

#### 4. ТРЁХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Основой электроснабжения потребителей электрической энергии является трёхфазная система токов. Эта система по сравнению с однофазной обладает рядом преимуществ:

- а) обеспечивает получение кругового вращающегося магнитного поля, которое необходимо для работы двигателей переменного тока;
- б) в одной электроустановке существуют две системы различных напряжений – фазное и линейное;
- в) осуществляет эффективную передачу электрической энергии на большие расстояния.

##### 4.1. Основные понятия и определения

Трёхфазной системой электрических цепей называют такую систему, в которой действуют три синусоидальные ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутые друг относительно друга по фазе на угол  $\frac{2}{3}\pi$  ( $120^\circ$ ) и создаваемые одним источником энергии. Таким источником энергии является трёхфазный синхронный генератор.

Мгновенные значения ЭДС трёхфазного источника

$$e_A = E_m \cdot \sin \omega t, \quad e_B = E_m \cdot \sin(\omega t - 120^\circ), \quad e_C = E_m \cdot \sin(\omega t + 120^\circ),$$

где начальные фазы соответственно равны

$$\psi_{eA} = 0; \quad \psi_{eB} = -120^\circ; \quad \psi_{eC} = 120^\circ.$$

Такая система называется симметричной. Временная и векторная диаграммы показаны на рис. 4.1 а, б. Векторная диаграмма токов и напряжений строится на комплексной плоскости, оси которой  $+1$ ,  $+j$  повернуты на  $90^\circ$  против направления часовой стрелки. Такое направление осей часто принимается при расчете трехфазных цепей (исключительно для удобства).

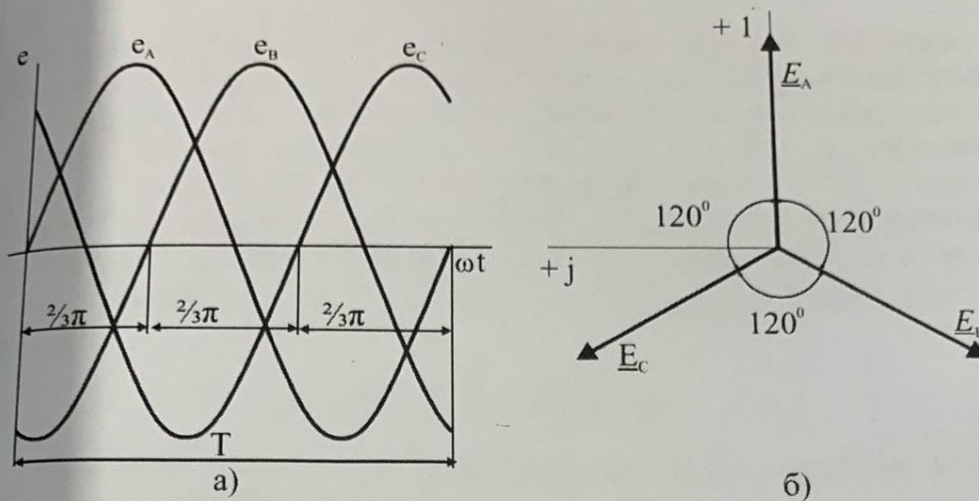


Рис. 4.1- Диаграммы ЭДС трехфазной системы:  
а) временная; б) векторная

Часть трёхфазной системы, в которой может протекать один из её токов, называется фазой (фазы А, В, С).

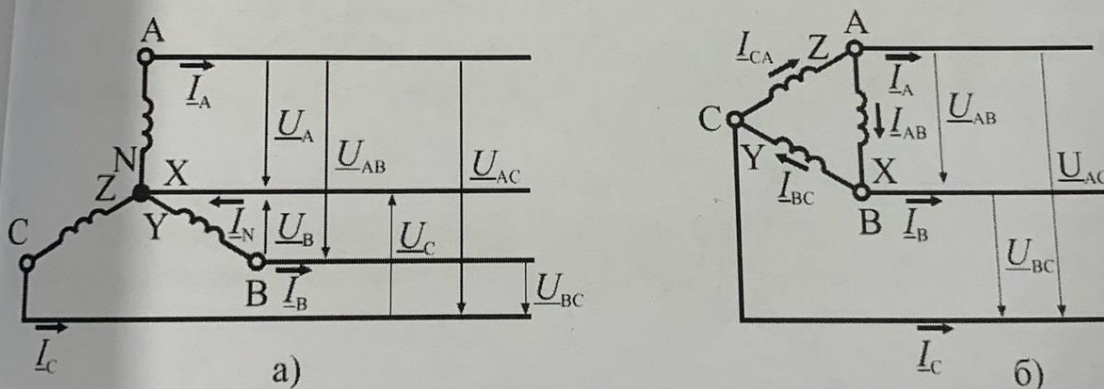


Рис. 4.2 - Схемы соединения обмоток трехфазного источника:  
а) звезда; б) треугольник

Обмотки трёхфазного источника питания могут быть соединены в звезду или в треугольник. При соединении обмоток звездой концы обмоток всех фаз (X, Y, Z) объединяют в одну общую точку N, называемую нейтральной рис. 4.2, а. От начал обмоток (А, В, С) и нейтральной точки N выводят провода, по которым энергия подаётся потребителям

приёмникам). Провода, соединяющие начала обмоток источника и приёмника, называются линейными. Провод, соединяющий нейтральные точки источника и приёмника, называется нейтральным (нулевым).

Напряжения между линейными проводами  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  называют линейными напряжениями. Напряжения между нейтральным проводом и соответствующим линейным проводом  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  называют фазными напряжениями. Можно показать, что при соединении обмоток в звезду фазное напряжение меньше линейного в  $\sqrt{3}$ , а фазные токи равны линейным

$$I_{\phi} = I_L; \quad U_{\phi} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}.$$

Временная и векторная диаграммы напряжений имеют тот же вид, что и диаграммы ЭДС.

За условное положительное направление токов в линейных проводах принято направление в сторону потребителей, а в нейтральном – в сторону источника.

При соединении обмоток источника (генератора, трансформатора) треугольником объединяют в одну общую точку начало и конец соответствующих фаз X и B, Y и C, Z и A (рис. 4.2, б). При таком соединении фазные напряжения равны линейным, а фазные токи меньше линейных в  $\sqrt{3}$  ( $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  – линейные токи;  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$  – фазные токи)

$$U_{\phi} = U_L; \quad I_{\phi} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}.$$

Широкое распространение в энергетике получили трёхфазная четырёхпроводная система и трёхфазная трёхпроводная система.

#### 4.2. Включение в трёхфазную цепь приёмников электрической энергии

Трёхфазные приёмники электрической энергии могут быть включены в трёхфазную сеть звёздой и треугольником, (рис. 4.3, а, б). Однофазные приёмники могут быть включены на фазное напряжение, (рис. 4.3, в) или на линейное напряжение.

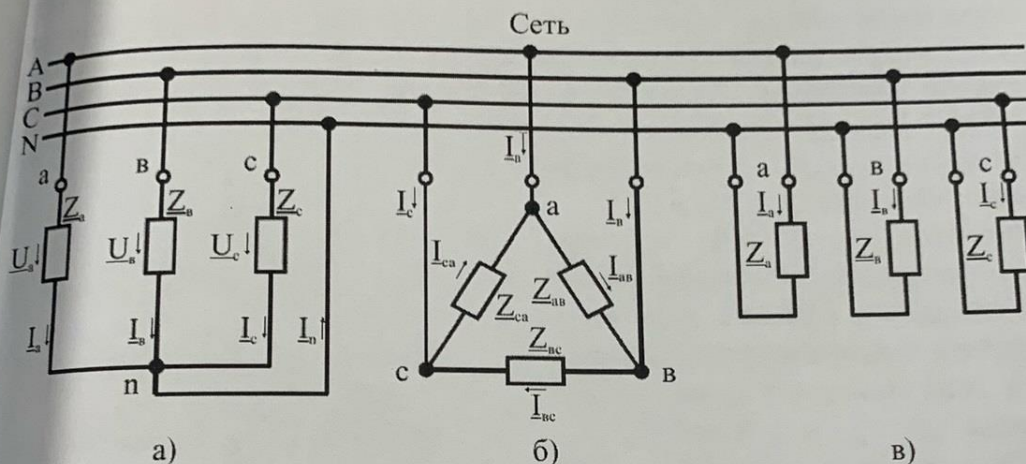


Рис. 4.3 - Схемы включения потребителей в трехфазную сеть:  
а) звездой; б) треугольником; в) включение однофазных потребителей

##### 4.2.1. Расчет цепей при соединении приемников звездой

Рассмотрим расчёт токов потребителей  $\underline{I}_a$ ,  $\underline{I}_b$ ,  $\underline{I}_c$ ,  $\underline{I}_n$  для схемы (рис. 4.3, а). Заданными являются модуль линейного напряжения сети  $U$  (действующее значение) и комплексные сопротивления фазных нагрузок  $\underline{Z}_a$ ,  $\underline{Z}_b$ ,  $\underline{Z}_c$ .

Определяем фазные напряжения

$$\underline{U}_a = U_\phi; \quad \underline{U}_b = U_\phi \cdot e^{-j120^\circ}; \quad \underline{U}_c = U_\phi \cdot e^{j120^\circ},$$

где  $U_\phi = \frac{U}{\sqrt{3}}$  (при соединении звездой).

Определяем токи в фазах согласно закону Ома.

$$\underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_a}; \quad \underline{I}_b = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_b}; \quad \underline{I}_c = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_c}.$$

Согласно первому закону Кирхгофа ток в нейтральном проводе

$$\underline{I}_n = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c.$$

Построим векторную диаграмму токов и напряжений на комплексной плоскости. Векторы фазных напряжений откладываем с учётом их начальных фаз ( $\psi_a = 0$ ,  $\psi_b = -120^\circ$ ,  $\psi_c = 120^\circ$ ). Получаем звезду фазных напряжений. Соединив вершины этой звезды, получаем треугольник линейных напряжений. Из диаграммы видно, что для симметричной системы напряжений линейные напряжения представляют три вектора, сдвинутыми по фазе друг относительно друга на угол  $120^\circ$ . Кроме того, векторы линейных напряжений  $\underline{U}_{ab}$ ,  $\underline{U}_{bc}$ ,  $\underline{U}_{ca}$  опережают по фазе

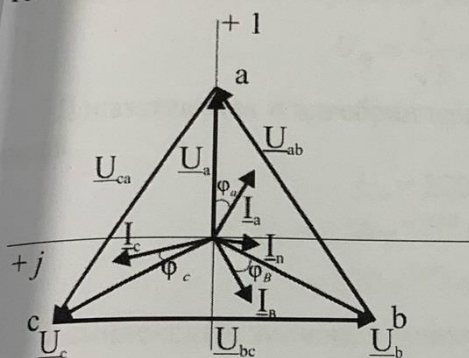


Рис. 4.4 - Векторная диаграмма токов и напряжений при соединении электроприемников звездой

$$\begin{aligned}\underline{U}_{ab} &= \underline{U}_a - \underline{U}_b \\ \underline{U}_{bc} &= \underline{U}_b - \underline{U}_c \\ \underline{U}_{ca} &= \underline{U}_c - \underline{U}_a\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{U}_{ab} &= U \cdot e^{j30^\circ} \\ \underline{U}_{bc} &= U \cdot e^{-j90^\circ} \\ \underline{U}_{ca} &= U \cdot e^{-j210^\circ}.\end{aligned}$$

Здесь  $\psi_{ab} = 30^\circ$ ,  $\psi_{bc} = -90^\circ$ ,  $\psi_{ca} = -210^\circ$ ;  $U$  – модуль линейного напряжения.

Затем в масштабе откладываем вычисленные значения токов в фазах и в нейтрали  $\underline{I}_a$ ,  $\underline{I}_b$ ,  $\underline{I}_c$ ,  $\underline{I}_n$ . Положения векторов фазных токов относительно векторов фазных напряжений определяются углами  $\varphi_a$ ,  $\varphi_b$ ,  $\varphi_c$ , которые зависят от характера нагрузок потребителей  $\underline{Z}_a$ ,  $\underline{Z}_b$ ,  $\underline{Z}_c$ . Векторная диаграмма построена для случая, когда нагрузка во всех фазах активно-индуктивная ( $\varphi > 0$ ).

### Пример

К трёхфазной четырехпроводной сети с линейным напряжением  $U_{\text{л}} = 380$  В присоединена несимметричная нагрузка, соединенная звездой. Комплексные сопротивления фаз нагрузки составляют:

$$\underline{Z}_a = 17 + j10 \text{ Ом}, \quad \underline{Z}_b = 5 - j9 \text{ Ом}, \quad \underline{Z}_c = 20 \text{ Ом}.$$

Определить токи в фазах и ток в нулевом проводе. Составить баланс мощностей. Построить векторную диаграмму. Сопротивлением проводов пренебречь.

Расчётная схема замещения цепи показана на рис. 4.5, а.

Определяем действующее значение фазного напряжения

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

Показательная и алгебраическая формы записи комплексных напряжений

$$\underline{U}_a = 220 \cdot e^{j0} = 220 \text{ В};$$

$$\underline{U}_b = 220 \cdot e^{-j120} = -110 - j190,53 \text{ В};$$

$$\underline{U}_c = 220 \cdot e^{j120} = -110 + j190,53 \text{ В}.$$

Комплексные значения токов в фазах и нулевом проводе

$$\underline{I}_a = \frac{\underline{U}_a}{\underline{Z}_a} = \frac{220}{17 + j10} = 9,61 - j5,66 = 11,15 \cdot e^{-j30,5} \text{ А},$$

$$\underline{I}_b = \frac{\underline{U}_b}{\underline{Z}_b} = \frac{-110 - j190,53}{5 - j9} = 10,99 - j18,33 = 21,37 \cdot e^{-j39,05} \text{ А},$$

$$\underline{I}_c = \frac{\underline{U}_c}{\underline{Z}_c} = \frac{-110 + j190,53}{20} = -5,5 + j9,53 = 11 \cdot e^{-j60} \text{ А},$$

$$\underline{I}_n = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = 9,63 - j5,66 + 10,99 - j18,33 - 5,5 + j9,53 = 15,1 - j14,46 = 20,83 \cdot e^{-j43,8}.$$

Действующие значения токов

$$I_a = 11,15 \text{ А}; \quad I_b = 21,37 \text{ А}; \quad I_c = 11 \text{ А}; \quad I_n = 20,91 \text{ А}.$$

Составим баланс мощностей для проверки правильности определения токов.

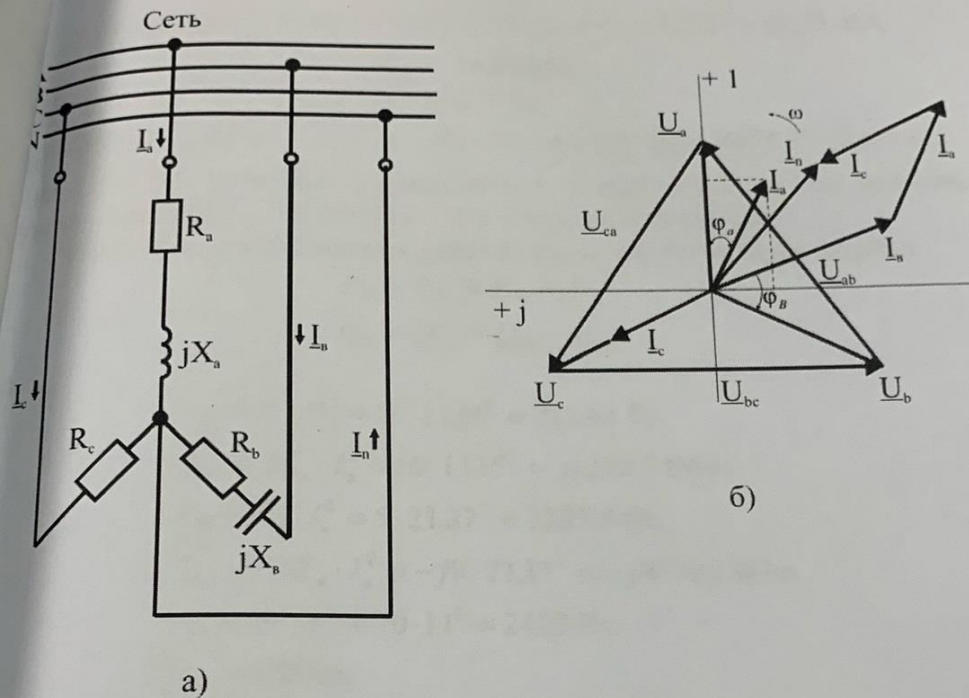


Рис. 4.5

а) схема замещения; б) векторная диаграмма токов и напряжений

Комплексная мощность, отдаваемая источником (сетью)

$$\underline{S}_{\text{И}} = \underline{S}_{\text{ИА}} + \underline{S}_{\text{ИБ}} + \underline{S}_{\text{ИС}},$$

где мощность в фазах

$$\underline{S}_{\text{ИА}} = \underline{U}_a \cdot \underline{I}_a^* = 220 \cdot (9,61 + j5,66) = 2114,2 + j1245,2 \text{ ВА},$$

$$P_{\text{ИА}} = 2114,2 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{ИА}} = 1245,2 \text{ Вар};$$

$$\underline{S}_{\text{ИБ}} = \underline{U}_b \cdot \underline{I}_b^* = (-110 - j190,53) \cdot (10,99 + j18,33) = 2283,5 - j4110,2 \text{ ВА},$$

$$P_{\text{ИБ}} = 2283,5 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{ИБ}} = -4110,2 \text{ Вар};$$

$$\underline{S}_{\text{ис}} = \underline{U}_c \cdot \underline{I}_c^* = (-110 + j190,53) \cdot (-5,5 - j9,53) = 2420,8 + j0,38 \text{ ВА},$$

$$P_{\text{ис}} = 2420,8 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{ис}} = 0;$$

$$\underline{S}_{\text{п}} = 2114,2 + j1245,2 + 2283,5 - j4110,2 + 2420,8 + j0 = 6818,5 - j2865 \text{ ВА}.$$

В фазе "С" нет реактивных элементов, т. е. она не потребляет реактивную мощность ( $Q_{\text{ис}} = 0,38 \text{ ВАр}$  – это погрешность расчёта).

Мощность, потребляемая приёмниками электрической энергии

$$P_{\text{п}} = P_{\text{па}} + P_{\text{пв}} + P_{\text{пс}}$$

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{па}} + Q_{\text{пв}} + Q_{\text{пс}},$$

где

$$P_{\text{па}} = R_a \cdot I_a^2 = 17 \cdot 11,15^2 = 2113,5 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{па}} = jX_a \cdot I_a^2 = 10 \cdot 11,15^2 = j1243,2 \text{ ВАр},$$

$$P_{\text{пв}} = R_b \cdot I_b^2 = 5 \cdot 21,37^2 = 2283,4 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пв}} = -jX_b \cdot I_b^2 = -j9 \cdot 21,37^2 = -j4110,1 \text{ ВАр},$$

$$P_{\text{пс}} = R_c \cdot I_c^2 = 20 \cdot 11^2 = 2420 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{пс}} = 0 \text{ ВАр},$$

$$\underline{S}_{\text{п}} = \sum \underline{S} = P_{\text{п}} + jQ_{\text{п}} = 6816,9 - j2866,9 \text{ ВА}.$$

Погрешность расчёта близка к нулю. Правильность расчёта токов подтверждается балансом мощностей.

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для напряжения и тока:  $M_U = 2 \text{ В/мм}$ ,  $M_I = 0,2 \text{ А/мм}$ . Откладываем векторы фазных напряжений с учётом их начальных фаз, рис. 4.5, б. Соединив вершины полученной звезды фазных напряжений, получаем векторы линейных напряжений  $\underline{U}_{\text{ав}}$ ,  $\underline{U}_{\text{вс}}$ ,  $\underline{U}_{\text{са}}$ . Векторы фазных токов и тока в нейтральном проводе  $\underline{I}_{\text{а}}$ ,  $\underline{I}_{\text{в}}$ ,  $\underline{I}_{\text{с}}$ ,  $\underline{I}_{\text{п}}$  откладываем в масштабе на осях  $+1$ ,  $+j$ .

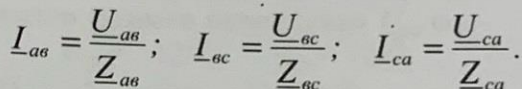
#### 4.2.2. Расчет цепей при соединении приемников треугольником

Схема включения приёмников в трёхфазную сеть приведена на рис. 4.3, б. Рассмотрим расчёт токов в фазах приёмника  $\underline{I}_{\text{ав}}$ ,  $\underline{I}_{\text{вс}}$ ,  $\underline{I}_{\text{са}}$  и в линейных проводах  $\underline{I}_{\text{а}}$ ,  $\underline{I}_{\text{в}}$ ,  $\underline{I}_{\text{с}}$ . Заданными являются действующее значение

Записываем напряжения в комплексной форме (для треугольника  $U_{\Phi} = U_L$ )

$$\underline{U}_{ab} = U_L, \quad \underline{U}_{bc} = U_L \cdot e^{-j120}, \quad \underline{U}_{ca} = U_L \cdot e^{j120},$$
$$\psi_{ab} = 0^0, \quad \psi_{bc} = -120^0, \quad \psi_{ca} = 120^0.$$

### Определяем токи в фазах


$$\underline{I}_a = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}, \quad \underline{I}_b = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}, \quad \underline{I}_c = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}.$$

в фазях **ab** и **bc** активно – индук-  
о – ёмкостная.

грамма построена для случая, когда в фазах **ab** и **bc** активно – индуктивная нагрузка, а в фазе **ca** – активно - ёмкостная.

На рис. 4.3, в приведена схема включения однофазных потребителей электрической энергии в трёхфазную сеть. Такая схема используется, например, в жилых домах, где под нагрузкой каждой из фаз подразумевается жилая квартира. При расчёте сначала определяются фазные напряжения, затем согласно закону Ома находятся токи в фазах потребителей.

### Пример

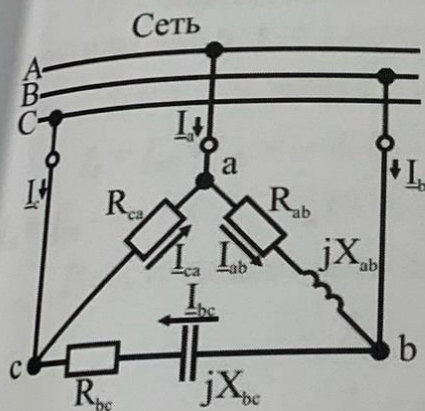
К зажимам трёхфазной трёхпроводной сети с линейным напряжением  $U = 220$  В подключена несимметричная нагрузка, соединенная треугольником. Сопротивления фаз потребителя  $Z_{ab} = 6 + j8$  Ом,  $Z_{bc} = 12 - j4$  Ом,  $Z_{ca} = 10$  Ом. Определить токи и напряжения в фазах, в линии, составить баланс мощностей. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Расчетная схема цепи показаны на рис. 4.7, а.

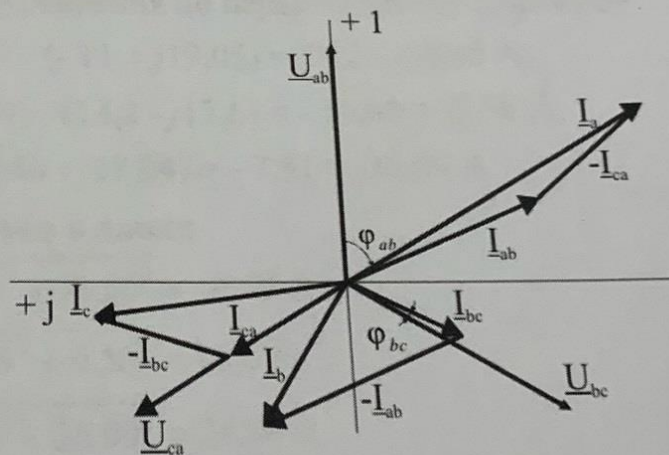
Запишем комплексы фазных напряжений, учитывая, что для треугольника  $U_{\Phi} = 220$  В. Принимаем вектор фазного напряжения  $\underline{U}_{ab}$  совпадающим с осью  $+1$ , тогда  $\psi_{ab} = 0^\circ$ ,  $\psi_{bc} = -120^\circ$ ,  $\psi_{ca} = 120^\circ$ .

$$\underline{U}_{ab} = U \cdot e^{j0} = 220 \text{ В}; \quad \underline{U}_{bc} = U \cdot e^{-j120} = -110 - j190,53 \text{ В};$$

$$\underline{U}_{ca} = U \cdot e^{j120} = 220 \cdot e^{j120} = -110 + j190,53 \text{ В}.$$



а)



б)

Рис. 4.7

а) схема замещения; б) векторная диаграмма токов и напряжений

Находим комплексы фазных токов

$$\underline{I}_{ав} = \frac{\underline{U}_{ав}}{\underline{Z}_{ав}} = \frac{220}{6 + j8} = 13,2 - j17,6 \text{ A},$$

$$\underline{I}_{вс} = \frac{\underline{U}_{вс}}{\underline{Z}_{вс}} = \frac{(-110 - j190,53)}{12 - j4} = -3,49 - j17,04 \text{ A},$$

$$\underline{I}_{са} = \frac{\underline{U}_{са}}{\underline{Z}_{са}} = \frac{-110 + j190,53}{10} = -11 + j19,05 \text{ A}.$$

Действующие значения токов в фазах

$$I_{ав} = \sqrt{13,2^2 + 17,6^2} = 22 \text{ A},$$

$$I_{вс} = \sqrt{3,49^2 + 17,04^2} = 17,39 \text{ A},$$

$$I_{са} = \sqrt{11^2 + 19,05^2} = 22 \text{ A}.$$

При определении токов в линейных проводах  $\underline{I}_a$ ,  $\underline{I}_b$ ,  $\underline{I}_c$  для вершин треугольника а, в, с составляем уравнения по первому закону Кирхгофа

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{ав} - \underline{I}_{са} = (13,2 - j17,6) - (-11 + j19,05) = 24,2 - j36,65 \text{ A};$$

$$\underline{I}_b = \underline{I}_{вс} - \underline{I}_{ав} = (-3,49 - j17,04) - (13,2 - j17,6) = -16,69 + j0,56 \text{ A};$$

$$\underline{I}_c = \underline{I}_{са} - \underline{I}_{вс} = (-11 + j19,05) - (-3,49 - j17,04) = -7,51 + j36,09 \text{ A}.$$

Действующие значения токов в линии

$$I_a = \sqrt{24,2^2 + 36,65^2} = 43,92 \text{ A},$$

$$I_b = \sqrt{16,69^2 + 0,56^2} = 16,7 \text{ A},$$

$$I_c = \sqrt{7,51^2 + 36,09^2} = 36,86 \text{ A}.$$

Векторная диаграмма токов и напряжений показана на рис. 4.7, б.

Составляем баланс мощностей.

Комплексная мощность, отдаваемая сетью

$$\underline{S}_{ИAB} = \underline{U}_{ав} \cdot \underline{I}_{ав}^* = 220 \cdot (13,2 + j17,6) = 2904 + j3872 \text{ ВА},$$

$$\underline{S}_{ИВС} = \underline{U}_{вс} \cdot \underline{I}_{вс}^* = (-110 - j190,53) \cdot (-3,49 + j17,04) = 3630,5 - j1209 \text{ ВА},$$

$$\underline{S}_{ИСА} = \underline{U}_{са} \cdot \underline{I}_{са}^* = (-110 + j190,53) \cdot (-11 - j19,05) = 4839,6 \text{ ВА},$$

$$\underline{S}_И = \underline{S}_{ИAB} + \underline{S}_{ИВС} + \underline{S}_{ИСА} = 11374,1 + j2663 \text{ ВА}.$$

Мощность, потребляемая нагрузкой:

активная

$$P_{Па\bar{в}} = R_{ав} \cdot I_{ав}^2 = 6 \cdot 22^2 = 2904 \text{ Вт},$$

$$P_{П\bar{в}с} = R_{вс} \cdot I_{вс}^2 = 12 \cdot 17,39^2 = 3628,9 \text{ Вт},$$

$$P_{П\bar{с}а} = R_{са} \cdot I_{са}^2 = 10 \cdot 22^2 = 4840 \text{ Вт},$$

$$P_{\Pi} = P_{ав} + P_{вс} + P_{са} = 2904 + 3628,9 + 4840 = 11372,9 \text{ Вт}.$$

реактивная

$$Q_{Па\bar{в}} = jX_{ав} \cdot I_{ав}^2 = j8 \cdot 22^2 = j3872 \text{ ВАр},$$

$$Q_{П\bar{в}с} = -jX_{вс} \cdot I_{вс}^2 = -j4 \cdot 17,39^2 = -j1209,6 \text{ ВАр},$$

$$Q_{П\bar{с}а} = 0,$$

$$Q_{\Pi} = Q_{ав} + Q_{вс} = j3872 - j1209,6 = j2662,4 \text{ ВАр}.$$

комплексная

$$\underline{S}_{Па\bar{в}} = P_{ав} + jQ_{ав} = 2904 + j3872 \text{ ВА},$$

$$\underline{S}_{П\bar{в}с} = P_{вс} + jQ_{вс} = 3628,9 - j1209,6 \text{ ВА},$$

$$\underline{S}_{П\bar{с}а} = P_{са} + jQ_{са} = 4840 \text{ ВА},$$

$$\underline{S}_{\Pi} = \underline{S}_{Па\bar{в}} + \underline{S}_{П\bar{в}с} + \underline{S}_{П\bar{с}а} = 2904 + j3872 + 3628,9 - j1209,6 + 4840 = \\ = 11372,9 + j2662,4 \text{ ВА}.$$

Сравнивая мощности приемников и сети, можно сказать о высокой точности расчёта токов.

#### 4.3. Мощность трёхфазной цепи

Активная мощность каждой фазы:

При соединении звездой

$$P_A = U_A I_A \cos \varphi_A, \quad P_B = U_B I_B \cos \varphi_B, \quad P_C = U_C I_C \cos \varphi_C.$$

Треугольником

$$P_{AB} = U_{AB} I_{AB} \cos \varphi_{AB}; \quad P_{BC} = U_{BC} I_{BC} \cos \varphi_{BC}; \quad P_{CA} = U_{CA} I_{CA} \cos \varphi_{CA}.$$

Активная мощность трёх фаз:

при соединении звездой

$$P = P_A + P_B + P_C$$

треугольником

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$$

при симметричной нагрузке

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}.$$

На практике пользуются линейными значениями напряжения и тока. Тогда активная мощность для симметричной нагрузки

$$P = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} \cos \varphi_{\text{Л}}.$$

Часто индекс "Л" опускается

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi.$$

Для реактивной и полной мощностей

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi,$$

$$S = \sqrt{3} UI.$$

#### 4.4. Варианты контрольных заданий для задачи №6

Задача 1 (Для определения своего варианта необходимо обратиться к таблице 3.1).

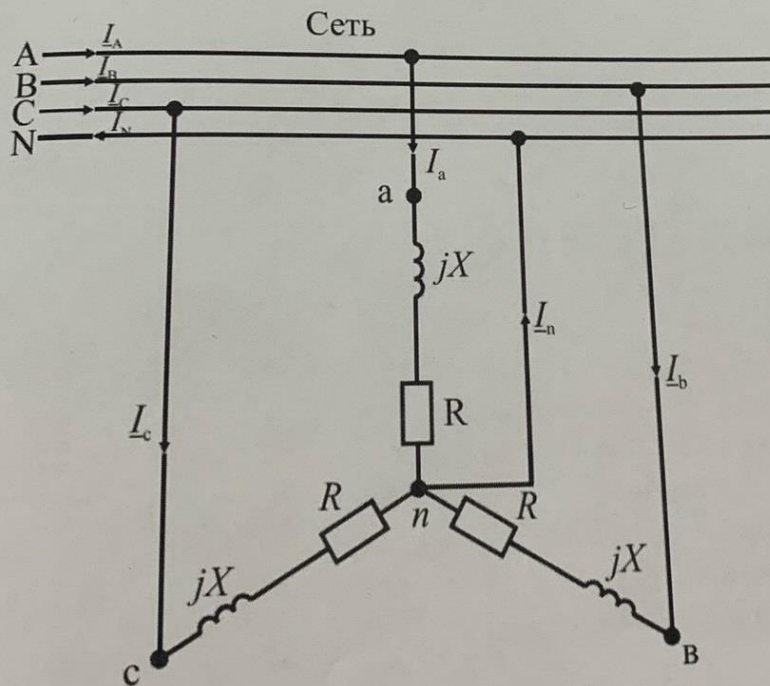


Рис. 4.8 - К задаче №4.1

В трёхфазную четырёхпроводную сеть с линейным напряжением  $U = 380 \text{ В}$  включены по схеме звезда осветительные лампы ДРЛ с параметрами  $R, X$  в каждой фазе. Параметры  $R, X$ , приведены в таблице 4.1.

Электрическая схема замещения показана на рис. 4.8. Определить фазные токи потребителей. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжений.

Таблица 4.1 - Варианты контрольных заданий

| №<br>вар. | $R$ ,<br>Ом | $X$ ,<br>Ом |
|-----------|-------------|-------------|
| 1         | 36,6        | 55,6        |
| 2         | 21,8        | 29          |
| 3         | 52,7        | 53,8        |
| 4         | 34,9        | 44,5        |
| 5         | 18,6        | 34          |
| 6         | 10,1        | 17,5        |
| 7         | 18,3        | 27,8        |
| 8         | 34,1        | 39,8        |
| 9         | 27,9        | 28,5        |
| 10        | 28,4        | 33,2        |

Задача №2

В трёхфазную сеть с линейным на-