 \text{ В.}$$

Знайдемо відносні похибки на відповідних позначках:

$$\delta_1 = \frac{0,85}{30 \cdot 4} \cdot 100\% = 0,7 \% ;$$

$$\delta_1 = \frac{1,2}{40 \cdot 4} \cdot 100\% = 0,75 \% ;$$

$$\delta_1 = \frac{0,9}{50 \cdot 4} \cdot 100\% = 0,45 \% ;$$

$$\delta_1 = \frac{0,6}{60 \cdot 4} \cdot 100\% = 0,25 \% ;$$

$$\delta_1 = \frac{0,89}{75 \cdot 4} \cdot 100\% = 0,3 \% .$$

**5.2** Амперметр класу точності 1,5 має 100 поділок. Ціна кожної поділки 0,5 А. Визначити межу вимірювання приладу, найбільшу абсолютну і відносну похибки в точках 10, 30, 50, 70 і 90 поділок.

**5.3** При повірці амперметра з межею вимірювання 10 А класу точності 0,5 відносна похибка на позначці 2 А склала 4,5 %. Визначити, чи відповідає прилад вказаному класу точності, якщо абсолютна похибка в цій точці має найбільше значення.

**5.4** Методом амперметра і вольтметра вимірюється опір за схемою рисунка 5.1.

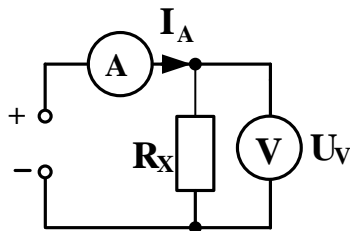


Рисунок 5.1

Показання амперметра і вольтметра такі:  $U_V=5,6$  В,  $I_A=0,4$  А. Прилади мають клас точності 1,0 і межі вимірювання  $I_H = 250$  мА,  $U_H = 7,5$  В.

Визначити опір, що вимірюється, найбільшу абсолютну і відносну похибки вимірювання.

*Приклад розрахунку.*

Опір, що вимірюється

$$R_X=U_V/I_A=5,6/0,4 =14 \text{ Ом.}$$

Найбільша абсолютна похибка вольтметра й амперметра відповідно до вказаних межх і класу точності 1,0

$$\Delta U_{max} = 1\%U_H = 0,075 \text{ В};$$

$$\Delta I_{max} = 1\%I_H = 0,0025 \text{ А.}$$

Найбільше значення опору, що вимірюється, з урахуванням класу точності застосованих приладів

$$R_{Xmax} = \frac{U_V + \Delta U_{max}}{I_A - \Delta I_{max}} = \frac{5,6 + 0,075}{0,4 - 0,0025} = 14,277 \text{ Ом.}$$

Тоді відносна похибка виміру

$$\frac{R_{Xmax} - R_X}{R_X} \cdot 100 \% = \frac{14,277 - 14}{14} 100 \% = 1,98 \% .$$

**5.5** Опір вимірюється методом амперметра і вольтметра. Показання приладів при цьому  $U_V = 12 \text{ В}$ ,  $I_A = 0,25 \text{ А}$ . Межі вимірювання і класи точності вольтметра й амперметра відповідно  $U_H = 15 \text{ В}$ , клас точності 0,5,  $I_H = 0,5 \text{ А}$ , клас точності 1,0.

Визначити опір, що вимірюється, і найбільшу абсолютну і відносну похибки без урахування опору приладів.

**5.6** Визначити опір резистора  $R_x$  (рисунок 5.1) для двох випадків: а) без урахування внутрішнього опору вольтметра; б) з урахуванням його. Показання вольтметра й амперметра при цьому такі:  $U_V = 75 \text{ В}$ ,  $I_A = 2,5 \text{ А}$ . Внутрішній опір вольтметра  $R_V = 5 \text{ кОм}$ .

**5.7** Мостом постійного струму виконують вимірювання опору резистора (рисунок 5.2). Отримано такі значення опорів плеч моста при його

врівноваженні:  $R_1 = 136 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 1000 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 100 \text{ Ом}$ . Визначити опір, що вимірюється, і найбільшу абсолютну похибку вимірювання, якщо клас точності моста 1,0.

*Зауваження.* Клас точності мостів визначається за відносною похибкою.

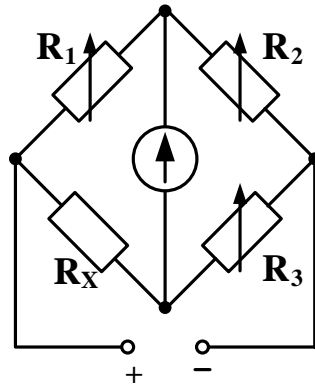


Рисунок 5.2

**5.8** Амперметр із зовнішнім шунтом  $R_{\text{ш}} = 0,005 \text{ Ом}$  розраховано на межу вимірювання  $60 \text{ А}$ , його внутрішній опір  $R_A = 15 \text{ Ом}$ .

Визначити струм повного відхилення вимірювальної котушки приладу.

**5.9** Амперметр з внутрішнім опором  $R_A = 0,015 \text{ Ом}$  і межею вимірювання  $20 \text{ А}$  має шунт з опором  $0,005 \text{ Ом}$ . Визначити межу вимірювання амперметра з шунтом, а також струм у колі, якщо його показання дорівнює  $12 \text{ А}$ .

**5.10** Мікроамперметр з межею вимірювання  $1000 \text{ мкА}$  і внутрішнім опором  $R_A = 300 \text{ Ом}$  необхідно використовувати як вольтметр на межу  $30 \text{ В}$ .

Визначити додатковий опір.

**5.11** У вольтметра електродинамічної системи з межею вимірювання  $U_1=300$  В і внутрішнім опором  $R_v = 30$  кОм необхідно розширити межу до 1500 В. Визначити додатковий опір вольтметра і максимально споживану потужність на основній і розширеній межах.

**5.12** Через трансформатор струму 50/5 А і трансформатор напруги 3000/150 В в однофазне коло змінного струму увімкнений ватметр електродинамічної системи з межами вимірювань  $I_n = 5$  А,  $U_n = 150$  В. Клас точності приладу 0,5, максимальне число поділок 150.

Визначити активну потужність кола і найбільшу відносну похибку виміру, якщо ватметр показав 125 поділок (класом точності вимірювальних трансформаторів знехтувати).

**5.13** Для вимірювання реактивної потужності в трифазному колі при симетричному навантаженні фаз з  $R=5$  Ом,  $X_L=1$  Ом використовується схема рисунка 5.3. Визначити показ ватметра, якщо лінійні напруги кола дорівнюють 220 В.

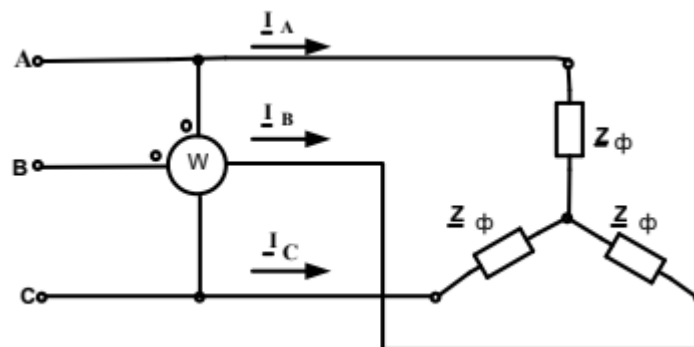


Рисунок 5.3

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Теорія електричних і магнітних кіл : підручник / С. В. Панченко, О. М. Ананьєва, М. М. Бабаєв, В. С. Блиндюк, М. Г. Давиденко, Н. П. Карпенко. Харків : УкрДУЗТ, 2020. 247 с.

2 Теоретичні основи електротехніки. Практикум : навч. посіб. / С. М. Тихонравов, О. Є. Зінченко, Н. П. Карпенко та ін. Харків : УкрДУЗТ, 2019. 154 с.

3 Поджаренко В. О., Кулаков П. І., Ігнатенко О. Г., Войтович О. П. Основи метрології та вимірювальної техніки: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2006. 151 с.

4 Прогонний О. М., Давиденко М. Г. Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни «Електротехніка» для студентів факультету управління процесами перевезень усіх форм навчання. Харків : УкрДУЗТ, 2020. 29 с.

5 Бабаєв М. М., Прилипко А. А., Зінченко О. Є. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Метрологія, технологічні вимірювання та прилади». Харків : УкрДАЗТ, 2010. 24 с.

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних занять та самостійних робіт

з дисципліни

*«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»*

Відповідальний за випуск Зінченко О. Є.

---

Підписано до друку 07.06.2024 р.

Умовн. друк. арк. 2,0. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного  
транспорту,

61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха,7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.