

Лабораторно-практическое занятие №7
**ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ. СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ
 «ТРЕУГОЛЬНИК»**

Типовые задачи

Задача 7.1. К трехфазной системе напряжением 380 В подключены три одинаковых приемника ($R_{\Phi} = 3 \text{ Ом}$, $X_{L\Phi} = 4 \text{ Ом}$), соединенные по схеме “треугольник” (рис.7.1). Определить токи в фазных и линейных проводах и потребляемую мощность (активную, реактивную, полную) по данным таблицы 7.1. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Рассмотреть аварийные режимы – обрывы фазного и линейных проводов.

Решение:

Нагрузка фаз одинакова, поэтому расчет проводится для одной фазы.

Напряжение сети – это линейное напряжение, в схеме “треугольник” $U_{\Phi} = U_{л} = 380 \text{ В}$.

Комплексное сопротивление фазы:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{\Phi} &= R_{\Phi} + jX_{L\Phi} = \\ &= 3 + j4, \text{ Ом} = 5e^{j53^{\circ}}, \text{ Ом}, \end{aligned}$$

где

$$Z_{\Phi} = \sqrt{R_{\Phi}^2 + X_{L\Phi}^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5, \text{ Ом},$$

$$\varphi_{\Phi} = \arctg \frac{X_{L\Phi}}{R_{\Phi}} = \arctg \frac{4}{3} = 53^{\circ}.$$

Фазные токи:

$$I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{Z_{\Phi}} = \frac{380}{5} = 76, \text{ А};$$

линейные токи (только для симметричной нагрузки):

$$I_{л} = \sqrt{3}I_{\Phi} = \sqrt{3} \cdot 76 = 131,6, \text{ А}.$$

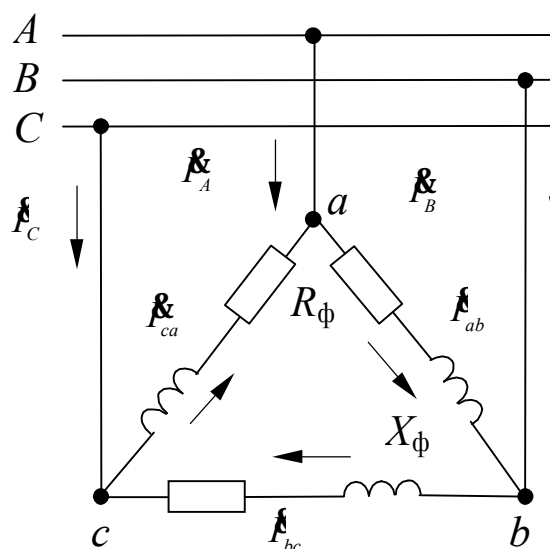


Рис. 7.1

Активная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$P = \sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}} \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 131,6 \cdot \cos 53^\circ = 51969, \text{ Вт} \approx 52, \text{ кВт};$$

реактивная мощность:

$$Q = \sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}} \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 131,6 \cdot \sin 53^\circ = 69293, \text{ вар} \approx 69, \text{ квар};$$

полная мощность:

$$S = \sqrt{3}U_{\text{л}}I_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 131,6 = 86616, \text{ ВА} \approx 87, \text{ кВА}.$$

Векторная диаграмма может быть построена в двух вариантах в зависимости от изображения системы напряжений (рис.7.2). Предварительно выбирают масштабы тока и напряжения.

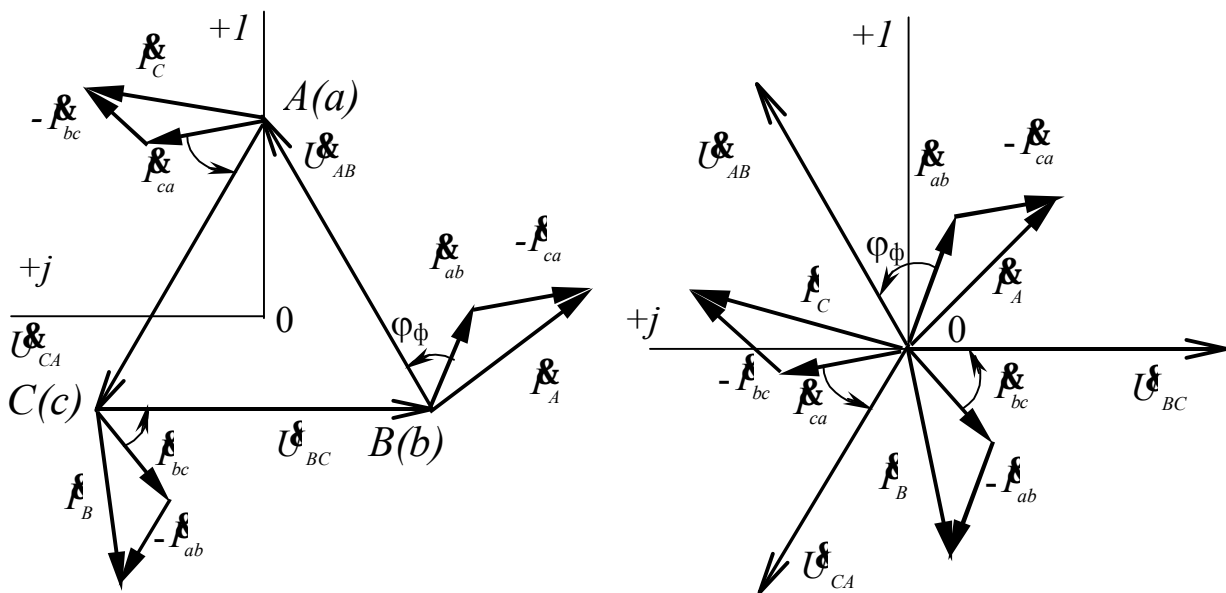


Рис. 7.2

Фазные токи отстают от соответствующих напряжений на угол $\varphi_\Phi = 53^\circ$. Линейные токи находятся из соотношений:

$$\mathbf{I}_A = \mathbf{I}_{ab} - \mathbf{I}_{ca}; \quad \mathbf{I}_B = \mathbf{I}_{bc} - \mathbf{I}_{ab}; \quad \mathbf{I}_C = \mathbf{I}_{ca} - \mathbf{I}_{bc}.$$

Рассмотрим *обрыв фазы "ab"* (рис.7.3,а). Определим токи в неповрежденных фазах и в линии, построим векторную диаграмму токов и напряжений.

Токи в неповрежденных фазах не изменяются, так как не изменяются напряжения:

$$I_{ca} = I_{bc} = I_\Phi = 76, \text{ А}.$$

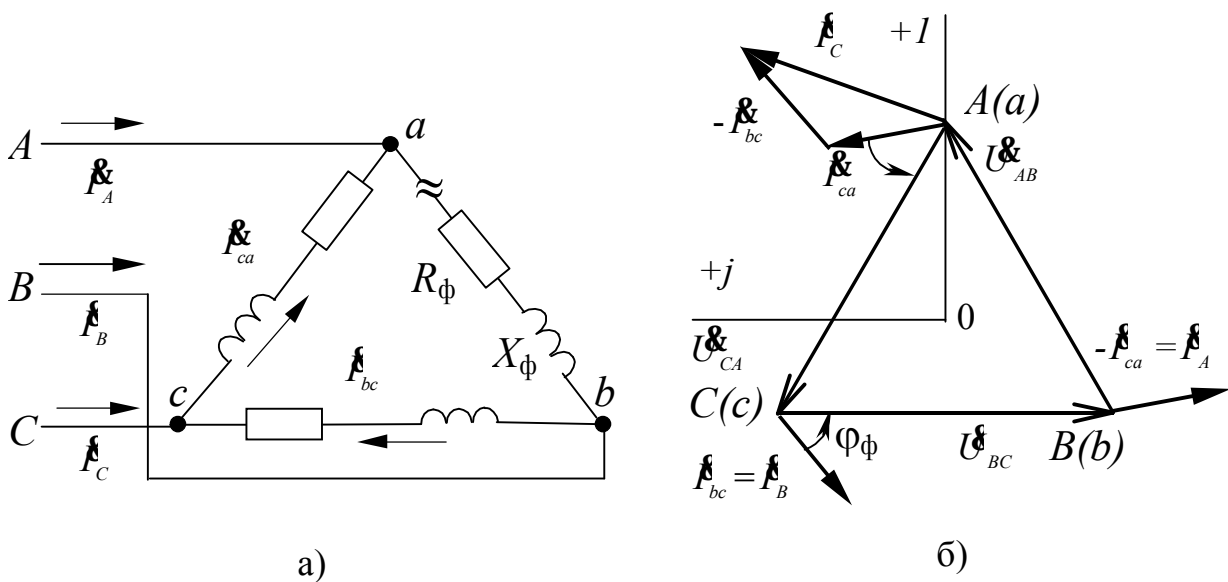


Рис. 7.3

Линейные токи по первому закону Кирхгофа (с учетом $I_{ab} = 0$):

$$I_A = -I_{ca}; \quad I_B = I_{bc}; \quad I_C = I_{ca} - I_{bc}.$$

Из этих уравнений следует, что действующие значения линейных токов I_A и I_B равны действующим значениям фазных токов $I_{ca} = I_{bc} = I_\phi = 76, A$, а у линейного тока действующее значение не изменяется ($I_C = 131,6, A$)

Векторная диаграмма токов и напряжений строится аналогично симметричному режиму и приведена на рис.7.3.,б.

Рассмотрим *обрыв линейного провода A* (рис.7.4,а). Определим фазные и линейные токи и построим векторную диаграмму токов и напряжений.

К приемнику подводится только напряжение

$$U_{BC} = U_\Delta e^{-j90^\circ} = 380 \cdot e^{-j90^\circ} B.$$

Сопротивление фазы "bc" включено на полное напряжение U_{BC} , а равные сопротивления фаз "ab" и "ca" включены последовательно друг с другом, причем к каждому из них подведена половина напряжения U_{BC} .

Сеть становится аналогичной однофазной с двумя параллельными ветвями:

$$U_{ab} = U_{ca} = -\frac{U_{bc}}{2} = \frac{380 e^{j90^\circ}}{2} = 190 \cdot e^{j90^\circ}, B.$$

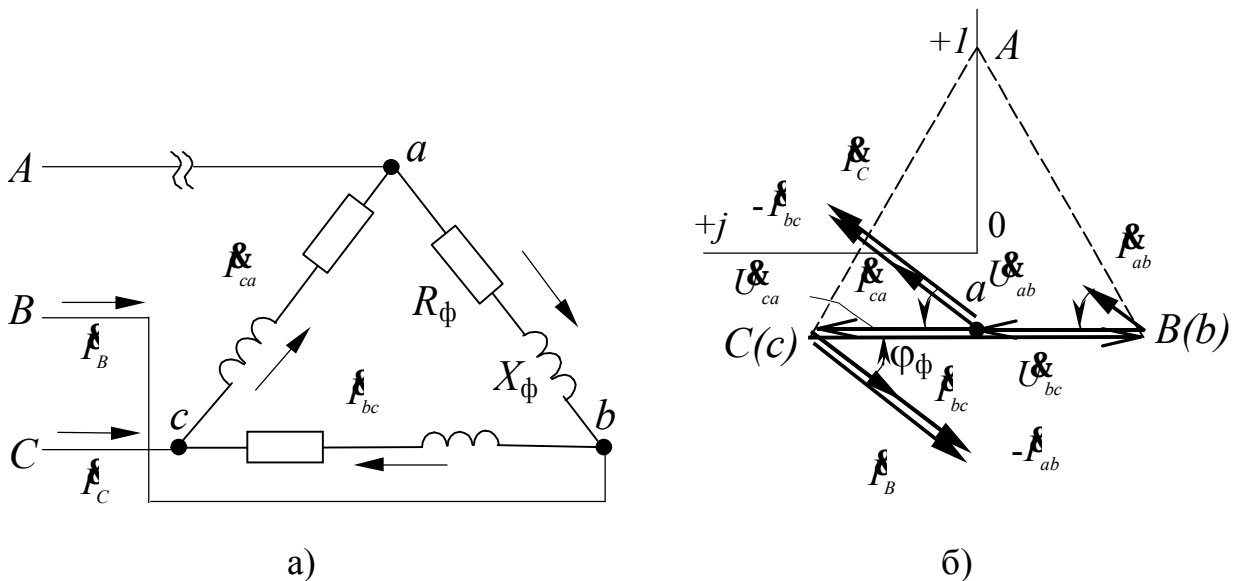


Рис.7.4

Ток фазы “bc” не изменяется:

$$\underline{I}_{bc} = \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = \frac{380 \cdot e^{-j90^\circ}}{5e^{j53^\circ}} = 76 \cdot e^{j143^\circ}, A;$$

токи других фаз :

$$\underline{I}_{ab} = \underline{I}_{ca} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_\phi} = -\frac{\underline{U}_{BC}}{2\underline{Z}_\phi} = \frac{190e^{j90^\circ}}{5e^{j53^\circ}} = 38 \cdot e^{j37^\circ}, A;$$

линейные токи (при $\underline{I}_A = 0$) :

$$\begin{aligned} \underline{I}_B &= \underline{I}_{bc} - I_{ab} = 76e^{-j143^\circ} - 38e^{j37^\circ} = \\ &= 76 \cdot \cos(-143^\circ) + j76 \cdot \sin(-143^\circ) - (38 \cdot \cos 37^\circ + j \cdot 38 \cdot \sin 37^\circ) = \\ &= -60,7 - j45,7 - 30,3 - j22,9 = -91 - j68,6 = 114 \cdot e^{-j143^\circ}, A; \\ \underline{I}_C &= \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} = 38e^{j37^\circ} - 76e^{-j143^\circ} = 38 \cos 37^\circ + j38 \sin 37^\circ - \\ &- (76 \cos(-143^\circ) + j76 \sin(-143^\circ)) = \\ &= 30,3 + j22,9 + 60,7 + j45,7 = 91 + j68,6 = 114 \cdot e^{j37^\circ}, A \end{aligned}$$

Векторная диаграмма токов и напряжений представлена на рис. 7.4,б.

Задача 7.2 В трехфазную сеть напряжением 380 В, частотой $f = 50$ Гц включен трехфазный асинхронный двигатель по схеме “треугольник“. Потребляемая активная мощность $P = 1,44$ кВт, коэффи-

циент мощности $\cos\varphi = 0,85$. Определить потребляемый двигателем ток, токи в обмотках двигателя, активное и индуктивное сопротивление, индуктивность катушек, полную и реактивную потребляемые мощности, исходя из данных таблицы 7.2.

Решение:

Двигатель является симметричной нагрузкой, поэтому расчет ведем на фазу.

Сеть маркируется линейным напряжением, поэтому $U_{\text{л}}=380$ В.

При соединении по схеме “треугольник“ $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}} = 380$ В.

Активная мощность, потребляемая нагрузкой,

$$P_1 = 3U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi,$$

отсюда фазный ток, протекающий в обмотках двигателя:

$$I_{\text{ф}} = \frac{P_1}{3U_{\text{ф}} \cos \varphi} = \frac{1440}{3 \cdot 380 \cdot 0,85} = 1,5, \text{ А.}$$

Потребляемые двигателем токи – линейные токи:

$$I_{\text{л}} = \sqrt{3}I_{\text{ф}} = \sqrt{3} \cdot 1,5 = 2,6, \text{ А.}$$

Полное сопротивление фазы обмотки двигателя:

$$Z_{\text{ф}} = \frac{U_{\text{ф}}}{I_{\text{ф}}} = \frac{380}{1,5} = 253,3, \text{ Ом,}$$

активное сопротивление

$$R_{\text{ф}} = Z_{\text{ф}} \cos \varphi = 253,3 \cdot 0,85 = 215,3, \text{ Ом,}$$

индуктивное сопротивление

$$X_{\text{ф}} = \sqrt{Z_{\text{ф}}^2 - R_{\text{ф}}^2} = \sqrt{253,3^2 - 215,3^2} = 133,4, \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки определяется из выражения

$$X_L = \omega L = 2\pi f L,$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{133,4}{2\pi \cdot 50} = 0,42, \text{ Гн.}$$

Полная потребляемая мощность:

$$S = 3U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} = 3 \cdot 380 \cdot 1,5 = 1710, \text{ ВА} = 1,71, \text{ кВА;}$$

реактивная мощность:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{1710^2 - 1440^2} = 922,2, \text{ вар} = 0,92, \text{ квар.}$$

Задача 7.3 К трехпроводной трехфазной линии с напряжением 380 В подключены три однофазных приемника с параметрами: $R_1=5$ Ом, $R_2=6$ Ом, $X_{L2}=8$ Ом, $R_3=4$ Ом, $X_{C3}=3$ Ом. Определить токи в фазах и линейных проводах, активную, реактивную и полную мощности и построить векторную диаграмму токов и напряжений, используя данные таблицы 7.3.

Решение:

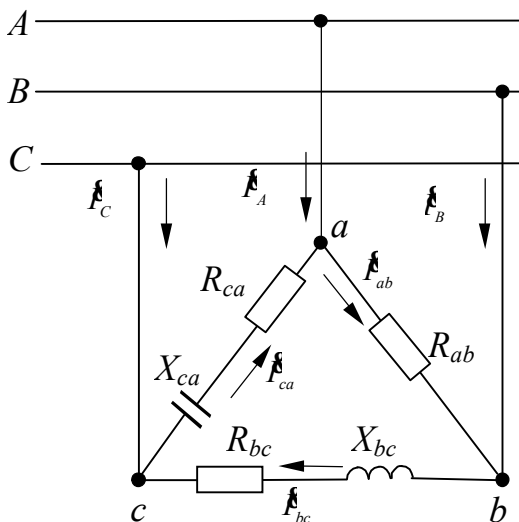


Рис. 7.5

Однофазные приемники к трехпроводной сети подключаются по схеме “треугольник” (рис.7.5).

Нагрузка несимметричная, ток каждой фазы нужно считать отдельно. Исходная система напряжений:

$$\underline{U}_{AB} = 380e^{j30^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{BC} = 380e^{-j90^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{CA} = 380e^{j150^\circ} \text{ В}.$$

Комплексные сопротивления фаз:

$$\underline{Z}_{ab} = R_{ab} = R_1 = 5 \text{ Ом} = 5e^{j0^\circ}, \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{bc} = R_{bc} + jX_{bc} = R_2 + jX_{L2} = 6 + j8, \text{ Ом} = 10e^{j53^\circ}, \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_{ca} = R_{ca} + jX_{ca} = R_3 - jX_{C3} = 4 - j3, \text{ Ом} = 5e^{-j37^\circ}, \text{ Ом};$$

Фазные токи:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{ab} &= \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_{ab}} = \frac{380e^{j30^\circ}}{5e^{j0^\circ}} = 76e^{j30^\circ} = 76 \cdot \cos 30^\circ + j76 \cdot \sin 30^\circ = \\ &= 65,8 + j38, \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{bc} &= \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_{bc}} = \frac{380e^{-j90^\circ}}{10e^{j53^\circ}} = 38e^{-j143^\circ} = 38 \cdot \cos(-143^\circ) + j38 \cdot \sin(-143^\circ) = \\ &= -30,3 - j22,9, \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{ca} &= \frac{\underline{U}_{CA}}{\underline{Z}_{ca}} = \frac{380e^{j150^\circ}}{5e^{-j37^\circ}} = 76e^{j187^\circ} = 76 \cdot \cos(187^\circ) + j76 \cdot \sin(187^\circ) = \\ &= -75,4 - j9,3, A \end{aligned}$$

Линейные токи:

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca} = 65,8 + j38,0 - (-75,4 - j9,3) = 141,2 + j47,3 = \\ &= 148,9e^{j18,5^\circ}, A; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_B &= \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab} = -30,3 - j22,9 - (65,8 + j38,0) = -96,1 - j60,9 = \\ &= 113,8e^{-j147,6^\circ}, A; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_C &= \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc} = -75,4 - j9,3 - (-30,3 - j22,9) = -45,1 + j13,6 = \\ &= 47,1e^{j163,2^\circ}, A. \end{aligned}$$

Сумма линейных токов должна равняться нулю, и действительно,

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 141,2 + j47,3 - 96,1 - j60,9 - 45,1 + j13,6 = 0.$$

Активная мощность:

$$\begin{aligned} P &= R_{ab} I_{ab}^2 + R_{bc} I_{bc}^2 + R_{ca} I_{ca}^2 = \\ &= 5 \cdot 76^2 + 6 \cdot 38^2 + 4 \cdot 76^2 = 60648 \text{ Вт} = 60,6 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Реактивная мощность:

$$\begin{aligned} Q &= X_{ab} I_{ab}^2 + X_{bc} I_{bc}^2 - X_{ca} I_{ca}^2 = \\ &= 0 + 8 \cdot 38^2 - 3 \cdot 76^2 = -5776, \text{ вар.} \approx 5,8 \text{ квар} \end{aligned}$$

здесь знак “минус” показывает, что преобладает емкостная нагрузка.

Полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{60648^2 + 5776^2} = 60875, \text{ ВА} = 60,9, \text{ кВА.}$$

Векторные диаграммы токов и напряжений в двух вариантах (для разного представления исходной системы напряжений) приведены на рис.7.6.

Предварительно выбирают масштабы тока и напряжения. Векторы фазных токов \underline{I}_{ab} , \underline{I}_{bc} , \underline{I}_{ca} откладывают относительно векторов соответствующих напряжений под углами $\varphi_{ab} = 0$, $\varphi_{bc} = 53^\circ$, $\varphi_{ca} = -37^\circ$ или в соответствии с полученными их начальными фазами $\psi_{ab} = 30^\circ$; $\psi_{bc} = -143^\circ$; $\psi_{ca} = 187^\circ$. Затем по первому закону Кирх-

гофа строят векторы линейных токов I_A, I_B, I_C , длина и направление которых должны соответствовать расчетным данным.

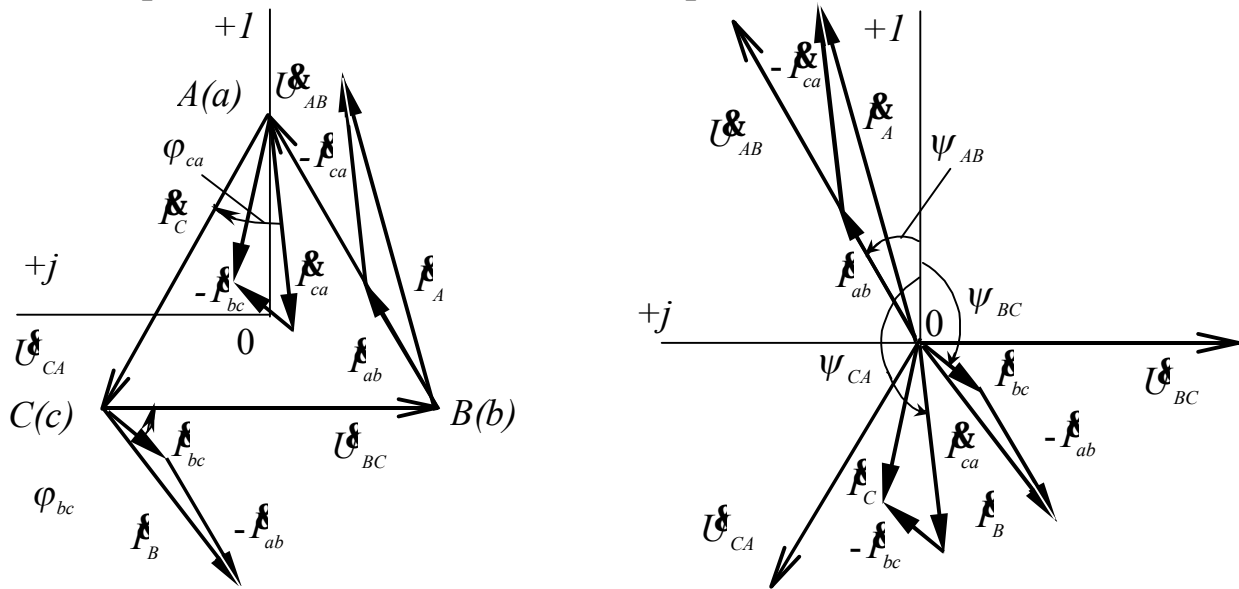


Рис.7.6 Векторные диаграммы токов и напряжений несимметричной нагрузки

Варианты заданий к самостоятельной работе

Таблица 7.1

Параметры	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряже- ние сети, В	220	660	1000	380	220	660	1000	380
R , Ом	8	12	60	16	6	30	80	40
jX , Ом	$j6$	$-j16$	$j80$	$-j12$	$-j8$	$j40$	$-j60$	$-j30$

Таблица 7.2

Параметры	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряже- ние сети, В	220	380	660	220	380	660	220	380
P , Ом	0,18	2,2	11,0	1,1	15,0	22,0	3,0	2,2
$\cos\varphi$	0,64	0,87	0,90	0,81	0,88	0,91	0,76	0,71

Таблица 7.3

Параметры	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряже- ние сети, В	1000	660	380	220	1000	660	380	220
Фаза $Z_{«ab»}$	$60-j80$	100	$-j20$	$8-j6$	$-j100$	$60+j80$	$12-j16$	$j20$
Фаза $Z_{«bc»}$	$j100$	$j60$	$16+j12$	$-j22$	$60+j80$	$j200$	40	$j10$
Фаза $Z_{«ca»}$	50	$80+j60$	$j50$	$6+j8$	$80+j60$	100	$-j20$	$6-j8$