

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Електротехніка та електричні машини»

ЗАВДАННЯ

**на контрольні роботи 1, 2
з методичними вказівками до їх виконання
з дисципліни
“ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА
ЕЛЕКТРОПРИВОД МАШИН”
для студентів спеціальності “Підйомно-транспортні,
будівельні, дорожні, меліоративні машини та обладнання”
заочної форми навчання**

Харків – 2010

Завдання та методичні вказівки розглянуто та
рекомендовано до друку на засіданні кафедри

“Електротехніка та електричні машини” 26 листопада 2009 р., протокол № 3.

Наведені вихідні дані та послідовність роботи. Викладені методичні рекомендації до виконання та приклади розрахунків, запропоновані контрольні запитання для самоперевірки та захисту контрольних робіт.

Завдання охоплюють найважливіші теми дисципліни.

Методичні вказівки призначені для студентів заочної форми навчання спеціальності “Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини та обладнання”, що вивчають дисципліну “Електротехніка, електроніка та електропривод машин”.

Укладачі:

доценти О.М Прогонний,
С.М. Тихонравов,
В.С. Блиндюк

Рецензент

доц. А.А. Прилипко

ЗАВДАННЯ

на контрольні роботи 1, 2

з методичними вказівками до їх виконання
з дисципліни

**“ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА
ЕЛЕКТРОПРИВОД МАШИН”**

для студентів спеціальності “Підйомно-транспортні, будівельні,
дорожні, меліоративні машини та обладнання” заочної форми
навчання

Відповідальний за випуск Тихонравов С.М.

Редактор Еткало О.О.

Підписано до друку 22.03.10 р.
Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 2,5. Обл.-вид.арк. 2,75.
Замовлення № Тираж 100. Ціна

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

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ’ЯЗКУ

Кафедра “Електротехніка та електричні машини”

**ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ 1, 2
З МЕТОДИЧНИМИ ВКАЗІВКАМИ ДО ЇХ ВИКОНАННЯ
з дисципліни “Електротехніка, електроніка та
електропривод машин”**

**для спеціальності “Підйомно - транспортні, будівельні,
дорожні, меліоративні машини та обладнання” заочної
форми навчання**

Харків 2010

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

Наведені вихідні дані та послідовність роботи. Викладені методичні рекомендації до виконання та приклади розрахунків, запропоновані контрольні запитання для самоперевірки та захисту контрольних робіт.

Завдання охоплюють найважливіші теми дисципліни.

Методичні вказівки призначені для студентів заочної форми навчання спеціальності “Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини та обладнання”, що вивчають дисципліну “Електротехніка, електроніка та електропривод машин”.

Укладачі:

доценти О.М Прогонний,
С.М. Тихонравов,
В.С. Блиндюк

Рецензент

доц. А.А. Прилипко

ЗМІСТ

	Загальні положення	4
	Контрольна робота 1	6
Задача 1	Розрахунок простого розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму з одним джерелом ЕРС	6
	Вихідні дані та завдання	6
	Методичні рекомендації до виконання	8
	Приклад розрахунку	9
Задача 2	Розрахунок складного лінійного електричного кола постійного струму	14
	Вихідні дані та завдання	14
	Методичні рекомендації до виконання	16
	Приклад розрахунку	18
	Запитання для захисту контрольної роботи 1	23
	Контрольна робота 2	24
Задача 3	Розрахунок розгалуженого лінійного електричного кола синусоїдного струму з одним джерелом електричної енергії	24
	Вихідні дані та завдання	24
	Методичні рекомендації до виконання	24
	Приклад розрахунку	31
Задача 4	Розрахунок трифазної чотирипровідної системи живлення при несиметричному навантаженні	40
	Вихідні дані та завдання	40
	Методичні рекомендації до виконання	41
	Приклад розрахунку	43
	Запитання для захисту контрольної роботи 2	48
	Список літератури	50
Додаток А	Комплексні числа та арифметичні дії з ними ..	51
Додаток Б	Основні електричні величини	54

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Виконання контрольних робіт є необхідним етапом у самостійній роботі студента заочної форми навчання і повинно свідчити про те, що відповідний матеріал дисципліни пророблено і достатньо глибоко осмислено. Навчальним планом передбачені дві контрольні роботи, зміст яких охоплює найбільш важливі розділи курсу. Кожна з контрольних робіт складається з двох задач. За обсягом одна контрольна робота не повинна перевищувати 10 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 виконуватись 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 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 одиниць виміру (додатки А, Б).

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.

КОНТРОЛЬНА РОБОТА 1

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

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

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

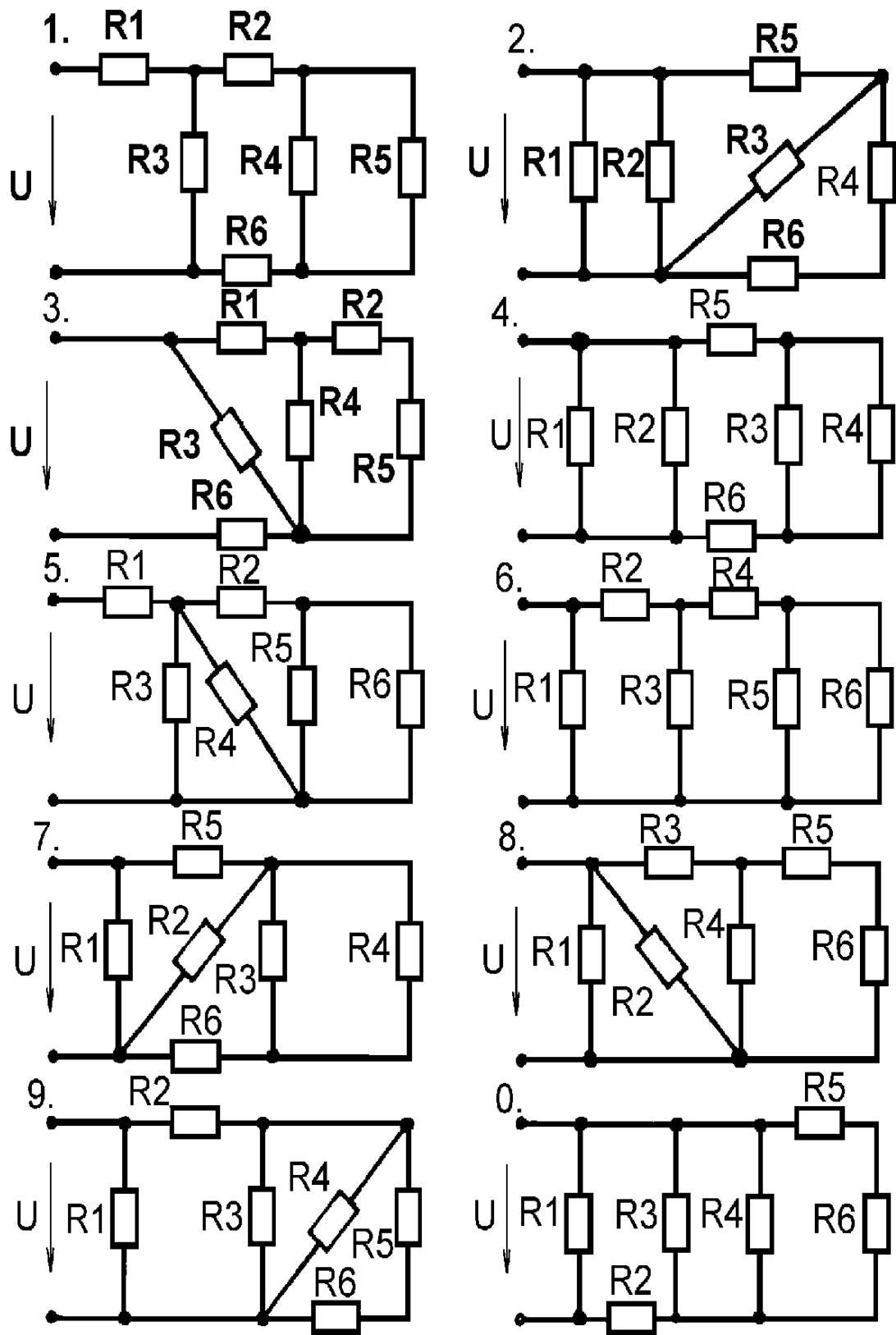


Рисунок 1.1

Методичні рекомендації до виконання

Теоретичний матеріал і приклади розрахунку наведені в [1, § 1.8.-1.10.4; 2, § 2.6-2.7; 3.1-3.3].

Рекомендується нижченаведений 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. У результаті згортання одержати еквівалентну схему з одним еквівалентним резистором, підключеним до вхідної напруги.

2 За законом Ома для замкнутого кола визначити струм через джерело електричної енергії:

$$I = \frac{U}{R_{\text{екв}}}$$

3 Застосовуючи закони Ома та 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 проводів;

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 падінь напруги у цьому контурі.

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

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

Якщо схема з одних пасивних елементів (опорів) підключена до однієї вхідної напруги U , то у лівій частині рівняння другого закону Кірхгофа замість ЕРС буде ця вхідна напруга $U = \sum I \cdot R$.

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

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

Якщо напрямок струму через резистор збігається з напрямком обходу контуру, то падіння напруги на цьому резисторі ($I \cdot R$) записується зі знаком плюс, якщо не збігається, – то 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 іде назустріч ЕРС, його потужність враховується зі знаком мінус. Наприклад, коли акумуляторна батарея у режимі зарядки сама споживає електричну потужність.

З правої сторони рівняння балансу потужностей завжди позитивна сумарна потужність споживачів.

Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 1.2.

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

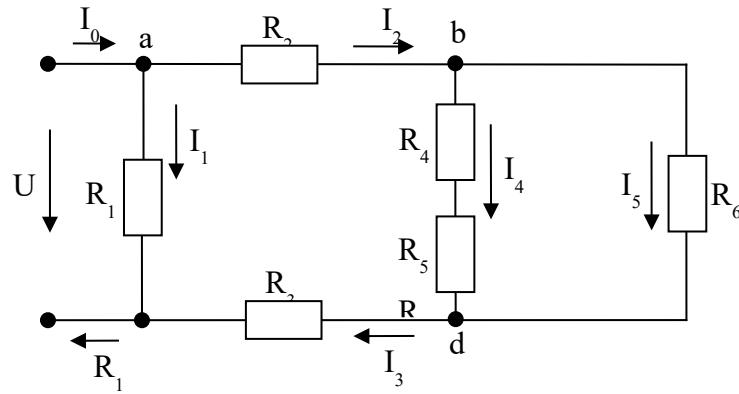


Рисунок 1.2

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).

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

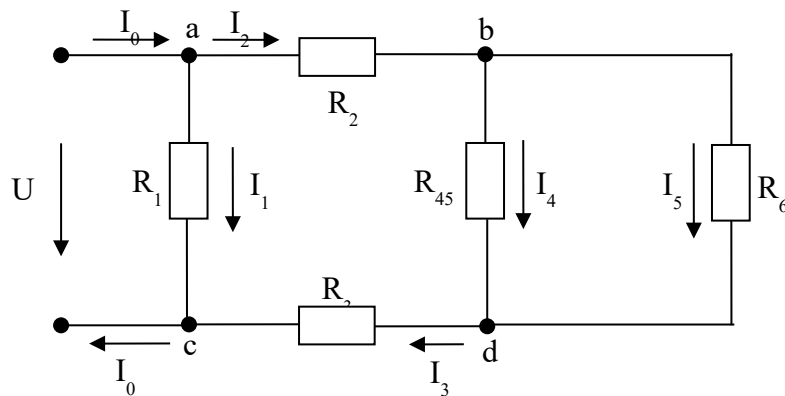


Рисунок 1.3

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

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

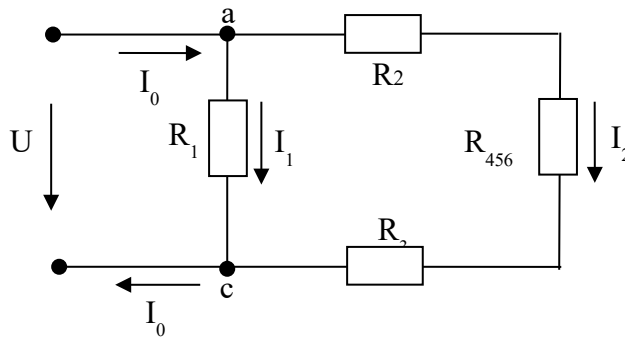


Рисунок 1.4

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

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

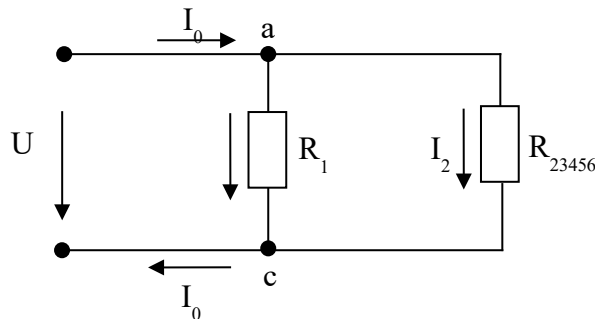


Рисунок 1.5

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

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

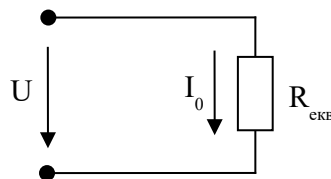


Рисунок 1.6

2 Визначаємо струм через джерело електричної енергії за законом Ома

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

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 :

$$I_0 - I_1 - I_2 = 0,$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

Розраховуємо потужності, що споживають опори навантаження:

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

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

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

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

$$P_{R_5} = I_5^2 \cdot R_5 = 0,55^2 \cdot 9 = 2,72 \text{ Вт},$$

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

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

Баланс потужностей:

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

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

Розраховуємо похибку, яка виникла за рахунок

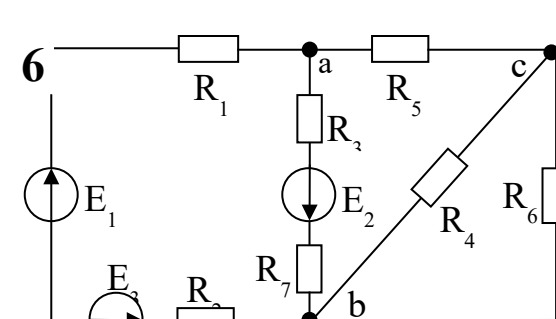
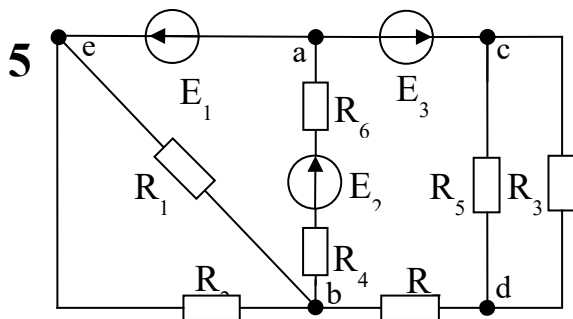
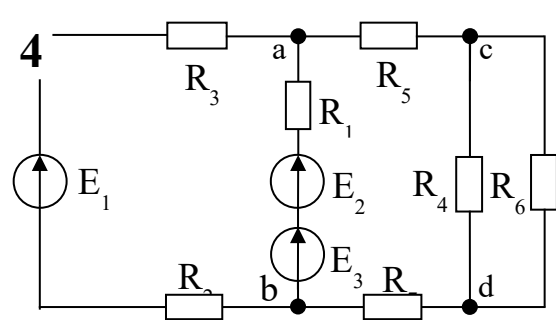
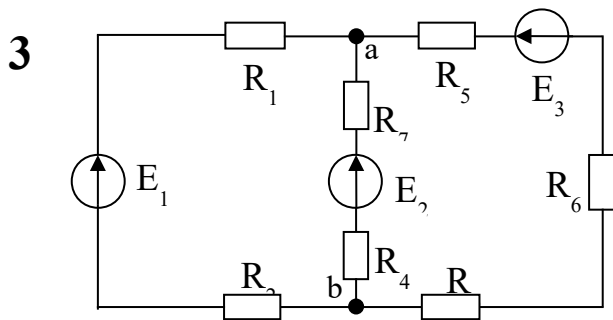
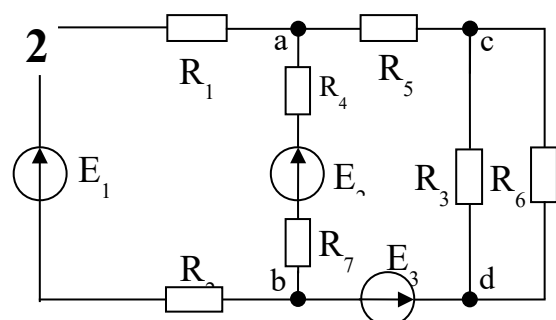
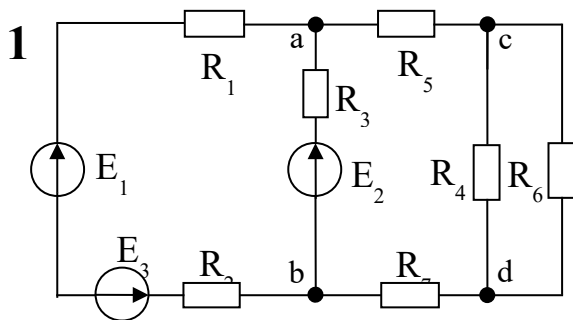
округлювання:

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

Задача 2 Розрахунок складного лінійного електричного кола постійного струму

Вихідні дані та завдання

Для електричного кола, зображеного на рисунку 1.7, визначити струми і скласти баланс потужності. Значення опорів резисторів і ЕРС джерел наведені в таблиці 1.2.



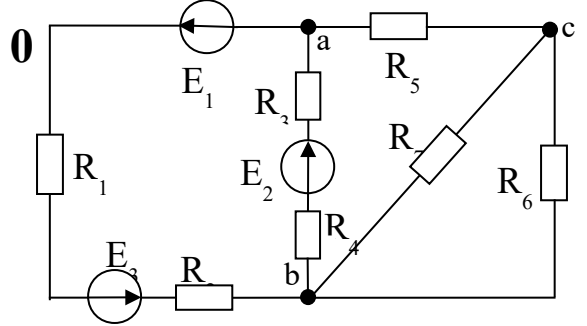
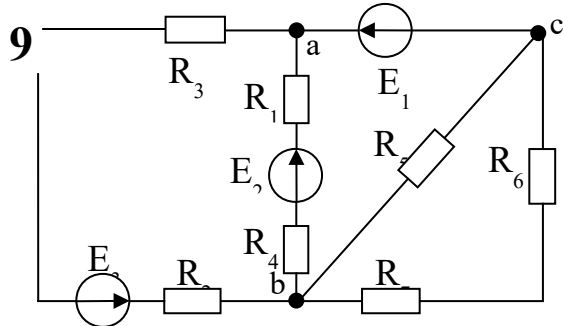
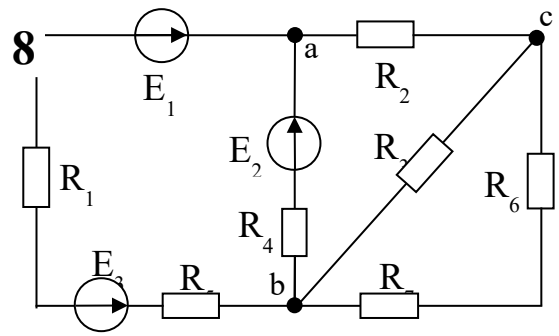
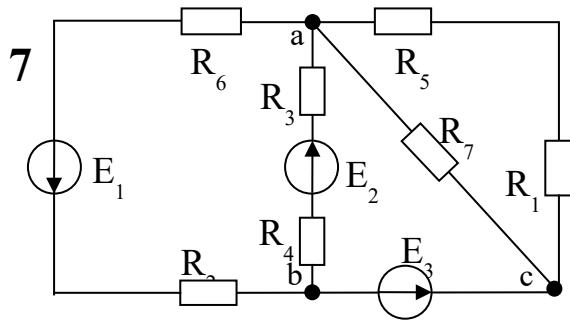


Таблица 1.2

Вариант	E1, В	E2, В	E3, В	Опоры, Ом						
				R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇
1	115	50	70	15	13	8	16	14	10	5
2	140	60	30	10	12	6	8	18	14	7
3	95	130	40	16	17	18	7	6	9	5
4	105	40	15	15	12	6	10	11	16	8
5	130	60	50	13	9	15	7	8	14	10
6	110	30	20	8	7	14	12	8	13	6
7	120	25	70	10	7	9	14	6	15	10
8	75	35	120	7	13	11	10	10	15	6
9	85	20	140	11	9	13	14	8	12	5
0	65	150	25	7	16	14	13	9	11	8

Методичні рекомендації до виконання

Рекомендується нижченаведений порядок розрахунку.

На вихідній схемі задатися позитивними напрямками струмів в усіх гілках.

Згорнути паралельні ділянки кола без джерел ЕРС так, як це робили у задачі 1, та отримати схему з трьома гілками. Наприклад, у схемі 5 (рисунок 1.7) резистори R1 та R2 можна замінити одним еквівалентним R12 за формулою паралельного з'єднання. У цій же схемі резистори R3 та R5 також з'єднані паралельно і мають бути аналогічно замінені на R35. У схемі 8 резистор R3 є паралельним до двох послідовно з'єднаних резисторів R6 та R7. Цю ділянку кола треба замінити одним еквівалентним резистором R367.

$$R_{367} = \frac{R_3 \cdot (R_6 + R_7)}{R_3 + R_6 + R_7}.$$

4 Скласти за законами Кірхгофа систему рівнянь, кількість яких дорівнює кількості невідомих струмів у схемі після еквівалентних перетворень. Пам'ятати, що за першим законом Кірхгофа можна скласти на одне рівняння менше кількості вузлів у схемі. Інші рівняння складаються за другим законом Кірхгофа з урахуванням того, щоб усі ЕРС увійшли до рівнянь хоча б один раз.

5 Розв'язати отриману систему рівнянь яким завгодно методом і знайти перші три шукані струми.

6 Знайти невідомі струми у паралельних гілках, які були згорнені, за формулою розкиду або за законом Ома, знайшовши спочатку напругу на паралельних резисторах U12, U35 або U367.

Формули розкиду дозволяють відразу знайти струми у паралельних гілках, якщо вже знайдено загальний струм, що підтікає до вузла розгалуження.

Наприклад, якщо відоме значення струму I_1 та резисторів R_2 , R_3 (рисунок 1.8), то струми у паралельних гілках дорівнюють:

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot R_3}{R_2 + R_3},$$

$$I_3 = \frac{I_1 \cdot R_2}{R_2 + R_3}.$$

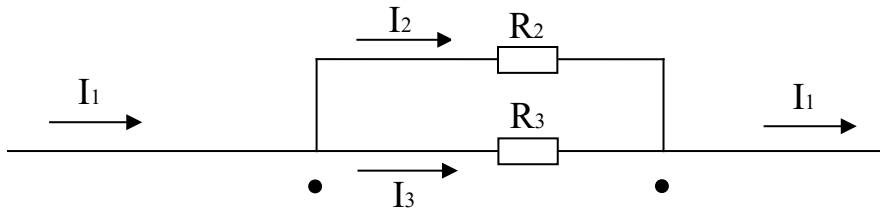


Рисунок 1.8

7 Для перевірки правильності розрахунків скласти баланс потужностей аналогічно до методичних вказівок до виконання задачі 1:

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

У рівнянні балансу потужностей: з лівої сторони – алгебраїчна сума потужностей, що розвиваються джерелами, а з правої – завжди додатна арифметична сумарна потужність споживачів.

Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 1.9.

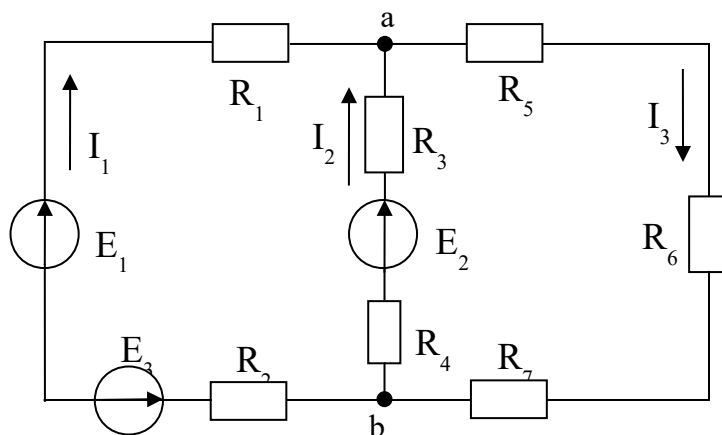


Рисунок 1.9

Вихідні дані:

$$E_1=70 \text{ В}, E_2=100 \text{ В}, E_3=20 \text{ В},$$

$$R_1=2 \text{ Ом}, R_2=8 \text{ Ом}, R_3=3 \text{ Ом}, R_4=10 \text{ Ом}, R_5=12 \text{ Ом}, R_6=7 \text{ Ом}, R_7=9 \text{ Ом}.$$

1 Задаємося довільними напрямками струмів у всіх гілках та обходом контурів (за годинниковою стрілкою). Кількість необхідних рівнянь дорівнює кількості невідомих струмів, а кількість струмів дорівнює кількості гілок у схемі.

2 За першим законом Кірхгофа можна скласти на одне рівняння менше, ніж у схемі є вузлів. Тобто у нашому випадку тільки одне рівняння.

Запишемо перший закон Кірхгофа для вузла «а»:

$$I_1 + I_2 = I_3.$$

3 Інші два необхідні рівняння записуються за другим законом Кірхгофа, враховуючи, що всі джерела ЕРС повинні хоч один раз у них входити.

Запишемо другий закон Кірхгофа для великого зовнішнього контуру:

$$E_1 - E_3 = I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_5 + I_3 \cdot R_6 + I_3 \cdot R_7 + I_1 \cdot R_2,$$

$$E_1 - E_3 = I_1 \cdot (R_1 + R_2) + I_3 \cdot (R_5 + R_6 + R_7).$$

Запишемо другий закон Кірхгофа для малого правого контуру:

$$E_2 = I_2 \cdot R_3 + I_3 \cdot R_5 + I_3 \cdot R_6 + I_3 \cdot R_7 + I_2 \cdot R_4,$$

$$E_2 = I_3 \cdot (R_5 + R_6 + R_7) + I_2 \cdot (R_3 + R_4).$$

4 Складемо систему рівнянь, підставляючи числові значення ЕРС та опорів у формули, що отримані вище:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 50 \\ 10 \cdot I_1 + 28 \cdot I_2 = 50 \\ 13 \cdot I_2 + 28 \cdot I_3 = 100 \end{cases}.$$

5 Розв'яжемо систему рівнянь одним з двох відомих методів («підстановки» чи «визначників»).

При застосуванні методу підстановки значення струму I_3 з першого рівняння підставимо у два останні.

$$\begin{cases} 10 \cdot I_1 + 28 \cdot (I_1 + I_2) = 50 \\ 13 \cdot I_2 + 28 \cdot (I_1 + I_2) = 100 \end{cases}.$$

У результаті після розкриття дужок і перетворень отримуємо систему двох рівнянь з двома невідомими струмами:

$$\begin{cases} 38 \cdot I_1 + 28 \cdot I_2 = 50 \\ 28 \cdot I_1 + 41 \cdot I_2 = 100 \end{cases}.$$

Щоб розв'язати цю систему, знаходимо два числа N_1 та N_2 , на які будемо множити перше та друге рівняння перед тим, як їх додати одне до одного, щоб, позбавившись одного з невідомих струмів, знайти інший. Це коефіцієнти перед одним зі струмів у двох рівняннях (наприклад, перед I_1). Тобто $N_1 = 28$,

а $N_2 = -38$. Знак мінус перед одним з чисел потрібен для того, щоб при додаванні I_1 скоротився. Визначені коефіцієнти можуть бути скорочені на одне й те ж число. Таким чином, у нашому випадку:

$$N_1 = \frac{28}{2} = 14, \quad N_2 = -\frac{38}{2} = -19.$$

Помножимо всі члени першого рівняння на $N_1 = 14$ і всі члени другого рівняння на $N_2 = -19$:

$$\begin{cases} 532 \cdot I_1 + 392 \cdot I_2 = 700 \\ -532 \cdot I_1 - 779 \cdot I_2 = -1900 \end{cases}$$

Додаємо перше рівняння до другого і після перетворень отримуємо:

$$-387 \cdot I_2 = -1200, \quad \text{звідки} \quad I_2 = 3,1 \text{ А.}$$

Струм I_1 знаходимо з першого рівняння після підстановки в нього $I_2 = 3,1$ А:

$$I_1 = \frac{700 - 392 \cdot 3,1}{532} = -0,97 \text{ А.}$$

Знайдемо струм I_3 за першим законом Кірхгофа:

$$I_3 = I_1 + I_2 = -0,97 + 3,1 = 2,13 \text{ А.}$$

Систему рівнянь з двома невідомими струмами також можна розв'язати методом визначників.

$$\begin{cases} 38 \cdot I_1 + 28 \cdot I_2 = 50 \\ 28 \cdot I_1 + 41 \cdot I_2 = 100 \end{cases}$$

Знайдемо струми I_1 та I_2 за методом Крамера через визначники:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 38 & 28 \\ 28 & 41 \end{vmatrix} = 38 \cdot 41 - 28 \cdot 28 = 774,$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 50 & 28 \\ 100 & 41 \end{vmatrix} = 50 \cdot 41 - 100 \cdot 28 = -750,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 38 & 50 \\ 28 & 100 \end{vmatrix} = 38 \cdot 100 - 28 \cdot 50 = 2400,$$

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-750}{774} = -0,97 \text{ А},$$

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{2400}{774} = 3,1 \text{ А}.$$

Струм I_3 знайдемо за першим законом Кірхгофа:

$$I_3 = I_1 + I_2 = -0,97 + 3,1 = 2,13 \text{ А}.$$

6 Для перевірки розрахунку складаємо баланс потужностей. Розраховуємо потужності джерел:

$$P_{\text{джер1}} = -E_1 \cdot I_1 = -70 \cdot 0,97 = -67,9 \text{ Вт},$$

$$P_{\text{джер2}} = E_2 \cdot I_2 = 100 \cdot 3,1 = 310 \text{ Вт},$$

$$P_{\text{джер3}} = E_3 \cdot I_1 = 20 \cdot 0,97 = 19,4 \text{ Вт}, \quad \sum P_{\text{джер}} = -67,9 + 310 + 19,4 = 261,5 \text{ Вт}.$$

Розраховуємо потужності, що споживають опори навантаження:

$$P_{R_1} = I_1^2 \cdot R_1 = 0,97^2 \cdot 2 = 1,8818 \text{ Вт}, \quad P_{R_2} = I_1^2 \cdot R_2 = 0,97^2 \cdot 8 = 7,5272,$$

$$P_{R_3} = I_2^2 \cdot R_3 = 3,1^2 \cdot 3 = 28,83 \text{ Вт},$$

$$P_{R_4} = I_2^2 \cdot R_4 = 3,1^2 \cdot 10 = 96,1 \text{ Вт},$$

$$P_{R_5} = I_3^2 \cdot R_5 = 2,13^2 \cdot 12 = 54,4428 \text{ Вт},$$

$$P_{R_6} = I_3^2 \cdot R_6 = 2,13^2 \cdot 7 = 31,7583 \text{ Вт},$$

$$P_{R_7} = I_3^2 \cdot R_7 = 2,13^2 \cdot 9 = 40,8321 \text{ Вт},$$

$$\begin{aligned} \sum I^2 \cdot R &= 1,8818 + 7,5272 + 28,83 + 96,1 + 54,4428 + 31,7583 + 40,8321 = \\ &= 261,3722 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Баланс потужностей:

$$\sum P_{\text{ає}} = \sum I^2 \cdot R,$$

$$261,5 \text{ Вт} \approx 261,3722 \text{ Вт}.$$

Розраховуємо похибку, яка виникла за рахунок округлювання:

$$\Delta = \frac{\sum P_{\text{ає}} - \sum I^2 \cdot R}{\sum P_{\text{ає}}} \cdot 100\% = \frac{261,5 - 261,3722}{261,5} \cdot 100\% = 0,04887\%$$

Запитання для захисту контрольної роботи 1

- 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.

14 Коли доцільно використовувати формулу розкиду?

КОНТРОЛЬНА РОБОТА 2

Задача 3 Розрахунок розгалуженого лінійного електричного кола синусоїдного струму з одним джерелом електричної енергії

Вихідні дані та завдання

Для розгалуженого електричного кола синусоїдного струму, зображеного на рисунку 2.1, визначити у вигляді комплексних чисел струми у гілках і падіння напруги на всіх елементах кола, знайти величину напруги, яку покаже вольтметр, підключений між вузловими точками «а» і «b», записати вирази миттєвих значень усіх струмів і напруг, для перевірки розрахунку скласти баланс потужності кола. Побудувати векторну діаграму всіх струмів і векторну діаграму напруг для одного довільно взятого контуру з ЕРС.

ЕРС джерела змінюється періодично з частотою $f=50$ Гц за законом синуса $e = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e)$, В.

Амплітудне значення синусоїдної функції ЕРС джерела E_m , її початкова фаза ψ_e та значення активних опорів,

індуктивностей та ємностей приймачів наведені в таблиці 2.1.

3 варіанта числових даних у таблиці 2.1. треба вибрати і використовувати значення тільки тих активних опорів, індуктивностей та ємностей, які є у вашій схемі.

Наприклад, при розрахунку схеми 2 не будуть потрібні значення L2 та C3.

Методичні рекомендації до виконання

Рекомендується нижченаведений порядок розрахунку символічним методом за допомогою математичного апарату комплексних чисел.

1 На вихідній схемі задатися напрямками струмів в усіх гілках.

2 Записати у комплексній формі величину ЕРС

$$\dot{E} = E e^{j\psi_e}$$

де $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ – діюче значення ЕРС, В;

ψ_e – початкова фаза ЕРС, ° (десяткові градуси).

3 У гілках, що мають послідовне з'єднання однорідних елементів, замінити їх на еквівалентні.

Наприклад, у схемі 4 індуктивні елементи L1 та L2 з'єднані послідовно і мають бути замінені на еквівалентну індуктивність L12, величина якої дорівнює арифметичній сумі L1 та L2.

У схемах 5 та 6 послідовно з'єднані конденсатори C1 та C2. Їх можна замінити на один еквівалентний C12 за формулою еквівалентної заміни:

$$C_{12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

4 Розрахувати реактивні опори всіх індуктивних та ємнісних елементів за формулами:

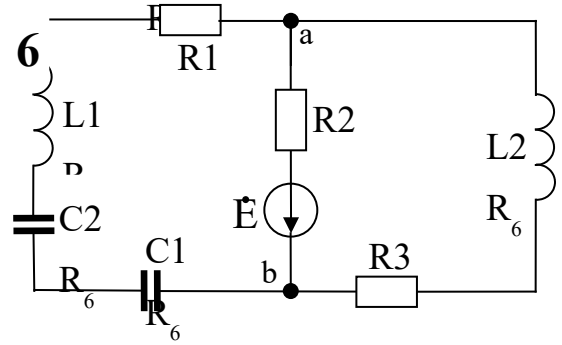
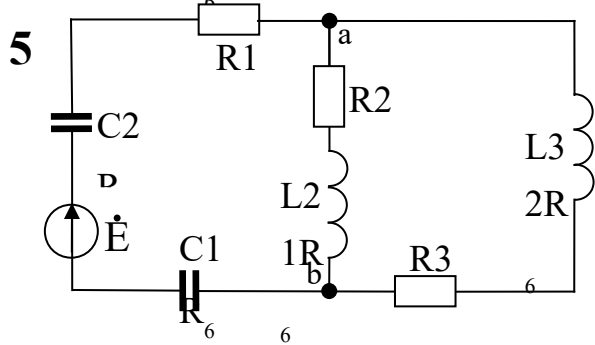
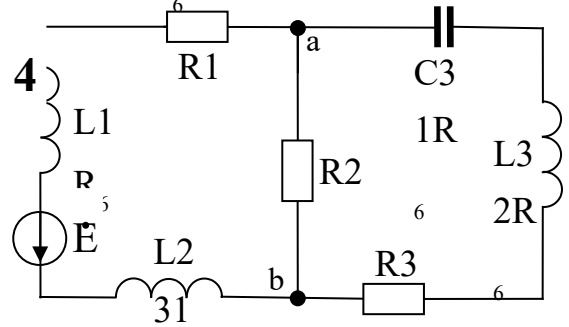
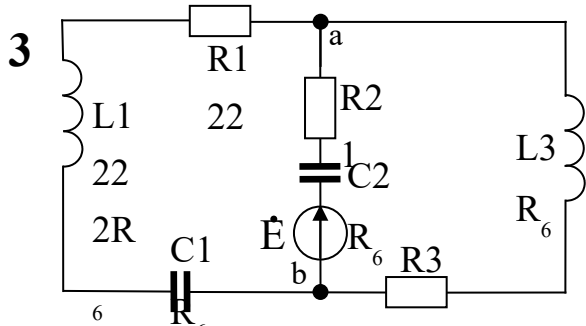
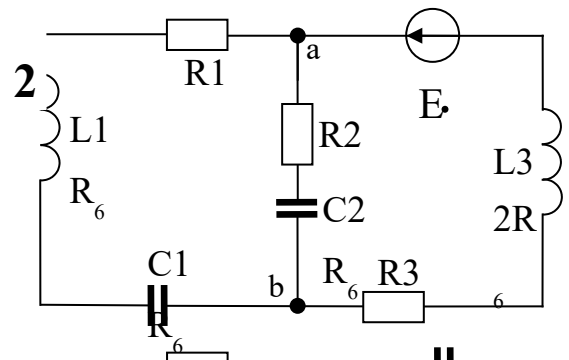
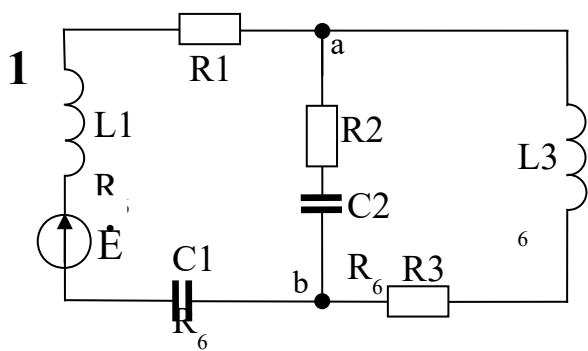
$$X_L = \omega \cdot L, \quad X_C = \frac{1}{\omega \cdot C},$$

де X_L – індуктивний опір, Ом;
 X_C – ємнісний опір, Ом;
 ω – кутова частота, с^{-1} ;
 $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,1416 \cdot 50 = 314,16 \text{ с}^{-1}$;
 L – індуктивність, Гн; $1 \text{ Гн} = 10^{-3} \text{ мГн}$;
 C – ємність, Ф; $1 \text{ Ф} = 10^{-6} \text{ мкФ}$.

Таблиця 2.1

Варіант	Em, В	ψ е.°	Пасивні елементи кола								
			R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	L1, мГн	L2, мГн	L3, мГн	C1, мкФ	C2, мкФ	C3, мкФ
1	311,13	50	20	15	12	63,66	47,75	57,29	601	450	110
2	179,61	60	5	7	16	38,19	9,55	24,51	397	354	318
3	141,42	-30	10	4	8	50,93	47,74	14,32	354	490	160
4	212,13	-40	12	6	9	44,56	28,64	9,55	265	424	354
5	282,84	70	14	11	7	25,46	50,93	31,83	289	212	188
6	311,13	10	13	9	22	28,64	22,28	35,01	354	227	199
7	179,61	-20	16	3	10	15,59	25,46	28,64	796	637	354
8	565,69	-50	25	30	10	57,29	63,66	58,89	127	450	110
9	212,13	30	7	18	5	22,28	31,83	35,01	397	354	318

0	282,85	-60	4	17	22	38,20	41,38	44,56	354	490	160
---	--------	-----	---	----	----	-------	-------	-------	-----	-----	-----



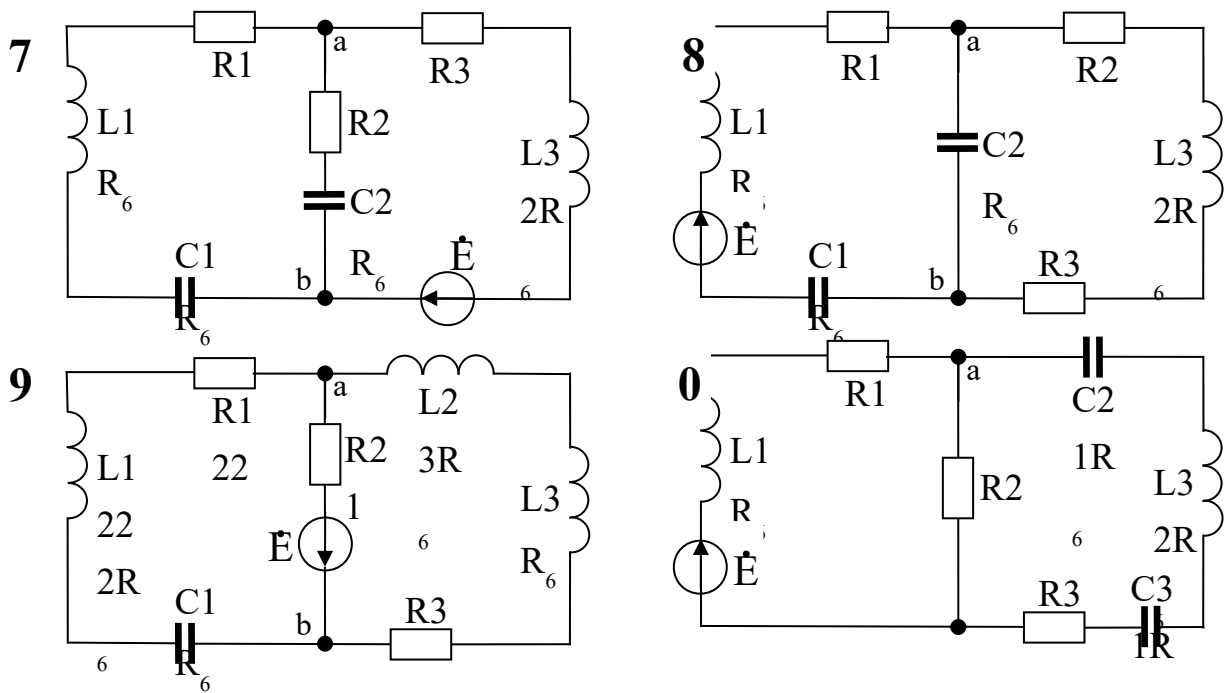


Рисунок 2.1

5 Обчислити загальні комплексні опори у кожній гілці кола:

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

де R – активний опір гілки;

$X = (X_L - X_C)$ - реактивний опір гілки, Ом;

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

6 Обчислити еквівалентний загальний опір паралельних гілок, у яких немає джерела ЕРС, за формулою

$$\underline{Z}_{12} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$$

де \underline{Z}_1 та \underline{Z}_2 – загальні опори двох паралельних гілок (див. додаток А).

7 Обчислити еквівалентний загальний опір всього кола:

$$\underline{Z}_{123} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_{12},$$

де \underline{Z}_3 - загальний опір гілки з джерелом ЕРС.

8 За законом Ома обчислити струм, що протікає у гілці з джерелом:

$$\dot{i} = \frac{\dot{E}}{\underline{Z}_{123}},$$

9 Обчислити комплексну напругу поміж вузловими точками "а" і "b" одним з можливих способів. Наприклад:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{i} \cdot \underline{Z}_{12},$$

Вольтметр, підключений до цих точок, покаже величину діючого значення U_{ab} , тобто модуль показової форми \dot{U}_{ab} .

10 Обчислити за законом Ома струми у паралельних гілках без джерела ЕРС, поділивши комплексну напругу поміж вузловими точками «а» і «b» відповідно на \underline{Z}_1 та \underline{Z}_2 .

Варіантом знаходження цих струмів є використання формули розкиду.

11 Обчислити падіння напруги на всіх елементах кола за формулою

$$\dot{U} = \dot{i} \cdot \underline{Z}$$

12 Записати вирази миттєвих значень струмів та напруг, використовуючи показову форму подання їх комплексних величин. Наприклад, якщо струм у гілці знайдено у вигляді комплексного числа $\dot{i} = 5 \cdot e^{-j30^\circ}$, то його миттєве значення буде мати вираз

$$i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t - \psi_i) = 5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - 30^\circ), \mathbf{A}$$

13 Скласти баланс потужності кола, для чого спочатку визначити комплексну потужність джерела:

$$\dot{S} \doteq \dot{E} \dot{I}^* = S e^{j\varphi} = P_{\text{ддж}} + jQ_{\text{ддж}},$$

де \dot{I}^* - спряжений струм через джерело (додаток А);

S – повна потужність джерела, ВА;

$S = U \cdot I$;

φ – кут зсуву фаз між ЕРС та струмом;

$P_{\text{ддж}}$ – активна потужність джерела, Вт;

$P_{\text{ддж}} = S \cdot \cos \varphi$;

$Q_{\text{ддж}}$ – реактивна потужність джерела, ВАр;

$Q_{\text{ддж}} = S \cdot \sin \varphi$.

Обчислити активну потужність приймачів:

$$P_{\text{пр}} = \sum I^2 \cdot R.$$

Обчислити реактивну потужність приймачів

$$Q_{\text{пр}} = \sum I^2 \cdot X.$$

Скласти і перевірити баланс потужностей кола:

$$P_{\text{ддж}} = P_{\text{пр}},$$

$$Q_{\text{ддж}} = Q_{\text{пр}}.$$

14 Побудувати векторну діаграму всіх струмів та векторну діаграму напруг для одного довільно обраного контуру з джерелом ЕРС.

Векторна діаграма – це зображення векторами на комплексній площині всіх струмів і напруг, що діють у колі.

При послідовному з'єднанні опорів у гілці побудову векторної діаграми рекомендується починати з вектора струму, який виходить з початку координат під кутом ψ_1 до осі x . Його довжина у масштабі струму дорівнює діючому значенню I , тобто модулю показової форми комплексного струму.

Вектори напруг на елементах гілки слід показувати у масштабі напруг, керуючись відомими положеннями: на активному опорі напрямок струму і напруги збігається, на індуктивності – напруга випереджає струм на 90° , а на ємності – напруга відстає від струму на 90° .

Вектор напруги \dot{U}_{ab} між двома вузлами початку та кінця гілки одержують на основі другого закону Кірхгофа, додаючи вектори падінь напруг окремих елементів цієї гілки.

Вектори струмів кола, що має три гілки, складають замкнений трикутник згідно з першим законом Кірхгофа.

Вектор ЕРС джерела дорівнює сумі векторів \dot{U}_{ab} та вектора падіння напруги на загальному опорі гілки, в якій знаходиться джерело ЕРС.

Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 2.2.

Вихідні дані: $E_m = 220 \text{ В}$, $\psi_e = 70^\circ$, $f = 50 \text{ Гц}$, $R_1 = 7 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$, $R_3 = 20 \text{ Ом}$, $L_1 = 30 \text{ мГн}$, $L_2 = 20 \text{ мГн}$, $C_1 = 200 \text{ мкФ}$, $C_2 = 800 \text{ мкФ}$, $C_3 = 920 \text{ мкФ}$.

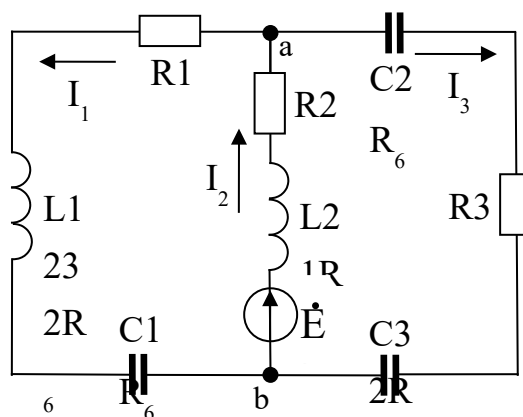


Рисунок 2.2 ⁶

1 ЕРС джерела змінюється з частотою $f = 50 \text{ Гц}$ за законом синуса:

$$e = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_e) = 220 \cdot \sin(\omega \cdot t + 70^\circ) \text{ В.}$$

Запишемо розрахункове значення ЕРС у вигляді комплексного числа:

$$\dot{E} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \cdot e^{j\psi_e} = 155.56e^{j70^\circ} = 53,20 \text{ В.}$$

2 У третій гілці два послідовно з'єднані конденсатори С2 та С3 замінюємо на один:

$$C_{23} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} = \frac{800 \cdot 920}{800 + 920} = 427,91 \text{ мкФ.}$$

3 Обчислюємо реактивні опори і формуємо вирази комплексних загальних опорів трьох гілок:

$$X_{L1} = \omega \cdot L_1 = 314.16 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 9.43 \text{ Ом,}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{10^6}{314.16 \cdot 200} = 15.92 \text{ Ом,}$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = 7 + j(9.43 - 15.92) = 7 - j6.49 = 9.55e^{-j42.83^\circ} \text{ Ом,}$$

$$X_{L2} = \omega \cdot L_2 = 314.16 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 6.28 \text{ Ом,}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j(X_{L2} - X_{C2}) = 10 + j(6.28 - 0) = 10 + j6.28 = 11.81e^{j32.13^\circ} \text{ Ом,}$$

$$X_{C23} = \frac{1}{\omega \cdot C_{23}} = \frac{10^6}{314.16 \cdot 427,91} = 7.44 \text{ Ом},$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j(X_{L3} - X_{C3}) = 20 + j(0 - 7.44) = 20 - j7.44 = 21.34e^{-j20.41^\circ} \text{ Ом}.$$

4 Знаходимо еквівалентний комплексний опір паралельно до з'єднаних гілок:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{13} &= \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} = \frac{9.55e^{-j42.83^\circ} \cdot 21.34e^{-j20.41^\circ}}{7 - j6.49 + 20 - j7.44} = \frac{203.8e^{-j63.25^\circ}}{27 - j13.93} = \\ &= \frac{203.8e^{-j63.25^\circ}}{30.38e^{-j27.29^\circ}} = 6.71e^{-j35.96^\circ} = 5.43 - j3.94 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

5 Знаходимо еквівалентний комплексний опір усієї схеми як послідовне з'єднання: $\underline{Z}_2 + \underline{Z}_{13}$

$$\underline{Z}_3 = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_{13} = 10 + j6.28 + 5.43 - j3.94 = 15.43 + j2.34 = 15.61e^{j8.62^\circ} \text{ Ом}.$$

6 За законом Ома в комплексній формі визначаємо струм, що протікає у колі через джерело ЕРС:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_3} = \frac{155.56e^{j70^\circ}}{15.61e^{j8.62^\circ}} = 9.97e^{j61.38^\circ} = 4.78 + j8.75 \text{ А}.$$

7 За формулою розкиду знаходимо комплексні струми в інших гілках:

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \frac{\underline{I}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} = \frac{9.97e^{j61.38^\circ} \cdot 21.34e^{-j20.41^\circ}}{7 - j6.49 + 20 - j7.44} = \frac{212.76e^{j40.97^\circ}}{27 - j13.93} = \\ &= \frac{212.76e^{j40.97^\circ}}{30.38e^{-j27.29^\circ}} = 7e^{j68.26^\circ} = 2.59 + j6.5 \text{ А}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_3 &= \frac{\dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_3} = \frac{9.97e^{j61.38^\circ} \cdot 9.55e^{-j42.83^\circ}}{7 - j6.49 + 20 - j7.44} = \frac{95.21e^{j18.55^\circ}}{27 - j13.93} = \frac{95.21e^{j18.55^\circ}}{30.38e^{-j27.29^\circ}} = \\ &= 3.13e^{j45.84^\circ} = 2.18 + j2.2 \text{ A} \end{aligned}$$

8 Визначаємо миттєві значення струмів:

$$i_1 = \sqrt{2} \cdot 7 \cdot \sin(\omega t + 68.26^\circ) = 9.9 \cdot \sin(\omega t + 68.26^\circ) \text{ A},$$

$$i_2 = \sqrt{2} \cdot 9.97 \cdot \sin(\omega t + 61.38^\circ) = 14.1 \cdot \sin(\omega t + 61.38^\circ) \text{ A},$$

$$i_3 = \sqrt{2} \cdot 3.13 \cdot \sin(\omega t + 45.84^\circ) = 4.43 \cdot \sin(\omega t + 45.84^\circ) \text{ A}.$$

9 Обчислюємо напруги на кожному елементі кола:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{R1} &= \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{R1} = 7e^{j68.26^\circ} \cdot (7 + j0) = 7e^{j68.26^\circ} \cdot 7e^{j0^\circ} = \\ &= 49e^{j68.26^\circ} = 18,14 + j45,51 \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{L1} &= \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{L1} = 7e^{j68.26^\circ} \cdot (0 + j9,43) = 7e^{j68.26^\circ} \cdot 9,43e^{j90^\circ} = \\ &= 66,01e^{j158.26^\circ} = -61,31 + j24,45 \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{C1} &= \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_{C1} = 7e^{j68.26^\circ} \cdot (0 - j15,92) = 7e^{j68.26^\circ} \cdot 15,92e^{-j90^\circ} = \\ &= 111,44e^{-j21,74^\circ} = 98,63 - j51,87 \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{R2} &= \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_{R2} = 9.97e^{j61.38^\circ} \cdot (10 + j0) = 9.97e^{j61.38^\circ} \cdot 10e^{j0^\circ} = \\ &= 99.7e^{j61.38^\circ} = 47,76 + j87,52 \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{L2} &= \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_{L2} = 9.97e^{j61.38^\circ} \cdot (0 + j6,28) = 9.97e^{j61.38^\circ} \cdot 6,28e^{j90^\circ} = \\ &= 62,61e^{j151.38^\circ} = -54,96 + j29,99 \text{ В}, \end{aligned}$$

$$\dot{U}_{R3} = \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_{R3} = 3.13e^{j45.84^\circ} \cdot (20 + j0) = 3.13e^{j45.84^\circ} \cdot 20e^{j0^\circ} =$$

$$= 62.6e^{j45.84^\circ} = 43,61 + j44,91 \text{ В.}$$

Щоб окремо знайти напруги на конденсаторах C2 та C3, знаходимо їх опори:

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega \cdot C_2} = \frac{10^6}{314.16 \cdot 800} = 3.98 \text{ Ом ,}$$

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega \cdot C_3} = \frac{10^6}{314.16 \cdot 920} = 3.46 \text{ Ом,}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{C2} &= \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_{C2} = 3.13e^{j45.84^\circ} \cdot (0 - j3.98) = 3.13e^{j45.84^\circ} \cdot 3.98e^{-j90^\circ} = \\ &= 12.46e^{-j44.16^\circ} = 8,94 - j8,68 \text{ В,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{C3} &= \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_{C3} = 3.13e^{j45.84^\circ} \cdot (0 - j3.46) = 3.13e^{j45.84^\circ} \cdot 3.46e^{-j90^\circ} = \\ &= 10.83e^{-j44.16^\circ} = 7,77 + j7,54 \text{ В.} \end{aligned}$$

10 Знаходимо напругу між вузловими точками «а» - «b»:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_3 = 3.13e^{j45.84^\circ} \cdot 21.34e^{-j20.41^\circ} = 66.79e^{j25.43^\circ} = 60,32 + j28, \text{ В.}$$

Вольтметр, підключений між цими точками покаже $U_{ab} = 66,79 \text{ В}$, тобто модуль показової форми, що є діючим значенням синусоїдної напруги u_{ab} .

11 Визначаємо миттєві значення напруг за виразами їх показової форми:

$$u_{ab} = 66,79 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 25,43^\circ) = 94,46 \cdot \sin(\omega t + 25,43^\circ) \text{ В,}$$

$$u_{R1} = 49 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 68,26^\circ) = 69,30 \cdot \sin(\omega t + 68,26^\circ) \text{ В,}$$

$$u_{L1} = 66,01 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 158,26^\circ) = 93,35 \cdot \sin(\omega t + 158,26^\circ) \text{ В,}$$

$$u_{C1} = 111,44 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - 21,74^\circ) = 157,6 \cdot \sin(\omega t - 21,74^\circ) \text{ В,}$$

$$u_{R2} = 99,7 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 61,38^\circ) = 141,0 \cdot \sin(\omega t + 61,38^\circ) \text{ В,}$$

$$u_{L2} = 62,61 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 151,38^\circ) = 88,54 \cdot \sin(\omega t + 151,38^\circ) \text{ В,}$$

$$u_{R3} = 62,6 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 45,84^\circ) = 88,53 \cdot \sin(\omega t + 45,84^\circ) \text{ В,}$$

$$u_{C2} = 12,46 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - 44,16^\circ) = 17,62 \cdot \sin(\omega t - 44,16^\circ) \text{ В,}$$

$$u_{C3} = 10,83 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - 44,16^\circ) = 15,3 \cdot \sin(\omega t - 44,16^\circ) \text{ В.}$$

12 Обчислюємо потужності, споживані колом, і складаємо їх баланс для перевірки розрахунку.

Активна потужність приймачів:

$$P_{R1} = I_1^2 \cdot R_1 = 7^2 \cdot 7 = 343 \text{ Вт} ,$$

$$P_{R2} = I_2^2 \cdot R_2 = 9.97^2 \cdot 10 = 994.01 \text{ Вт} ,$$

$$P_{R3} = I_3^2 \cdot R_3 = 3.13^2 \cdot 20 = 195.94 \text{ Вт} ,$$

.

Реактивна потужність приймачів:

$$Q_{X1} = I_1^2 \cdot X_1 = 7^2 \cdot (-6.49) = -318.01 \text{ ВАр,}$$

$$Q_{x2} = I_2^2 \cdot x_2 = 9.97^2 \cdot 6.28 = 624.24 \text{ ВАр,}$$

$$Q_{x3} = I_3^2 \cdot x_3 = 3.13^2 \cdot (-7.44) = -72.89 \text{ ВАр,}$$

$$\Sigma Q_{np} = Q_{x1} + Q_{x2} + Q_{x3} = -318.01 + 624.24 + (-72.89) = 233.34 \text{ ВАр.}$$

Комплексна потужність приймачів:

$$\dot{S}_{np} = P_{np} + jQ_{np} = 1532.95 + j233.$$

Потужність джерела:

$$\begin{aligned}\dot{S}_{дж} &= \dot{E} \cdot \dot{I}_2^* = 155.56e^{j70^\circ} \cdot 9.97e^{-j61.38^\circ} = 1550.93e^{j8.62^\circ} = \\ &= 1533.41 + j232.45.\end{aligned}$$

Баланс потужності:

$$1532,95 \text{ Вт} \approx 1533,41 \text{ Вт, тобто } P_{np} \approx P_{дж}.$$

$$233 \text{ ВАр} \approx 233,45 \text{ Вар, тобто } Q_{np} \approx Q_{дж}.$$

13 Будуємо векторну діаграму струмів згідно з першим законом Кірхгофа у масштабі 1 см = 1 А (рисунок 2.3):

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

Пам'ятаємо, що вектори можна переносити паралельно самому собі, а сумою двох векторів буде третій вектор, який будується як діагональ паралелограма зі сторонами, що дорівнюють першим двом векторам.

Вектори можуть бути побудовані двома методами, які відповідають двом формам подання комплексного числа (показовій та алгебраїчній).

Наприклад, довжина вектора I_3 дорівнює у масштабі струмів модулю його показової форми, а кут до осі x – аргументу.

Проекція вектора I_2 на вісь абсцис дорівнює дійсній частині його алгебраїчної форми, а на вісь ординат – уявній частині.

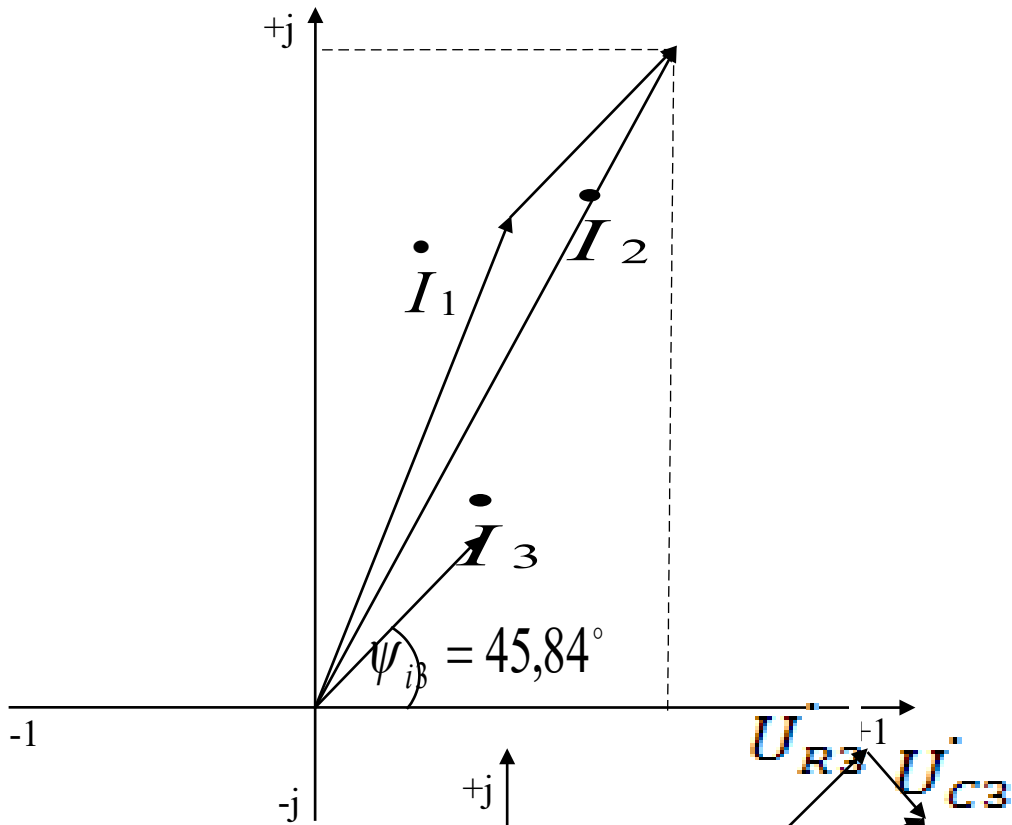


Рисунок 2.3

14 Вибираємо обхід контуру за годинниковою стрілкою і будемо замкнену векторну діаграму напруг для малого правого контуру згідно з другим законом Кірхгофа у масштабі $1\text{ см} = 10\text{ В}$ (рисунок 2.4):

$$\dot{E} = \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{R2} + \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{R3} + \dot{U}_{C3} = \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{R2} + \dot{U}_{ab} \quad \dot{I}_2$$

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{C2} + \dot{U}_{R3} + \dot{U}_{C3} \quad ,$$

Вектор \dot{U}_{L2} на 90° випереджує вектор \dot{I}_2 .

Вектор \dot{U}_{R2} іде паралельно вектору \dot{I}_2 .

Вектор \dot{U}_{C2} на 90° відстає від вектора \dot{I}_3 .

Вектор \dot{U}_{R3} іде паралельно вектору \dot{I}_3 .

Вектор \dot{U}_{C3} на 90° відстає від вектора \dot{I}_3 .



$$\dot{U}_{ab}$$

$$\dot{U}_{ab}$$

$$\psi_{ab} = 25,43^\circ$$

Рисунок 2.4

Задача 4 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 2.5.

Величини лінійної напруги $U_{л}$, активних R , індуктивних X_L і ємнісних X_C опорів приймачів наведені в таблиці 2.2.

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) в одних координатних осях побудувати векторні діаграми фазних і лінійних напруг для режимів з нульовим проводом та з його обривом.

Таблиця 2.2

Варіант	$U_{л}, В$	Опори, 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

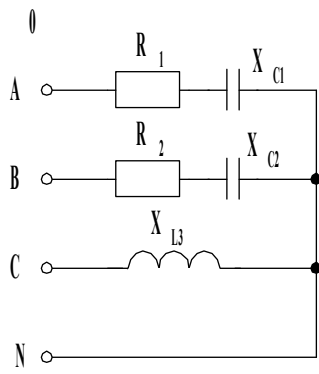
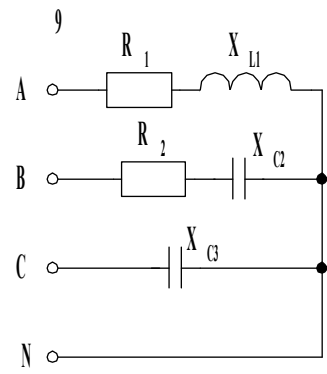
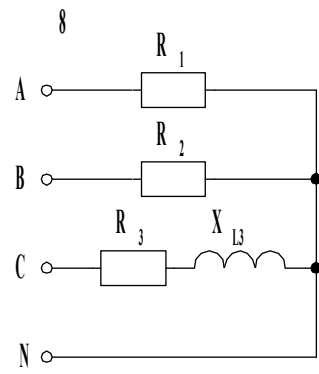
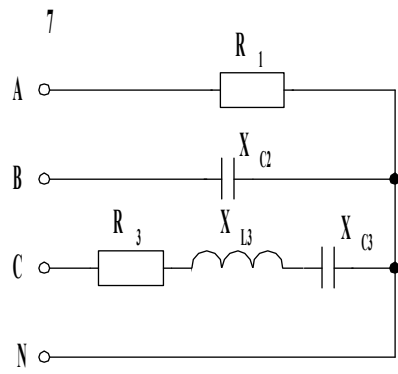
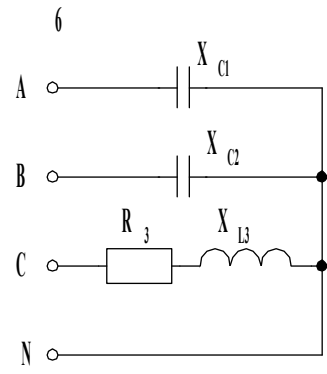
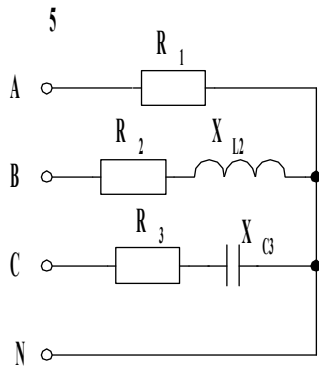
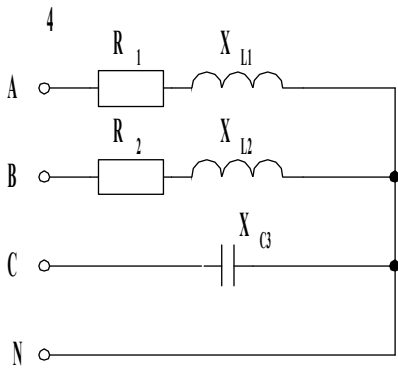
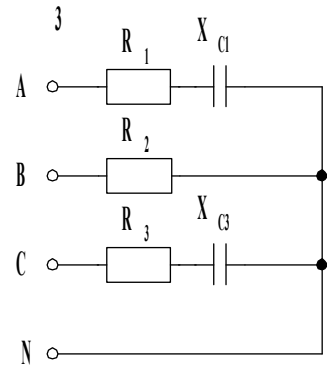
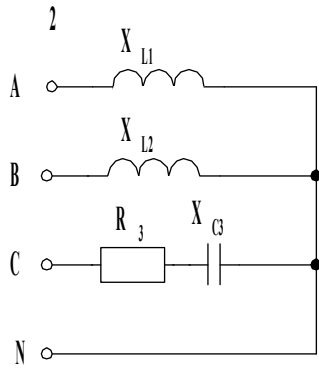
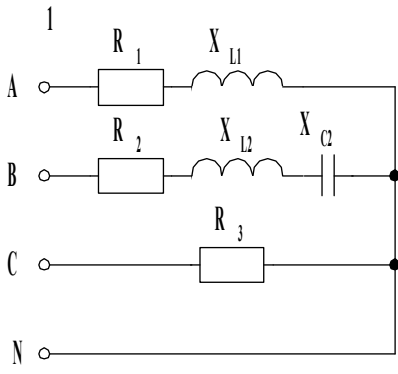


Рисунок 2.5

Методичні рекомендації до виконання

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

Рекомендується нижченаведений порядок 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 величини фазних напруг споживачів при обриві нейтрального проводу:

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

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:

$$P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C,$$

$$Q_{3\phi} = Q_A + Q_B + Q_C.$$

Повна потужність трифазної системи живлення:

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

8 Визначити коефіцієнт потужності трифазної системи живлення:

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

Приклад розрахунку

Нехай задана схема, що зображена на рисунку 2.6.

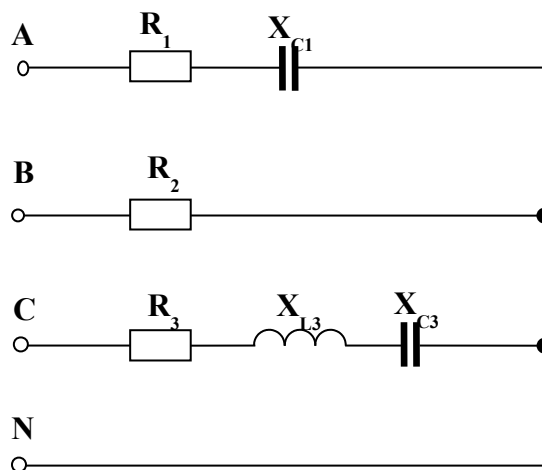


Рисунок 2.6

Вихідні дані:

$U_{л}=220$ В, $R_1=8$ Ом, $X_{c1}=6$ Ом, $R_2=7$ Ом,
 $R_3=9$ Ом, $X_{L3}=4$ Ом, $X_{c3}=5$ Ом.

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:

$$\dot{I}_O = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = (I_{Aa} + I_{Ba} + I_{Ca}) + j(I_{Ap} + I_{Bp} + I_{Cp}) = I_O \cdot e^{j\phi_i} = (10,16 - 9,08 - 8,31) + j(7,62 - 15,7 + 11,29) = -7,23 + j3,21 = 7,91 \cdot e^{j156,06^\circ} \text{ A.}$$

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

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

6 Визначаємо величину фазних напруг споживачів при обриві нейтрального проводу:

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

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

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

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 виконуємо у нижченаведеній послідовності:

Будуємо симетричний рівносторонній трикутник фазних і лінійних напруг для режиму з нульовим проводом (рисунок 2.7).

Будуємо у масштабі напруг вектор зсуву нейтралі \dot{U}_{00} , пам'ятаючи, що позитивні кути відкладаються у напрямку проти годинникової стрілки від нульового значення, що збігається з вертикальним напрямком 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.

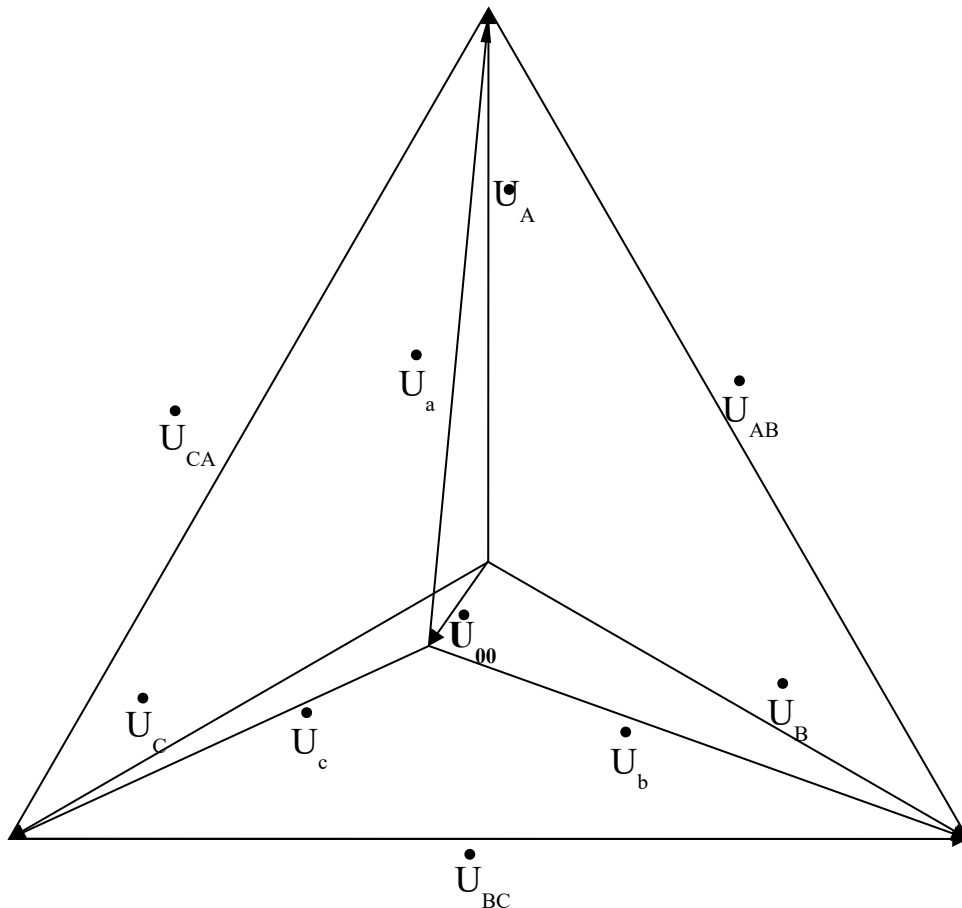


Рисунок 2.7

Запитання для захисту контрольної роботи 2

- 1 Що таке змінний синусоїдний струм?
- 2 Що таке амплітуда, період, частота, фаза, початкова фаза та кутова частота синусоїдних струмів, напруг та ЕРС?
- 3 Чому метод розрахунку кіл синусоїдного струму називають «символічним методом»?
- 4 Що таке активний опір, індуктивність та ємність?
- 5 Навести формули розрахунку індуктивного та ємнісного опорів.
- 6 Навести вираз загального опору у вигляді комплексного числа.
- 7 Навести формули переходу від алгебраїчної форми подання комплексного числа до показової і навпаки.
- 8 Сформулювати правила виконання арифметичних дій з комплексними числами.
- 9 Що таке зсув фаз між струмом та напругою?
- 10 Чому дорівнює зсув фаз між струмом та напругою на активному опорі?
- 11 Чому дорівнює зсув фаз між струмом та напругою на індуктивному елементі?
- 12 Чому дорівнює зсув фаз між струмом та напругою на ємнісному елементі?
- 13 Сформулювати закон Ома та два закони Кірхгофа для кіл синусоїдного струму.
- 14 Що таке активна, реактивна та повна потужності?
- 15 Навести одиниці виміру активної, реактивної та повної потужності.
- 16 Що таке комплексна потужність?
- 17 Що таке спряжений струм?
- 18 Записати баланс потужності для кола синусоїдного струму.
- 19 Що таке векторна діаграма струмів та напруг?
- 20 Сформулювати правила побудови векторних діаграм?
- 21 Як на векторній діаграмі буде розташовано напругу на активному опорі відносно струму через цей опір?
- 22 Як на векторній діаграмі буде розташовано напругу на індуктивному елементі відносно струму через цей елемент?

23 Як на векторній діаграмі буде розташовано напругу на ємнісному елементі відносно струму через цей елемент?

24 Як побудувати на векторній діаграмі вектор, що буде сумою двох, або декілька інших векторів?

25 Що таке трифазна система живлення?

26 Навести схеми двох видів з'єднання обмоток трифазного генератора.

27 Яке навантаження називається симетричним та несиметричним?

28 У яких випадках застосовується чотирипровідна трифазна схема?

29 Які струми і напруги називаються фазними і лінійними? Показати на схемі.

30 Як визначаються фазні струми та струм у нейтральному проводі?

31 Як пов'язані по величині фазна і лінійна напруги при вмиканні навантаження «зіркою»?

32 Призначення нейтрального проводу у схемі «зірка-зірка» при несиметричному навантаженні.

33 Що станеться з чотирипровідною схемою живлення при обриві лінійного проводу?

34 Чому при симетричному навантаженні не потрібен нульовий провід?

35 Яке явище у трифазних колах називають перекосом фаз і коли воно виникає?

36 До яких наслідків може призвести явище перекосу фаз?

37 Чому у нульовому проводі не дозволяється установлення вимикачів або запобіжників?

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

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

40 Як визначити повну потужність, споживану трифазною системою живлення?

41 Пояснити економічне значення підвищення коефіцієнта потужності.

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 электроники / Под ред. В.Г. Герасимова. - М.: Высш. шк., 1987.
- 6 Глушков Г.Н. Электроснабжение строительно-монтажных 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;

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

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

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

α - аргумент показової форми комплексної величини;

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

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

В електротехнічних розрахунках для позначення комплексних величин, що є синусоїдними функціями часу (ЕРС, напруга, струм), замість риски під буквою треба ставити крапку над основним 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

$\dot{I} = a + jb = \operatorname{Re} \underline{A} + j \operatorname{Im} \underline{A} = A e^{j\alpha}$, то спряжений струм буде дорівнювати

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

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 проєкціях на осі (що відповідає алгебраїчній формі) до відображення у полярній системі координат (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 часті 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 α
- 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 прийняте рішення відображати кути у десятикових градусах, протестуйте свій калькулятор дією **tg45=1** або **arctg1=45**. При отриманні іншого результату перейдіть на **Deg** згідно з інструкцією.

Щоб додати (відняти) два комплексних числа, треба їх обидва подати в алгебраїчній формі і потім окремо додати (відняти) дійсні частини та окремо додати (відняти) уявні частини. Результатом буде нове комплексне число в алгебраїчній формі.

Наприклад:

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

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

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

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

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

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

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

ДОДАТОК Б

ОСНОВНІ ЕЛЕКТРИЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Найменування	Буквене	Найменування	Позначення
--------------	---------	--------------	------------

	позначення		
Струм	I, i	ампер	А
Електрорушійна сила	E, e	вольт	В
Напруга електрична	U, u	вольт	В
Потенціал електричний	φ	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	ω, Ω	радіан у секунду	s^{-1}
Частота коливань електрична	f	герц	Гц
Початкова фаза	ψ	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	φ	градус	°