

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
БИРСКИЙ ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧЕРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологического образования

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

“АНАЛИЗ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА”

Выполнил:

студент 2 курса 2 группы ОДО
Фамилия И.О.

Проверил:

к.т.н., доцент Юмагулов Н.И.

Бирск 2014

Задание № 3

Расчет последовательной цепи переменного тока

Для неразветвленной цепи переменного тока (см. рис.), содержащей активное $R_1 = 12 \text{ Ом}$ и $R_2 = 4 \text{ Ом}$, катушку индуктивности $L = 12 \text{ мГн}$ и конденсатор с емкостью $C = 50 \text{ мкФ}$. Известно, что напряжение, подаваемое на выводы цепи равно $U = 100 \text{ В}$.

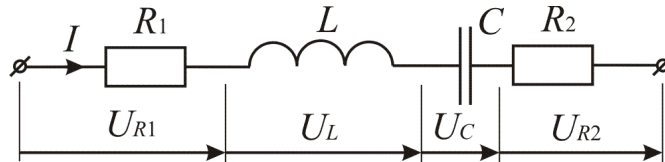


Рис. 1. Неразветвленная цепь переменного тока

Определить:

- полное сопротивление Z ;
- силу тока I в цепи;
- напряжение U , приложенное к цепи;
- угол сдвига фаз φ (по величине и знаку);
- активную P , реактивную Q и полную S мощности, потребляемые цепью.

Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и треугольники сопротивлений и мощностей.

Решение:

Определим реактивные сопротивления элементов:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} = 21,23 \text{ (Ом)}$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 3,768 \text{ (Ом)}$$

Определим полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(12 + 4)^2 + (3,768 - 21,23)^2} = 23,68 \text{ (Ом)}$$

По закону Ома ток, протекающий в цепи, равен:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{23,68} = 4,22 \text{ (А)}$$

По закону Ома напряжения на элементах равны:

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 4,22 \cdot 12 = 50,64 \text{ (В)}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 4,22 \cdot 3,768 = 15,9 \text{ (В)}$$

$$U_C = I \cdot X_C = 4,22 \cdot 21,23 = 89,59 \text{ (В)}$$

$$U_{R2} = I \cdot R_2 = 4,22 \cdot 4 = 16,88 \text{ (В)}$$

Сдвиг фаз между током и напряжением в цепи равно:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R} = \frac{X_L - X_C}{R_1 + R_2} = \frac{3,768 - 21,23}{12 + 4} = \frac{-17,462}{16} = -1,09$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}(-1,09) = -47^\circ 30'$$

Активная мощность цепи равна:

$$P = UI \cos \varphi = 100 \cdot 4,22 \cos(-47^\circ 30') = 285 \text{ (Вт)}$$

Реактивная мощность цепи равна:

$$Q = UI \sin \varphi = 100 \cdot 4,22 \sin(-47^\circ 30') = -311,1 \text{ (ВАР)}$$

Полная мощность цепи равна

$$S = UI = 100 \cdot 4,22 = 422 \text{ (В} \cdot \text{А)}$$

Выберем масштаб тока равным $M_I = 1 \text{ А/см}$, а масштаб напряжения - $M_U = 10 \text{ В/см}$.

Тогда длины векторов тока и напряжения будут равны:

$$l_I = \frac{I}{M_I} = \frac{4,22}{1} = 4,22 \text{ (см)}$$

$$l_{UR1} = \frac{U_{R1}}{M_U} = \frac{50,64}{10} = 5,06 \text{ (см)}$$

$$l_{UL} = \frac{U_L}{M_U} = \frac{15,9}{10} = 1,59 \text{ (см)}$$

$$l_{UC} = \frac{U_C}{M_U} = \frac{89,59}{10} = 8,95 \text{ (см)}$$

$$l_{UR2} = \frac{U_{R2}}{M_U} = \frac{16,88}{10} = 1,69 \text{ (см)}$$

Направим вектор тока вдоль действительной оси.

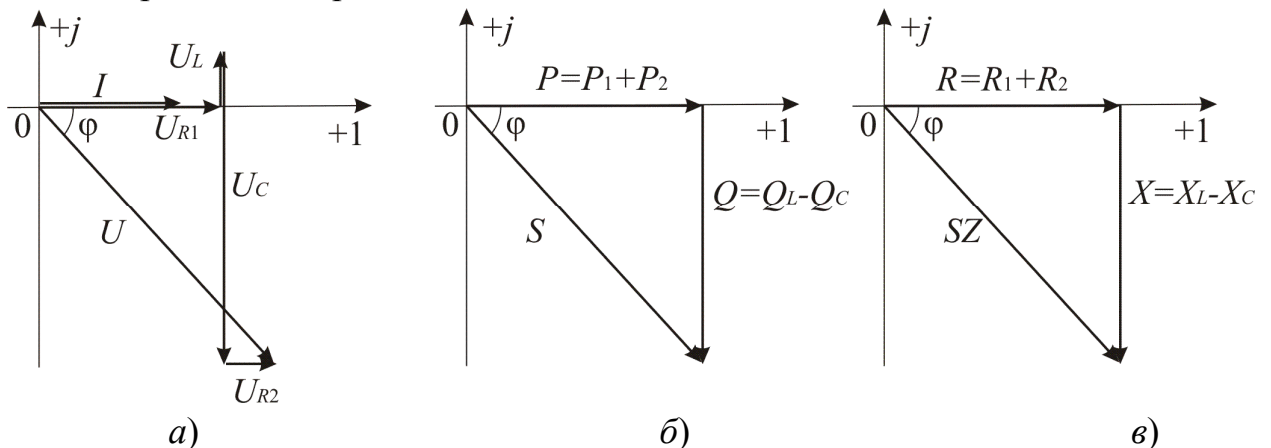


Рис. 2. Векторная диаграмма (а), треугольник сопротивлений (б) и треугольник мощностей (в)

Тогда векторная диаграмма будет иметь вид (см. рис. 2, а).

Треугольники сопротивлений и мощностей примут вид (рис. 2, б и в).

Задание № 4

Расчет разветвленной цепи переменного тока

Для заданной цепи переменного тока (рис. 3), состоящей из активного сопротивления $R_1 = 5 \text{ Ом}$, катушки индуктивности $L_1 = 10 \text{ мГн}$, конденсатора с емкостью $C_1 = 1015 \text{ мкФ}$, активного сопротивления $R_2 = 10 \text{ Ом}$, катушки индуктивности $L_2 = 20 \text{ мГн}$, катушки индуктивности $L_3 = 15 \text{ мГн}$ и конденсатора с емкостью $C_3 = 300 \text{ мкФ}$, определить:

- а) активное, реактивное и полное сопротивление цепи Z ,
- б) величину протекающего в цепи тока,
- в) напряжения на каждом участке,
- г) активную, реактивную и полную мощности,

если электрическая цепь подключенного к источнику однофазного переменного тока с напряжением сети $U = 127 \text{ В}$ с частотой $f = 50 \text{ Гц}$.

Построить векторную диаграмму токов и напряжения в комплексной плоскости. Выполнить баланс мощностей. Если известно, что

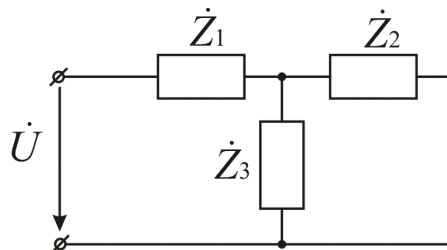


Рис. 3. Электрическая цепь переменного тока

Решение:

Определим реактивные сопротивления элементов:

$$X_{L1} = \omega L_1 = 2\pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3,14 \text{ (Ом)}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{2\pi f C_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1015 \cdot 10^{-6}} = 3,14 \text{ (Ом)}$$

$$X_{L2} = \omega L_2 = 2\pi f L_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 6,28 \text{ (Ом)}$$

$$X_{L3} = \omega L_3 = 2\pi f L_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 4,71 \text{ (Ом)}$$

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega C_3} = \frac{1}{2\pi f C_3} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 300 \cdot 10^{-6}} = 10,62 \text{ (Ом)}$$

Определим комплекс полного сопротивления первого участка:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = 5 + j(3,14 - 3,14) = 5 + j \cdot 0 = 5 \text{ (Ом)}$$

В показательной форме комплекс полного сопротивления будет равен

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = |Z_1| \cdot e^{j \cdot \varphi_1} = 5 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ (Ом)}$$

где модуль комплексного сопротивления первого участка

$$|\underline{Z}_1| = \sqrt{(R_1)^2 + (X_{L1} - X_{C1})^2} = \sqrt{(5)^2 + (3,14 - 3,14)^2} = 5 \text{ (Ом)}$$

сдвиг фаз между током и напряжением на первом участке

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{X_1}{R_1} = \frac{X_{L1} - X_{C1}}{R_1} = \frac{3,14 - 3,14}{5} = \frac{0}{5} = 0$$

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg}(0) = 0^\circ$$

Определим комплекс полного сопротивления второго участка:

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j(X_{L2} - X_{C2}) = 10 + j(6,28 - 0) = 10 + j \cdot 6,28 = 11,8 \text{ (Ом)}$$

В показательной форме комплекс полного сопротивления будет равен

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j(X_{L2} - X_{C2}) = |Z_2| \cdot e^{j \cdot \varphi_2} = 11,8 \cdot e^{j \cdot 32^\circ 8'} \text{ (Ом)}$$

где модуль комплексного сопротивления второго участка

$$|\underline{Z}_2| = \sqrt{(R_2)^2 + (X_{L2} - X_{C2})^2} = \sqrt{(10)^2 + (6,28 - 0)^2} = 11,8 \text{ (Ом)}$$

сдвиг фаз между током и напряжением на втором участке

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{X_2}{R_2} = \frac{X_{L2} - X_{C2}}{R_2} = \frac{6,28 - 0}{10} = 0,628$$

$$\varphi_2 = \operatorname{arctg}(0,628) = 32^\circ 8'$$

Определим комплекс полного сопротивления третьего участка:

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j(X_{L3} - X_{C3}) = 0 + j(4,71 - 10,62) = -j \cdot 5,91 \text{ (Ом)}$$

В показательной форме комплекс полного сопротивления будет равен

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j(X_{L3} - X_{C3}) = |Z_3| \cdot e^{j \cdot \varphi_3} = 5,91 \cdot e^{-j \cdot 90^\circ} \text{ (Ом)}$$

где модуль комплексного сопротивления третьего участка

$$|\underline{Z}_3| = \sqrt{(R_3)^2 + (X_{L3} - X_{C3})^2} = \sqrt{(0)^2 + (4,71 - 10,62)^2} = 5,91 \text{ (Ом)}$$

сдвиг фаз между током и напряжением на третьем участке

$$\operatorname{tg} \varphi_3 = \frac{X_3}{R_3} = \frac{X_{L3} - X_{C3}}{R_3} = \frac{4,71 - 10,62}{0} = -\infty$$

$$\varphi_3 = \operatorname{arctg}(-\infty) = -90^\circ$$

Определим комплекс полного сопротивления, параллельно соединенных сопротивлений Z_2 и Z_3 :

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{23} &= \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{11,8 \cdot e^{j32^\circ 8'} \cdot 5,91 \cdot e^{-j90^\circ}}{10 + j \cdot 6,28 + (-j \cdot 5,91)} = \frac{69,738 e^{-j57^\circ 52'}}{10 - j0,37} = \\ &= \frac{69,738 e^{-j57^\circ 52'}}{10 e^{-j2^\circ 7'}} = 6,97 e^{-j55^\circ 45'} \text{ (Ом)} = 3,92 - j5,76 \text{ (Ом)}\end{aligned}$$

где активное сопротивление равно:

$$R_{23} = |\underline{Z}_{23}| \cos \varphi_{23} = 6,97 \cos(-55^\circ 45') = 3,92 \text{ (Ом)}$$

реактивное сопротивление равно:

$$X_{23} = |\underline{Z}_{23}| \sin \varphi_{23} = 6,97 \sin(-55^\circ 45') = -5,76 \text{ (Ом)}$$

Определим комплекс полного сопротивления всей схемы

$$\underline{Z}_{\text{общ}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = 5 + 3,92 - j5,76 = 8,92 - j5,76 \text{ (Ом)} = 10,62 e^{-j35^\circ 48'} \text{ (Ом)}$$

где модуль комплексного сопротивления всей цепи:

$$|\underline{Z}_{\text{общ}}| = \sqrt{(R)^2 + (X)^2} = \sqrt{(8,92)^2 + (-5,76)^2} = 10,62 \text{ (Ом)}$$

сдвиг фаз между током и напряжением всей схемы:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R} = \frac{-5,76}{8,92} = -0,7$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}(-0,7) = -35^\circ 48'$$

Направим вектор напряжения U вдоль действительной оси. Тогда комплекс напряжения будет равен:

$$\dot{U} = U e^{j0^\circ} \text{ (В)} = 127 e^{j0^\circ} \text{ (В)}.$$

По закону Ома комплексный ток, протекающий в цепи, равен:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_{\text{общ}}} = \frac{127 e^{j0^\circ}}{10,62 e^{-j35^\circ 48'}} = 11,96 e^{j35^\circ 48'} \text{ (А)}$$

Поскольку сопротивления Z_1 и Z_2 соединены последовательно, то протекающие через них токи равны:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 = \dot{I}_{23} = 11,96 e^{j35^\circ 48'} \text{ (А)}$$

По закону Ома комплексное напряжение на первом участке равно:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \underline{Z}_1 = 11,96 e^{j35^\circ 48'} \cdot 5 \cdot e^{j0^\circ} = 59,8 e^{j35^\circ 48'} \text{ (В)}$$

Комплексное напряжение на сопротивлении Z_{23} равно:

$$\dot{U}_{23} = \dot{I}_{23} \underline{Z}_{23} = 11,96 e^{j35^\circ 48'} \cdot 6,97 e^{-j55^\circ 45'} = 83,36 e^{-j19^\circ 57'} \text{ (В)}$$

Так как сопротивления Z_2 и Z_3 соединены параллельно, напряжения U_2 и U_3 будут равны:

$$\dot{U}_{23} = \dot{U}_2 = \dot{U}_3 = 83,36 \cdot e^{-j19^\circ 57'} \text{ (В)}$$

По закону Ома комплексные токи будут равны:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_2} = \frac{83,36 \cdot e^{-j19^\circ 57'}}{11,8 \cdot e^{j32^\circ 8'}} = 7,06 e^{-j52^\circ 5'} \text{ (A)}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_3}{\underline{Z}_3} = \frac{83,36 \cdot e^{-j19^\circ 57'}}{5,91 \cdot e^{-j90^\circ}} = 14,1 e^{j70^\circ 3'} \text{ (A)}$$

Выполним проверку методом баланса мощностей:

$$\dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3 = \dot{S}$$

Комплекс полной мощности первого участка определяются как произведение комплексного напряжения на сопряженный комплексный ток:

$$\dot{S}_1 = \dot{U}_1^* I_1 = 59,8 e^{j35^\circ 48'} \cdot 11,96 e^{-j35^\circ 48'} = 715,21 e^{j0^\circ} \text{ (В} \cdot \text{А)} = 715,2 \text{ (В} \cdot \text{А)}$$

где активная мощность первого участка:

$$P_1 = |\dot{S}_1| \cos 0^\circ = 715,21 \text{ (Вт)}$$

реактивная мощность

$$Q_1 = |\dot{S}_1| \sin 0^\circ = 0 \text{ (ВАР)}$$

Комплекс полной мощности второго участка определяются как произведение комплексного напряжения на сопряженный комплексный ток:

$$\begin{aligned} \dot{S}_2 = \dot{U}_2^* I_2 &= 83,36 \cdot e^{-j19^\circ 57'} \cdot 7,06 e^{j52^\circ 5'} = 588,52 e^{j32^\circ 8'} \text{ (В} \cdot \text{А)} = \\ &= 498,37 + j313,03 \text{ (В} \cdot \text{А)} \end{aligned}$$

где активная мощность второго участка:

$$P_2 = |\dot{S}_2| \cos 32^\circ 8' = 498,37 \text{ (Вт)}$$

реактивная мощность

$$Q_2 = |\dot{S}_2| \sin 32^\circ 8' = 313,03 \text{ (ВАР)}$$

Комплекс полной мощности третьего участка определяются как произведение комплексного напряжения на сопряженный комплексный ток:

$$\begin{aligned} \dot{S}_3 = \dot{U}_3^* I_3 &= 83,36 \cdot e^{-j19^\circ 57'} \cdot 14,1 e^{-j70^\circ 3'} = 1175,38 e^{-j90^\circ} \text{ (В} \cdot \text{А)} = \\ &= j1175,38 \text{ (В} \cdot \text{А)} \end{aligned}$$

где активная мощность:

$$P_3 = |\dot{S}_3| \cos(-90^\circ) = 0 \text{ (Вт)}$$

реактивная мощность

$$Q_3 = |\dot{S}_3| \sin(-90^\circ) = -1175,38 \text{ (ВАР)}$$

Тогда

$$\dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3 = 715,2 + 498,37 + j313,03 - j1175,38 = 1213,57 - j862,35 \text{ (ВА)}$$

Комплекс полной мощности всей схемы определяются как произведение комплексного напряжения на сопряженный комплексный ток:

$$\dot{S} = \dot{U} I^* = 127 \cdot e^{j0^\circ} \cdot 11,96 e^{-j35^\circ 48'} = 1518,92 e^{-j35^\circ 48'} \text{ (В} \cdot \text{А)} = 1213,8 - j888,5 \text{ (ВА)}$$

где активная мощность:

$$P = |\dot{S}| \cos(-35^\circ 48') = 1213,8 \text{ (Вт)}$$

реактивная мощность

$$Q_3 = |\dot{S}_3| \sin(-35^\circ 48') = -888,5 \text{ (ВАР)}$$

Поскольку

$$1213,57 - j862,35 = 1213,8 - j888,5$$

$$\dot{S}_1 + \dot{S}_2 + \dot{S}_3 \approx \dot{S}$$

то решение верно.

Выберем масштаб тока равным $M_I = 2 \text{ А/см}$, а масштаб напряжения $M_U = 6 \text{ В/см}$.

Тогда длины векторов тока и напряжения будут равны:

$$l_{I1} = \frac{|\dot{I}_1|}{M_I} = \frac{11,96}{2} = 5,9 \text{ (см)} \quad l_{I2} = \frac{|\dot{I}_2|}{M_I} = \frac{7,06}{2} = 3,53 \text{ (см)}$$

$$l_{I3} = \frac{|\dot{I}_3|}{M_I} = \frac{14,1}{2} = 7,05 \text{ (см)} \quad l_{U1} = \frac{|\dot{U}_1|}{M_U} = \frac{59,8}{6} = 9,97 \text{ (см)}$$

$$l_{U2} = l_{U3} = \frac{|\dot{U}_2|}{M_U} = \frac{83,36}{6} = 13,89 \text{ (см)} \quad l_U = \frac{|\dot{U}|}{M_U} = \frac{127}{6} = 21,2 \text{ (см)}$$

Направим вектор тока вдоль действительной оси. Тогда векторная диаграмма примет вид рис. 4.

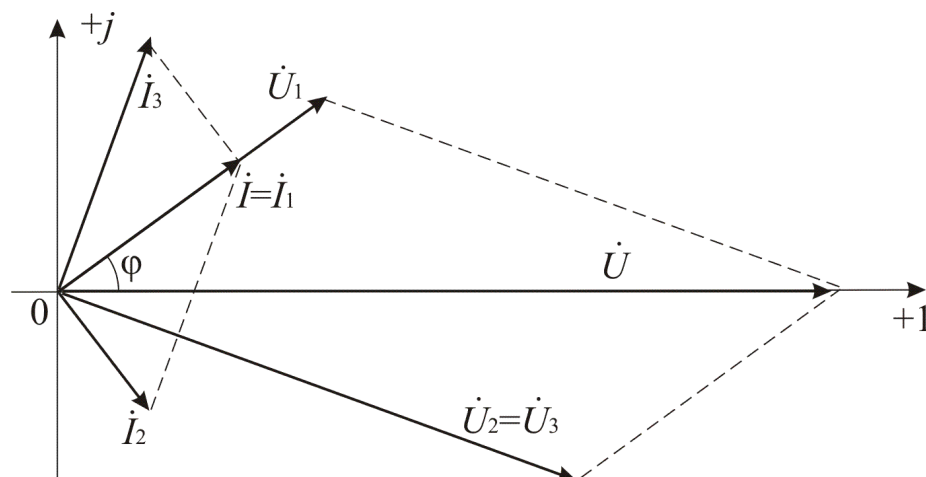


Рис. 4. Векторная диаграмма токов и напряжений

Задание 5

Анализ трехфазной цепи переменного тока

В трехфазную четырех проводную электрическую цепь с симметричным линейным напряжением $U_{\text{л}}=220 \text{ В}$ включена нагрузка $R_A=10 \text{ Ом}$, $L_A=15 \text{ мГн}$, $C_A=300 \text{ мкФ}$, $R_B=15 \text{ Ом}$, $L_B=20 \text{ мГн}$, $R_C=7 \text{ Ом}$, $C_C=200 \text{ мкФ}$.

Определить фазные напряжения фазные токи, линейный ток, ток в нейтральном проводе. Нарисовать электрическую цепь. Построить в масштабе векторную диаграмму.

Решение:

Определим реактивные сопротивления

фазы A :

$$X_{LA} = \omega L_A = 2\pi f L_A = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 4,71 \text{ (Ом)}$$
$$X_{CA} = \frac{1}{\omega C_A} = \frac{1}{2\pi f C_A} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 300 \cdot 10^{-6}} = 10,6 \text{ (Ом)}$$

фазы B :

$$X_{LB} = \omega L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 6,28 \text{ (Ом)}$$

фазы C :

$$X_{CC} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = 15,92 \text{ (Ом)}$$

Определим комплекс полного сопротивления фазы A :

$$\underline{Z}_A = R_A + j(X_{LA} - X_{CA}) = 10 + j(4,71 - 10,61) = 10 - j \cdot 5,9 \text{ (Ом)}$$

В показательной форме комплекс полного сопротивления будет равен

$$\underline{Z}_A = R_A + j(X_{LA} - X_{CA}) = |Z_A| \cdot e^{j \cdot \varphi_A} = 11,6 \cdot e^{-j \cdot 30^\circ 32'} \text{ (Ом)}$$

где модуль комплексного сопротивления фазы A

$$|Z_A| = \sqrt{R_A^2 + (X_{LA} - X_{CA})^2} = \sqrt{10^2 + (4,71 - 10,61)^2} = 11,6 \text{ (Ом)}$$

сдвиг фаз между током и напряжением фазы A

$$\operatorname{tg} \varphi_A = \frac{X_A}{R_A} = \frac{X_{LA} - X_{CA}}{R_A} = \frac{4,71 - 10,61}{10} = \frac{-5,9}{10} = -0,59$$
$$\varphi_A = \operatorname{arctg}(-0,59) = -30^\circ 32'$$

Определим комплекс полного сопротивления фазы B :

$$\underline{Z}_B = R_B + j(X_{LB} - X_{CB}) = 15 + j(6,28 - 0) = 15 + j \cdot 6,28 \text{ (Ом)}$$

В показательной форме комплекс полного сопротивления будет равен

$$\underline{Z}_B = R_B + j(X_{LB} - X_{CB}) = |Z_B| \cdot e^{j \cdot \varphi_B} = 16,3 \cdot e^{j \cdot 32^\circ 8'} \text{ (Ом)}$$

где модуль комплексного сопротивления фазы B

$$|Z_B| = \sqrt{(R_B)^2 + (X_{LB} - X_{CB})^2} = \sqrt{15^2 + (6,28 - 0)^2} = 16,3 \text{ (Ом)}$$

сдвиг фаз между током и напряжением фазы B

$$\operatorname{tg} \varphi_B = \frac{X_B}{R_B} = \frac{X_{LB} - X_{CB}}{R_B} = \frac{6,28 - 0}{10} = 0,628$$

$$\varphi_B = \operatorname{arctg}(0,628) = 32^\circ 8'$$

Определим комплекс полного сопротивления фазы C :

$$\underline{Z}_C = R_C + j(X_{LC} - X_{CC}) = 7 + j(0 - 15,92) = 7 - j \cdot 15,92 \text{ (Ом)}$$

В показательной форме комплекс полного сопротивления будет равен

$$\underline{Z}_C = R_C + j(X_{LC} - X_{CC}) = |Z_C| \cdot e^{j\varphi_C} = 17,4 \cdot e^{-j66^\circ 16'} \text{ (Ом)}$$

где модуль комплексного сопротивления фазы C

$$|\underline{Z}_C| = \sqrt{(R_C)^2 + (X_{LC} - X_{CC})^2} = \sqrt{(7)^2 + (0 - 15,92)^2} = 17,4 \text{ (Ом)}$$

сдвиг фаз между током и напряжением фазы C

$$\operatorname{tg} \varphi_C = \frac{X_C}{R_C} = \frac{X_{LC} - X_{CC}}{R_C} = \frac{0 - 15,92}{7} = -2,27$$

$$\varphi_3 = \operatorname{arctg}(-2,27) = -66^\circ 16'$$

Фазные напряжения равны:

$$U_\phi = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ (В)}$$

Тогда комплексы симметричных фазных можно определить выражениями:

$$\dot{U}_A = U_\phi e^{j0^\circ} = 220 \cdot e^{j0^\circ} \text{ (В)}$$

$$\dot{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ} = 220 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ (В)}$$

$$\dot{U}_C = U_\phi e^{j120^\circ} = 220 \cdot e^{j120^\circ} \text{ (В)}$$

По закону Ома комплексный ток фазы A будет равен:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{220 \cdot e^{j0^\circ}}{11,6 \cdot e^{-j30^\circ 32'}} = 19,97 e^{j30^\circ 32'} = 17,2 + j10,1 \text{ (А)}$$

где активная составляющая тока равна

$$I_{Aa} = 19,97 \cos 30^\circ 32' = 17,2 \text{ (А)}$$

где реактивная составляющая тока равна

$$I_{Ap} = 19,97 \sin 30^\circ 32' = 10,1 \text{ (А)}$$

По закону Ома комплексный ток фазы B будет равен:

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{220 \cdot e^{-j120^\circ}}{16,3 \cdot e^{j32^\circ 8'}} = 13,5 e^{-j152^\circ 8'} = -11,9 - j6,3 \text{ (А)}$$

где активная составляющая тока равна

$$I_{Ba} = 13,5 \cos(-152^\circ 8') = -11,9 \text{ (А)}$$

где реактивная составляющая тока равна

$$I_{Bp} = 13,5 \sin(-152^\circ 8') = -6,3 (\text{ A})$$

По закону Ома комплексный ток фазы C будет равен:

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = \frac{220 \cdot e^{j120^\circ}}{17,4 \cdot e^{-j66^\circ 16'}} = 12,64 e^{j186^\circ 16'} = -12,56 - j1,38 (\text{ A})$$

где активная составляющая тока равна

$$I_{Ca} = 12,64 \cos 186^\circ 16' = -12,56 (\text{ A})$$

где реактивная составляющая тока равна

$$I_{Cp} = 12,64 \sin 186^\circ 16' = -1,38 (\text{ A})$$

При соединении звездой линейные и фазные токи равны

$$\dot{I}_{IA} = \dot{I}_A = 19,97 e^{j30^\circ 32'} (\text{ A})$$

$$\dot{I}_{IB} = \dot{I}_B = 13,5 e^{-j152^\circ 8'} (\text{ A})$$

$$\dot{I}_{IC} = \dot{I}_C = 12,64 e^{j186^\circ 16'} (\text{ A})$$

Комплексный ток в нейтральном проводе равен:

$$\begin{aligned} \dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C &= 17,2 + j10,1 - 11,9 - j6,3 - 12,56 - j1,38 = \\ &= -7,26 + j2,42 = 7,65 e^{-j196^\circ 26'} (\text{ A}) \end{aligned}$$

где модуль комплексного тока в нейтральном проводе

$$|\dot{I}_N| = \sqrt{(-7,26)^2 + 2,42^2} = 7,65 (\text{ Ом})$$

сдвиг фаз

$$\operatorname{tg} \varphi_N = \frac{2,42}{-7,26} = -0,33$$

Используя формулу приведения можно записать:

$$\operatorname{tg} \varphi_N = \operatorname{tg}(\pi + \varphi_N) = -0,33$$

$$\varphi_N = -\pi + \operatorname{arctg}(-0,33) = -180^\circ - 18^\circ 26' = -196^\circ 26'$$

Выберем масштаб тока равным $M_I = 2 \text{ A/см}$, а масштаб напряжения $M_U = 22 \text{ В/см}$.

Тогда длины векторов тока и напряжения будут равны:

$$l_{IA} = \frac{|\dot{I}_A|}{M_I} = \frac{19,97}{2} = 9,98 (\text{ см}) \quad l_{IB} = \frac{|\dot{I}_B|}{M_I} = \frac{13,5}{2} = 6,75 (\text{ см})$$

$$l_{IC} = \frac{|\dot{I}_C|}{M_I} = \frac{12,64}{2} = 6,32 (\text{ см}) \quad l_{UA} = l_{UB} = l_{UC} = \frac{|\dot{U}_A|}{M_U} = \frac{220}{22} = 10 (\text{ см})$$

$$l_{UB} = \frac{|\dot{U}_B|}{M_U} = \frac{220}{22} = 10 (\text{ см}) \quad l_U = \frac{|\dot{U}|}{M_U} = \frac{127}{6} = 21,2 (\text{ см})$$

Векторная диаграмма примет вид рис. 5.

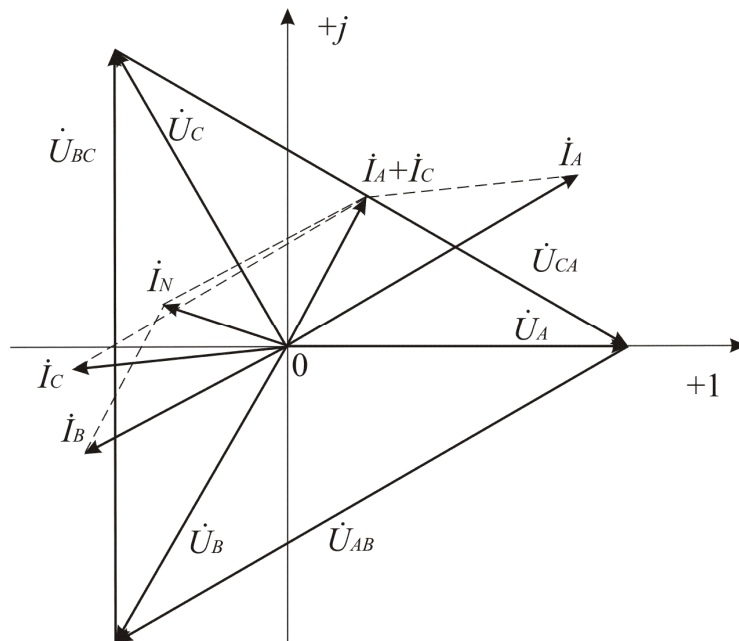


Рис. 5. Векторная диаграмма токов и напряжений трехфазной цепи

Активная, реактивная и полная мощности могут быть определены по следующим формулам с учетом знака реактивных сопротивлений:

$$P = I_A U_A \cos \varphi_A + I_B U_B \cos \varphi_b + I_C U_C \cos \varphi_C =$$

$$= 19,97 \cdot 220 \cos(-30^\circ 32') + 13,5 \cdot 220 \cos 32^\circ 8' + 12,64 \cdot 220 \cos(-66^\circ 16') =$$

$$= 7512 \text{ (Вт)}$$

$$Q = I_A U_A \sin \varphi_A + I_B U_B \sin \varphi_b + I_C U_C \sin \varphi_C =$$

$$= 19,97 \cdot 220 \sin(-30^\circ 32') + 13,5 \cdot 220 \sin 32^\circ 8' + 12,64 \cdot 220 \sin(-66^\circ 16') =$$

$$= -3203 \text{ (ВАР)}$$

$$S = \sqrt{P_2 + Q^2} = \sqrt{7512^2 + (-3203)^2} = 8166 \text{ (ВА)}$$

где P , Q , S – активная, реактивная и полная мощности.