	Система менеджменту якості НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС навчальної дисципліни « <u>Теоретичні основи електротехніки</u> » назва дисципліни	Шифр документа	СМЯ НАУ НМК 07.01.05 – 01 – 2018
	Стор. ___ з ___		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий Аерокосмічний інститут

(назва інституту (факультету))

КАФЕДРА Автоматизації та енергоменеджменту

(повна назва кафедри)

КУРСОВІ РОБОТИ

з дисципліни «Теоретичні основи електротехніки»

Галузь знань: 14 "Електрична інженерія"

Спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Спеціалізація: Енергетичний менеджмент

(шифр та повна назва напрямку (спеціальності))

Укладач: к.т.н., доцент Тихонов Віктор

Васильович

(науковий ступінь, вчене звання, П.І.Б. викладача)

Матеріали курсових робіт розглянути та
 схвалени на засіданні кафедри автоматизації та
 енергоменеджменту

(повна назва кафедри)

Протокол № ___ від «__» _____ 2018р.

Завідувач кафедри Захарченко В.П.

Курсова робота № 1

РОЗРАХУНОК КОЛА ОДНОФАЗНОГО СИНУСОЇДНОГО СТРУМУ.

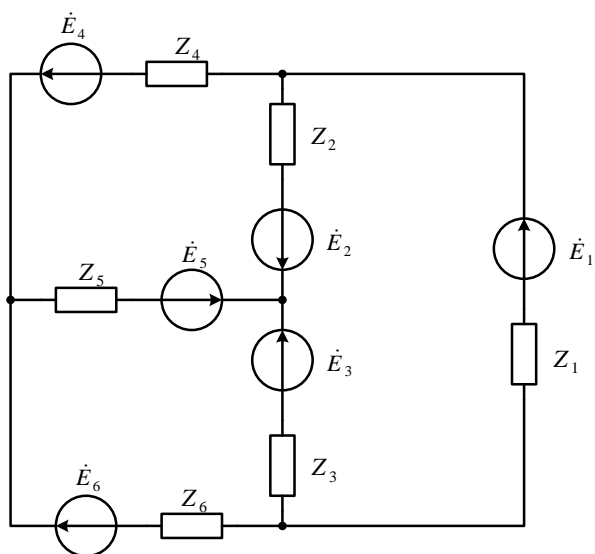


Рис. 1.1

В даній роботі студент виконує розрахунок кола однофазного синусоїдного струму. Для всіх варіантів схема (рис.1.1) однакова.

За передостанньою цифрою залікової книжки обираються параметри стовпчика табл. 1.1, за останньою – параметри табл.1.2.

Таблиця 1.1

Параметри елементів схеми

Варіант	$R_1,$ Ом	$R_2,$ Ом	$R_3,$ Ом	$R_4,$ Ом	$R_5,$ Ом	$R_6,$ Ом	$L_1,$ мГн	$L_2,$ мГн	$L_3,$ мГн
1	30	10	10	0	40	10	0	0	0
2	10	80	60	0	10	50	0	0	0
3	50	40	0	20	15	30	0	0	0
4	30	20	0	25	20	15	0	0	20
5	20	40	0	50	35	20	100	0	40
6	15	30	20	10	10	0	0	0	0
7	5	30	25	0	0	10	0	400	0
8	25	0	10	35	0	10	0	0	0
9	10	40	0	25	15	0	65	0	0
0	0	25	30	20	50	35	0	0	40

Продовження табл. 1.1

	$L_4,$ мГн	$L_5,$ мГн	$L_6,$ мГн	C_1 мкФ	C_2 мкФ	C_3 мкФ	C_4 мкФ	C_5 мкФ	C_6 мкФ
1	100	400	0	1000	500	0	0	0	0
2	0	0	100	0	100	0	500	0	0
3	200	0	0	0	125	65	0	0	0
4	0	0	0	200	0	0	0	0	250
5	0	0	0	0	0	0	0	40	0
6	50	0	100	0	125	0	0	0	0
7	500	0	0	0	0	0	0	250	200
8	0	65	130	65	125	0	0	0	0
9	0	0	50	65	0	250	125	0	0
0	0	0	0	100	0	0	100	0	0

Параметри джерел схеми

Варіант	$E_{m1}, \text{В};$ φ_{E1}	$E_{m2}, \text{В};$ φ_{E2}	$E_{m3}, \text{В};$ φ_{E3}	$E_{m4}, \text{В};$ φ_{E4}	$E_{m5}, \text{В};$ φ_{E5}	$E_{m6}, \text{В};$ φ_{E6}
1	14,5 0^0	30 -55^0	0	25 30^0	0	0
2	16,5 -75^0	0	26 0	0	0	33 45^0
3	0	18,5 85^0	0	22 -25^0	33 0	0
4	22,5 0	0	18 35^0	0	18 40^0	0
5	20,5 60^0	0	0	0	0	14 0^0
6	0	17 -80^0	25 10^0	0	33 0^0	0
7	0	19 0^0	0	21 25^0	17 -30^0	0
8	0	21 45^0	0	0	17 0^0	22 -50^0
9	0	24,5 80^0	18 15^0	0	0	17 0^0
0	10 0^0	39 -10^0	0	0	28 35^0	0

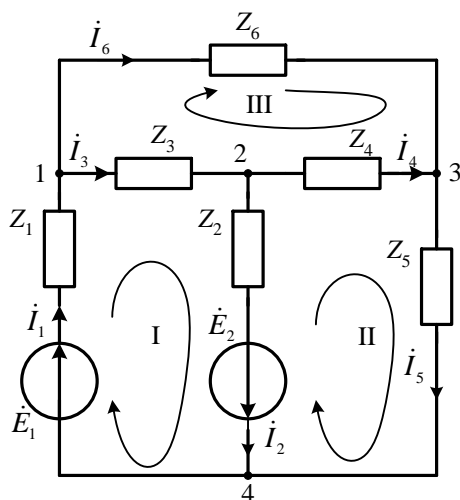


Рис. 1.2

Метод контурних струмів. Якщо відомі всі елементи кола та його конфігурація і потрібно визначити струми, то при складанні рівнянь за законами Кірхгофа рекомендується дотримуватися такої послідовності: спочатку вибрати довільні додатні напрями струмів у всіх вітках електричного кола, потім скласти рівняння для вузлів на підставі першого закону Кірхгофа (рівняння (1.1)) і, нарешті, скласти рівняння для контурів за другим законом Кірхгофа (рівняння (1.2)).

Нехай електричне коло містить m гілок і n вузлів (рис. 1.2). На підставі першого і другого законів Кірхгофа можна скласти відповідно $(n-1)$ і $(m-n+1)$ взаємно незалежних рівнянь, що в сумі дає необхідне і достатнє число рівнянь для визначення всіх струмів.

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 - \dot{I}_3 - \dot{I}_6 &= 0; \\ -\dot{I}_2 + \dot{I}_3 - \dot{I}_4 &= 0; \\ \dot{I}_4 - \dot{I}_5 + \dot{I}_6 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_1 + \dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_2 + \dot{I}_3 \cdot \dot{Z}_3 &= \dot{E}_1 + \dot{E}_2; \\ -\dot{I}_2 \cdot \dot{Z}_2 + \dot{I}_4 \cdot \dot{Z}_4 + \dot{I}_5 \cdot \dot{Z}_5 &= -\dot{E}_2; \\ -\dot{I}_3 \cdot \dot{Z}_3 - \dot{I}_4 \cdot \dot{Z}_4 + \dot{I}_6 \cdot \dot{Z}_6 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Для розрахунку та дослідження складного електричного кола можна обмежитись сумісним розв'язанням лише $k = m - n + 1$ незалежних рівнянь, складених за другим законом Кірхгофа, використовуючи метод контурних струмів. При цьому перший закон Кірхгофа задовольняється. Розглянемо метод контурних струмів на прикладі електричної схеми на рис. 1.2. Так само вибираємо взаємно незалежні контури.

Використовуючи рівняння (1.1), виключимо з рівнянь (1.2) струми всіх віток (\dot{I}_2, \dot{I}_3 і \dot{I}_4), спільних для декількох контурів:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_3 &= \dot{I}_1 - \dot{I}_6; \\ \dot{I}_4 &= \dot{I}_5 - \dot{I}_6; \\ \dot{I}_2 &= \dot{I}_3 - \dot{I}_4 = \dot{I}_1 - \dot{I}_6 - (\dot{I}_5 - \dot{I}_6) = \dot{I}_1 - \dot{I}_5. \end{aligned} \right. \quad (1.3)$$

Підставляючи в вираз (1.2), отримаємо:

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_1 \cdot \dot{Z}_1 + (\dot{I}_1 - \dot{I}_5) \cdot \dot{Z}_2 + (\dot{I}_1 - \dot{I}_6) \cdot \dot{Z}_3 &= \dot{E}_1 + \dot{E}_2; \\ -(\dot{I}_1 - \dot{I}_5) \cdot \dot{Z}_2 + (\dot{I}_5 - \dot{I}_6) \cdot \dot{Z}_4 + \dot{I}_5 \cdot \dot{Z}_5 &= -\dot{E}_2; \\ -(\dot{I}_1 - \dot{I}_6) \cdot \dot{Z}_3 - (\dot{I}_5 - \dot{I}_6) \cdot \dot{Z}_4 + \dot{I}_6 \cdot \dot{Z}_6 &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Звідки

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{I}_1(\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3) - \dot{I}_5\dot{Z}_2 - \dot{I}_6\dot{Z}_3 &= \dot{E}_1 + \dot{E}_2; \\ -\dot{I}_1\dot{Z}_2 + \dot{I}_5(\dot{Z}_2 + \dot{Z}_4 + \dot{Z}_5) - \dot{I}_6\dot{Z}_4 &= -\dot{E}_2; \\ -\dot{I}_1\dot{Z}_3 - \dot{I}_5\dot{Z}_4 + \dot{I}_6(\dot{Z}_3 + \dot{Z}_4 + \dot{Z}_6) &= 0. \end{aligned} \right. \quad (1.4)$$

Введемо позначення: $\dot{I}_{11}, \dot{I}_{22}, \dot{I}_{33}$ – контурні струми, відповідно I-го, II-го та III-го контурів, для схеми на рис. 1.1 $\dot{I}_{11} = \dot{I}_1$, $\dot{I}_{22} = \dot{I}_5$, $\dot{I}_{33} = \dot{I}_6$; $\dot{Z}_{11}, \dot{Z}_{22}, \dot{Z}_{33}$ – власні контурні опори відповідно I-го, II-го та III-го контурів, для схеми на рис.1 $\dot{Z}_{11} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3$, $\dot{Z}_{22} = \dot{Z}_2 + \dot{Z}_4 + \dot{Z}_5$, $\dot{Z}_{33} = \dot{Z}_3 + \dot{Z}_4 + \dot{Z}_6$; $\dot{Z}_{12}, \dot{Z}_{13}$ – спільні опори I-го контуру з II-м і III-м ($\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_2$, $\dot{Z}_{13} = \dot{Z}_3$). Спільні опори II-го контуру з I-м і III-м та III-го з I-м і II-м контурами: $\dot{Z}_{21} = \dot{Z}_2$, $\dot{Z}_{23} = \dot{Z}_4$ та $\dot{Z}_{31} = \dot{Z}_3$, $\dot{Z}_{32} = \dot{Z}_4$; $\dot{E}_{11}, \dot{E}_{22}, \dot{E}_{33}$ – контурні ЕРС, відповідно I-го, II-го та III-го контурів ($\dot{E}_{11} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2$, $\dot{E}_{22} = -\dot{E}_2$, $\dot{E}_{33} = 0$).

Тоді систему рівнянь (1.4) можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} \dot{I}_{11}\dot{Z}_{11} - \dot{I}_{22}\dot{Z}_{12} - \dot{I}_{33}\dot{Z}_{13} = \dot{E}_{11}; \\ -\dot{I}_{11}\dot{Z}_{21} + \dot{I}_{22}\dot{Z}_{22} - \dot{I}_{33}\dot{Z}_{23} = \dot{E}_{22}; \\ -\dot{I}_{11}\dot{Z}_{31} - \dot{I}_{22}\dot{Z}_{32} + \dot{I}_{33}\dot{Z}_{33} = \dot{E}_{33}. \end{cases} \quad (1.5)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (1.5), знаходимо значення контурних струмів, які дорівнюють струмам в незалежних вітках електричного кола. Враховуючи співвідношення (1.3), знаходимо струм в інших вітках схеми.

Метод вузлових потенціалів є модифікацією методу рівнянь Кірхгофа і базується на рівняннях за першим законом Кірхгофа.

Струм в будь-якій вітці електричного кола може бути визначений за законом Ома для ділянки кола, якщо відомі потенціали вузлів, до яких під'єднана вітка електричного кола. Наприклад, для вітки, під'єднаної до вузлів 2 і 1 (рис. 5.1), струм

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{V}_2 - \dot{V}_1 + \dot{E}_1}{\dot{Z}_1}, \quad (1.6)$$

де \dot{V}_2, \dot{V}_1 – відповідно потенціали 2-го і 1-го вузлів.

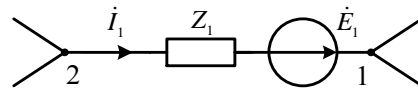


Рис. 1.3

Побудову системи рівнянь розглянемо на прикладі схеми рис.1.2. Прийемо, що потенціал четвертого вузла дорівнює нулю, а для інших вузлів запишемо рівняння за першим законом Кірхгофа:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 - \dot{I}_3 - \dot{I}_6 = 0; \\ -\dot{I}_2 + \dot{I}_3 - \dot{I}_4 = 0; \\ \dot{I}_4 - \dot{I}_5 + \dot{I}_6 = 0. \end{cases} \quad (1.7)$$

Визначаємо струми в вітках відповідно до виразу (1.6):

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{E}_1 + (\dot{V}_4 - \dot{V}_1)}{\dot{Z}_1} = [\dot{E}_1 - \dot{V}_1] \dot{Y}_1; \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 + (\dot{V}_2 - \dot{V}_4)}{\dot{Z}_2} = [\dot{E}_2 + \dot{V}_2] \dot{Y}_2; \\ \dot{I}_3 &= (\dot{V}_1 - \dot{V}_2) \dot{Y}_3; \quad \dot{I}_4 = (\dot{V}_2 - \dot{V}_3) \dot{Y}_4; \quad \dot{I}_5 = \dot{V}_3 \dot{Y}_5; \quad \dot{I}_6 = (\dot{V}_1 - \dot{V}_3) \dot{Y}_6. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Отримані вирази для струмів (1.8) підставимо в рівняння (1.7):

$$\begin{cases} \dot{V}_1(\dot{Y}_1 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_6) - \dot{V}_2\dot{Y}_3 - \dot{V}_3\dot{Y}_6 = \dot{E}_1\dot{Y}_1; \\ -\dot{V}_1\dot{Y}_3 + \dot{V}_2(\dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_4) - \dot{V}_3\dot{Y}_4 = -\dot{E}_2\dot{Y}_2; \\ -\dot{V}_1\dot{Y}_6 - \dot{V}_2\dot{Y}_4 + \dot{V}_3(\dot{Y}_4 + \dot{Y}_5 + \dot{Y}_6) = 0. \end{cases}$$

Отримана система лінійних алгебричних рівнянь відносно трьох невідомих потенціалів. Запишемо її у вигляді:

$$\begin{cases} \dot{V}_1 \dot{Y}_{11} - \dot{V}_2 \dot{Y}_{12} - \dot{V}_3 \dot{Y}_{13} = \dot{I}_{11}; \\ -\dot{V}_1 \dot{Y}_{21} + \dot{V}_2 \dot{Y}_{22} - \dot{V}_3 \dot{Y}_{23} = \dot{I}_{22}; \\ -\dot{V}_1 \dot{Y}_{31} - \dot{V}_2 \dot{Y}_{32} + \dot{V}_3 \dot{Y}_{33} = \dot{I}_{33}, \end{cases} \quad (1.9)$$

де \dot{Y}_{kk} – сума провідностей віток (власна провідність k -го вузла), які сходяться у вузлі k ($\dot{Y}_{11} = \dot{Y}_1 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_6$; $\dot{Y}_{22} = \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_4$; $\dot{Y}_{33} = \dot{Y}_4 + \dot{Y}_5 + \dot{Y}_6$); \dot{Y}_{km} – сума провідностей віток, які з'єднують вузли k та m (взаємні вузлові провідності), наприклад, $\dot{Y}_{12} = \dot{Y}_3$ та $\dot{Y}_{32} = \dot{Y}_4$; \dot{I}_{kk} – алгебрична сума струмів k -го вузла (вузловий струм k -го вузла) ($\dot{I}_{11} = \dot{E}_1 \dot{Y}_1$, $\dot{I}_{22} = -\dot{E}_2 \dot{Y}_2$; $\dot{I}_{33} = 0$). Знак «+» в цій сумі ставиться у тому випадку, якщо ЕРС направлена до вузла, для якого записується рівняння. Якщо в електричному колі є джерело струму, то воно увійде в праву частину рівняння зі знаком «+» у випадку, коли струм джерела спрямований до вузла.

Розв'язуючи систему рівнянь (1.9), знаходимо значення потенціалів вузлів. Після підстановки у вираз 1.8 знаходимо струми у вітках схеми.

Завдання на курсову роботу

Для електричного кола виконати наступне:

1. Визначити струми у витках схеми використовуючи методи контурних струмів та вузлових потенціалів.
2. Розв'язати для кола рівняння балансу потужностей і оцінити точність розрахунків.
3. Записати рівняння балансу напруг для зовнішнього контуру та знайти напруги на елементах контуру.
4. Побудувати векторну діаграму струмів для вузлів схеми а також діаграму напруг для зовнішнього контуру.

Приклад розрахунку.

Вихідні дані схеми рис. 1. 4:

$E_{m1} = 11$ В; $\varphi_1 = -20^0$; $E_{m4} = 37$ В; $\varphi_4 = 35^0$; $\omega = 1000$; $R_1 = 10$ Ом;
 $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 10$ Ом; $R_4 = 10$ Ом; $R_5 = 25$ Ом; $L_2 = 40 \cdot 10^{-3}$ Гн;
 $L_6 = 20 \cdot 10^{-3}$ Гн; $C_1 = 100 \cdot 10^{-6}$ Ф; $C_5 = 50 \cdot 10^{-6}$ Ф.

1. Зобразімо схему рис. 1.4 у більш зручному для аналізу вигляді (рис. 1.5) та задаємося на схемі напрямками струмів у витках.

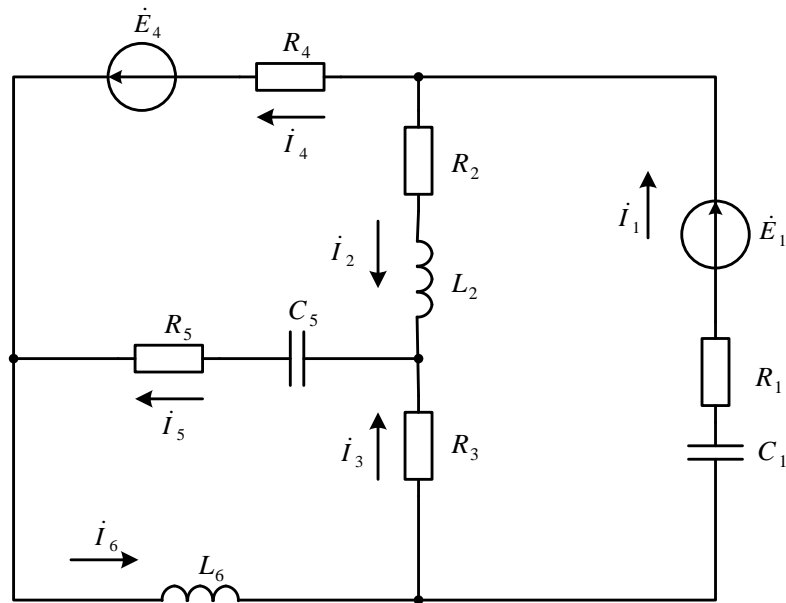


Рис. 1.4

Запишемо значення параметрів схеми у комплексному вигляді:

$$\dot{Z}_1 = R_1 - j \frac{1}{\omega C_1} = 10 - j \frac{1}{1000 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 10 - j10 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 = 20 + j1000 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 20 + j40 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_3 = R_3 = 10 \text{ Ом}; \quad \dot{Z}_4 = R_4 = 10 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_5 = R_5 - j \frac{1}{\omega C_5} = 25 - j \frac{1}{1000 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = 25 - j20 \text{ Ом};$$

$$\dot{Z}_6 = j\omega L_6 = j1000 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = j20 \text{ Ом};$$

$$\dot{E}_1 = \frac{E_{m1} e^{j\varphi_1}}{\sqrt{2}} = \frac{11 e^{-j20}}{\sqrt{2}} = 7,31 - j2,66 \text{ В};$$

$$\dot{E}_4 = \frac{E_{m4} e^{j\varphi_2}}{\sqrt{2}} = \frac{37 e^{j35}}{\sqrt{2}} = 21,43 + j15 \text{ В}.$$

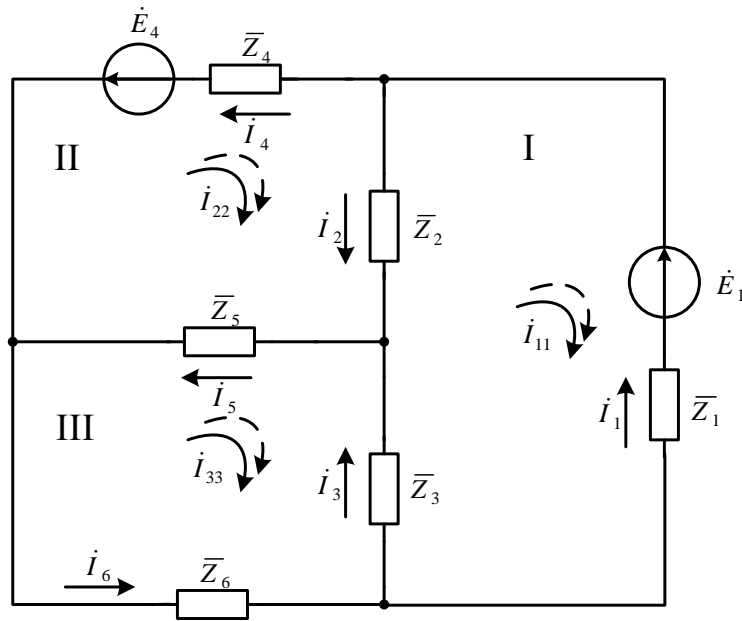


Рис. 1.5

Розрахунок схеми методом контурних струмів

2. В схемі заміщення (рис. 1.5) задаємо напрями контурних струмів та обходу контурів та запишемо систему рівнянь за методом контурних струмів:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{11} \dot{I}_{11} - \dot{Z}_{12} \dot{I}_{22} - \dot{Z}_{13} \dot{I}_{33} &= \dot{E}_{11} : \\ - \dot{Z}_{21} \dot{I}_{11} + \dot{Z}_{22} \dot{I}_{22} - \dot{Z}_{23} \dot{I}_{33} &= \dot{E}_{22}; \\ - \dot{Z}_{31} \dot{I}_{11} - \dot{Z}_{32} \dot{I}_{22} - \dot{Z}_{33} \dot{I}_{33} &= \dot{E}_{33}, \end{aligned}$$

де $\dot{Z}_{11} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 = 10 - j10 + 20 + j40 + 10 = 40 + j30 \text{ Ом};$

$\dot{Z}_{22} = \dot{Z}_2 + \dot{Z}_4 + \dot{Z}_5 = 20 + j40 + 10 + 25 - j20 = 55 + j20 \text{ Ом};$

$\dot{Z}_{33} = \dot{Z}_3 + \dot{Z}_5 + \dot{Z}_6 = 10 + 25 - j20 + j20 = 35 \text{ Ом};$

$\dot{Z}_{12} = \dot{Z}_{21} = \dot{Z}_2 = 20 + j40 \text{ Ом}, \bar{Z}_{23} = \bar{Z}_{32} = \bar{Z}_5 = 25 - j20 \text{ Ом};$

$\dot{Z}_{13} = \dot{Z}_{31} = \dot{Z}_3 = 10 \text{ Ом};$

$\dot{E}_{11} = -\dot{E}_1 = -7,31 + j2,66 \text{ В}, \dot{E}_{22} = -\dot{E}_4 = -21,43 - j15 \text{ В}, \dot{E}_{33} = 0.$

Розв'язавши систему рівнянь знаходимо контурні струми:

$\dot{I}_{11} = -0,911 - j0,117 \text{ А};$

$\dot{I}_{22} = -0,943 - j0,075 \text{ А};$

$\dot{I}_{33} = -0,977 + j0,451 \text{ А}.$

3. Знаходимо комплексні значення струмів у витках схеми (рис. 1.5) через контурні струми:

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_{11} = 0,911 + j0,117 \text{ A};$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{22} - \dot{I}_{11} = -0,943 - j0,075 - (-0,911 - j0,117) = -0,031 + j0,042 \text{ A};$$

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{33} = -0,911 - j0,117 - (-0,977 + j0,451) = 0,065 - j0,569 \text{ A};$$

$$\dot{I}_4 = -\dot{I}_{22} = 0,943 + j0,075 \text{ A};$$

$$\dot{I}_5 = \dot{I}_{22} - \dot{I}_{33} = -0,943 - j0,075 - (-0,977 + j0,451) = 0,034 - j0,527 \text{ A};$$

$$\dot{I}_6 = -\dot{I}_{33} = 0,977 - j0,451 \text{ A}.$$

Розрахунок схеми методом вузлових потенціалів.

4. Зобразимо схему рис. 1.6 та запишемо систему рівнянь за методом вузлових потенціалів:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{11}\dot{V}_1 - \dot{Y}_{12}\dot{V}_2 - \dot{Y}_{13}\dot{V}_3 &= \dot{I}_{11}; \\ -\dot{Y}_{21}\dot{V}_1 + \dot{Y}_{22}\dot{V}_2 - \dot{Y}_{23}\dot{V}_3 &= \dot{I}_{22}; \\ -\dot{Y}_{31}\dot{V}_1 - \dot{Y}_{23}\dot{V}_2 + \dot{Y}_{33}\dot{V}_3 &= \dot{I}_{33}, \end{aligned}$$

де $\dot{Y}_1 = \frac{1}{\dot{Z}_1} = \frac{1}{10 - j10} = 0,05 + j0,05 \text{ СМ};$

$$\dot{Y}_2 = \frac{1}{\dot{Z}_2} = \frac{1}{20 + j40} = 0,01 - j0,02 \text{ СМ};$$

$$\dot{Y}_3 = \frac{1}{\dot{Z}_3} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ СМ}; \quad \dot{Y}_4 = \frac{1}{\dot{Z}_4} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ СМ};$$

$$\dot{Y}_5 = \frac{1}{\dot{Z}_5} = \frac{1}{25 - j20} = 0,024 + j0,02 \text{ СМ}; \quad \dot{Y}_6 = \frac{1}{\dot{Z}_6} = \frac{1}{j20} = -j0,05 \text{ СМ};$$

$$\dot{Y}_{11} = \dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dot{Y}_4 = 0,05 + j0,05 + 0,01 - j0,02 + 0,1 = 0,16 + j0,03 \text{ СМ};$$

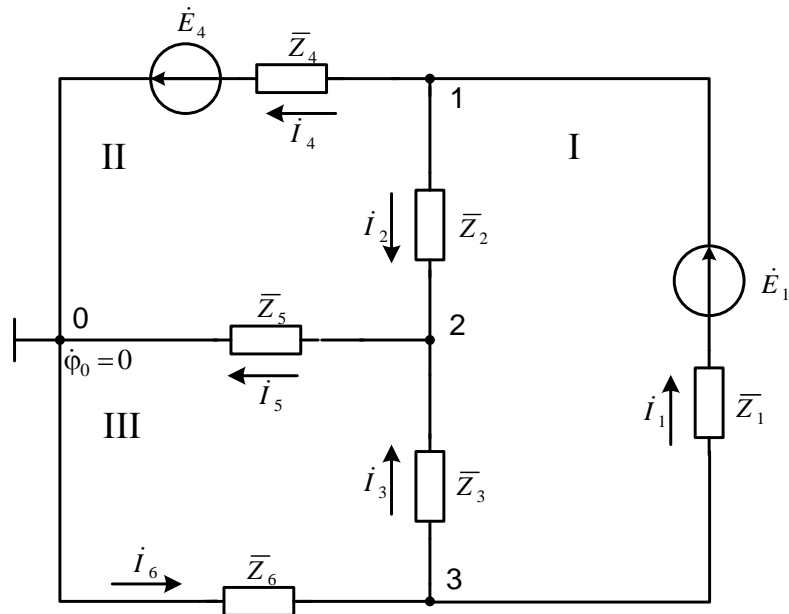


Рис. 1.6

$$\dot{Y}_{22} = \dot{Y}_2 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_5 = 0,01 - j0,02 + 0,1 + 0,024 + j0,02 = 0,134 \text{ СМ};$$

$$\dot{Y}_{33} = \dot{Y}_1 + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_6 = 0,05 + j0,05 + 0,1 - 0,05 = 0,15 \text{ См};$$

$$\dot{Y}_{12} = \dot{Y}_{21} = \dot{Y}_2 = 0,01 - j0,02 \text{ См};$$

$$\dot{Y}_{23} = \dot{Y}_{32} = \dot{Y}_3 = 0,1 \text{ См};$$

$$\dot{Y}_{13} = \dot{Y}_{31} = \dot{Y}_1 = 0,05 + j0,05 \text{ См};$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{11} &= \dot{E}_1 \dot{Y}_1 - \dot{E}_4 \dot{Y}_4 = (7,31 - j2,66)(0,05 + j0,05) - (21,43 + j15) \cdot 0,1 = \\ &= -1,65 - j1,27 \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{22} = 0;$$

$$\dot{I}_{33} = -\dot{E}_1 \dot{Y}_1 = -(7,31 - j2,66)(0,05 + j0,05) = -0,498 - j0,232 \text{ А}.$$

Розв'язавши систему рівнянь, знаходимо комплекси вузлових потенціалів:

$$\dot{V}_1 = -12 - j14,26 \text{ В};$$

$$\dot{V}_2 = -9,68 - j13,84 \text{ В};$$

$$\dot{V}_3 = -9,03 - j19,53 \text{ В}.$$

5. Визначаємо струми в вітках відповідно до виразу (1.6):

$$\dot{i}_1 = \frac{\dot{E}_1 + (\dot{V}_3 - \dot{V}_1)}{\dot{Z}_1} = \frac{7,31 - j2,66 + (-9,03 - j19,53 + 12 + j14,26)}{10 - j10} =$$

$$= 0,91 + j0,12 \text{ А};$$

$$\dot{i}_2 = \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{\dot{Z}_2} = \frac{-12 - j14,26 + 9,68 + j13,84}{20 + j40} = -0,031 + j0,042 \text{ А};$$

$$\dot{i}_3 = \frac{\dot{V}_3 - \dot{V}_2}{\dot{Z}_3} = \frac{-9,03 - j19,53 + 9,68 + j13,84}{10} = 0,065 - j0,57 \text{ А};$$

$$\dot{i}_4 = \frac{\dot{E}_4 + (\dot{V}_1 - \dot{V}_0)}{\dot{Z}_4} = \frac{21,43 + j15 - 12 - j14,26}{10} = 0,943 + j0,075 \text{ А};$$

$$\dot{i}_5 = \frac{\dot{V}_2 - \dot{V}_0}{\dot{Z}_5} = \frac{-9,68 - j13,84}{25 + j20} = 0,034 - j0,53 \text{ А};$$

$$\dot{i}_6 = \frac{\dot{V}_0 - \dot{V}_3}{\dot{Z}_6} = \frac{9,03 + j19,53}{j20} = 0,98 - j0,45 \text{ А}.$$

6. Запишемо реальні комплексні струми у витках схеми із врахуванням знаків струмів, що знайдені в результаті розв'язання рівнянь:

$$\dot{I}_1 = 0,91 + j0,12 \text{ А}, \dot{I}_2 = -\dot{I}_2 = 0,031 - j0,042 \text{ А};$$

$$\dot{I}_3 = 0,065 - j0,57 \text{ В}, \dot{I}_4 = 0,943 + j0,075 \text{ А};$$

$$\dot{I}_5 = 0,034 - j0,53 \text{ В}, \dot{I}_6 = 0,98 - j0,45 \text{ А}.$$

7. Оцінювати точність розрахунків електричних кіл прийнято за відносною похибкою, яку отримують з розв'язку рівняння балансу потужностей:

$$\bar{S}_{\text{ДЖ}} = \bar{S}_{\text{СП}},$$

$$\text{де } \bar{S}_{\text{ДЖ}} = \dot{E}_1 \cdot \bar{I}_1 + \dot{E}_4 \cdot \bar{I}_4 = (7,31 - j2,66) \cdot (0,91 + j0,12) + (21,43 + j15) \times$$

$$\times (0,943 - j0,075) = 27,68 + j9,25 \text{ В} \cdot \text{А};$$

\tilde{I}_1, \tilde{I}_4 – комплекси, що спряжені із комплексними струмами \dot{I}_1, \dot{I}_4 ;

$$\bar{S}_{СП} = P_{СП} + jQ_{СП};$$

$$P_{СП} = R_1(I_1)^2 + R_2(I_2)^2 + R_3(I_3)^2 + R_4(I_4)^2 + R_5(I_5)^2 = 27,677 \text{ Вт};$$

$$Q_{СП} = -X_1(I_1)^2 + X_2(I_2)^2 + X_4(I_4)^2 - X_5(I_5)^2 + X_6(I_6)^2 = 9,252 \text{ В} \cdot \text{Ар}.$$

Визначимо похибку обчислювань:

$$\delta_P = \frac{2|P_{ДЖ} - P_{СП}|}{P_{ДЖ} + P_{СП}} \times 100\% = \frac{2|27,68 - 27,677|}{27,68 + 27,677} \times 100 = 1,08 \cdot 10^{-2}\%;$$

$$\delta_Q = \frac{2|Q_{ДЖ} - Q_{СП}|}{|Q_{ДЖ} + Q_{СП}|} \times 100\% = \frac{2|9,25 - 9,252|}{|9,25 + 9,252|} = 2,16 \cdot 10^{-2}\%.$$

8. Запишімо рівняння для вузлів схеми та побудуємо векторну діаграму струмів для вузлів 1, 2, 3 (рис. 1.7):

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_4 = 0;$$

$$-\dot{I}_2 + \dot{I}_3 - \dot{I}_5 = 0;$$

$$-\dot{I}_1 - \dot{I}_3 + \dot{I}_6 = 0.$$

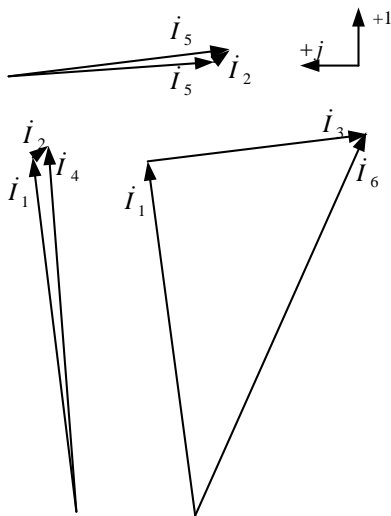


Рис. 1.7

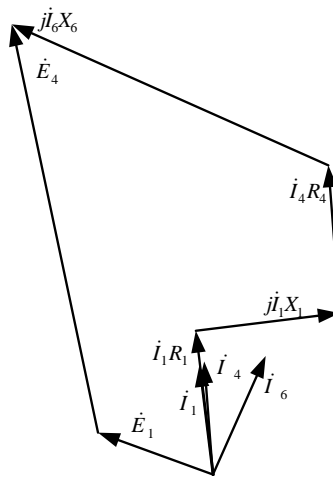


Рис. 1.8

9. Запишімо рівняння напруг для зовнішнього контуру схеми та побудуємо векторну діаграму напруг для зовнішнього контуру (рис. 1.8):

$$\dot{I}_1 R_1 - j\dot{I}_1 X_1 + \dot{I}_4 X_4 + j\dot{I}_4 X_4 + j\dot{I}_6 X_6 = \dot{E}_1 + \dot{E}_4.$$

Курсова робота № 2

РОЗРАХУНОК ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА

В даній роботі студент виконує розрахунок електричної системи складеної з симетричного трифазного джерела та двох несиметричних трифазних споживачів, сполучених зіркою та трикутником.

Для всіх варіантів схема (рис. 2.1) однакова. За останньою цифрою залікової книжки обираються параметри стовпчика табл. 2.1, за передостанньою – параметри табл. 2.2.

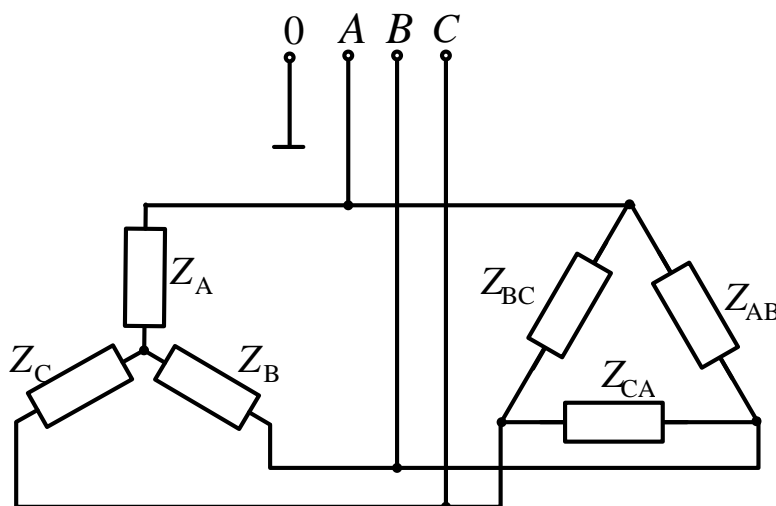


Рис. 2.1

Таблиця 2.1

Номер варіанта і дані розрахунків

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_A, \text{ Ом}$	60	0	80	90	0	70	75	80	65	95
$R_B, \text{ Ом}$	40	90	0	50	85	0	65	55	80	60
$R_C, \text{ Ом}$	80	60	45	0	90	85	50	70	0	75
$X_A, \text{ Ом}$	0	-50	60	45	-60	70	-70	0	65	80
$X_B, \text{ Ом}$	-60	72	90	-50	40	-90	0	60	-50	0
$X_C, \text{ Ом}$	30	54	-75	80	-40	45	65	-70	50	-75
$E_{\phi}, \text{ В}$	90	80	95	86	72	95	88	76	84	99
$E_n, \text{ В}$	45	60	55	40	30	36	44	32	42	50
$\psi_n, \text{ град}$	30	-20	45	-45	-60	-30	20	75	-75	40
n	C	B	A	B	C	B	C	B	A	A

Таблиця 2.2

Номер варіанта і дані розрахунків

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_{AB}, \text{ Ом}$	60	0	80	90	0	70	75	80	65	95
$R_{BC}, \text{ Ом}$	40	90	0	50	85	0	65	55	80	60
$R_{CA}, \text{ Ом}$	80	60	45	0	90	85	50	70	0	75
$X_{AB}, \text{ Ом}$	0	-50	60	45	-60	70	-70	0	65	80
$X_{BC}, \text{ Ом}$	-60	72	90	-50	40	-90	0	60	-50	0
$X_{CA}, \text{ Ом}$	30	54	-75	80	-40	45	65	-70	50	-75

Теоретичні положення

Число проводів в незв'язаній системі можна зменшити, якщо об'єднати три зворотні провідники в один. Для цього з'єднуємо кінці фаз генератора (X, Y, Z) в одну точку N , а кінці фаз приймача (x, y, z) – в точку n . Точки N і n називають нейтральними (нульовими) і з'єднують між собою проводом (рис. 2.2).

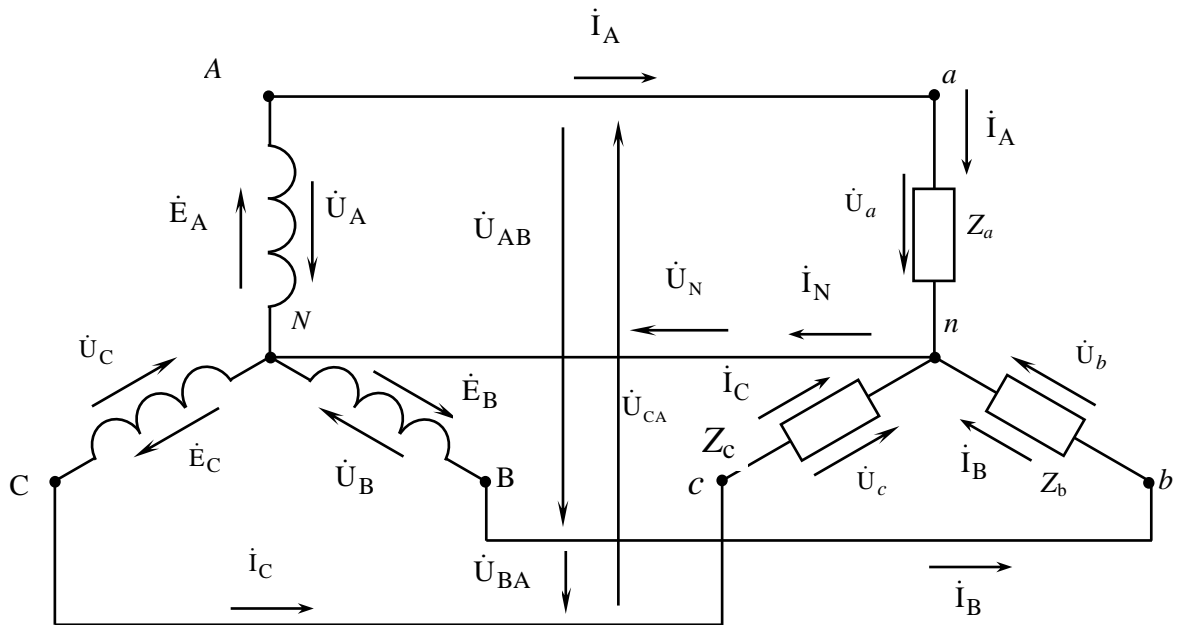


Рис. 2.2

Спосіб з'єднання, при якому кінці фаз генератора (або споживачів) з'єднуються в одну точку (N, n), а початки виводяться в лінію, називається з'єднанням трифазної системи «зіркою».

Провід, що з'єднує точки N і n називається нейтральним. Якщо нейтральний провід заземляється, то він називається нульовим.

Проводи, які з'єднують генератор з приймачем, називаються лінійним.

Струми, що протікають в лінійних проводах, називаються лінійними і позначаються I_A, I_B, I_C або $I_{л}$.

Струми, що протікають у фазах генератора або приймача, називаються фазними і позначаються I_{ϕ} . Струми у фазах приймача позначають I_a, I_b, I_c .

Напруги на затискачах фаз генератора або приймача називаються фазними і позначаються: $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ – фазні напруги генератора; $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ – фазні напруги приймача.

Напруги між лінійними проводами називаються лінійними і позначаються $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$.

При розрахунку трифазних кіл позитивним найчастіше приймають напрям лінійних струмів від генератора до приймача.

Відповідно цьому напрямку і позначається позитивний напрям інших електричних величин (рис. 2.2).

При з'єднанні фаз «зіркою», лінійні струми завжди дорівнюють фазним: $I_L = I_\phi$.

Лінійні напруги дорівнюють (рис. 2.2, рис. 2.3):

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$

З цих співвідношень виходить, що сума лінійних напруг завжди дорівнює нулю, тобто:

$$\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0.$$

Дане рівняння застосовується для перевірки правильності розв'язання задачі.

Виведемо співвідношення між лінійною і фазною напругами для симетричної системи напруг з трикутника ANO .

$$\frac{1}{2} U_L = U_\phi \cos 30^\circ = U_\phi \frac{\sqrt{3}}{2},$$

звідки

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

При цьому вектори лінійної напруги випереджають фазні на кут 30° , тобто

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3} \dot{U}_A e^{j30^\circ}, \quad \dot{U}_{BC} = \sqrt{3} \dot{U}_B e^{j30^\circ}, \quad \dot{U}_{CA} = \sqrt{3} \dot{U}_C e^{j30^\circ}$$

і утворюють симетричну зірку лінійних напруг.

Таким чином, в трифазному колі, з'єднаному «зіркою», при симетричній системі фазних напруг, лінійна напруга в $\sqrt{3}$ разів більше фазної.

При симетричному навантаженні, тобто якщо $Z_a = Z_b = Z_c = Z_\phi$ струм в нейтральному проводі відсутній.

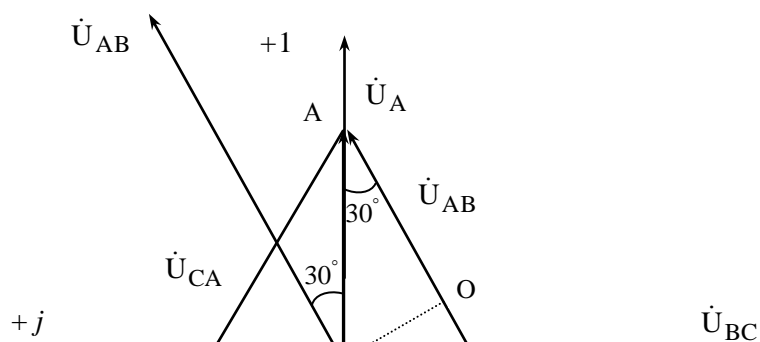


Рис. 9.2

Розглянемо процеси при несиметричному навантаженні. Знайдемо напругу зміщення \dot{U}_N за методом вузлових потенціалів. Нехтуючи опором нейтрального проводу, запишемо:

$$\dot{U}_N = \dot{U}_{nN} = \frac{\sum_{k=1}^3 E_k Y_k}{\sum_{k=1}^3 Y_k} = \frac{\dot{E}_A Y_a + \dot{E}_B Y_b + \dot{E}_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}. \quad (2.1)$$

Переріз нейтрального проводу, як правило, береться меншим перерізу лінійних проводів.

В трифазній системі без нейтрального проводу, нехтуючи внутрішнім опором фаз джерела, можна вважати, що

$$\dot{E}_A = \dot{U}_A, \quad \dot{E}_B = \dot{U}_B, \quad \dot{E}_C = \dot{U}_C.$$

Тоді за другим законом Кірхгофа для схеми на рис. 2.2 запишемо:

$$\dot{U}_A - \dot{U}_N - \dot{U}_a = 0;$$

$$\dot{U}_B - \dot{U}_N - \dot{U}_b = 0;$$

$$\dot{U}_C - \dot{U}_N - \dot{U}_c = 0.$$

Звідки:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_N;$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_N; \quad (2.2)$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_N.$$

При симетричному навантаженні $\dot{U}_N = 0$, напруги на фазах приймача дорівнюють напрузі на фазах генератора.

При несиметричному навантаженні:

$$Z_a \neq Z_b \neq Z_c, \\ \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = \dot{I}_N \neq 0.$$

Напряга зміщення так само не дорівнює нулю:

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_A Y_a + \dot{U}_B Y_b + \dot{U}_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c} \neq 0.$$

Враховуючи рівняння (2.2) і топографічну діаграму на рис. 2.4, фазні напруги приймача можуть істотно відрізнятись одна від іншої, а також і від напруги (ЕРС) фаз джерела.

Такий режим роботи кола є недопустимим, оскільки приймачі розраховуються на певну номінальну напругу. Наявність нейтрального проводу забезпечує рівність \dot{U}_N нулю, і напруги на фазах навантаження будуть дорівнювати напрузі на фазах генератора:

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

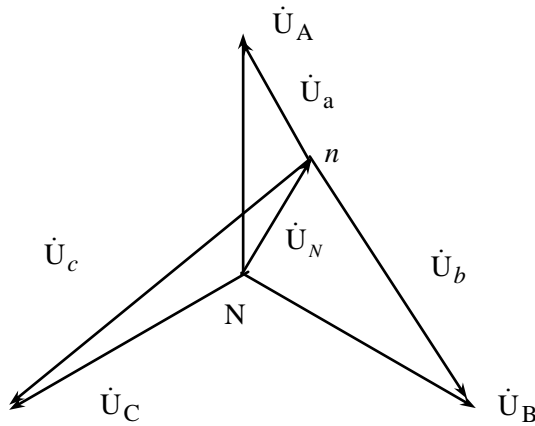


Рис. 2.4

З'єднанням фаз за схемою «трикутник» називають таке з'єднання, при якому початок кожної фази генератора (приймача) приєднується до кінця попередньої фази генератора (приймача). Можна користуватися й іншим визначенням. З'єднанням фаз за схемою «трикутник» називають таке з'єднання, при якому кінець першої фази генератора (приймача) з'єднується з початком другої фази, кінець другої з початком третьої і кінець третьої з початком першої. Схема такого з'єднання показана на рис. 2.5.

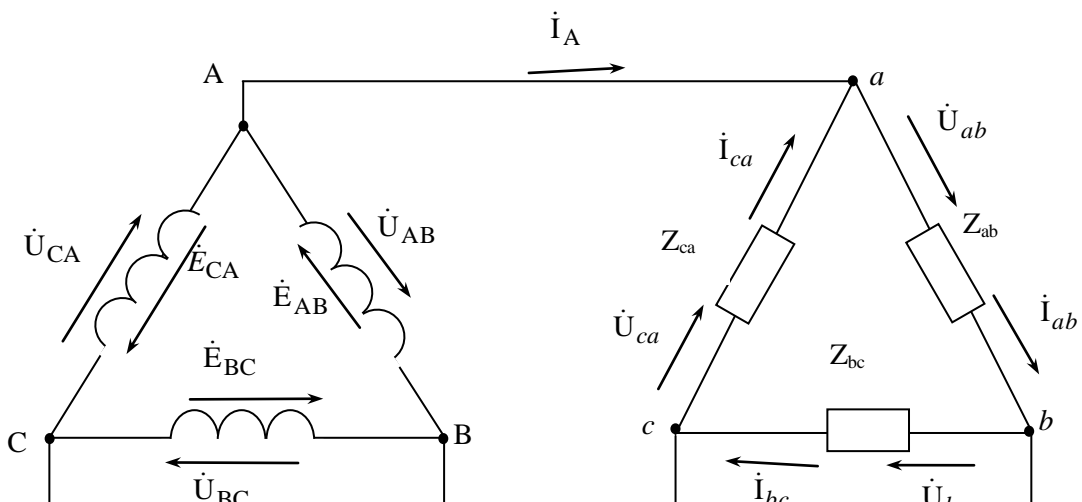


Рис. 2.5

В результаті цього з'єднання три фазні обмотки генератора утворюють замкнений контур. При симетричній системі ЕРС і правильному з'єднанні фаз генератора завжди виконується правило:

$$\dot{E}_{AB} + \dot{E}_{BC} + \dot{E}_{CA} = 0.$$

З'єднувати трикутником обмотки генератора при несиметричній трифазній системі ЕРС неприпустимо, оскільки це може призвести до короткого замикання.

Якщо не враховувати опір лінійних проводів і обмоток джерел, то лінійна напруга на фазах генератора дорівнює фазним на приймачі, тобто:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{ab}, \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{bc}, \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_{ca},$$

звідки $U_{л} = U_{\phi}$.

Струми в приймачі (споживачі) називаються фазними (I_{ab}, I_{bc}, I_{ca}), а струми в лінійних проводах називаються лінійними (I_A, I_B, I_C).

Позитивні напрями струмів наведені на рис. 2.5.

У зв'язку з тим, що в даному колі відсутній нейтральний провід і трифазна система трипровідна, завжди виконується рівність:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0.$$

Це рівняння використовується для перевірки правильності розв'язання задач.

Визначимо лінійні струми за першим законом Кірхгофа:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

Побудуємо топографічну діаграму напруг і струмів при симетричному навантаженні, коли $Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca} = Z_{\phi}$ (рис. 2.6).

Співвідношення між $\dot{I}_{л}$ та \dot{I}_{ϕ} при симетричному навантаженні можна отримати з трикутника струмів аналогічно тому, як це зробили при з'єднанні «зіркою» відносно $U_{л}$ та U_{ϕ} :

$$\frac{1}{2} I_{л} = I_{\phi} \cos 30^{\circ} = I_{\phi} \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Звідки

$$I_{л} = \sqrt{3} I_{\phi}.$$

Лінійні струми відстають від фазних на кут 30° і утворюють симетричну зірку струмів.

Основною перевагою з'єднання фаз приймача трикутником є те, що при зміні опорів однієї з фаз режим роботи інших фаз залишається незмінним, оскільки лінійна напруга генератора є постійною (змінюватиметься тільки струм даної фази). Тому схема з'єднання трикутником широко використовується для включення несиметричного навантаження, коли всі фази працюють незалежно одна від одної.

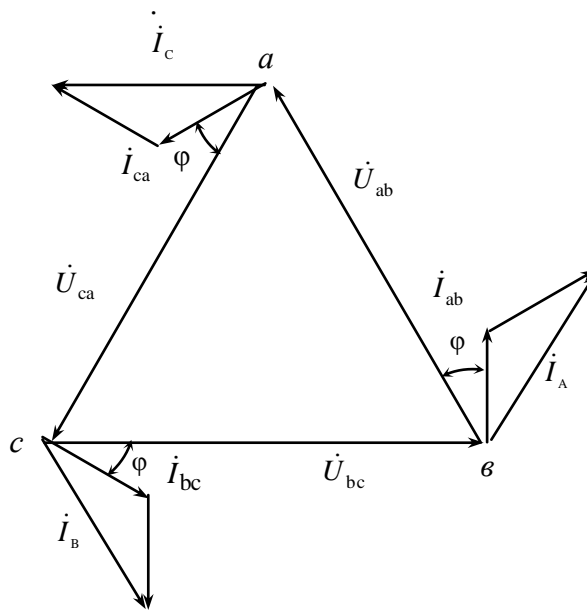


Рис. 2.6

Завдання на курсову роботу

Для електричного кола на рис. 2.1 виконати наступне:

1. Визначити фазні і лінійні струми, а також напруги на елементах трифазних споживачів,
2. Розв'язати для трифазної системи рівняння балансу потужностей і оцінити точність розрахунків.
3. Побудувати векторну діаграму струмів а також діаграму ЕРС генератора і напруг споживача, з'єднаного зіркою, при парній цифрі варіанта, або з'єднаного трикутником – при непарній.
4. За умови, коли модулі двох фаз мають значення E_ϕ , модуль третьої – E_M розкласти несиметричну систему трьох векторів ЕРС на симетричні складові, побудувати векторну діаграму ЕРС генератора і симетричних складових.

Приклад розрахунку.

Вихідні дані:

$E_\phi = 90$ В; $R_A = 80$ Ом; $R_B = 20$ Ом; $R_C = 45$ Ом; $X_A = 60$ Ом;
 $X_B = 90$ Ом; $X_C = -75$ Ом; $R_{AB} = 88$ Ом; $R_{BC} = 0$ Ом; $X_{AB} = 0$ Ом;
 $X_{BC} = -96$ Ом; $X_{CA} = 88$ Ом; $E_B = 100$ В; $\psi_B = 60^\circ$.

Зобразимо схему яка наведена на рис. 2.1 у більш зручному для аналізу вигляді (рис. 2.7).

Розрахунки в комплексній формі для споживачів, з'єднаних зіркою і трикутником будемо виконувати окремо.

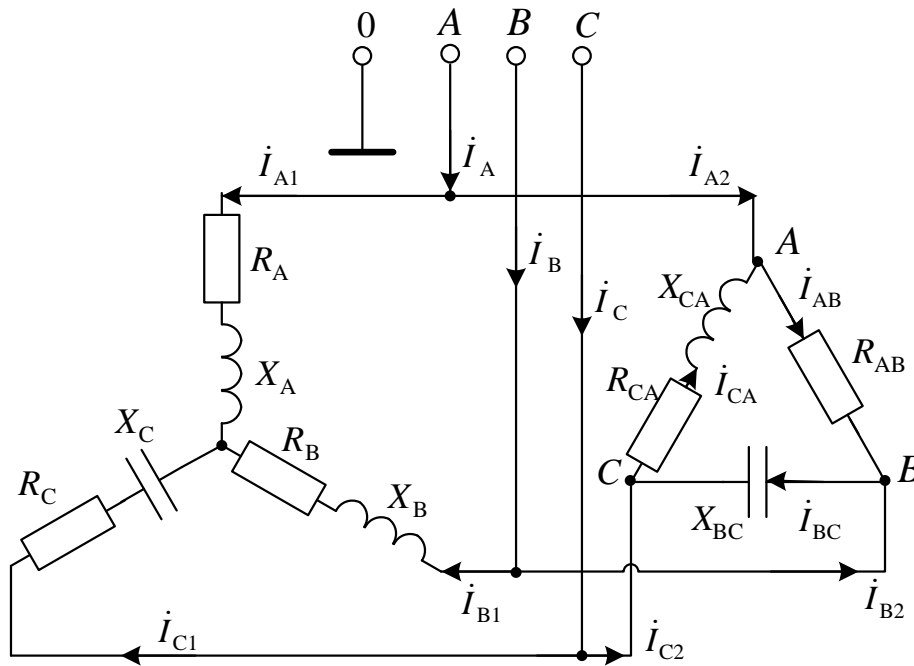


Рис. 2.7

1. Для схеми зірка-зірка визначаємо напругу між нульовими точками споживача і джерела за методом двох вузлів.

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N} = -59,9 - j39,2 \text{ В},$$

де $\dot{E}_A = 90 \text{ В}$; $\dot{E}_B = -45 - j77,9 \text{ В}$; $\dot{E}_C = -45 + j77,9 \text{ В}$;

$$Y_A = \frac{1}{Z_A} = \frac{1}{R_A + jX_A} = \frac{1}{80 + j60} \text{ См}; Y_B = \frac{1}{Z_B} = \frac{1}{R_B + jX_B} = \frac{1}{20 + j90} \text{ См};$$

$$Y_C = \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{R_C + jX_C} = \frac{1}{45 - j75} \text{ См}; Y_N = 0.$$

2. Визначаємо напруги фаз споживача-зірки у відповідності з другим законом Кірхгофа:

$$\dot{U}_A = \dot{E}_A - \dot{U}_N = 90 - (-59,9 - j39,2) = 149,9 + j39,2 \text{ В};$$

$$\dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{U}_N = -45 - j77,9 - (-59,9 - j39,2) = 14,99 - j38,7 \text{ В};$$

$$\dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{U}_N = -45 + j77,9 - (-59,9 - j39,2) = 14,99 + j117,2 \text{ В}.$$

3. Визначаємо для споживача-зірки фазні струми за законом Ома:

$$\dot{I}_{A1} = \frac{\dot{U}_A}{Z_A} = \frac{149,9 + j39,2}{80 + j60} = 1,44 - j0,59 \text{ A};$$

$$\dot{I}_{B1} = \frac{\dot{U}_B}{Z_B} = \frac{14,99 - j38,7}{20 + j90} = -0,38 - j0,25 \text{ A};$$

$$\dot{I}_{C1} = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = \frac{14,99 + j117,2}{45 - j75} = -1,06 + j0,84 \text{ A}.$$

3. Напруги і струми споживача–трикутника визначаємо з урахуванням співвідношень між фазними та лінійними напругами і струмами. Лінійні напруги трифазної системи, які є також фазними напругами споживача–трикутника, визначаємо за формулами:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B = 90 - (-45 - j77,9) = 135 + j77,9 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{E}_B - \dot{E}_C = -45 - j77,9 - (-45 + j77,9) = j155,9 \text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{E}_C - \dot{E}_A = -45 + j77,9 - 90 = -135 + j77,9 \text{ В}.$$

4. Визначаємо фазні струми споживача–трикутника за законом Ома:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{135 + j77,9}{88} = 1,53 + j0,87 \text{ A};$$

$$\dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{j155,9}{-j96} = 1,62 \text{ A};$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}} = \frac{-135 + j77,9}{96 + j88} = -0,36 + j1,14 \text{ A},$$

де $Z_{AB} = R_{AB} = 88 \text{ Ом}; Z_{BC} = -jX_{BC} = -j96 \text{ Ом};$

$Z_{CA} = R_{CA} + jX_{CA} = 96 + j88 \text{ Ом}.$

4. Лінійні струми визначаємо за першим законом Кірхгофа:

$$\dot{I}_{A2} = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 1,53 + j0,87 - (-0,36 + j1,14) = 1,89 - j0,27 \text{ A};$$

$$\dot{I}_{B2} = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 1,62 - 1,53 - j0,87 = 0,09 - j0,87 \text{ A};$$

$$\dot{I}_{C2} = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = -0,36 + j1,14 - 1,62 = -1,98 + j1,14 \text{ A}.$$

5. Визначаємо струми джерела електроенергії за першим законом Кірхгофа:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = 1,44 - j0,59 + 1,89 - j0,27 = 3,33 - j0,86 \text{ A};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} = -0,38 - j0,25 + 0,09 - j0,87 = -0,29 - j1,12 \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} = -1,06 + j0,84 - 1,98 + j1,14 = -3,04 + j1,98 \text{ A}.$$

6. Оцінювати точність розрахунків електричних кіл прийнято за відносною похибкою, яку отримують з розв'язку рівняння балансу потужностей:

$$\bar{S}_{\text{дж}} = \bar{S}_{\text{сп}},$$

$$\text{де } \bar{S}_{\text{дж}} = \dot{E}_A \cdot \check{I}_A + \dot{E}_B \cdot \check{I}_B + \dot{E}_C \cdot \check{I}_C = 90 \cdot (3,33 + j0,86) + (-45 - j77,9) \times \\ \times (-0,29 + j1,12) + (-45 + j77,9) \cdot (-3,04 - j1,98) = 629,08 - j101,33 \text{ В} \cdot \text{А};$$

\tilde{I}_Φ – комплекс, спряжений з комплексним струмом i_Φ ,

$$\bar{S}_{СП} = P_{СП} + jQ_{СП},$$

$$P_{СП} = R_A (I_{A1})^2 + R_B (I_{B1})^2 + R_C (I_{C1})^2 + R_{AB} (I_{AB})^2 + R_{CA} (I_{CA})^2 = 692,079 \text{ Вт},$$

$$Q_{СП} = X_A (I_{A1})^2 + X_B (I_{B1})^2 - X_C (I_{C1})^2 - X_{BC} (I_{BC})^2 + X_{CA} (I_{CA})^2 = -101,32 \text{ В} \cdot \text{Ар}.$$

Визначимо похибку обчислювань:

$$\delta_P = \frac{2|P_{ДЖ} - P_{СП}|}{P_{ДЖ} + P_{СП}} \times 100\% = \frac{2|692,08 - 692,079|}{692,08 + 692,079} \times 100 = 1,45 \cdot 10^{-4}\%;$$

$$\delta_Q = \frac{2|Q_{ДЖ} - Q_{СП}|}{|Q_{ДЖ} + Q_{СП}|} \times 100\% = \frac{2|-101,33 + 101,32|}{|-101,33 - 101,32|} = 9,9 \cdot 10^{-3}\%.$$

Будуємо векторну діаграму струмів а також діаграму ЕРС генератора і напруг споживача, з'єднаного зіркою, при парній цифрі варіанта, або з'єднаного трикутником – при непарній згідно з рівняннями наприклад для зірки:

$$\dot{E}_A = \dot{U}_N + R_A \dot{I}_{A1} + jX_A \dot{I}_{A1},$$

$$\dot{E}_B = \dot{U}_N + R_B \dot{I}_{B1} + jX_B \dot{I}_{B1},$$

$$\dot{E}_C = \dot{U}_N + R_C \dot{I}_{C1} + jX_C \dot{I}_{C1}.$$

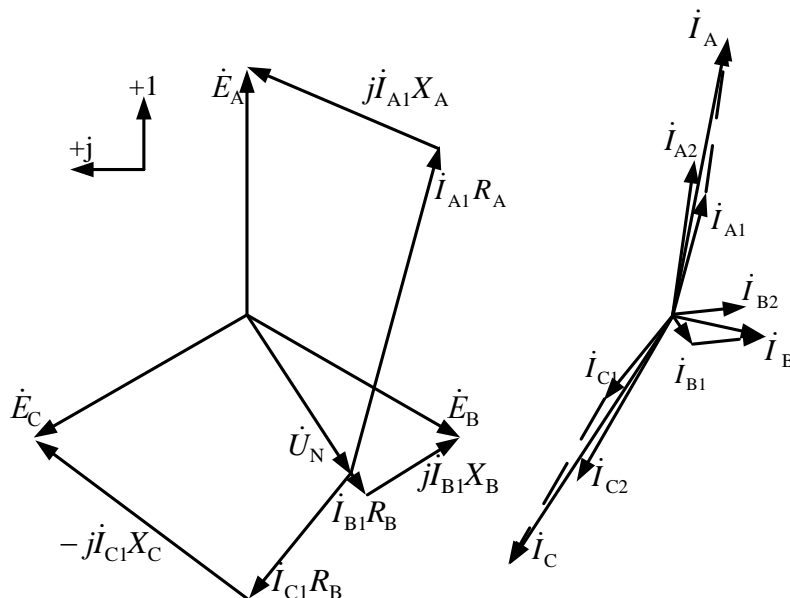


Рис. 2.8

Розкладаємо трифазну несиметричну систему ЕРС на три симетричні складові: пряму (\dot{E}_1), зворотну (\dot{E}_2) та нульову (\dot{E}_0) послідовності за формулами:

$$\dot{E}_A = \dot{E}_{A1} + \dot{E}_{A2} + \dot{E}_{A0};$$

$$\dot{E}_B = a^2 \dot{E}_{A1} + a \dot{E}_{A2} + \dot{E}_{A0};$$

$$\dot{E}_C = a \dot{E}_{A1} + a^2 \dot{E}_{A2} + \dot{E}_{A0},$$

$$\text{де } a = e^{j2\pi/3};$$

$$\dot{E}_{A1} = \frac{\dot{E}_A + a\dot{E}_B + a^2\dot{E}_C}{3} = \frac{90 + e^{j2\pi/3} 100e^{j\pi/3} + e^{j4\pi/3} 90e^{j2\pi/3}}{3} = 26,67 \text{ В};$$

$$\dot{E}_{A2} = \frac{\dot{E}_A + a^2\dot{E}_B + a\dot{E}_C}{3} = \frac{90 + e^{j4\pi/3} 100e^{j\pi/3} + e^{j2\pi/3} 90e^{j2\pi/3}}{3} = 31,67 - j54,85 \text{ В};$$

$$\dot{E}_{A0} = \frac{\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C}{3} = \frac{90 + 100e^{j\pi/3} + 90e^{j2\pi/3}}{3} = 31,67 + j54,85 \text{ В}.$$

Будуємо векторні діаграми ЕРС фаз генератора та їх симетричні складові (рис. 2.9).

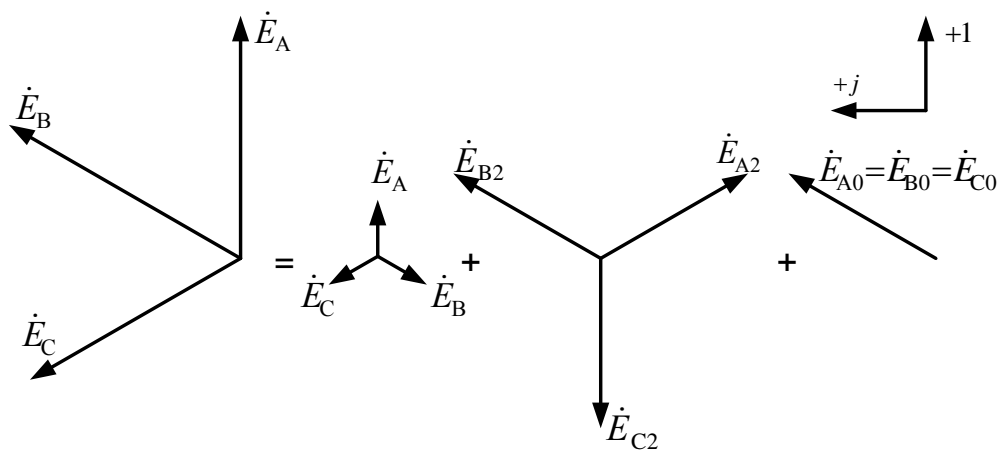


Рис. 2.9

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Зеленков О. А.* Лінійні електричні кола постійного і змінного струму: конспект лекцій /Зеленков О.А., Шахов В.П., Бунчук О.А. – К.: НАУ, 2003. – 156 с.
2. *Зеленков А.А., Кудиненко А.В.* Трехфазные системы. Нелинейные электрические и магнитные цепи в установившемся режиме: Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1994. – 196 с.
3. *Зеленков А.А.* Лінійні і нелінійні електричні кола: Конспект лекцій – К.: НАУ, 2003. – 24 с.
4. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники. М.: Высш. шк., 1999. – 639 с.
5. *Бойко В.С.* Теоретичні основи електротехніки: Підручник: у 3-х т. Т.1 /Бойко В.С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. і др. – Київ: Політехніка, 2004. – 272 с.
6. *Зеленков О.А.* Теоретичні основи електротехніки: Посібник. /Зеленков О.А., Бунчук О.О., Голік А.П.; Національний авіаційний університет; МОН. – Київ: НАУ, 2006. – 136 с.
7. *Шегедин О.І.* Теоретичні основи електротехніки: Навчальний посібник/ Шегедин О.І., Маляр В.С.; МОН. – Львів, 2004. – 168 с.