

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра «Електротехніка та електричні машини»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з дисципліни «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

**для студентів денної форми навчання зі спеціальності
«ВАГОНИ»**

Харків - 2011

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри “Електротехніка та електричні машини” 11 червня 2010 р., протокол № 10.

Укладачі:

доценти В.С. Блиндюк,
А.А. Прилипко,
О.М. Ананьєва

Рецензент

доц. С.В. Кошевий

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи з дисципліни «*ЕЛЕКТРОТЕХНІКА*»
для студентів денної форми навчання зі спеціальності «*ВАГОНИ*»

Відповідальний за випуск Прилипко А.А.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 30.06.10 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,5. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ

ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кафедра електротехніки та електричних машин

Методичні вказівки

до самостійної роботи з дисципліни «Електротехніка»
для студентів денної форми навчання зі спеціальності «Вагони»

Розглянуто на раді методичної комісії факультету АТЗ та
рекомендовано до друку та в світ для студентів механічного факультету
спеціальності “ Вагони ” денної форми навчання

Харків 2011

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри “Електротехніка та електричні машини” 11 червня 2010 р., протокол № 10.

Укладачі:
доценти В.С. Блиндюк
А.А. Прилипко
О.М. Ананьєва

Рецензент
доц. С.В. Кошевий

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Методичні вказівки містять розрахунково-графічні завдання, які перевірені в навчальному процесі та відображають практичну направленість інженера технічної спеціальності. В методичних вказівках надається методика аналізу та розрахунку електричних кіл постійного і змінного струму. Завдання складаються з таких розділів: електричні кола постійного струму, електричні кола змінного струму, трифазні електричні кола із з'єднанням споживачів “зіркою” або “трикутником”. Розрахунково-графічні роботи (РГР, домашні завдання) з електротехніки, призначені для закріплення окремих розділів курсу «Електротехніка». Розрахунково-графічні роботи включають два завдання з коротким теоретичним матеріалом. У свою чергу ці завдання мають по дві задачі.

При виконанні розрахунків та оформленні РГР студентам необхідно дотримуватися таких вимог:

а) кожний студент виконує завдання відповідно до номера варіанта, що видається викладачем. Завдання виконується в термін, встановлений графіком самостійної роботи студентів;

б) завдання оформляється відповідно до [3];

в) на титульному аркуші повинні бути вказані: номер роботи і її назва, прізвище й ініціали студента, шифр групи й номер варіанта. У завданні вказуються усі вихідні дані, включаючи розрахункову схему;

г) усі розв'язання повинні мати пояснення до розрахункових формул і кінцевих результатів, а також одиниці виміру;

д) векторні діаграми і графіки креслять у масштабі на міліметровому папері;

е) звіти виконують чорнилами чітко і акуратно, схеми і графіки з використанням креслярських інструментів.

ЗАВДАННЯ 1

ЗАДАЧА 1.1 Розрахунок розгалуженого лінійного електричного кола постійного струму з одним джерелом електричної енергії

Короткий теоретичний матеріал

Розрахувати електричне коло означає визначити струми у всіх його вітках. Розрахунок електричних кіл базується на використанні законів Ома, Кірхгофа, Джоуля-Ленца – основних законів електротехніки.

При складанні рівнянь за цими законами слід дотримуватись подальших правил.

Закон Ома. Якщо напрямок величин U або E не збігається з обраним напрямком струму, то у формулах закону Ома знак цих величин слід змінити на протилежний.

- I закон Кірхгофа використовується для вузлів електричного кола, причому струми одного напрямку, наприклад, які входять у вузол, записуються зі знаком “плюс” (“+”), а ті що виходять з вузла, зі знаком “мінус” (“-”).

- II закон Кірхгофа використовується для контурів електричного кола: алгебраїчна сума ЕРС у контурі електричного кола буде дорівнювати алгебраїчній сумі спадів напруг на елементах даного контуру. Напруги та ЕРС беруть із знаком “плюс” “+”, якщо їх напрямки збігаються з обраним напрямком обходу контуру, та навпаки.

- Відповідно до закону Джоуля-Ленца для пасивних ділянок кола постійного струму енергія, що споживається, визначається за формулою $W=U \cdot I \cdot t$, де U – напруга на пасивній ділянці; I – струм; t – час. Потужність $P=W/t=U \cdot I=I^2 \cdot R$. Тоді потужність, що виробляється джерелом ЕРС, – $P_{дж}=E \cdot I$.

Якщо ЕРС E та струм I однієї вітки направлені протилежно, то потужність джерела від’ємна, це означає, що дане джерело не генерує, а споживає енергію.

При розв’язанні задач для кола з одним джерелом найчастіше користуються методом перетворення електричного кола з метою його спрощення.

При послідовному з'єднанні резисторів еквівалентний опір буде

$$R = \sum_{k=1}^n R_k ,$$

де n – кількість послідовно з'єднаних резисторів.

При паралельному з'єднанні резисторів еквівалентна провідність буде

$$G = \sum_{k=1}^m G_k ,$$

де m – число паралельно з'єднаних резисторів. При мішаному з'єднанні резисторів $R_{екв}$ знаходять поступовим спрощенням схеми та “згортанням” її до одного опору. При розрахунку струмів в окремих вітках схему “розгортають” у зворотному напрямку.

При підготовці до розв'язування задач студенти зобов'язані засвоїти такі основні поняття для електричних кіл постійного струму:

1 Основні елементи та параметри кола постійного струму. Закон Ома для ділянки кола.

2 Закон Ома для повного кола

3 Використання закону Ома при розрахунку та аналізі електричних кіл.

4 Закони Кірхгофа для кіл постійного струму

5 Елементи електричного кола постійного струму. Вузол, вітка, контур.

6 Приклади використання законів Кірхгофа для розрахунку кіл постійного струму

7 Електричні кола постійного струму з послідовним сполученням кількох опорів. Основні співвідношення.

8 Електричні кола постійного струму з паралельним сполученням кількох опорів. Основні співвідношення.

9 Провідність. Застосування провідності при аналізі кіл з паралельним сполученням елементів.

10 Електричні кола постійного струму з мішаним сполученням кількох опорів. Основні співвідношення.

11 Метод еквівалентного опору для розрахунку кіл постійного струму.

12 Складні кола постійного струму. Розрахунок методом складання рівнянь за законами Кірхгофа.

13 Розрахунок кіл постійного струму методом контурних струмів.

14 Розрахунок кіл постійного струму методом суперпозиції (накладання).

15 Основні закони електричних кіл постійного струму: закон Ома, закони Кірхгофа, закон Джоуля-Ленца.

16 Лінія передач постійного струму. Режим роботи.

17 Двопровідна лінія передачі енергії постійного струму. Умова виділення на навантаженні максимальної потужності.

Зміст завдання:

- для електричного кола (рисунок 1.1) визначити струми в кожній вітці.

- провести перевірку задачі складанням балансу потужності.

Схема та значення опорів резисторів і напруги на затискачах кола встановлюються викладачем. Наприклад, номер схеми дорівнює першій цифрі варіанта (номер за списком). Значення опорів резисторів дорівнюють таким числам: $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 4 \text{ Ом}$; $R_3 = 6 \text{ Ом}$; $R_4 = 8 \text{ Ом}$; $R_5 = 10 \text{ Ом}$; R_6 та напруга на затискачах дорівнює номеру варіанта.

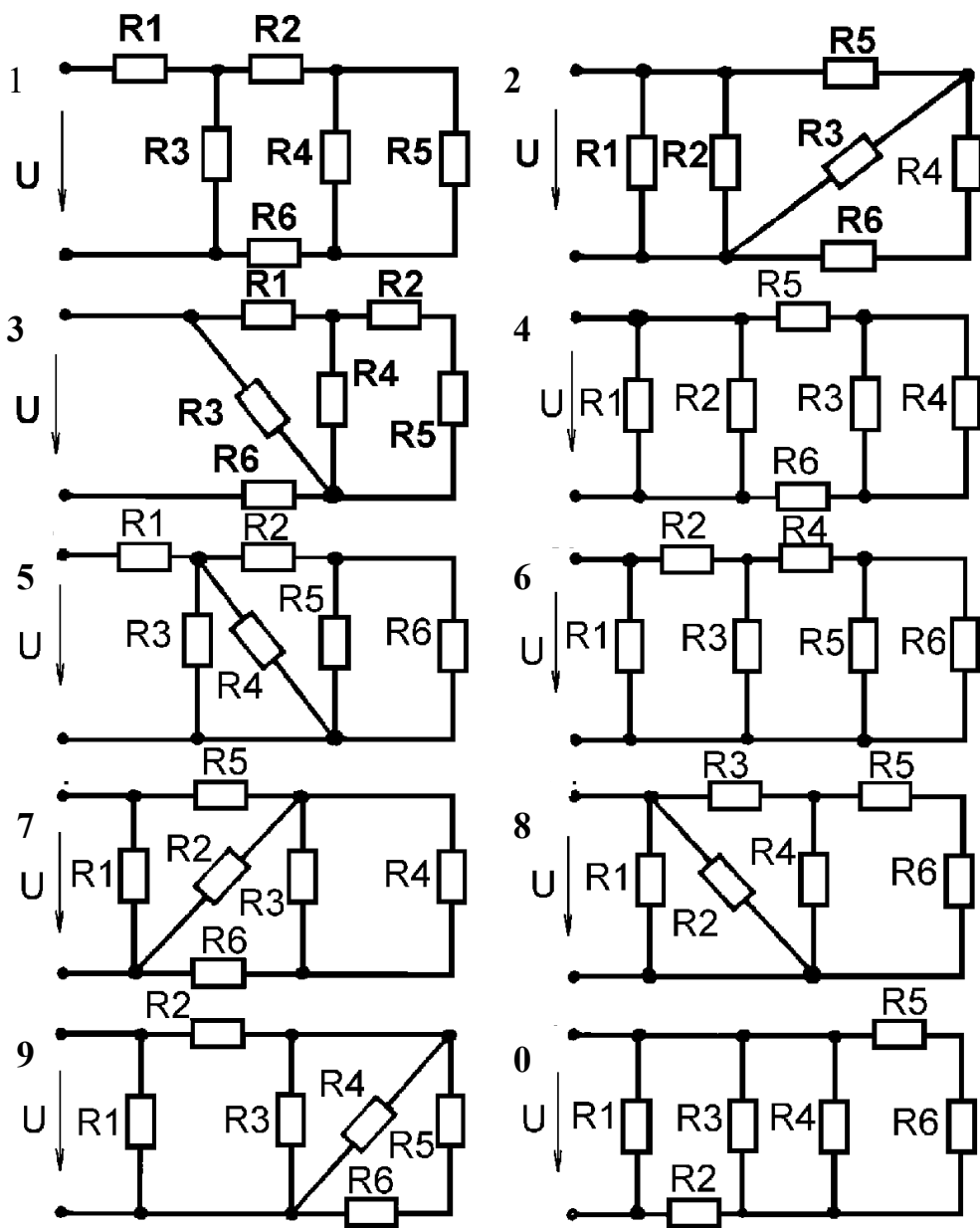


Рисунок 1.1

ЗАДАЧА 1.2 Аналіз електричного стану розгалужених лінійних електричних кіл постійного струму з декількома ЕРС.

Варіанти з 1 по 10 виконуються за схемою 1 (при цьому ЕРС E_1, E_2, E_3, E_4 дорівнюють 0), варіанти з 11 по 20 – за схемою 2 (при цьому ЕРС E_1, E_2, E_3, E_4 дорівнюють 0), варіанти з 21 по 39 – за схемою 3 (при цьому ЕРС E_1, E_2, E_3, E_4 дорівнюють 0) (рисунок 1.2). Якщо потрібно збільшити кількість варіантів, викладач змінює місцезнаходження ЕРС.

Зміст завдання:

- а) відповідно до заданої схеми скласти необхідну кількість рівнянь за I і II законами Кірхгофа, не обчислюючи струми у вітках;
- б) визначити струми у вітках методом контурних струмів;
- в) виконати розрахунок балансу потужності, розрахувавши потужності джерел енергії і потужності на кожній ділянці кола.

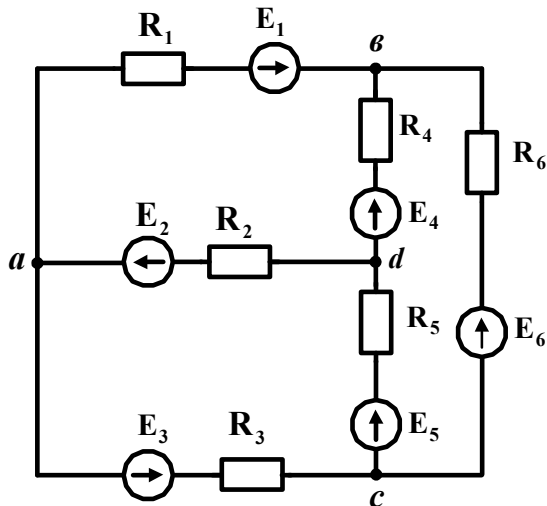


Схема 1

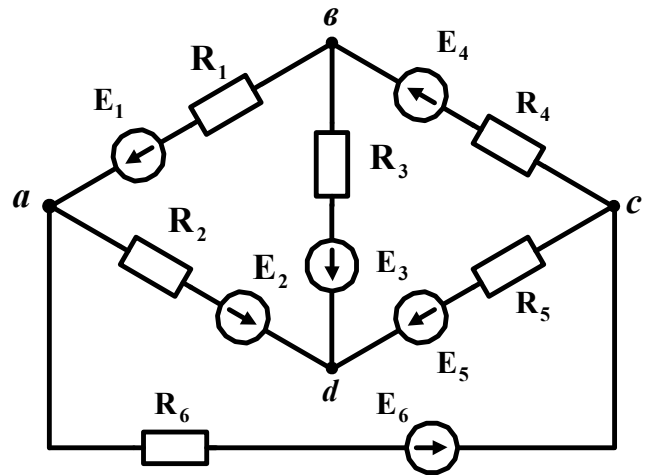


Схема 2

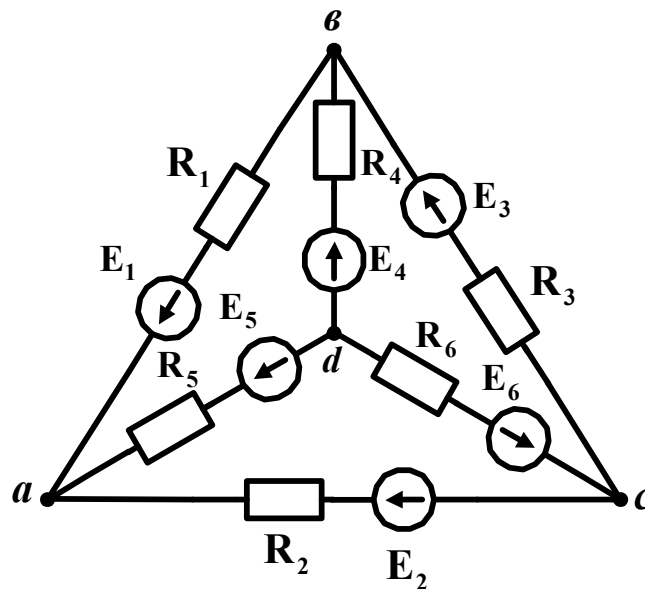


Схема 3

Рисунок 1.2 – Розрахункові схеми

Параметри елементів кола встановлюються викладачем (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Величи- на	ВАРІАНТ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
E ₁ , В	100	90	80	70	60	110	120	130	140	150
E ₂ , В	160	170	180	190	200	150	140	110	120	130
E ₃ , В	100	90	80	70	60	110	120	130	140	150
E ₄ , В	160	170	180	190	200	150	140	110	120	130
E ₅ , В	100	90	80	70	60	110	120	130	140	150
E ₆ , В	160	170	180	190	200	150	140	110	120	130
R ₁ , Ом	5	1	2	1	6	3	2	8	4	7
R ₂ , Ом	7	6	5	4	3	2	3	4	5	6
R ₃ , Ом	13	24	21	25	19	22	17	14	16	9
R ₄ , Ом	25	20	16	18	22	17	15	19	21	23
R ₅ , Ом	23	12	19	24	17	14	22	18	15	21
R ₆ , Ом	14	18	16	22	24	13	24	17	23	19

Короткий теоретичний матеріал

Рекомендується така послідовність розрахунку методом контурних струмів:

- задатися довільним напрямком струмів у вітках кола;
- задатися довільним напрямком контурних струмів I_{11} , I_{22} , I_{33} у незалежних контурах;
- скласти систему рівнянь для контурних струмів вигляду:

$$E_{11} = r_{11}I_{11} + r_{12}I_{22} + r_{13}I_{33},$$

$$E_{22} = r_{21}I_{11} + r_{22}I_{22} + r_{23}I_{33},$$

$$E_{33} = r_{31}I_{11} + r_{32}I_{22} + r_{33}I_{33};$$

- обчислити власні опори контурів r_{11} , r_{22} , r_{33} ;
 - обчислити загальні опори контурів $r_{12} = r_{21}$, $r_{23} = r_{32}$, $r_{13} = r_{31}$.
- Вони беруться зі знаком "плюс", якщо у відповідних суміжних вітках контурні струми спрямовані однаково, і зі знаком "мінус", якщо струми спрямовані зустрічно;

- обчислити контурні ЕРС E_{11} , E_{22} , E_{33} . При цьому джерела ЕРС, спрямовані назустріч контурному струму, беруться зі знаком “мінус”;
- підставити отримані значення опорів і контурних ЕРС в систему рівнянь, відсутні складові замінити нулями;
- обчислити головний визначник Δ системи рівнянь і допоміжні визначники Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 ;
- обчислити контурні струми за формулами

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad I_{33} = \frac{\Delta_3}{\Delta},$$

- знайти дійсні струми у вітках. Якщо у вітці протікає один контурний струм, то він дорівнює дійсному і зберігає свій знак, якщо напрямки дійсного і контурного струмів збігаються. У протилежному випадку знак дійсного струму змінюється на протилежний. Якщо у вітці протікають два контурних струми, то дійсний струм у цій вітці визначається їхньою алгебраїчною сумою. При цьому контурні струми, спрямовані назустріч дійсному, беруться зі знаком "мінус";

- визначити дійсний напрямок струмів у вітках, керуючись правилом: якщо дійсний струм має знак “плюс” (“+”), то його дійсний напрямок збігається з прийнятим спочатку. Якщо струм – негативний, то його дійсний напрямок протилежний прийнятому.

ЗАВДАННЯ 2

ЗАДАЧА 2.1 Аналіз електричного стану лінійних електричних кіл синусоїдального струму.

Короткий теоретичний матеріал.

При розв’язанні задач з цієї теми слід зрозуміти фізичний зміст явищ, які мають місце в колах змінного струму, знати, що являють собою індуктивний і ємнісний опори, а також різницю між омичним опором кола постійного струму і активним опором кола змінного струму. Треба звернути увагу на причини, які приводять до відставання за фазою струму відносно напруги в колі з котушкою індуктивності і випередження в колі з конденсатором. Необхідно вміти виводити кількісні

співвідношення між струмом, напругою і опором кола; звернути увагу на визначення понять діючих, миттєвих і амплітудних значень струмів і напруг.

Розрахунок електричних кіл синусоїдного струму значно спрощується при користуванні комплексними числами. Символічний метод дає змогу замінити геометричні дії над векторами на алгебраїчні. При цьому розрахунок кіл змінного струму роблять таким же чином, як постійного. Також цей метод називають методом комплексних величин, тому що, наприклад, вектор \underline{E} (ЕРС джерела) розглядається як величина комплексна (див. рисунок 2.1). Цей вектор розкладається на складові a – дійсне число, jb – уявне число. Уявне число є добуток дійсного числа b на уявну одиницю j , де $j = \sqrt{-1}$. Тоді записуємо, що $\underline{E} = a + jb$. Це алгебраїчна форма запису комплексної величини.

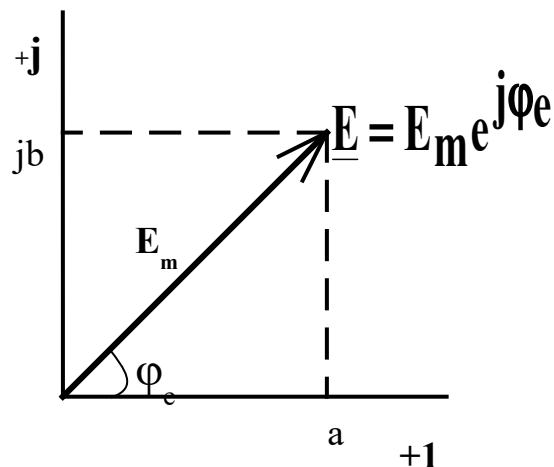


Рисунок 2.1

Якщо записати миттєве значення ЕРС таким чином:

$$e_M = E_m \sin(\omega t + \varphi_e),$$

де e_M – миттєве значення ЕРС;

ω – кутова частота;

E_m – амплітудне значення ЕРС;

φ_e – початкова фаза.

Тоді комплексне значення ЕРС має такий вигляд: $\underline{E} = E_m e^{j\varphi_e}$ (показникова форма запису).

Аналогічним чином миттєве значення струму $i = I_m \sin(\omega \cdot t + \varphi_i)$ записується в такому вигляді: $\underline{I} = I_m e^{j\varphi_i}$, а напруги – $u = U_m \sin(\omega \cdot t + \varphi_u)$ таким чином: $\underline{U} = U_m e^{j\varphi_u}$.

Кожному вектору на комплексній площині відповідає певне комплексне число, яке може бути записане в показниковій або алгебраїчній формі. Перехід від показникової до алгебраїчної форми запису здійснюється за формулою (2.1)

$$E_m e^{j\varphi_e} = E_m \cos(\varphi_e) + jE_m \sin(\varphi_e) = a + jb \quad (1.1)$$

Щоб перейти навпаки із алгебраїчної до показникової форми, потрібно спочатку знайти амплітуду

$$E_m = \sqrt{a^2 + b^2}, \text{ а потім початкову фазу } \varphi_e = \arctg \frac{b}{a}.$$

Приклад розрахунку електричних схем змінного струму з застосуванням символічного методу

Приклад 2.1.1

Дано:

$$U_m = 141,421 \text{ В};$$

$$\varphi = -45;$$

$$R_1 = 3 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 4 \text{ Ом};$$

$$X_{C1} = 9 \text{ Ом};$$

$$X_{C2} = 7 \text{ Ом}.$$

Знайти:

показання приладів; закон

зміни струму в колі; закон

зміни напруги в колі;

побудувати векторну діаграму.

Розрахунки проводити

символічним методом.

Розв'язання

Комплексні опори:

$$\underline{Z}_1 = R_1 - jX_{C1} = 3 - j9 = 9,487 e^{-j71,565} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 - jX_{C2} = 4 - j7 = 8,062 e^{-j60,255} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 = 7 - j16 = 17,464 e^{-j66,371} \text{ Ом};$$

Схема для розрахунку (рисунок 2.2):

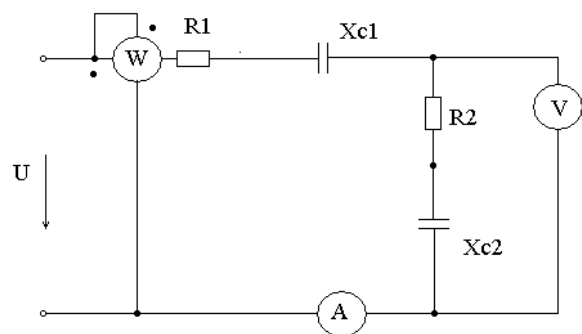


Рисунок 2.2

$$\varphi = \text{Arg}(Z) = -66.371;$$

$$U_d = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 100 \text{ В.}$$

Комплекс напруги на вході

$$\underline{U} = 100 \cdot e^{-j45} \text{ В.}$$

Знаходимо комплекс струму за законом Ома

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{Z_1} = 5.726 \cdot e^{j21.371} \text{ А.}$$

Знаходимо активну потужність

$$P = U I \cos(\varphi) = 229,507 \text{ Вт.}$$

Показання приладів:

- амперметра **5,726А**;
- вольтметра **100В**;
- ватметра **229,507Вт**.

Закон зміни струму

$$I_m = I \cdot \sqrt{2} = 8,098 \text{ А} \quad \varphi_I = 21,371; \text{ тоді } i(t) = 8,098 \sin(\omega t + 21,371) \text{ А.}$$

Закон зміни напруги $u(t) = 141,421 \sin(\omega t - 45) \text{ В}$

Будуємо векторну діаграму (рисунок 2.3)

$$\underline{U} = 100 \cdot e^{-j45} \text{ В} \quad \underline{I} = 5.726 \cdot e^{j21.371} \text{ А}; \quad \underline{U}_{R1} = \underline{I} \cdot R_1 = 17.178 \cdot e^{j21.371} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{R2} = \underline{I} \cdot R_2 = 22,904 \cdot e^{j21.371} \text{ В}; \quad \underline{U}_{C1} = \underline{I} \cdot (-jX_{C1}) = 51.534 \cdot e^{-j68.629} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{C2} = \underline{I} \cdot (-jX_{C2}) = 40.082 \cdot e^{-j68.629} \text{ В};$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_{R1} + \underline{U}_{C1} = 54.321 \cdot e^{-j50.194} \text{ В};$$

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_{R2} + \underline{U}_{C2} = 46.164 \cdot e^{-j38.884} \text{ В.}$$

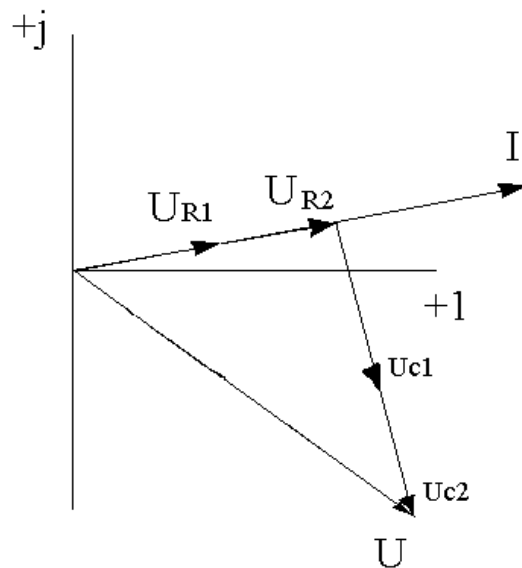


Рисунок 2.3

При підготовці до розв'язування задач студенти зобов'язані засвоїти такі основні поняття для однофазних електричних кіл змінного струму:

- 1 Електричні кола однофазного змінного струму.
- 2 Галузі застосування змінного струму в промисловості та транспорті. Одержання змінного струму.
- 3 Основні параметри миттєвих значень ЕРС та струму: амплітуда, частота, період, зсув фаз, діюче значення.
- 4 Одержання змінного струму. Діюче, миттєве, середнє та амплітудне значення синусоїдних величин.
- 5 Коло змінного струму з активним опором. Основні співвідношення та векторні діаграми.
- 6 Коло змінного струму з індуктивним опором. Основні співвідношення та векторні діаграми.
- 7 Коло змінного струму з ємнісним опором. Основні співвідношення та векторні діаграми.
- 8 Комплексний спосіб розрахунку кіл синусоїдного струму. Зображення синусоїдних струмів та напруг векторами на комплексній площині.
- 9 Закони Кірхгофа в символічній формі запису.
- 10 Індуктивний елемент. Чим відрізняється поняття: чиста індуктивність та реальна котушка індуктивності? Векторна діаграма.

11 Коло з активним опором R та індуктивністю L . Основні співвідношення та, векторна діаграма для кола, що містить котушку.

12 Паралельне з'єднання R, L, C . Резонанс струмів, основні співвідношення та векторні діаграми.

13 Коло змінного струму з послідовним з'єднанням R, L, C . Основні співвідношення та векторні діаграми. Резонанс напруг.

14 Активна, реактивна та повна потужність у колі змінного струму.

15 Послідовне з'єднання R, L, C . Трикутники опорів, напруг та потужності.

Зміст завдання

При розрахунку розгалужених електричних кіл (рисунок 2.4) слід пам'ятати, що повний опір визначають через повну провідність, причому, як і для опорів, відрізняють повну, активну і реактивну провідності. Особливу увагу слід звернути на потужність в колі змінного струму. При цьому треба знати не тільки кількісні співвідношення, а і розуміти фізичний зміст енергетичних процесів у колі.

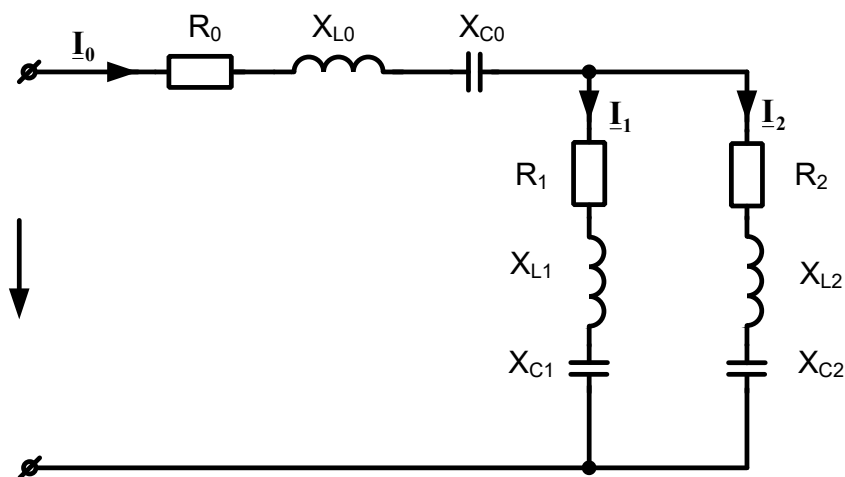


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема

Параметри елементів кола встановлюються викладачем (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

№ варіанта	U	R_0	X_{L0}	X_{C0}	R_1	X_{L1}	X_{C1}	R_2	X_{L2}	X_{C2}
	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом

1	$120e^{j35^\circ}$	5	4	8	3	-	4	8	5	-
2	$80e^{j^\circ}$	-	8	6	4	2	-	4	8	4
3	$135e^{j30^\circ}$	5	-	3	7	10	4	6	4	12
4	$150e^{j40^\circ}$	15	12	-	10	12	6	12	1	12
5	150	10	6	20	-	12	6	4	10	6
6	$110e^{j30^\circ}$	15	10	3	10	-	6	4	4	1
7	$100e^{j45^\circ}$	5	4	-	10	-	5	-	10	5
8	$220e^{j30^\circ}$	10	10	20	16	12	-	8	6	10
9	$60e^{j35^\circ}$	5	6	10	3	15	7	-	2	12
10	100	5	5	3	2	4	8	4	-	4
11	$120e^{-j35^\circ}$	5	7	3	10	16	10	9	7	-
12	$50e^{j^\circ}$	-	8	16	16	10	-	6	24	8
13	$45e^{-j90^\circ}$	-	4	5	5	3	9	-	10	5
14	$70e^{j60^\circ}$	-	50	2	8	6	4	-	10	7
15	$40e^{-j90^\circ}$	4	3	6	-	10	6	-	9	1
16	$60e^{j90^\circ}$	-	-	4	6	12	4	10	4	15
17	100	-	10	-	3	8	4	6	2	10
18	$100e^{j45^\circ}$	-	5	10	4	-	3	8	12	4
19	$60e^{j45^\circ}$	-	4	2	5	10	3	-	10	2
20	$100e^{j30^\circ}$	5	-	10	-	20	8	4	12	4
21	50	8	-	6	4	7	10	-	10	3
22	80	3	4	-	7	-	7	4	15	10
23	$40e^{-j90^\circ}$	6	8	-	3	10	6	4	-	3
24	$50e^{-j90^\circ}$	3	3	-	5	7	-	7	7	10
25	127	4	4	-	8	13	7	6	8	-
26	75	6	6	-	10	2	4	-	14	4
27	$100e^{j45^\circ}$	2	-	2	5	-	5	8	3	9
28	40	3	-	4	6	14	6	4	-	3
29	$30e^{j90^\circ}$	1	-	-	7	10	4	8	-	6
30	$50e^{-j90^\circ}$	8	8	2	-	-	5	3	3	7
31	100	5	10	5	6	10	6	10	-	-
32	70	2	4	-	8	-	-	5	11	5

- а) визначити струми у вітках I_0 ; I_1 ; I_2 комплексним методом;
б) визначити падіння напруги на кожному елементі кола;
в) виконати розрахунок балансу потужності, розрахувавши потужність джерела енергії і потужності на кожній ділянці кола;
г) побудувати векторні діаграми струмів і напруг.

Розрахунки проводити символічним методом

Рекомендується така послідовність розрахунку:

- обчислити повний опір Z кожної вітки в комплексній формі;

- обчислити загальний опір Z_{12} двох паралельних віток у комплексній формі;
- обчислити загальний опір $Z_{\text{заг}}$ заданого кола в комплексній формі;
- обчислити струм I_0 у нерозгалуженій частині кола;
- обчислити падіння напруги U_{12} на двох паралельних вітках;
- обчислити струми I_1, I_2 в кожній з паралельних віток;
- обчислити падіння напруги в комплексній формі на кожному елементі кола;
- обчислити комплексну потужність джерела енергії і потужності на кожній ділянці кола;
- скласти рівняння балансу потужності для заданого кола;
- побудувати векторні діаграми струмів і напруг на комплексній площині.

ЗАДАЧА 2.2 Аналіз електричного стану трифазних кіл синусоїдального струму

Трифазним електричним колом називається таке коло, у вітках якого діють три однакових за амплітудою синусоїдні ЕРС, що мають однакову частоту, зсунуті по фазі одна відносно одної на кут $2\pi/3$ (120°). Всі величини, що відносяться до джерел, записуються з індексами: А, В, С, N, а величини, що відносяться до споживачів, з індексами: a, b, c, n – для схеми “зірка” і ab, bc, ca – для схеми “трикутник”.

У чотирипровідних мережах мають місце дві напруги: лінійна U_L (напруга між лінійними проводами) і фазна U_ϕ (напруга між лінійним і нейтральним проводами), що пов'язані між собою співвідношенням

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}}.$$

При симетричному режимі напруги на затискачах створюють симетричну систему, а активні і реактивні опори у фазах відповідно однакові. Розрахунок трифазного кола у симетричному режимі зводиться до розрахунку для однієї фази.

При несиметричному режимі трифазне коло розглядається як розгалужене з трьома джерелами живлення.

2.2 Трифазне коло з'єднане “зіркою”

Зі схеми на рисунку 2.5 видно, що при з'єднанні приймача “зіркою” фазні і лінійні струми рівні між собою. При симетричному навантаженні струми у фазах рівні і зсунуті на той самий кут по відношенню до відповідних фазних напруг.

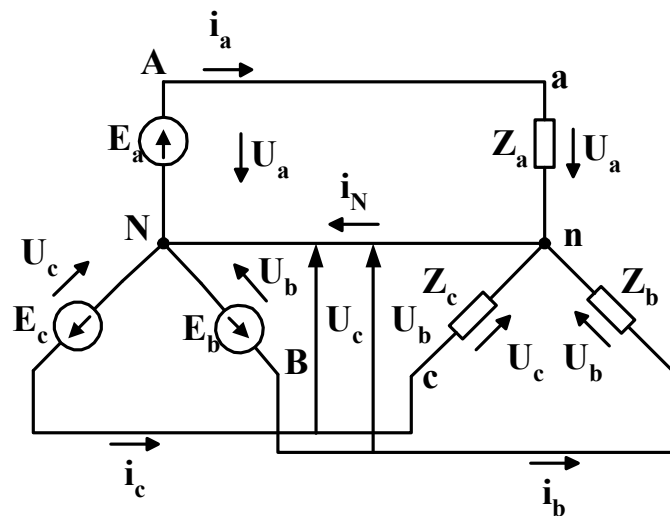


Рисунок 2.5

Векторна діаграма напруги і струмів при симетричному навантаженні зображена на рисунку 2.6.

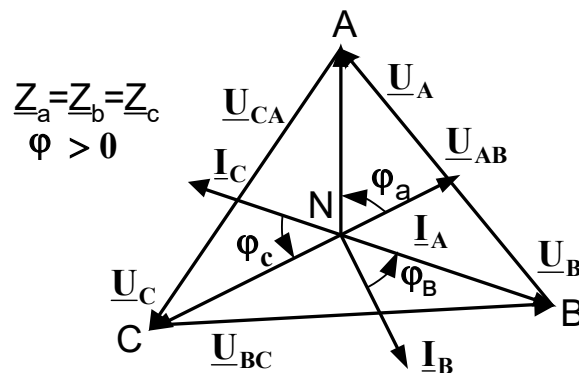


Рисунок 2.6

З діаграми видно, що $I_a + I_b + I_c = 0$, тобто при симетричному навантаженні струм у нейтральному проводі дорівнює нулю і необхідність у цьому проводі відпадає.

2.4 Трифазне коло, з'єднане “трикутником”

При з'єднанні споживачів “трикутником” (рисунок 2.7) кожен споживач вмикається між двома відповідними лінійними проводами, внаслідок чого перебуває під лінійною напругою генератора, яка одночасно є фазовою напругою споживача.

Згідно з рисунком 2.7 $U_{AX}=U_{AB}$, $U_{BY}=U_{BC}$ та $U_{CZ}=U_{CA}$, тобто $U_{\phi}=U_{л}$. Фазні струми при з'єднанні споживачів “трикутником” позначаються двома індексами: I_{AX} , I_{BY} , I_{CZ} або I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} . Струм фазовий і кут зсуву між фазовим струмом і фазовою напругою визначаються за формулами:

$$\underline{I}_{AB} = \underline{U}_{AB} / \underline{Z}_{AB}, \quad \underline{I}_{BC} = \underline{U}_{BC} / \underline{Z}_{BC}, \quad \underline{I}_{CA} = \underline{U}_{CA} / \underline{Z}_{CA},$$

тобто $I_{\phi} = U_{\phi} / Z_{\phi}$, $\varphi_{\phi} = \arctg X_{\phi} / Z_{\phi}$.

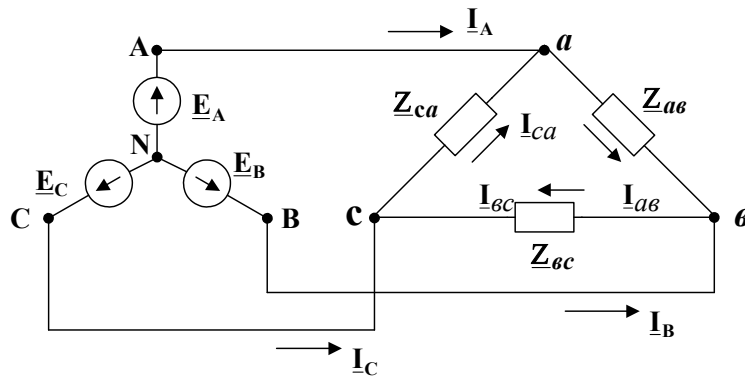


Рисунок 2.7 – Схема з'єднання споживачів “трикутником”

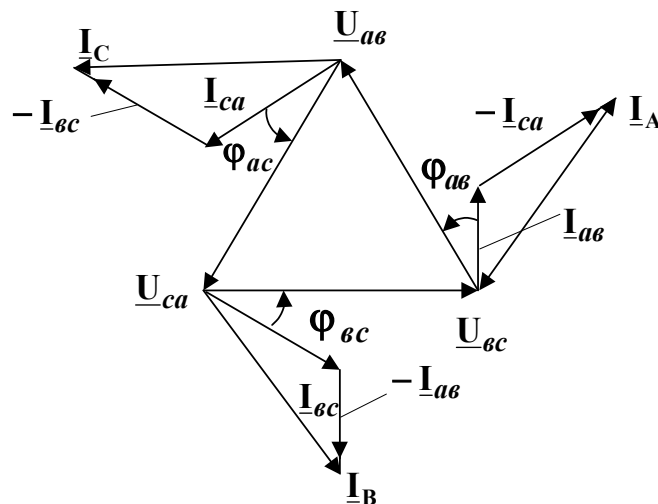


Рисунок 2.8 – Векторна діаграма при з'єднанні споживачів “трикутником”

Лінійні струми I_A , I_B , I_C , згідно з I законом Кірхгофа, для вузлів А, В, С в загальному випадку дорівнюють геометричній різниці відповідних фазних струмів

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}, \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}, \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Коли навантаження рівномірне, лінійні струми будуть однаковими між собою за величиною і більші від фазових у $\sqrt{3}$ разів.

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi.$$

Векторні діаграми напруги і струмів для симетричного навантаження при з'єднанні споживачів “трикутником” зображені на рисунку 2.8.

Приклад розрахунку трифазного кола в безаварійному режимі

Приклад 2.1.2

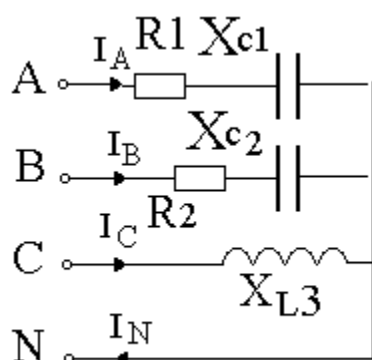


Рисунок 2.9 – Схема для розрахунку

Дано:

$$U_L = 220 \text{ В};$$

$$R_1 = 4 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 7 \text{ Ом};$$

$$X_{C1} = 7 \text{ Ом};$$

$$X_{C2} = 5 \text{ Ом};$$

$$X_{L3} = 9 \text{ Ом}.$$

Знайти: струми у фазах та в нейтральному проводі (рисунок 2.9); показання приладів; потужність трифазної системи.

Побудувати векторну діаграму

Розв'язання. Фазна напруга $U_{\phi} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В}$.

Фазна напруга джерела. У кожній фазі напруга має однакову амплітуду, але різний зсув фаз, що відрізняється один від одного на 120 градусів:

$$\underline{U}_A = U_{\phi} = 127 \text{ В};$$

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

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

Фазні опори кола:

$$\underline{Z}_A = R_1 - jX_{C1} = 4 - j7 = 8 e^{-j60^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_B = R_2 - jX_{C2} = 7 - j5 = 8,6 e^{-j35^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_C = X_{L3} = 9 e^{j90^\circ} \text{ Ом}.$$

Визначимо фазні струми:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_A} = 15,7 e^{j60^\circ} \text{ А};$$

$$\underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_B} = 14,8 e^{-j84^\circ} \text{ А};$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_C} = 14,1 e^{j30^\circ} \text{ А}.$$

Струм в нейтральному проводі

$$\underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 22,3 e^{j15,7^\circ} \text{ А}.$$

Визначимо, що показують амперметри:

$$I_{A1} = 15,7 \text{ А};$$

$$I_{A2} = 14,8 \text{ А};$$

$$I_{A3} = 14,1 \text{ А};$$

$$I_{A4} = 22,3 \text{ А}.$$

Знаходимо активну та реактивну потужності:
активна потужність:

$$P_a = I_a U_a \cos(\varphi_a); \quad P_b = I_b U_b \cos(\varphi_b); \quad P_c = I_c U_c \cos(\varphi_c);$$

$$P_a = 992,8 \text{ Вт}; \quad P_b = 1526 \text{ Вт}; \quad P_c = 0 \text{ Вт};$$

$$P = P_a + P_b + P_c = 2519 \text{ Вт};$$

реактивна потужність:

$$Q_a = I_a U_a \sin(\varphi_a); \quad Q_b = I_b U_b \sin(\varphi_b); \quad Q_c = I_c U_c \sin(\varphi_c);$$

$$Q_a = -1737 \text{ ВАР}; \quad Q_b = 1090 \text{ ВАР}; \quad Q_c = 1793 \text{ ВАР};$$

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = -1035 \text{ ВАР};$$

повна потужність системи

$$S = P + jQ = 2519 - j 1035 \text{ ВА.}$$

Побудуємо векторну діаграму напруг разом з векторами струмів (рисунок 2.10).

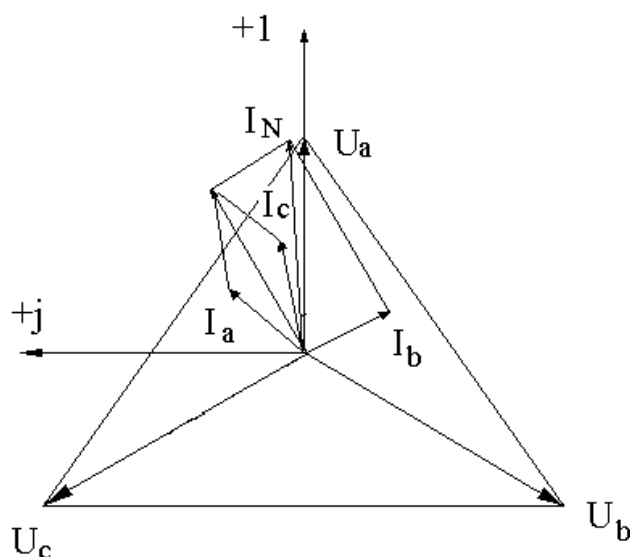


Рисунок 2.10 – Векторна діаграма

При підготовці до розв'язування задач студенти зобов'язані засвоїти такі основні поняття для трифазних електричних кіл змінного струму:

1 Класифікація підключення обмоток генератора трифазної ЕРС.

2 Трифазні кола. Основні поняття. Співвідношення між лінійними та фазними величинами при з'єднанні “трикутником”.

3 Трифазна напруга. Сполучення приймачів “трикутником”, основні співвідношення та векторна діаграма.

4 Трифазна напруга. Сполучення приймачів “зіркою”, основні співвідношення та векторна діаграма.

5 Потужність трифазних систем. Коефіцієнт потужності та його техніко-економічне значення.

6 Коефіцієнт потужності та його техніко-економічне значення.

7 Симетричне навантаження в трифазних колах. Векторна діаграма.

8 Перекіс фаз. Не симетричне навантаження в трифазних колах. Векторна діаграма.

9 Фазні та лінійні напруги. Місце вимірювання цих напруг за допомогою вольтметра.

Зміст завдання

$$\underline{U}_{av} \quad \underline{U}_{ca} \quad \underline{U}_{bc} \quad \underline{I}_{av} \quad \underline{I}_{ca} \quad \underline{I}_{bc} \quad \underline{I}_A \quad \underline{I}_B \quad \underline{I}_C \quad -\underline{I}_{av} \quad -\underline{I}_{bc} \quad -\underline{I}_{ca} \quad \underline{I}_0$$

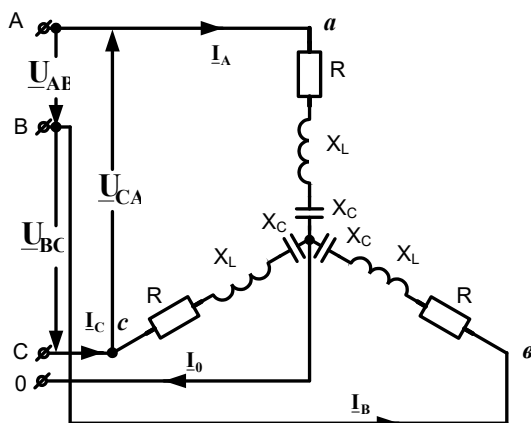


Рисунок 2.11 – Розрахункова схема (для з'єднання за схемою “зірка”)

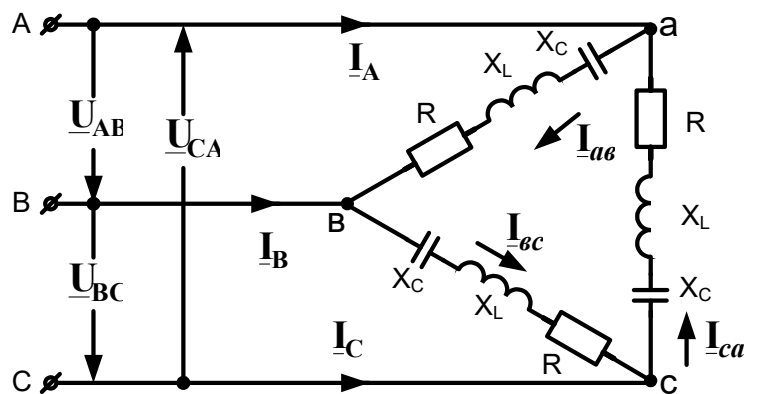


Рисунок 2.12 – Розрахункова схема (для з'єднання за схемою “трикутник”)

Параметри елементів кола (рисунки 2.11, 2.12) встановлюються викладачем (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

№ варіанта	Лінійна напруга	Навантаження у фазах Y та Δ, Ом								
		Фаза А /AB/			Фаза В /BC/			Фаза С /CA/		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	В	r	x _L	x _C	r	x _L	x _C	r	x _L	x _C
1	380	-	3	3	8	3	3	-	3	3
2	220	8	-	4	8	8	-	8	8	4
3	127	8	16	-	8	-	6	8	16	6
4	380	6	4	4	-	4	4	-	4	4
5	220	6	6	-	6	-	3	6	6	3
6	127	6	-	8	6	14	-	6	14	8
7	380	-	10	4	8	10	4	-	10	4
8	220	6	-	3	6	3	3	6	-	3
9	127	8	8	-	8	8	6	8	8	-
10	380	6	14	8	-	14	8	6	-	8
11	220	8	10	4	8	-	4	-	10	4
12	127	6	6	8	6	6	-	6	-	8
13	380	8	3	10	8	-	10	-	3	10

Закінчення таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	220	10	8	5	-	8	5	10	-	5
15	127	6	16	-	6	16	4	6	16	-
16	380	2	-	6	2	4	6	2	-	6
17	220	-	6	4	4	6	4	-	6	4
18	127	6	-	8	6	14	-	6	14	8
19	380	4	10	-	4	-	3	4	10	3
20	220	8	3	4		3	4		3	4
21	127	10	8	-	10	-	6	10	8	6
22	380	4	-	4	4	14	-	4	14	4
23	220	-	10	3	6	10	3	-	10	3
24	127	2	-	8	2	6	8	2	-	8
25	380	8	8	-	8	8	4	8	8	-
26	220	8	4	3	-	4	3	8	-	3
27	127	8	8	6	8	-	6	-	8	6
28	380	6	2		6	2	-	6	2	8
29	220	6	6	4	6	-	4	-	6	4

30	127	6	10	8	-	10	8	6	-	8
31	380	8	14	-	8	14	10	8	14	-
32	220	6	-	5	6	10	5	-	10	5

а) розрахувати лінійні і фазні струми трифазного кола з застосуванням комплексного методу для навантаження, включеного “зіркою” і “трикутником”;

б) розрахувати лінійні напруги;

в) визначити струм нульового проводу;

г) визначити активну, реактивну і повну потужності трифазного кола;

д) визначити $\cos \varphi$ трифазного кола;

е) побудувати векторні діаграми струмів і напруг;

ж) побудувати трикутник потужностей трифазної системи.

2.5 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1 Розрахунок виконується окремо для "зірки" і "трикутника".

2 Рекомендується така послідовність розрахунку:

- записати в комплексній формі фазні напруги й опори кожної фази;
- обчислити лінійні напруги при з'єднанні "зіркою";
- обчислити фазні струми, що при з'єднанні "зіркою" дорівнюють лінійним струмам;
- обчислити струм нульового проводу;
- обчислити потужність кожної фази;
- обчислити активну, реактивну і повну потужності трифазного кола;
- обчислити $\cos \varphi$ трифазної системи за формулою

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{сум}}}{S_{\text{сум}}},$$

де

$P_{сист} = P_A + P_B + P_C$ – активна потужність;

$S_{сист} = \sqrt{P_{сист}^2 + Q_{сист}^2}$ – повна потужність;

$Q_{сист} = Q_A + Q_B + Q_C$ – реактивна потужність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа, 2000. – 542 с.

2 Электротехника / Под ред. В.С. Пантюшина – М.: Высшая школа, 1993.

3 Родзевич В.Е. Загальна електротехніка. – К.: Вища школа, 1993.

4 Электротехника / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1985.

5 Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. В.С. Пантюшина. – М.: Высшая школа, 1979.