

**ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ**

**Кафедра «Електротехніка та електричні машини»**

**ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВІ РОБОТИ**

**та методичні вказівки до їх виконання**

**з дисципліни**

**“ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ”**

**для спеціальності**

**“ЗАЛІЗНИЧНІ СПОРУДИ ТА КОЛІЙНЕ ГОСПОДАРСТВО”**

**і з дисципліни**

**“ЕЛЕКТРОТЕХНІКА В БУДІВНИЦТВІ”**

**для спеціальності**

**“ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО”**

**денної форми навчання**

**Харків 2010**

Завдання та методичні вказівки розглянуто і

рекомендовано до друку на засіданні кафедри “Електротехніка та електричні машини” 26 листопада 2009 р., протокол № 3.

Наведено вихідні дані та послідовність роботи. Викладено методичні рекомендації щодо виконання та приклади розрахунків, запропоновано контрольні запитання для самоперевірки та захисту розрахункових робіт.

Завдання охоплюють найважливіші теми дисципліни.

Методичні вказівки призначені для студентів денної форми навчання спеціальності “Залізничні споруди та колійне господарство”, що вивчають дисципліну “Електротехніка та електропостачання”, та для студентів спеціальності “Промислове і цивільне будівництво”, що вивчають дисципліну “Електротехніка в будівництві”.

Укладачі:

проф. М.М. Бабаєв,  
доценти О.М. Прогонний, С.М. Тихонравов

Рецензент

доц. А.А. Прилипко

## ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВІ РОБОТИ

та методичні вказівки до їх виконання  
з дисципліни

**“ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ”**

для спеціальності

**“ЗАЛІЗНИЧНІ СПОРУДИ ТА КОЛІЙНЕ ГОСПОДАРСТВО”**

і з дисципліни

**“ЕЛЕКТРОТЕХНІКА В БУДІВНИЦТВІ”**

для спеціальності

**“ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО”**

денної форми навчання

Відповідальний за випуск Тихонравов С.М.

Редактор Етколо О.О.

---

Підписано до друку 22.03.10 р.  
Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.  
Умовн.-друк.арк. 0,5. Обл.-вид.арк. 0,75.  
Замовлення № Тираж 400. Ціна

---

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від. 12.06.2007 р.  
Друкарня УкрДАЗТу,  
61050, Харків - 50, майд. Фейєрбаха, 7

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
...	
Розрахункова робота	5
1.....	
Задача 1 Розрахунок розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму з одним джерелом електричної енергії.....	5
Вихідні дані та завдання.....	5
Методичні рекомендації до виконання.....	6
Приклад розрахунку.....	8
Задача 2 Розрахунок нерозгалуженого кола синусоїдного струму.....	1
Вихідні дані та завдання.....	2
Методичні рекомендації до виконання.....	1
Приклад розрахунку.....	4
Запитання для захисту розрахункової роботи	1
1.....	8
Розрахункова робота	1
2.....	9
Задача 3. Розрахунок трифазної чотирипровідної системи живлення при несиметричному навантаженні...	1
Вихідні дані та завдання.....	9
Методичні рекомендації до виконання.....	1
Приклад	2

розрахунку.....	3
Запитання для захисту розрахункової роботи	2
2.....	7
Список	2
літератури.....	9
Додаток А Комплексні числа та арифметичні дії з ними...	3
	0
Додаток Б Основні електричні величини.....	3
	3

## ВСТУП

Виконання розрахункових робіт є важливим етапом у самостійній роботі студента над дисципліною і повинно свідчити про те, що відповідні розділи дисципліни опрацьовані і достатньо глибоко осмислені. Навчальним планом передбачені дві розрахункові роботи, по одній у кожному змістовному модулі. Перша розрахункова робота складається з двох задач, друга з однієї. За обсягом роботи не повинні перевищувати 5 аркушів.

Завдання мають 100 варіантів, що відрізняються один від одного схемами і числовими значеннями заданих величин. Варіант, який слід виконувати, визначається за двома останніми цифрами шифру студента (номера залікової книжки): за останньою цифрою обирається номер схеми, а за передостанньою – номер варіанта числових значень величин.

Кожна робота виконується на аркушах паперу формату А-4, скріплених степлером. Перший аркуш – титульний лист. Робота може виконуватися від руки або на комп'ютері, на одній стороні аркуша з дотриманням встановлених полів.

Хід виконання робіт пояснюється та ілюструється схемами і векторними діаграмами. На електричних схемах повинні бути показані позитивні напрямки струмів.

Графічна частина роботи виконується акуратно за допомогою креслярського інструменту із дотриманням стандартів на умовні графічні позначення.

Слід дотримуватися такого порядку записів при обчисленнях: спочатку формула, потім підстановка числових значень, що входять у формулу без яких-небудь перетворень, потім результат із вказівкою одиниць виміру (додатки А.Б).

Для величин, що періодично змінюються за часом (наприклад, ЕРС, напруги, потенціали, струми) слід застосовувати такі позначення:

миттєве значення позначати маленькою літерою –  $i$ ,  $u$ ,  $e$ ;

постійний струм, напругу та ЕРС, а також діючі значення синусоїдних величин великою літерою без крапки над нею –  $I$ ,  $U$ ,  $E$ ;

амплітудні значення синусоїдних величин великою літерою з індексом "m" –  $I_m$ ,  $U_m$ ,  $E_m$ .

Захист розрахункових робіт може проводитись усно при співбесіді з викладачем або письмово у вигляді контрольної роботи (тестів). Викладачем оцінюється виконання роботи і її захист.

## **Розрахункова робота 1**

### **Задача 1 Розрахунок розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму з одним джерелом електричної енергії**

## Вихідні дані та завдання

Для електричного кола, зображеного на рисунку 1.1, визначити струми і скласти баланс потужності. Значення опорів резисторів і напруги на затискачах кола наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

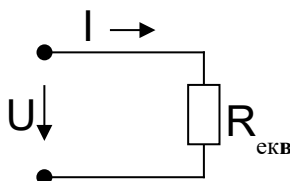
Варі- ант	U, В	Опір, Ом					
		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>
1	90	15	13	14	16	8	10
2	100	10	12	18	8	6	14
3	150	16	17	6	7	18	7
4	140	15	12	11	10	6	16
5	60	13	9	8	7	15	14
6	110	8	7	8	12	14	13
7	120	10	7	6	14	9	15
8	70	7	13	10	10	11	15
9	80	11	9	8	14	13	12
0	130	7	16	9	13	14	11

### Методичні рекомендації до виконання

Теоретичний матеріал і приклади розрахунку наведені в: [1, § 1.8.1-1.10.4; 2, § 2.6-2.7; 3.1-3.3].

Рекомендується нижченаведений порядок розрахунку.

1 На вихідній схемі позначити всі шукані струми. Методом згортання схеми визначити загальний (еквівалентний) опір схеми. Для цього в схемі необхідно знаходити ділянки з послідовним або паралельним вмиканням опорів. У результаті згортання одержати еквівалентну схему:



2 За законом Ома для замкнутого кола визначити струм через джерело електричної енергії:  $I = \frac{U}{R_{\text{вс}}}$ .

3 Застосовуючи закони Ома та Кірхгофа, визначити невідомі струми.

Перший закон Кірхгофа (для вузла):  $\sum I = 0$ .

Другий закон Кірхгофа (для контура):  $\sum U = 0$ .

4 Для перевірки правильності розрахунків скласти баланс потужностей:

$$U \cdot I = \sum I^2 \cdot R$$

У рівнянні: з лівої сторони – потужність, що розвивається джерелом, з правої сторони – сумарна потужність споживачів.

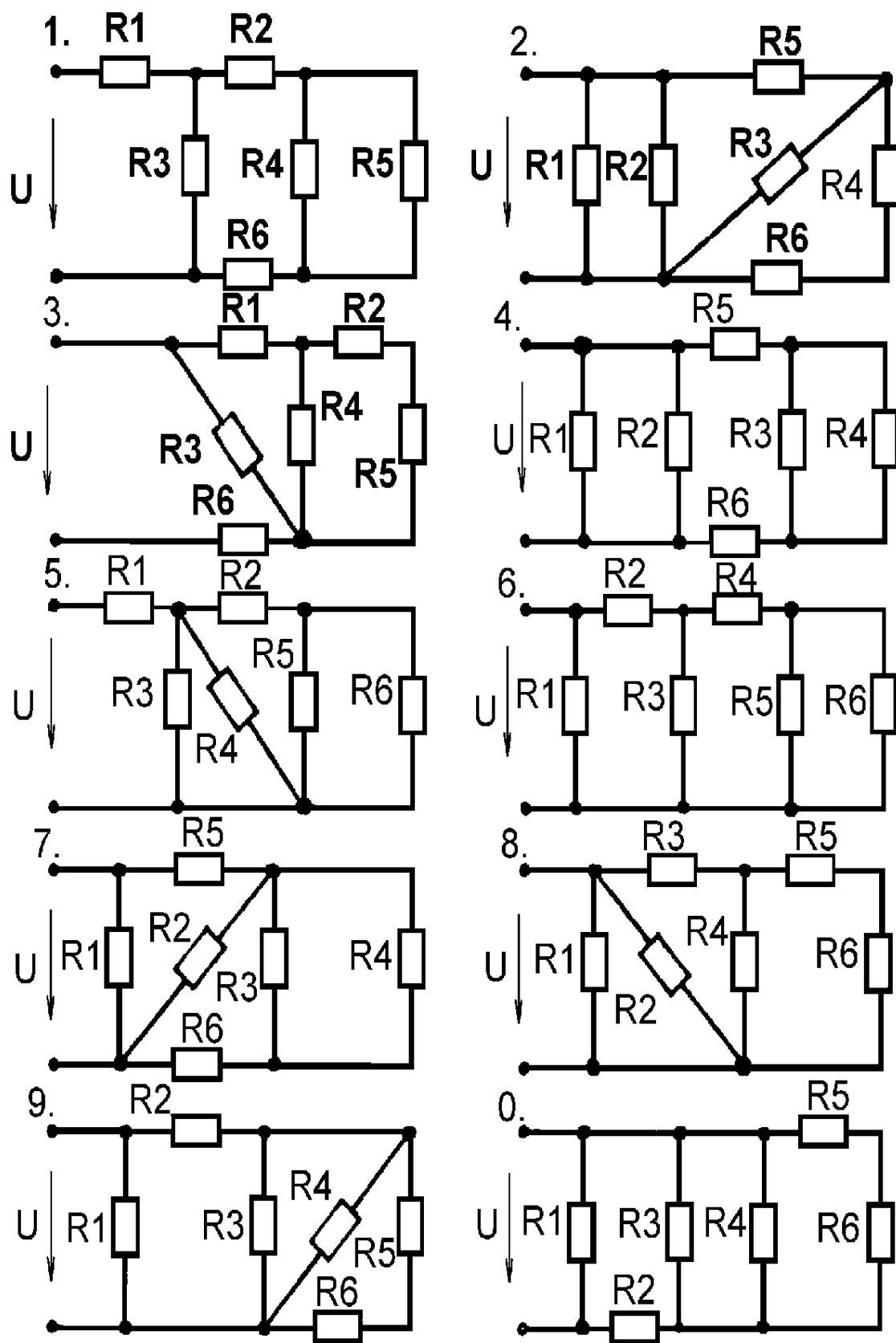


Рисунок 1.1



## Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 1.2.

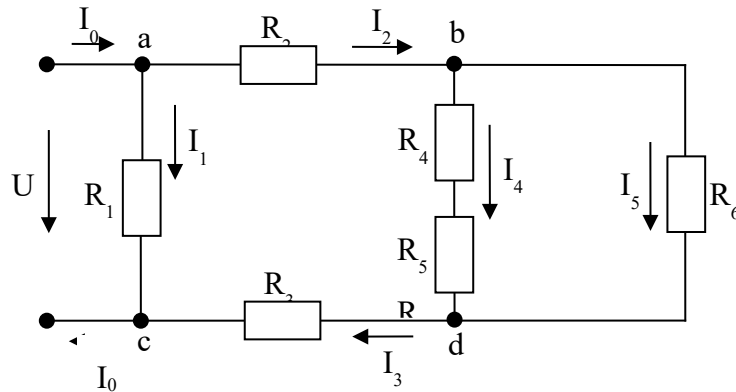


Рисунок 1.2

Вихідні дані:

$U = 50 \text{ В}$ ,  $R_1 = 12 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 7 \text{ Ом}$ ,  
 $R_4 = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 9 \text{ Ом}$ ,  $R_6 = 8 \text{ Ом}$ .

Послідовність розрахунку

1 Задаємо дійсні напрямки струмів у всіх гілках від плюса джерела до мінуса і починаємо згортати схему шляхом еквівалентних перетворень.

Резистори  $R_4$  та  $R_5$  з'єднані послідовно, тому їх можна замінити еквівалентним, використовуючи формулу для послідовного з'єднання опорів (рисунок 1.3.).

$$R_{45} = R_4 + R_5 = 15 + 9 = 24 \text{ Ом.}$$

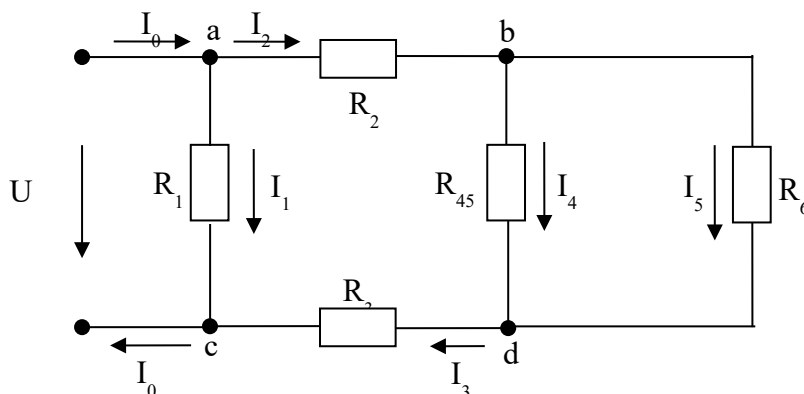


Рисунок 1.3

Резистори  $R_{45}$  та  $R_6$  з'єднані паралельно, тому використовуємо формулу для паралельного з'єднання опорів (рисунок 1.4).

$$R_{456} = \frac{R_{45} \cdot R_6}{R_{45} + R_6} = \frac{24 \cdot 8}{24 + 8} = 6 \text{ Ом}$$

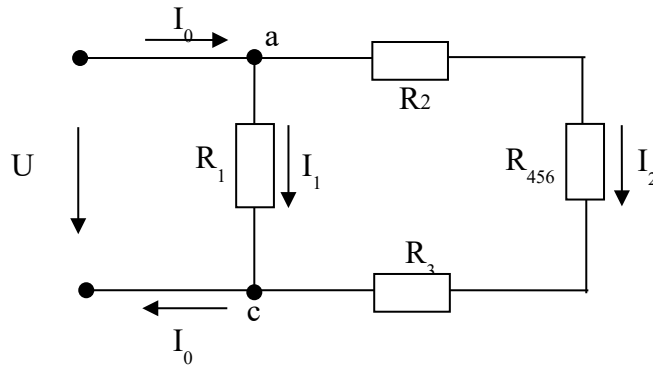


Рисунок 1.4

Резистори  $R_2$ ,  $R_{456}$  та  $R_3$  з'єднані послідовно, отже, треба використати формулу для послідовного з'єднання опорів (рисунок 1.5).

$$R_{23456} = R_2 + R_3 + R_{456} = 10 + 7 + 6 = 23 \text{ Ом.}$$

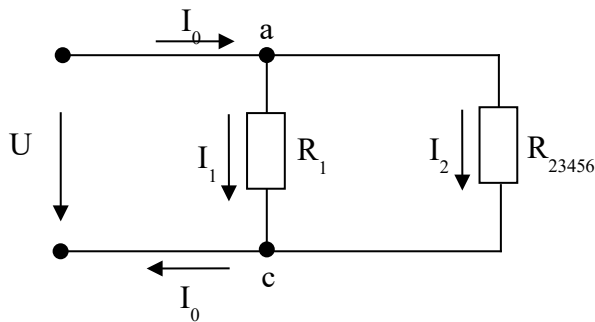


Рисунок 1.5

Резистори, що залишились, з'єднані паралельно, тому знайдемо еквівалентний опір схеми (рисунок 1.6).

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_1 \cdot R_{23456}}{R_1 + R_{23456}} = \frac{12 \cdot 23}{12 + 23} = 7,89 \text{ Ом.}$$

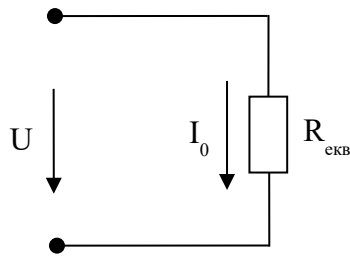


Рисунок 1.6

2 Визначаємо струм через джерело електричної енергії за законом Ома:

$$I_0 = \frac{U}{R_{\text{екв}}} = \frac{50}{7,89} = 6,34 \text{ А.}$$

3 Визначаємо невідомі струми за законами Ома та Кірхгофа.

Напруга на опорі  $R_1$  дорівнює  $U$  (рисунок 1.5), тому знайдемо струм  $I_1$  за законом Ома.

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{50}{12} = 4,17 \text{ А.}$$

Запишемо перший закон Кірхгофа для вузла «а» (рисунок 1.3), та знайдемо струм  $I_2$ :

$$\begin{aligned} I_0 - I_1 - I_2 &= 0, \\ I_2 &= I_0 - I_1 = 6,34 - 4,17 = 2,17 \text{ А.} \end{aligned}$$

З виразу першого закону Кірхгофа для вузла «с» видно, що  $I_3 = I_2$ :

$$\begin{aligned} I_1 + I_3 - I_0 &= 0, \\ I_3 &= I_0 - I_1 = 6,34 - 4,17 = 2,17 \text{ А.} \end{aligned}$$

Запишемо другий закон Кірхгофа для контура «с-а-b-d-с» (рисунок 1.4), і знайдемо струм  $I_4$ :

$$-I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 + I_4 \cdot R_{45} = 0;$$

$$I_4 = \frac{I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3}{R_{45}} = \frac{4,17 \cdot 12 - 2,17 \cdot 10 - 2,17 \cdot 7}{24} = 0,55 \text{ А.}$$

Для вузла «b» запишемо перший закон Кірхгофа і знайдемо струм  $I_5$ :

$$I_2 - I_4 - I_5 = 0,$$

$$I_5 = I_2 - I_4 = 2,17 - 0,55 = 1,62 \text{ А.}$$

Другим варіантом знаходження струмів  $I_4$  та  $I_5$  є визначення напруги  $U_{bd}$  за законом Ома:

$$U_{bd} = I_2 \cdot R_{456} = 2,17 \cdot 6 = 13,2 \text{ В,}$$

$$I_4 = \frac{U_{bd}}{R_{45}} = \frac{13,2}{24} = 0,55 \text{ А,}$$

$$I_5 = I_2 - I_4 = 2,17 - 0,55 = 1,62 \text{ А.}$$

4 Для перевірки розрахунку складаємо баланс потужностей

Розраховуємо потужність, що виробляє джерело:

$$P_{дж} = U \cdot I_0 = 50 \cdot 6,34 = 317 \text{ Вт.}$$

Розраховуємо потужності, що споживають опори навантаження.

$$P_{R_1} = I_1^2 \cdot R_1 = 4,17^2 \cdot 12 = 208,67 \text{ Вт,}$$

$$P_{R_2} = I_2^2 \cdot R_2 = 2,17^2 \cdot 10 = 47,09 \text{ Вт,}$$

$$P_{R_3} = I_3^2 \cdot R_3 = 2,17^2 \cdot 7 = 32,96 \text{ Вт,}$$

$$P_{R_4} = I_4^2 \cdot R_4 = 0,55^2 \cdot 15 = 4,54 \text{ Вт,}$$

$$P_{R_5} = I_4^2 \cdot R_5 = 0,55^2 \cdot 9 = 2,72 \text{ Вт,}$$

$$P_{R_6} = I_5^2 \cdot R_6 = 1,62^2 \cdot 8 = 21 \text{ Вт,}$$

$$\sum I^2 \cdot R = 208,67 + 47,09 + 32,96 + 4,54 + 2,72 + 21 = 316,98 \text{ Вт.}$$

Баланс потужностей:  $U \cdot I = \sum I^2 \cdot R$ ,

$$317 \text{ Вт} \approx 316,98 \text{ Вт.}$$

Розраховуємо похибку, яка виникла за рахунок округлювання:

$$\Delta = \frac{P_{\text{дж}} - \sum I^2 \cdot R}{P_{\text{дж}}} \cdot 100\% = \frac{317 - 316,98}{317} \cdot 100\% = 0,006\% .$$

## Задача 2 Розрахунок нерозгалуженого кола синусоїдного струму

### Вихідні дані та завдання

Варіанти розрахункових схем наведено на рисунку 1.7.

Напруга на затискачах кола змінюється за законом  $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ .

Амплітудне значення  $U_m$  і початкова фаза  $\psi_u$  напруги, а також значення активних  $R$ , індуктивних  $X_L$  і ємнісних  $X_C$  опорів наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Величина	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_m, \text{ В}$	240	220	127	380	400	180	200	260	300	280
$\psi_u, \text{ град}$	15	30	45	60	75	-15	-30	-45	-60	-75
$R_1, \text{ Ом}$	2	4	6	7	9	4	12	11	7	4
$X_{L1}, \text{ Ом}$	9	6	6	12	8	8	10	6	9	7
$X_{C1}, \text{ Ом}$	4	2	9	6	12	9	4	7	11	8
$R_2, \text{ Ом}$	9	6	6	12	8	14	11	6	5	4
$X_{L2}, \text{ Ом}$	7	6	2	9	8	9	11	4	8	6
$X_{C2}, \text{ Ом}$	2	6	9	12	8	7	6	9	12	9



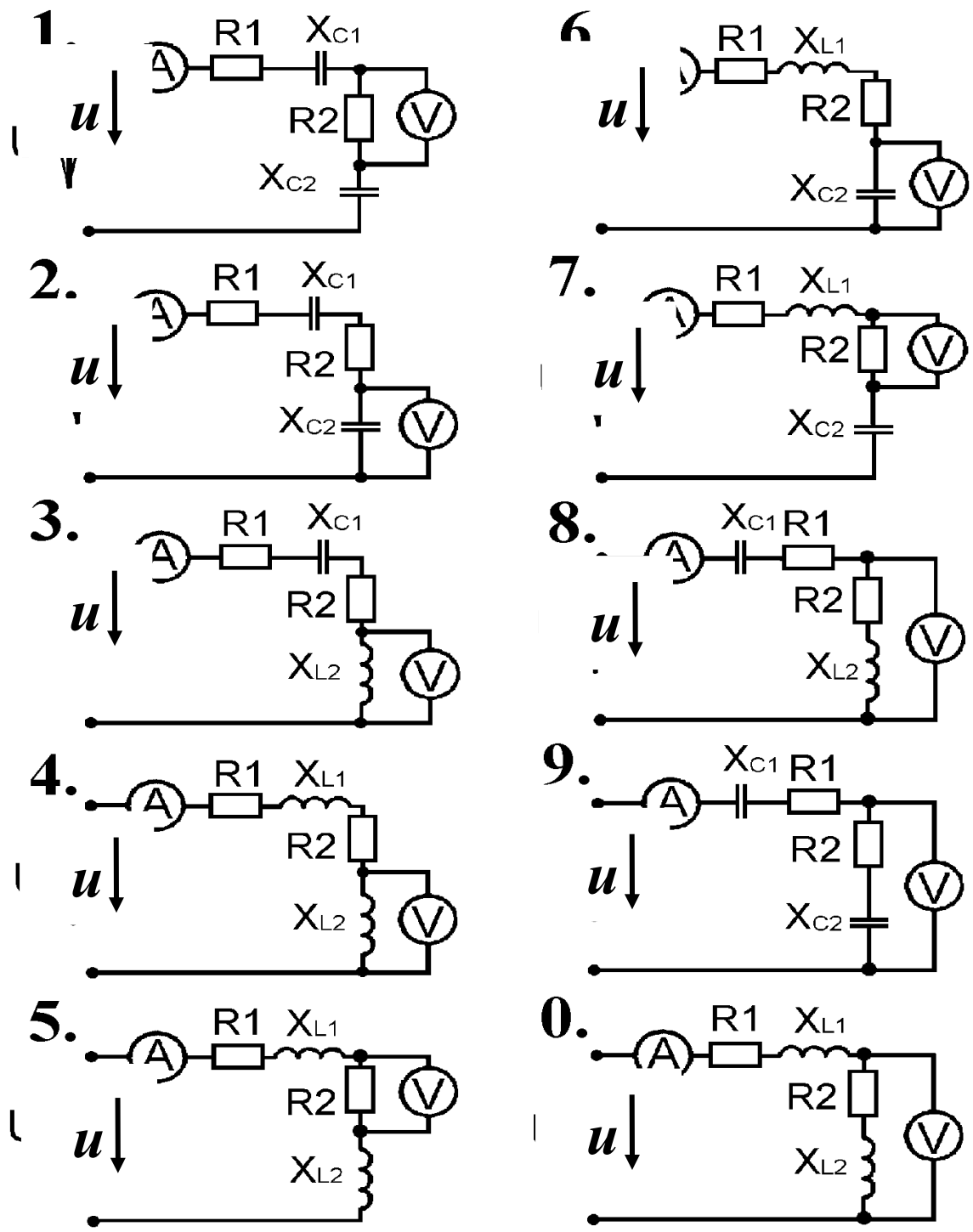


Рисунок 1.7

**Необхідно:**

- 1) визначити показання вимірювальних приладів, що є на схемі;
- 2) визначити закон зміни струму в колі;

- 3) визначити активну, реактивну і повну потужності, споживані колом із мережі;
- 4) визначити напруги на всіх елементах кола у комплексній формі;
- 5) побудувати векторну діаграму струму та напруг.

### Методичні рекомендації до виконання

Теоретичний матеріал і приклади розрахунку наведені в [1, § 2.1-2.6; 2.10; 2, § 4.1-4.12; 5.1-5.8]. Форми подання комплексних чисел та дії з комплексними числами наведені у додатку А.

Рекомендується нижченаведений порядок розрахунку.

1 Записати в комплексній формі величину прикладеної напруги

$$\dot{U} = U e^{j\psi_u},$$

де  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$  – діюче значення напруги, В;

$\psi_u$  – початкова фаза напруги, ° (десяткові градуси).

2 Обчислити загальний комплексний опір електричного кола в показовій формі

$$\underline{Z} = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X}{R}} = Z e^{j\varphi},$$

де  $X = (X_L - X_C)$  – реактивний опір кола, Ом;

$\varphi = \psi_u - \psi_i$  – зсув фаз між напругою та струмом, °.

3 За законом Ома в комплексній формі визначити струм, А, що протікає у колі:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = I \cdot e^{j\psi_i}.$$

Амперметр показує діюче значення струму I.

4 Визначити діюче значення напруги, В, на ділянці електричного кола

$$U = I \cdot Z_{\text{д}}$$

де  $Z_{\text{д}} = \sqrt{R^2 + X^2}$  – величина опору ділянки кола.

5 Записати миттєве значення струму,  $i$ , у колі:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i)$$

6 Обчислити потужності, споживані колом:

активна потужність, Вт,  $P = R \cdot I^2$ ;

реактивна потужність, ВАр,  $Q = X \cdot I^2$ ;

повна потужність, ВА,  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ .

7 Побудувати векторну діаграму.

Векторна діаграма – це зображення на комплексній площині векторами всіх струмів і напруг, що діють у колі. При послідовному вмиканні опорів побудову векторної діаграми рекомендується починати з вектора струму. Вектори напруг на елементах кола слід показувати, керуючись положенням: на активному опорі напрямок струму і напруги збігаються, на індуктивності – напруга випереджає струм на  $90^\circ$ , а на ємності – напруга відстає від струму на  $90^\circ$ . Вектор напруги джерела одержують на основі другого закону Кірхгофа, складаючи вектори напруг окремих елементів.

### Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 1.8.

Вихідні дані:

$U_m = 200$  В,  $\psi_u = 60^\circ$ ,  $R_1 = 8$  Ом,  $R_2 = 5$  Ом,  $X_{L1} = 5$  Ом,  
 $X_{C1} = 16$  Ом,  $X_{C2} = 17$  Ом



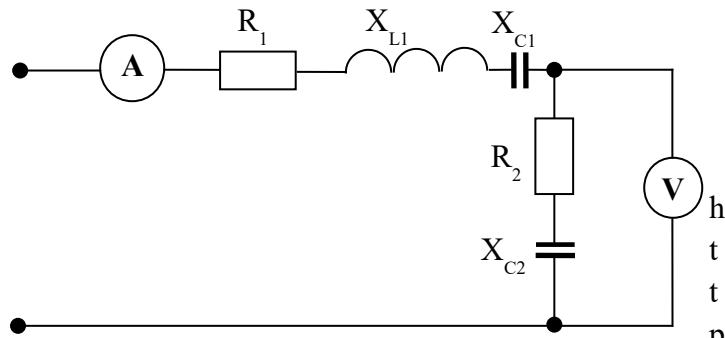


Рисунок 1.8

1 Записуємо у комплексній формі величину прикладеної напруги:

$$\dot{U} = U \cdot e^{j\psi_u} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_u} = \frac{200}{\sqrt{2}} \cdot e^{j60^\circ} = 141,42 \cdot e^{j60^\circ} = 70,71 + j122,47 \text{ В.}$$

2 Обчислюємо загальний комплексний опір електричного кола в показовій формі:

$$\underline{Z} = (R_1 + R_2) + j \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_{C2}) = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot e^{j \cdot \arctg \frac{X}{R}} = Z \cdot e^{j\varphi}$$

$$\underline{Z} = (8 + 5) + j \cdot (5 - 16 - 17) = 13 - j28 = \sqrt{13^2 + (-28)^2} \cdot e^{j \cdot \arctg \frac{-28}{13}} = 30,87 \cdot e^{-j65,1^\circ} \text{ Ом.}$$

3 Визначаємо струм, що протікає у колі за законом Ома, у комплексній формі:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = \frac{141,42 \cdot e^{j60^\circ}}{30,87 \cdot e^{-j65,1^\circ}} = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} = -2,63 + j3,75 \text{ А.}$$

4 Визначаємо діюче значення напруги на ділянці електричного кола. Для цього спочатку треба знайти опір на цій ділянці:

$$\underline{Z}_d = R_2 - jX_{C2} = 5 - j17 = \sqrt{5^2 + (-17)^2} \cdot e^{j \cdot \arctg \frac{-17}{5}} = 17,72 \cdot e^{-j73,61^\circ} \text{ Ом,}$$

$$U = I \cdot Z_d = 4,58 \cdot 17,72 = 81,16 \text{ В.}$$

5 Записуємо миттєве значення струму у колі, попередньо обчисливши його амплітудне значення:

$$I_m = I \cdot \sqrt{2} = 4,58 \cdot \sqrt{2} = 6,48 \text{ А},$$

$$i = I_m \cdot \sin(\omega t + \phi_i); \quad i = 6,48 \cdot \sin(\omega t + 125,1^\circ)$$

6 Обчислюємо потужності, споживані колом:

активна потужність:  $P = R \cdot I^2 = 13 \cdot 4,58^2 = 272,63 \text{ Вт},$

реактивна потужність:  $Q = X \cdot I^2 = -28 \cdot 4,58^2 = -587,34 \text{ Вар},$

повна потужність:  $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{272,63^2 + (-587,34)^2} = 647,53 \text{ ВА}.$

7 Побудуємо векторну діаграму (рисунок 1.9).

Для цього запишемо значення напруг на кожному елементі кола:

$$\dot{U}_{R_1} = \dot{I} \cdot \underline{Z}_{R_1} = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot (8 + j0) = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot 8 \cdot e^{j0^\circ} = 36,64 \cdot e^{j125,1^\circ} \text{ В},$$

$$\dot{U}_{L_1} = \dot{I} \cdot \underline{Z}_{L_1} = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot (0 + j5) = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot 5 \cdot e^{j90^\circ} = 22,9 \cdot e^{j215,1^\circ} \text{ В},$$

$$\dot{U}_{C_1} = \dot{I} \cdot \underline{Z}_{C_1} = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot (0 - j16) = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot 16 \cdot e^{-j90^\circ} = 73,28 \cdot e^{j35,1^\circ} \text{ В},$$

$$\dot{U}_{R_2} = \dot{I} \cdot \underline{Z}_{R_2} = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot (5 + j0) = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot 5 \cdot e^{j0^\circ} = 22,9 \cdot e^{j125,1^\circ} \text{ В},$$

$$\dot{U}_{C_2} = \dot{I} \cdot \underline{Z}_{C_2} = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot (0 - j17) = 4,58 \cdot e^{j125,1^\circ} \cdot 17 \cdot e^{-j90^\circ} = 77,86 \cdot e^{j35,1^\circ} \text{ В}.$$

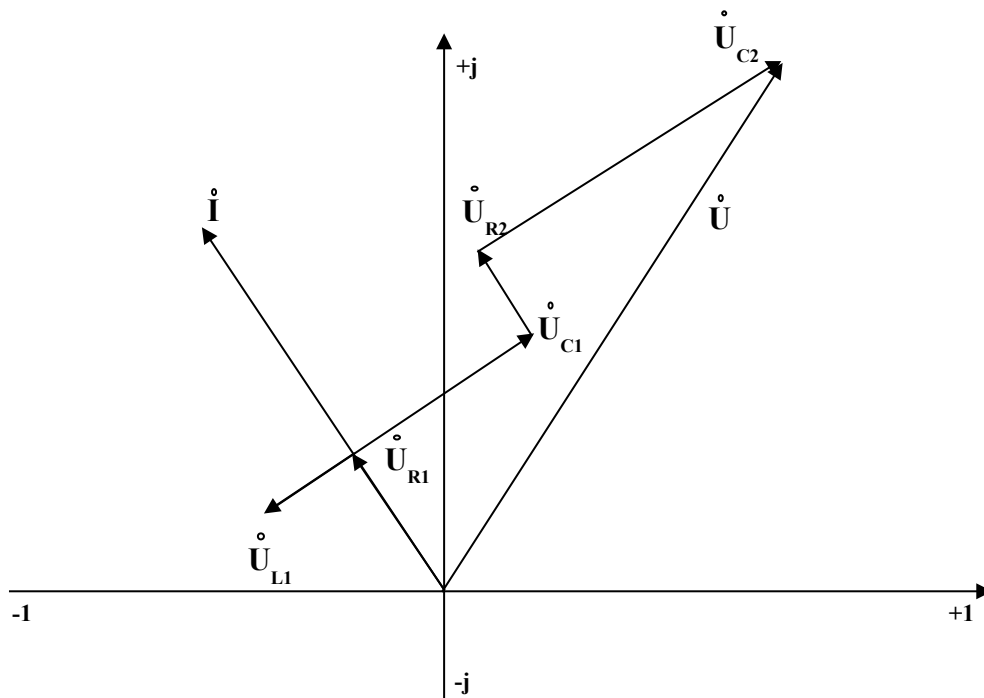


Рисунок 1.9

## Запитання для захисту розрахункової роботи 1

1 Дати визначення і вміти показати на схемі топологічні елементи електричних кіл.

2 Від яких параметрів залежить величина активного опору?

3 Як визначається загальний опір при послідовному вмиканні опорів?

4 Як визначається загальний опір при паралельному вмиканні опорів?

5 Дати визначення закону Ома для замкнутого кола і ділянки.

6 Сформулювати перший закон Кірхгофа і показати його застосування в розрахунковій роботі.

7 Сформулювати другий закон Кірхгофа і показати його застосування в розрахунковій роботі.

8 Визначення потужностей джерела і споживачів.

9 Баланс потужностей: його призначення і правила складання.

10 Який струм називається змінним синусоїдним?

11 Якими параметрами описується синусоїдний струм?

12 Які елементи здійснюють опір синусоїдному струму? Як визначити ці опори? Що таке трикутник опорів?

13 Як визначається загальний опір кола при послідовному вмиканні резистора, індуктивності і ємності?

14 Що називають зсувом фаз у колі синусоїдного струму?

15 Як записується миттєве значення синусоїдного струму?

16 Як подати синусоїдну величину струму комплексним числом (для використання символічного методу розрахунку)?

17 Закон Ома у символічній формі.

18 Як визначаються активна, реактивна і повна потужності? Одиниці їх вимірювання.

19 Що таке трикутник потужностей?

20 Що таке коефіцієнт потужності кола змінного струму?

## Розрахункова робота 2

### Задача 3 Розрахунок трифазної чотирипровідної системи живлення при несиметричному навантаженні

#### Вихідні дані та завдання

До трифазного джерела із симетричною системою фазних напруг підключене навантаження, зображене на рисунку 2.1. Величини лінійної напруги  $U_{л}$ , активних  $R$ , індуктивних  $X_L$  і ємнісних  $X_C$  опорів приймачів наведені в таблиці 2.1.

#### Необхідно:

- 1) визначити струми в лінійних і нейтральному проводах;
- 2) визначити фазну напругу на споживачах при обриві нульового проводу;
- 3) обчислити коефіцієнт потужності системи живлення;
- 4) побудувати векторні діаграми фазних і лінійних напруг для режимів з нульовим проводом та з його обривом.

Таблиця 2.1

Варі- ант	$U_{л},$ В	Опір, Ом								
		$R_1,$	$X_{L1}$	$X_{C1}$	$R_2,$	$X_{L2}$	$X_{C2}$	$R_3,$	$X_{L3}$	$X_{C3}$
1	220	4	8	6	4	5	7	4	7	7
2	380	6	4	8	6	3	8	2	8	6
3	220	8	6	5	3	6	3	5	9	7
4	220	5	3	9	5	4	9	7	8	8
5	380	9	9	3	4	4	9	7	9	7

6	380	6	4	8	5	3	9	9	6	8
7	220	7	9	7	3	5	3	7	7	4
8	380	3	7	9	6	7	4	5	4	8
9	220	6	8	2	8	3	6	8	4	6
0	380	7	7	4	7	5	4	6	8	4

## Методичні рекомендації до виконання

Теоретичний матеріал і приклади розрахунку наведені в [1, §3.1-3,2; 2, §7.1-7.6].

Послідовність розрахунку

1 Визначити діюче значення фазної напруги джерела та записати в комплексній формі напруги фаз:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}}, \quad \dot{U}_A = U_{\phi} \cdot e^{j0^{\circ}}, \quad \dot{U}_B = U_{\phi} \cdot e^{-j120^{\circ}}, \quad \dot{U}_C = U_{\phi} \cdot e^{j120^{\circ}}.$$

2 Визначити комплексні опори навантаження у фазах:

$$\underline{Z}_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X_A}{R_A}} = Z_A \cdot e^{j\varphi_A},$$

$$\underline{Z}_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X_B}{R_B}} = Z_B \cdot e^{j\varphi_B},$$

$$\underline{Z}_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X_C}{R_C}} = Z_C \cdot e^{j\varphi_C}.$$

3 За законом Ома визначити фазні струми:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = I_A \cdot e^{j\varphi_A} = I_{Aa} + jI_{Ap},$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = I_B \cdot e^{j\varphi_B} = I_{Ba} + jI_{Bp},$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C} = I_C \cdot e^{j\varphi_C} = I_{Ca} + jI_{Cp}.$$

4 За першим законом Кірхгофа обчислити струм у нульовому проводі:

$$\dot{I}_O = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = (I_{Aa} + I_{Ba} + I_{Ca}) + j(I_{Ap} + I_{Bp} + I_{Cp}) = I_O \cdot e^{j\phi_I}.$$

5 Обчислити напругу між нульовими точками джерела і навантаження при обриві нейтрального проводу за формулою

$$\dot{U}_{OO} = \frac{\dot{U}_A \cdot \frac{1}{Z_A} + \dot{U}_B \cdot \frac{1}{Z_B} + \dot{U}_C \cdot \frac{1}{Z_C}}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C}} = \frac{\dot{I}_O}{\frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C}} = U_{OO} \cdot e^{j\phi_U}.$$

6 Визначити величину фазних напруг споживачів при обриві нейтрального проводу:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{OO}, \quad \dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{OO}, \quad \dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{OO}.$$

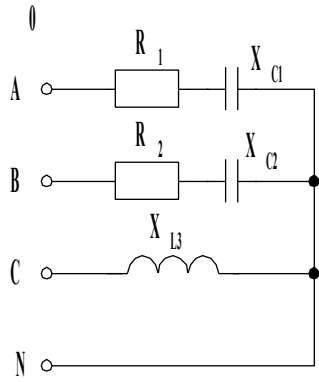
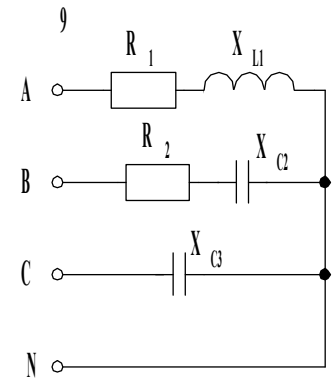
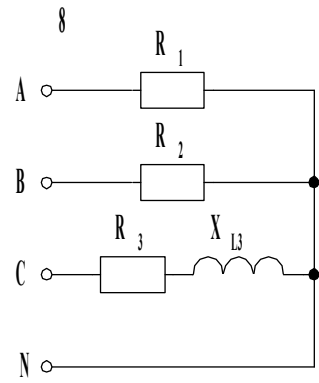
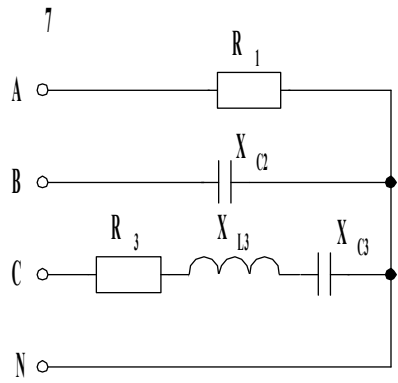
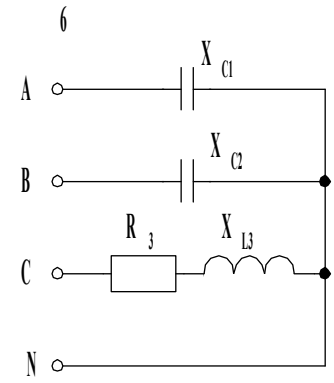
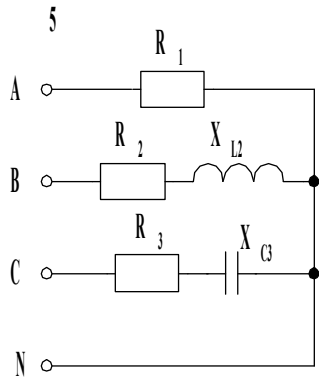
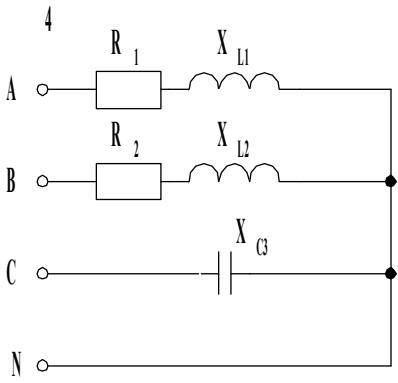
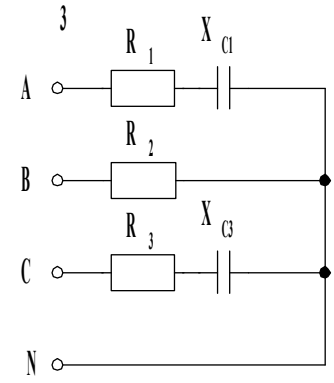
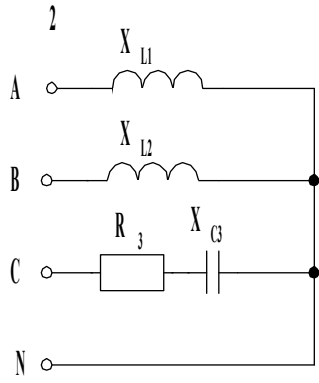
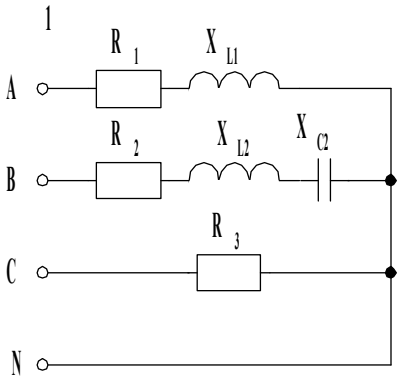


Рисунок 2.1

7 Обчислити активну, реактивну, повну потужності кожної фази і всієї системи живлення:

активна потужність відповідної фази:  $P = I^2 \cdot R$ ;

реактивна потужність:  $Q = I^2 \cdot X$ ;

сумарні потужності трифазної системи:

$$P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C, \quad Q_{3\phi} = Q_A + Q_B + Q_C;$$

повна потужність трифазної системи живлення:

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2}.$$

8 Визначити коефіцієнт потужності трифазної системи живлення:

$$\cos \varphi = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}}.$$

9 Побудувати в одних координатних осях векторні діаграми фазних і лінійних напруг для режиму роботи з нульовим проводом і з його обривом.

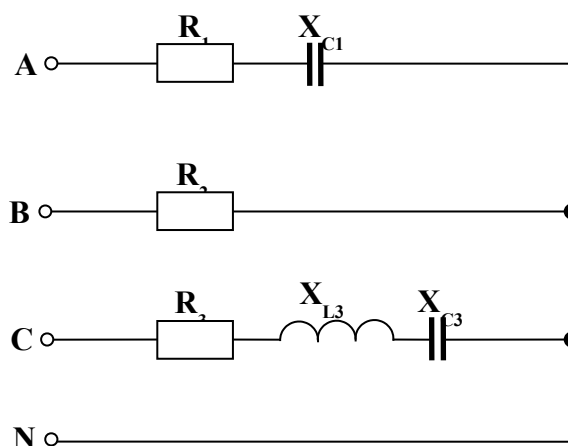
### Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 2.2.

Вихідні дані:  $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$ ,  $R_1 = 8 \text{ Ом}$ ,  $X_{C1} = 6 \text{ Ом}$ ,

$R_2 = 7 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 9 \text{ Ом}$ ,  $X_{L3} = 4 \text{ Ом}$ ,  $X_{C3} = 5 \text{ Ом}$ .

P



исунок 2.2

1 Визначаємо діюче значення фазної напруги джерела



та записуємо в комплексній формі напруги фаз:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\Pi}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127,02 \text{ В},$$

$$\dot{U}_A = U_{\phi} \cdot e^{j0^{\circ}} = 127,02 \cdot e^{j0^{\circ}} = 127,02 \text{ В},$$

$$\dot{U}_B = U_{\phi} \cdot e^{-j120^{\circ}} = 127,02 \cdot e^{-j120^{\circ}} = -63,51 - j110 \text{ В},$$

$$\dot{U}_C = U_{\phi} \cdot e^{j120^{\circ}} = 127,02 \cdot e^{j120^{\circ}} = -63,51 + j110 \text{ В}.$$

2 Визначаємо комплексні опори навантаження у фазах:

$$\underline{Z}_A = \sqrt{R_A^2 + X_A^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X_A}{R_A}} = Z_A \cdot e^{j\varphi_A} = \sqrt{8^2 + (-6)^2} \cdot e^{j \arctg \frac{-6}{8}} = 10 \cdot e^{-j36,87^{\circ}} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X_B}{R_B}} = Z_B \cdot e^{j\varphi_B} = \sqrt{7^2} \cdot e^{j \arctg \frac{0}{7}} = 7 \cdot e^{j0^{\circ}} \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} \cdot e^{j \arctg \frac{X_C}{R_C}} = Z_C \cdot e^{j\varphi_C} = \sqrt{9^2 + (4-5)^2} \cdot e^{j \arctg \frac{4-5}{9}} = 9,06 \cdot e^{-j6,34^{\circ}} \text{ Ом}.$$

3 Визначаємо фазні струми за законом Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = I_A \cdot e^{j\varphi_A} = I_{Aa} + jI_{Ap} = \frac{127,02 \cdot e^{j0^{\circ}}}{10 \cdot e^{-j36,87^{\circ}}} = 12,7 \cdot e^{j36,87^{\circ}} = 10,16 + j7,62 \text{ А},$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = I_B \cdot e^{j\varphi_B} = I_{Ba} + jI_{Bp} = \frac{127,02 \cdot e^{-j120^{\circ}}}{7 \cdot e^{j0^{\circ}}} = 18,15 \cdot e^{-j120^{\circ}} = -9,08 - j15,7 \text{ А},$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C} = I_C \cdot e^{j\varphi_C} = I_{Ca} + jI_{Cp} = \frac{127,02 \cdot e^{j120^{\circ}}}{9,06 \cdot e^{-j6,34^{\circ}}} = 14,02 \cdot e^{j126,34^{\circ}} = -8,31 + j11,29 \text{ А}.$$

4 Обчислюємо струм у нульовому проводі за першим законом Кірхгофа:

$$\dot{I}_O = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = (I_{Aa} + I_{Ba} + I_{Ca}) + j(I_{Ap} + I_{Bp} + I_{Cp}) =$$

$$= I_O \cdot e^{j\phi_i} = (10,16 - 9,08 - 8,31) +$$

$$+ j(7,62 - 15,7 + 11,29) = -7,23 + j3,21 = 7,91 \cdot e^{j156,06^{\circ}} \text{ А}.$$

5 Обчислюємо напругу між нульовими точками джерела і навантаження при обриві нейтрального проводу:

$$\dot{U}_{oo} = \frac{\dot{U}_A \cdot \frac{1}{\underline{Z}_A} + \dot{U}_B \cdot \frac{1}{\underline{Z}_B} + \dot{U}_C \cdot \frac{1}{\underline{Z}_C}}{\frac{1}{\underline{Z}_A} + \frac{1}{\underline{Z}_B} + \frac{1}{\underline{Z}_C}} = \frac{\dot{I}_O}{\frac{1}{\underline{Z}_A} + \frac{1}{\underline{Z}_B} + \frac{1}{\underline{Z}_C}} = U_{oo} \cdot e^{j\phi_o}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{00} &= \frac{127,02 \cdot e^{j0^\circ} \cdot \frac{1}{10 \cdot e^{-j36,87^\circ}} + 127,02 \cdot e^{-j120^\circ} \cdot \frac{1}{7 \cdot e^{j0^\circ}} + 127,02 \cdot e^{j120^\circ} \cdot \frac{1}{9,06 \cdot e^{-j6,34^\circ}}}{\frac{1}{10 \cdot e^{-j36,87^\circ}} + \frac{1}{7 \cdot e^{j0^\circ}} + \frac{1}{9,06 \cdot e^{-j6,34^\circ}}} = \\ &= \frac{12,7 \cdot e^{j36,87^\circ} + 18,5 \cdot e^{-j120^\circ} + 14,02 \cdot e^{j126,34^\circ}}{0,08 + j0,06 + 0,14 + 0,11 + j0,01} = \frac{10,16 + j7,62 - 9,08 - j15,72 - 8,31 + j11,29}{0,33 + j0,07} = \\ &= \frac{-7,23 + j3,19}{0,34 \cdot e^{j11,98^\circ}} = \frac{7,9 \cdot e^{j156,19^\circ}}{0,34 \cdot e^{j11,98^\circ}} = 23,24 \cdot e^{j144,21^\circ} = -18,85 + j13,59 \text{ В.} \end{aligned}$$

6 Визначаємо величину фазних напруг споживачів при обриві нейтрального проводу:

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= \dot{U}_A - \dot{U}_{00} = 127,02 - (-18,85 + j13,59) = 127,02 + 18,85 - j13,59 = \\ &= 145,87 - j13,59 = 146,50 e^{-j53,22^\circ} \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_b &= \dot{U}_B - \dot{U}_{00} = -63,51 - j110 - (-18,85 + j13,59) = -63,51 - j110 + 18,85 - j13,59 = \\ &= -44,66 - j123,59 = 131,41 e^{-j109,86^\circ} \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_c &= \dot{U}_C - \dot{U}_{00} = -63,51 + j110 - (-18,85 + j13,59) = -63,51 + j110 + 18,85 - j13,59 = \\ &= -44,66 + j96,41 = 106,25 e^{j114,85^\circ} \text{ В} \end{aligned}$$

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

Активна потужність:

$$P_A = I_A^2 \cdot R_A = 12,7^2 \cdot 8 = 1290,32 \text{ Вт,}$$

$$P_B = I_B^2 \cdot R_B = 18,15^2 \cdot 7 = 2305,96 \text{ Вт,}$$

$$P_C = I_C^2 \cdot R_C = 14,02^2 \cdot 9 = 1769,04 \text{ Вт.}$$

Реактивна потужність:

$$Q_A = I_A^2 \cdot X_A = 12,7^2 \cdot (-6) = -967,74 \text{ ВАр,}$$

$$Q_B = I_B^2 \cdot X_B = 18,15^2 \cdot 0 = 0 \text{ ВАр,}$$

$$Q_C = I_C^2 \cdot X_C = 14,02^2 \cdot (-1) = -196,56 \text{ ВАр.}$$

Сумарні потужності трифазної системи:

$$P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C = 1290,32 + 2305,96 + 1769,04 = 5365,32 \text{ Вт,}$$

$$Q_{3\phi} = Q_A + Q_B + Q_C = -967,74 - 196,56 = -1164,3 \text{ ВАр.}$$

Повна потужність трифазної системи живлення:

$$S_{3\phi} = \sqrt{P_{3\phi}^2 + Q_{3\phi}^2} = \sqrt{(5365,32)^2 + (-1164,3)^2} = 5490,2 \text{ ВА.}$$

8 Визначаємо коефіцієнт потужності трифазної системи живлення:

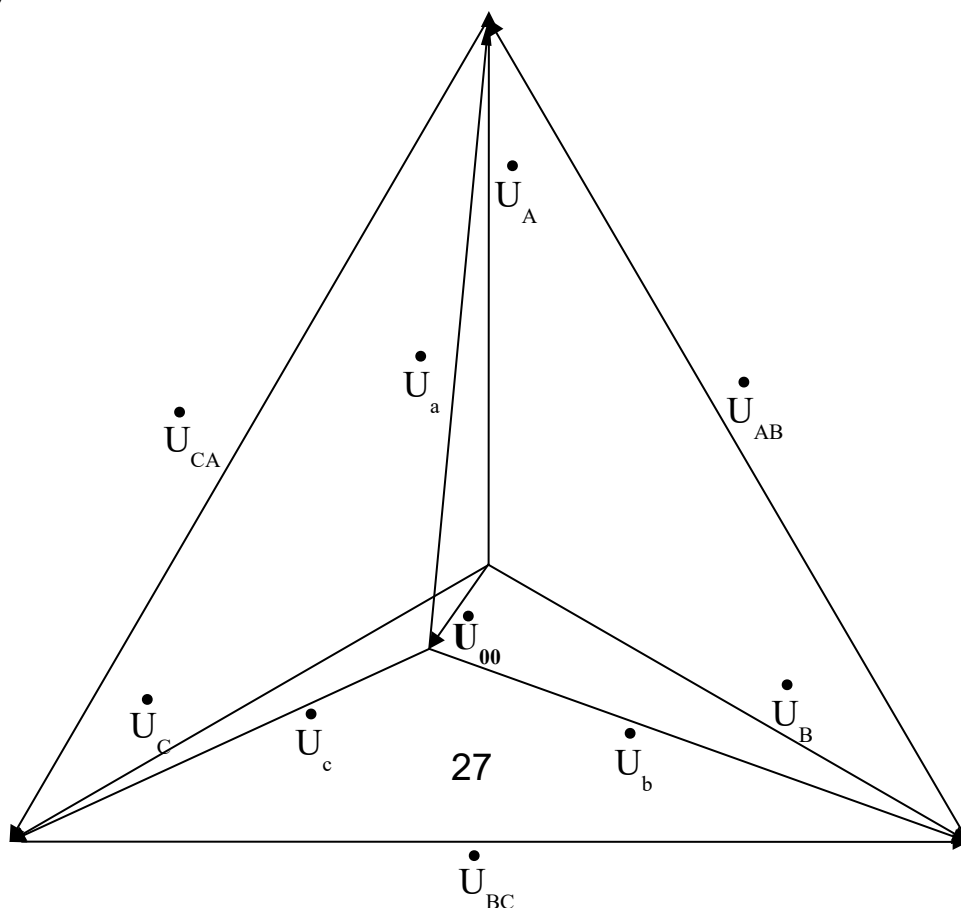
$$\cos\varphi = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}} = \frac{5365,32}{5490,2} = 0,977.$$

9 Побудову векторної діаграми напруг робимо у нижчеподаній послідовності.

Будуємо симетричний рівносторонній трикутник фазних і лінійних напруг для режиму з нульовим проводом (рисунок 2.3).

Будуємо у масштабі напруг вектор зсуву нейтралі  $\dot{U}_{00}$ , пам'ятаючи, що позитивні кути відкладаються у напрямку проти годинникової стрілки від нульового значення, співпадаючого з вертикальним направленням вектора фазної напруги  $\dot{U}_A$ .

З'єднуємо кінець вектора  $\dot{U}_{00}$  з вершинами рівностороннього трикутника лінійних напруг і отримуємо вектори фазних напруг  $\dot{U}_a$ ,  $\dot{U}_b$ ,  $\dot{U}_c$  для режиму без нульового проводу.



## Рисунок 2.3

### Запитання для захисту розрахункової роботи 2

- 1 Дати визначення трифазного кола.
- 2 Що являє собою трифазне симетричне джерело напруги?
- 3 Подання напруг комплексним числом у показовій формі.
4. Що називається фазою у трифазних колах?
- 5 Види з'єднання обмоток трифазного генератора. Навести схеми.
- 6 Яке навантаження називається симетричним та несиметричним?
- 7 У яких випадках застосовується чотирипровідна схема живлення?
- 8 Які струми і напруги називаються фазними, лінійними?
- 9 Як визначаються фазні струми, струм у нейтральному проводі.
- 10 Як пов'язані по величині фазна і лінійна напруги при вмиканні навантаження "зіркою"?
- 11 Призначення нейтрального проводу у схемі "зірка-зірка" при несиметричному навантаженні.
- 12 Що станеться з чотирипровідною схемою живлення при обриві лінійного проводу?
- 13 Чому при симетричному навантаженні не потрібен нульовий провід?
- 14 Яке явище у трифазних колах називають перекосом фаз і коли воно виникає?
- 15 До яких наслідків може призвести явище перекосу

фаз?

16 Чому у нульовому проводі не дозволяється установа вимикачів або запобіжників?

17 У чому полягають переваги чотирипровідної схеми живлення перед вмиканням навантаження трикутником?

18 Як можуть бути розраховані активні, реактивні і повні потужності фаз?

19 Як визначити повну потужність, споживану трифазною системою живлення?

20 Пояснити економічне значення підвищення коефіцієнта потужності.

21 Як будується векторна діаграма фазних та лінійних напруг?

## Список літератури

1 Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

2 Электротехника / Под ред. проф. В.С. Пантюшина. – М.: Высш. шк., 1976.

3 Электротехника /Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1985.

4 Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

5 Сборник задач по электротехнике и основам

електроніки / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1987.

6 Глушков Г.Н. Электроснабжение строительномонтажных работ. – М.: Стройиздат, 1982.

7 Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

## **ДОДАТОК А**

### **КОМПЛЕКСНІ ЧИСЛА ТА АРИФМЕТИЧНІ ДІЇ З НИМИ**

Комплексні величини слід позначати так:

$$\underline{A} = a + jb = \operatorname{Re} \underline{A} + j \operatorname{Im} \underline{A} = A e^{j\alpha} = |\underline{A}| e^{j\alpha},$$

де  $\underline{A}$  – комплексне число, яке може бути подане в алгебраїчній або показовій формі;

$a$  – дійсна частина алгебраїчної форми комплексної величини;

$$a = \operatorname{Re} \underline{A} = A \cdot \cos \alpha ;$$

$b$  – уявна частина алгебраїчної форми комплексної величини;

$$b = \text{Im } \underline{A} = A \cdot \sin \alpha ;$$

$A = |\underline{A}|$  – модуль показової форми комплексної величини;

$$A = |\underline{A}| = \sqrt{a^2 + b^2} ;$$

$\alpha$  – аргумент показової форми комплексної величини;

$$\alpha = \text{arctg} \frac{b}{a}, \text{ якщо } a > 0;$$

$$\alpha = \text{arctg} \frac{b}{a} + 180^\circ, \text{ якщо } a < 0.$$

**В електротехнічних розрахунках кін синусоїдного струму для позначення комплексних величин ЕРС, напруг, потенціалів та струмів замість риси під буквою треба ставити крапку над позначенням величини, наприклад:**

$\dot{I}$  – комплексне діюче значення струму.

Спряжена комплексна величина позначається зіркою замість крапки і відрізняється протилежним знаком біля уявної частини. Наприклад, якщо струм дорівнює  $\dot{I} = a + jb = \text{Re } \underline{A} + j \text{Im } \underline{A} = A e^{j\alpha}$ , то спряжений струм буде дорівнювати

$$\dot{I}^* = a - jb = \text{Re } \underline{A} - j \text{Im } \underline{A} = A e^{-j\alpha}.$$

Якщо розрахунок ведеться за допомогою сучасного інженерного калькулятора, доцільно для переведення комплексного числа із алгебраїчної форми у показову і навпаки використовувати вбудовану операцію переходу між відображенням вектора у проекціях на осі (що відповідає алгебраїчній формі) до відображення у полярній системі координат (що відповідає показовій формі).

**Для переведення комплексного числа із алгебраїчної форми у показову треба на калькуляторі виконати таку послідовність дій:**

1) натиснути клавішу **Pol(**

На дисплеї висвітиться напис **Pol(**

- 2) ввести числове значення дійсної частини – **a**
- 3) натиснути клавішу «**велика роздільна кома**»
- 4) ввести числове значення уявної частини – **b**
- 5) натиснути клавішу **=**
- 6) прочитати на дисплеї числове значення модуля показової форми комплексного числа
- 7) натиснути послідовно клавіші **RCL** та **tan**
- 8) прочитати на дисплеї числове значення аргументу показової форми зі своїм знаком

**Для переведення комплексного числа із показової форми в алгебраїчну послідовність дій на калькуляторі така:**

- 1) натиснути послідовно клавіші **SHIFT** та **Pol(** , або **2nd** та **Pol(**

На дисплеї висвітиться напис **Rec(**

- 2) ввести числове значення модуля показової форми комплексного числа – **A**
- 3) натиснути клавішу «**велика роздільна кома**»
- 4) ввести числове значення аргументу показової форми -  **$\alpha$**
- 5) натиснути клавішу **=**
- 6) прочитати на дисплеї числове значення дійсної частини алгебраїчної форми комплексного числа зі своїм знаком – **a**
- 7) натиснути послідовно клавіші **RCL** та **tan**
- 8) прочитати на дисплеї числове значення уявної частини алгебраїчної форми комплексного числа зі своїм знаком – **b**

Перед початком розрахунків треба визначитись щодо форми подання кутів на калькуляторі (десяткові градуси – **Deg**, радіани – **Rad**, або градуси із секундами – **Grad**). Якщо прийнято рішення відобразити кути у десятикових градусах, протестуйте свій калькулятор дією **tg45=1**, або **arctg1=45**. При отриманні іншого результату перейдіть на **Deg**, використовуючи клавішу **Mode**, або іншим чином згідно з інструкцією з використання калькулятора.

Щоб додати (відняти) два комплексних числа, треба їх



обидва подати в алгебраїчній формі і потім окремо додати (відняти) дійсні частини і окремо додати (відняти) уявні частини. Результатом буде нове комплексне число в алгебраїчній формі.

Наприклад:  $\dot{I}_1 = a + jb = 10 + j4$ ;  $\dot{I}_2 = c + jd = -7 + j12$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (a + c) + j(b + d) = (10 - 7) + j(4 + 12) = 3 + j16 ;$$

$$\dot{I}_4 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2 = (a - c) + j(b - d) = (10 + 7) + j(4 - 12) = 17 - j8 .$$

Щоб помножити (розділити) два комплексних числа, треба їх обидва подати в показовій формі і потім помножити (розділити) модулі й окремо додати (або відняти) аргументи. Результатом буде нове комплексне число в показовій формі.

Наприклад:  $\dot{I} = 3,2 \cdot e^{j30^\circ}$ ;  $\dot{Z} = 15,8 \cdot e^{-j72^\circ}$ ;

$$\dot{U} = \dot{I} \cdot \dot{Z} = 3,2 \cdot e^{j30^\circ} \cdot 15,8 \cdot e^{-j72^\circ} = (3,2 \times 15,8) \cdot e^{j(30-72)^\circ} = 50,56 \cdot e^{-j42^\circ} ;$$

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{50,56 \cdot e^{-j42^\circ}}{3,2 \cdot e^{j30^\circ}} = \frac{50,56}{3,2} \cdot e^{j(-42-30)^\circ} = 15,8 \cdot e^{-j72^\circ} ;$$

## ДОДАТОК Б ОСНОВНІ ЕЛЕКТРИЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Найменування	Буквене позначення	Найменування	Позначення
Струм	$I, i$	ампер	А
Електрорушійна сила	$E, e$	вольт	В
Напруга електрична	$U, u$	вольт	В
Потенціал електричний	$\varphi$	вольт	В
Потужність активна	$P$	ват	Вт
Потужність повна	$S$	вольт-ампер	ВА
Потужність реактивна	$Q$	вольт-ампер реактивний	ВАр
Ємність електрична	$C$	фарада	Ф
Період коливань	$T$	секунда	с
Щільність струму	$J$	ампер на кв. метр	$A/m^2$
Індуктивність власна	$L$	генрі	Гн
Провідність активна	$G, g$	сименс	См
Провідність повна	$Y, y$	сименс	См
Провідність реактивна	$B, b$	сименс	См
Частота коливань кутова	$\omega, \Omega$	радіан у секунду	$s^{-1}$
Частота коливань електрична	$f$	герц	Гц
Початкова фаза	$\psi$	градус	°
Опір постійному струму	$R, r$	ом	Ом
Активний опір	$R, r$	ом	Ом
Опір електричний повний	$Z$	ом	Ом
Опір реактивний	$X, x$	ом	Ом
Зсув фаз між напругою і струмом	$\varphi$	градус	°

