

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра електроенергетики, електротехніки та  
електромеханіки**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання контрольної роботи з дисципліни  
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»**

**Харків 2020**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 13 січня 2020 р., протокол № 6.

Наведено вихідні дані та послідовність розрахунків. Викладено методичні поради щодо виконання та приклади розрахунків, запропоновано контрольні питання для самоконтролю та захисту контрольної роботи.

Завдання охоплюють найважливіші теми дисципліни.

Методичні вказівки призначено для студентів факультету управління процесами перевезень заочної форми навчання спеціальності 275 «Транспортні технології» (на залізничному транспорті), які вивчають дисципліну «Електротехніка».

Укладач

доц. О. М. Прогонний

Рецензент

доц. А. О. Лапко

## ЗМІСТ

Загальні положення.....	4
1 Задача 1. Розрахунок простого розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму з одним джерелом ЕРС.....	5
1.1 Вихідні дані та завдання.....	5
1.2 Методичні рекомендації щодо виконання.....	5
1.3 Приклад розрахунку.....	8
2 Задача 2. Розрахунок нерозгалуженого кола синусоїдного струму.....	12
2.1 Вихідні дані та завдання.....	12
2.2 Методичні рекомендації щодо виконання.....	14
2.3 Приклад розрахунку.....	15
Питання для захисту контрольної роботи .....	17
Список літератури.....	18

## Загальні положення

Виконання контрольних робіт є необхідним етапом у самостійній роботі студента заочної форми навчання і повинно свідчити про те, що відповідний матеріал дисципліни опрацьовано і достатньо глибоко осмислено. Навчальним планом передбачена контрольна робота, зміст якої охоплює основні поняття кіл постійного та змінного струмів. В контрольній роботі пропонується дві задачі. За обсягом контрольна робота не повинна перевищувати сімох 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 вибирається номер схеми, а за передостанньою – номер варіанта числових значень величин.**

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

Хід виконання робіт пояснюється та ілюструється схемами. На електричних схемах повинні бути показані складові елементи та позитивні напрямки струмів.

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

При обчисленнях слід дотримуватись такого порядку записів: спочатку формула, потім підстановка числових значень, що входять у формулу, без яких-небудь перетворень, потім – результат із вказівкою розмірності.

Для величин, що змінюються за часом, наприклад, ЕРС, напруги, потенціали, струми, та інші, 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” – **Im, Um, Em**.

Захист контрольних робіт може проводитись усно при співбесіді з викладачем або письмово у вигляді тестів. Викладачем оцінюється виконання робіт і їх захист.

# 1 Задача 1. Розрахунок простого розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму з одним джерелом ЕРС

## 1.1 Вихідні дані та завдання

Для електричного кола, зображеного на рисунку 1.1, визначити струми і скласти баланс потужності. Визначити показання вольтметра, якщо його підключити паралельно резистору  $R_6$ .

Значення опорів резисторів і напруги на вхідних затискачах кола подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Варіант	U, В	Опори, Ом					
		$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
1	115	15	13	8	16	14	10
2	140	10	12	6	8	18	14
3	95	16	17	18	7	6	7
4	105	15	12	6	10	11	16
5	130	13	9	15	7	8	14
6	110	8	7	14	12	8	13
7	120	10	7	9	14	6	15
8	75	7	13	11	10	10	15
9	85	11	9	13	14	8	12
0	65	7	16	14	13	9	11

## 1.2 Методичні рекомендації щодо виконання

Рекомендується такий порядок розрахунку:

1) на заданій електричній схемі позначити всі шукані струми. Методом згортання схеми визначити її загальний (еквівалентний) опір. Для цього в схемі необхідно знаходити ділянки з послідовним або паралельним вмиканням опорів;

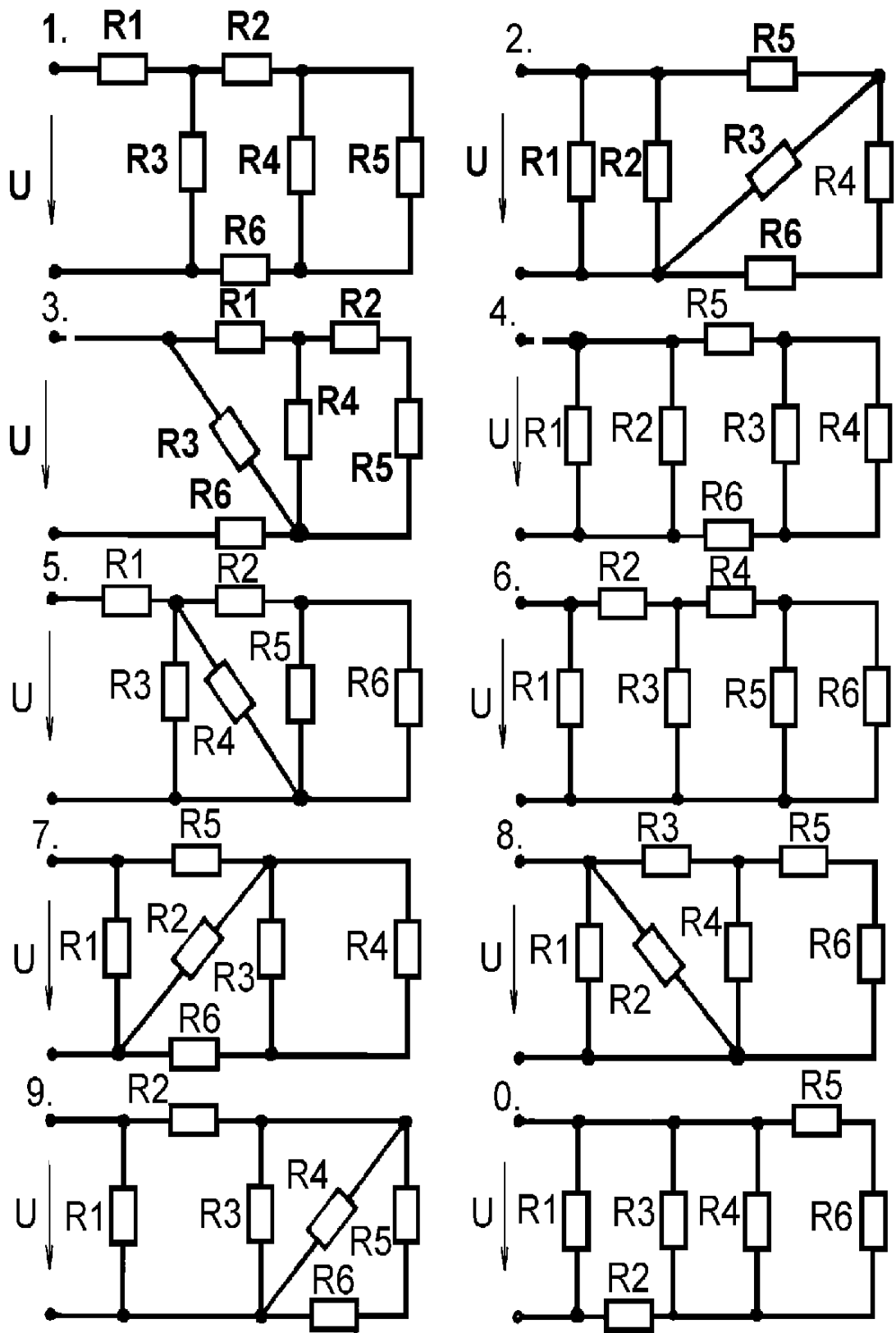


Рисунок 1.1

2) за законом Ома для замкнутого кола визначити струм через джерело електричної енергії

$$I = \frac{U}{R_{\text{екв}}};$$

3) застосовуючи закон Ома, I або II закони Кірхгофа, визначити невідомі струми, пам'ятаючи що:

у схемі кількість струмів дорівнює кількості гілок;

гілка – це послідовне з'єднання елементів схеми між двома вузлами;

вузол – це точка електричного з'єднання трьох та більше гілок.

Перший закон Кірхгофа: алгебраїчна сума струмів у вузлі дорівнює нулю.

$$\sum I = 0.$$

У цьому рівнянні струми, що входять у вузол, записують зі знаком «плюс», а ті, що виходять, – зі знаком «мінус».

Другий закон Кірхгофа: алгебраїчна сума електрорушійних сил (ЕРС) у замкненому контурі дорівнює алгебраїчній сумі падіння напруги на опорах цього контура.

$$\sum E = \sum I \cdot R.$$

Контур – це послідовне з'єднання двох або більше гілок. Кожна гілка може входити у контур тільки один раз.

Якщо контур з одних пасивних елементів (опорів) підключено до однієї вхідної напруги  $U$ , то у лівій частині рівняння другого закону Кірхгофа для цього контуру замість ЕРС записується ця вхідна напруга  $U = \sum I \cdot R$ .

Для практичного запису другого закону Кірхгофа треба задатися позитивними напрямками струмів у гілках та напрямком обходу контура (наприклад, за годинниковою стрілкою).

Якщо ЕРС збігається з обходом контура, то вона записується зі знаком «плюс», якщо не збігається – «мінус».

Якщо напрямок струму через резистор збігається з напрямком обходу контура, то падіння напруги на цьому

резисторі ( $I \cdot R$ ) записується зі знаком «плюс», якщо не співпадає - «мінус»;

4) для перевірки правильності розрахунків скласти баланс потужностей

$$\sum E \cdot I_E = \sum I_R^2 \cdot R,$$

де  $I_E$  – струм через джерело ЕРС;

$I_R$  – струм через резистор.

У рівнянні балансу потужностей: з лівої сторони – алгебраїчна сума потужностей, що розвиваються джерелами. Зі знаком «плюс» береться потужність джерела, якщо струм через неї збігається з напрямком ЕРС. Якщо струм направлений назустріч ЕРС, його потужність враховується зі знаком «мінус» (наприклад, коли акумуляторна батарея у режимі зарядки сама споживає електричну потужність).

Сумарна потужність споживачів з правої сторони рівняння балансу потужностей завжди позитивна;

5) визначити напругу, яку покаже вольтметр, підключений паралельно до резистора  $R_6$ .

$$U_6 = I R_6,$$

де  $I$  – струм, що протікає через резистор  $R_6$ .

### 1.3 Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 1.2.

Вихідні дані:  $U=50$  В,  $R_1=12$  Ом,  $R_2=10$  Ом.

$R_3=7$  Ом,  $R_4=15$  Ом,  $R_5=9$  Ом,  $R_6=8$  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  $R_{45} = R_4 + R_5 = 15 + 9 = 24$  Ом, і отримати схему (рисунок 1.3).



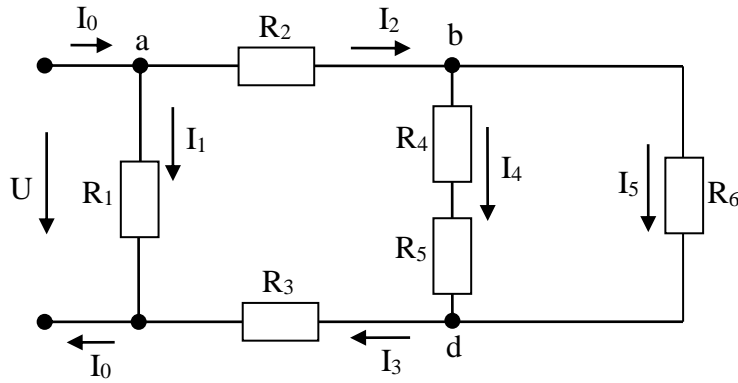


Рисунок 1.2

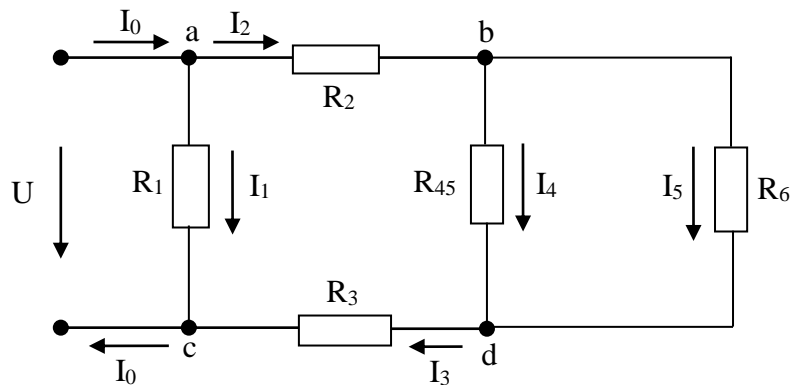


Рисунок 1.3

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

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

Після перетворення схема має вигляд, як на рисунку 1.4.

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

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

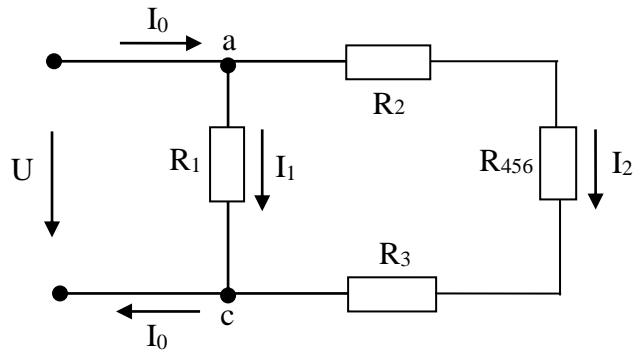


Рисунок 1.4

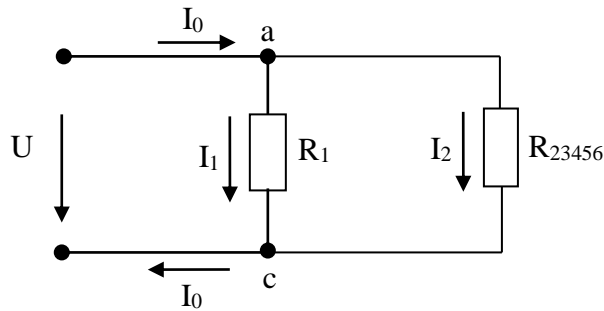


Рисунок 1.5

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

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

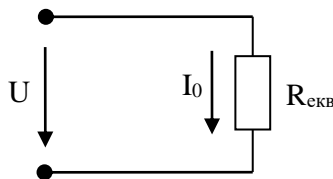


Рисунок 1.6

2) визначаємо струм через джерело електричної енергії за законом Ома

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

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) і знайдемо струм  $I_2$ :

$$I_0 - I_1 - I_2 = 0;$$

$$I_2 = I_0 - I_1 = 6,34 - 4,17 = 2,17 \text{ А.}$$

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

$$I_1 + I_3 - I_0 = 0;$$

$$I_3 = I_0 - I_1 = 6,34 - 4,17 = 2,17 \text{ А.}$$

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 віддає джерело.

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

Розраховуємо потужності, що споживають опори навантаження.

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Баланс потужностей: } U \cdot I &= \sum I^2 \cdot R; \\ 317 \text{ Вт} &\approx 316,98 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Розраховуємо похибку, яка виникла за рахунок округлювання:

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

Похибка менша за 5 %, що свідчить про правильність розрахунку;

5) розраховуємо напругу на резисторі  $R_6$ , яку покаже вольтметр, підключений до нього паралельно:

$$U_6 = I_5 \cdot R_6 = 1,62 \cdot 8 = 12,96 \text{ В.}$$

## **2 Задача 2. Розрахунок нерозгалуженого кола синусоїдного струму**

### **2.2 Вихідні дані та завдання**

Варіанти розрахункових схем наведено на рисунку 2.1.

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 2.1.

**Необхідно:**

- 1) визначити показання вимірювальних приладів, що є на схемі;
- 2) записати закон зміни струму в колі;
- 3) визначити коефіцієнт потужності.

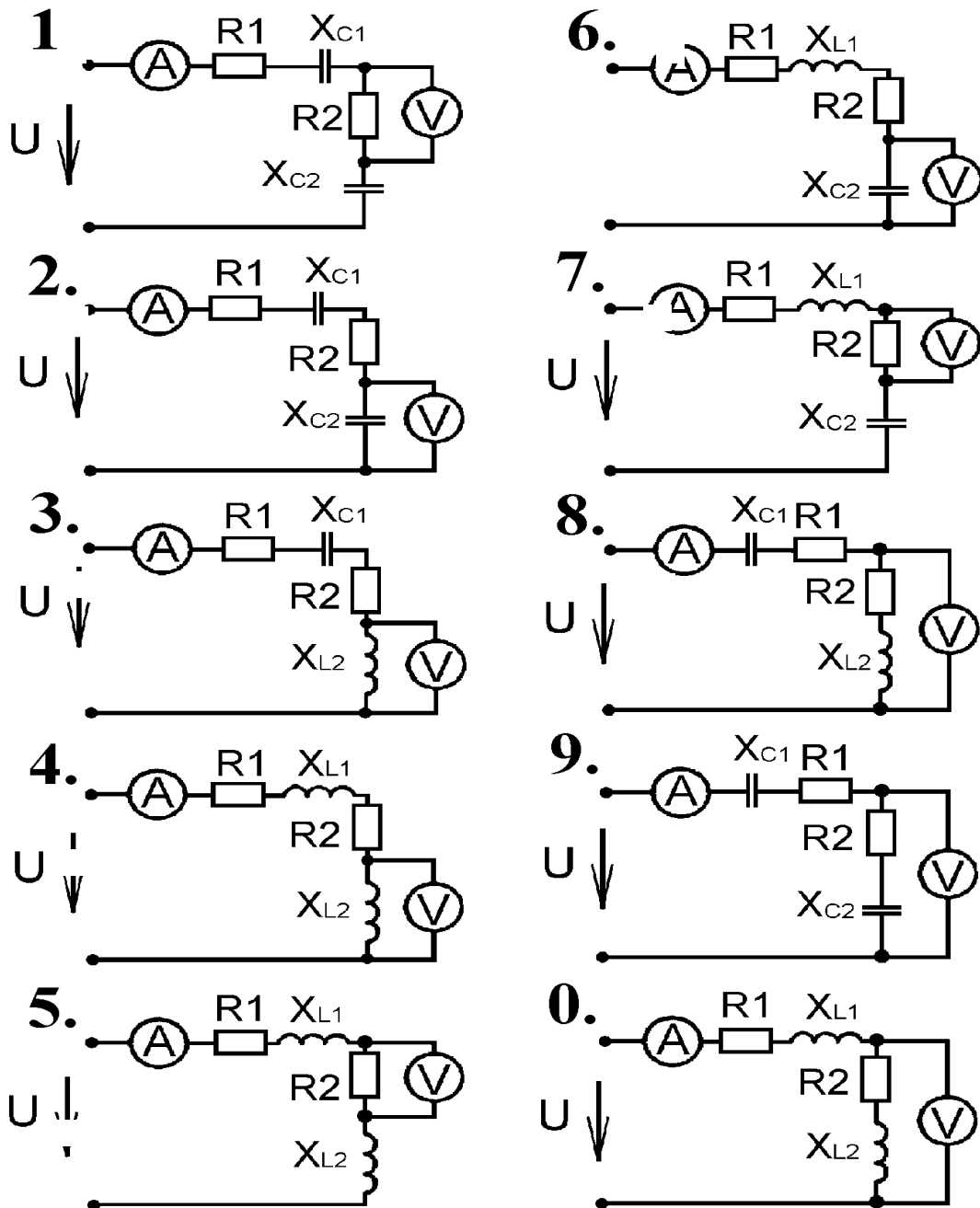


Рисунок 2.1

Таблиця 2.1

Величина	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_m, В$	240	220	127	380	400	180	200	260	300	280
$\psi_u, \text{град}$	15	-30	45	-60	70	-20	35	-40	50	-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

## 2.2 Методичні рекомендації щодо виконання

Рекомендується такий порядок розрахунку:

1) записати в комплексній формі величину прикладеної напруги

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

де  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$  – дійсне 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

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = I \cdot e^{j\phi_i}, \text{ А.}$$

Амперметр показує діюче значення струму  $I$ ;

4) визначити діюче значення напруги на ділянці електричного кола

$$U = I \cdot Z_{\text{д}}, \text{ В,}$$

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

5) записати миттєве значення струму у колі:  
 $i = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_i)$ , А;

б) обчислити потужності, споживані колом, і коефіцієнт потужності:

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

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

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

коефіцієнт потужності  $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ .

### 2.3 Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 2.2.

Вихідні дані:

$U_m = 200 \text{ В}$ ,  $\psi_u = 60^\circ$ ,  $R_1 = 8 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ ;

$X_{L1} = 5 \text{ Ом}$ ,  $X_{C1} = 16 \text{ Ом}$ ,  $X_{C2} = 17 \text{ Ом}$ .

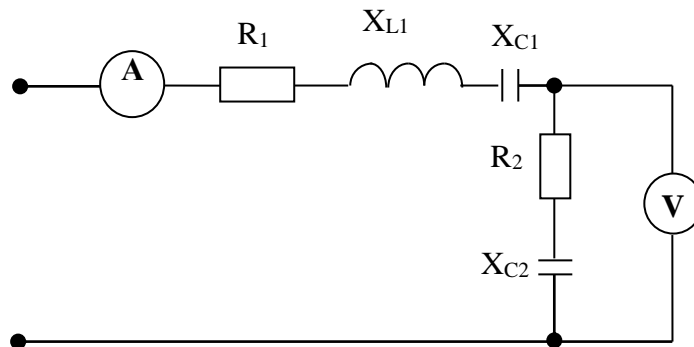


Рисунок 2.2

1 Записуємо у комплексній формі величину прикладеної напруги:

$$\underline{U} = U \cdot e^{j\psi_u} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_u} = \frac{200}{\sqrt{2}} \cdot e^{j60^\circ} = 141,42 \cdot e^{j60^\circ} \text{ В.}$$

2 Обчислюємо загальний комплексний опір електричного кола в показовій формі:

$$\underline{Z} = (R_1 + R_2) + j \cdot (X_{L_1} - X_{C_1} - X_{C_2}) = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot e^{j \cdot \arctg \frac{X}{R}} = Z \cdot e^{j\varphi};$$

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

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

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

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

$$\underline{Z}_D = R_2 - jX_{C_2} = 5 - j17 = \sqrt{5^2 + (-17)^2} \cdot e^{j \cdot \arctg \frac{-17}{5}} = 17,72 \cdot e^{-j73,61^\circ} \text{ Ом;}$$

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

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, і коефіцієнт потужності:

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

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

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

коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{272,63}{647,53} = 0,42.$$



## Питання для захисту контрольної роботи

- 1 Дати визначення і вміти показати на схемі топологічні елементи електричних кіл.
- 2 Дати визначення понять «вузол», «гілка», «контур».
- 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 контрольній роботі.
- 7 Скільки рівнянь можна скласти за першим законом Кірхгофа при розрахунку складного електричного кола?
- 8 Сформулювати другий закон Кірхгофа.
- 9 Сформулювати правила запису другого закону Кірхгофа.
- 10 Визначення потужності джерела ЕРС.
- 11 Визначення потужності споживачів електричної енергії.
- 12 Баланс потужностей: його призначення і правила складання.
- 13 Пояснити фізичний сенс від'ємної потужності джерела ЕРС у балансі потужностей.
- 14 Чи може бути від'ємним значення потужності споживачів у правій частині рівняння другого закону Кірхгофа?
- 15 Коли доцільно для знаходження невідомих струмів використовувати формулу розкиду?
- 16 Дати визначення змінного струму.
- 17 Що таке амплітуда, період, частота, фаза, початкова фаза та кутова частота синусоїдного струму?
- 18 Що таке активний опір, індуктивність та ємність?
- 19 Що називають зсувом фаз?
- 20 Навести одиниці вимірювання активної, реактивної та повної потужності.

## Список літератури

1 Матвієнко М. П. Основи електротехніки: підручник. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. 228 с.

2 Коруд В. І., Гамола О. Є., Малинівський С. М. Електротехніка: підручник / за ред. В. І. Коруда. Вид. 4-те, переробл. і допов. Львів: «Магнолія 2006», 2010. 417 с.

3 Паначевний Б. І., Свергун Ю. Ф. Загальна електротехніка: теорія і практика: посібник. Київ: Каравелла, 2003. 250 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання контрольної роботи з дисципліни  
*«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»*

Відповідальний за випуск Прогонний О. М.

Редактор Решетилова В. В.

---

Підписано до друку 19.06.20 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 1,0. Тираж 5. 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.