

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ**  
**«РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ»**  
**ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**  
**ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМ**  
**ОБУЧЕНИЯ**

**Нижневартовск 2011**

Составители:

Бубнов Алексей Владимирович, д.т.н., проф.

Федоров Владимир Леонидович, к.т.н., доц

УДК 621.3

Рассмотрена методика расчета несимметричной трехфазной цепи. Большая часть рассмотренных случаев иллюстрируется численными примерами.

Приведено задание для студентов дневного и заочного отделения направления 140200.62 «Электроэнергетика».  
промышленных предприятий», «Промышленная электроника».

Методические указания могут быть использованы для обеспечения дистанционной формы обучения.

### Задание на расчетно-графическую работу

При выполнении задания необходимо:  
Рассчитать несимметричную трехфазную цепь.

#### Теоретические сведения по расчету несимметричной трехфазной цепи

Трехфазной цепью называется совокупность трехфазной системы Э.Д.С., трехфазной нагрузки и соединительных проводов. Вследствие своей экономичности трехфазные цепи получили широкое распространение в электротехнике.

Источником энергии в трехфазной системе служит трехфазный генератор, который вырабатывает трехфазную систему Э.Д.С. (рис. 1).

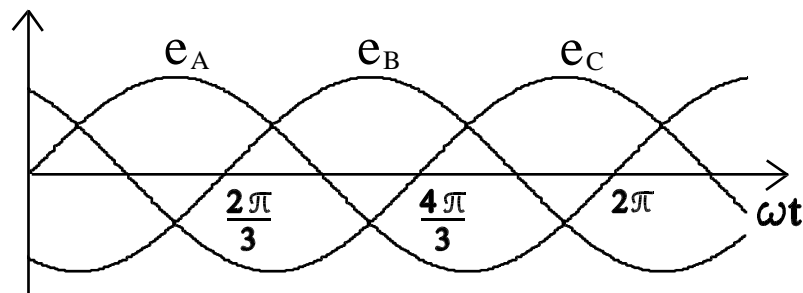


Рис. 1

Последняя представляет собой совокупность трех синусоидальных Э.Д.С. одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе на угол  $120^\circ$

$$\begin{cases} e_A = E_m \sin(\omega t + \beta), \\ e_B = E_m \sin(\omega t + \beta - 120^\circ), \\ e_C = E_m \sin(\omega t + \beta + 120^\circ), \end{cases}$$

или в комплексной форме записи

$$\begin{cases} \dot{E}_A = E e^{j\beta}, \\ \dot{E}_B = \dot{E}_A e^{-j120^\circ}, \\ \dot{E}_C = \dot{E}_A e^{j120^\circ}. \end{cases}$$

В любой момент времени сумма таких Э.Д.С. равна нулю

$$e_A + e_B + e_C = 0.$$

Приемник с одинаковыми комплексными сопротивлениями всех трех фаз  $Z_a = Z_b = Z_c$  называется симметричным. В этом случае все токи и напряжения трехфазной цепи образуют симметричные системы (т.е. они сдвинуты на  $120^\circ$  относительно друг друга при одновременном равенстве амплитуд). Пример симметричной трехфазной цепи и ее векторной диаграммы приведен на рис. 2.

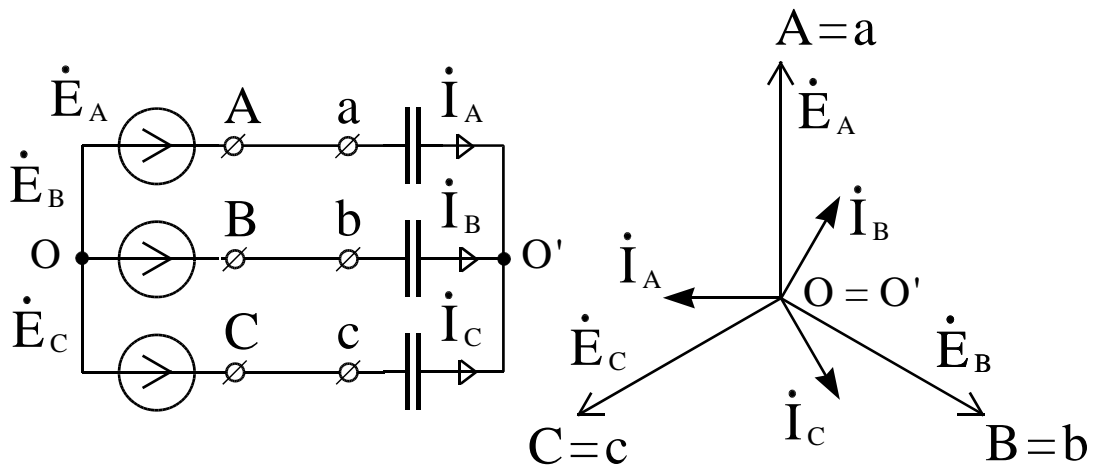


Рис. 2

Приемник с неодинаковыми комплексными сопротивлениями фаз  $Z_a \neq Z_b \neq Z_c$  называется несимметричным. Частными случаями несимметрии являются обрыв фазы нагрузки (например,  $Z_a = \infty$ ) и короткое замыкание фазы нагрузки ( $Z_a = 0$ ). Расчет несимметричной трехфазной цепи можно выполнить с применением обычных приемов электротехники – с помощью законов Кирхгофа, методом контурных токов и т.д. Часто расчет производится методом преобразования, при котором схема приводится к виду “звезда - звезда” (рис. 3).

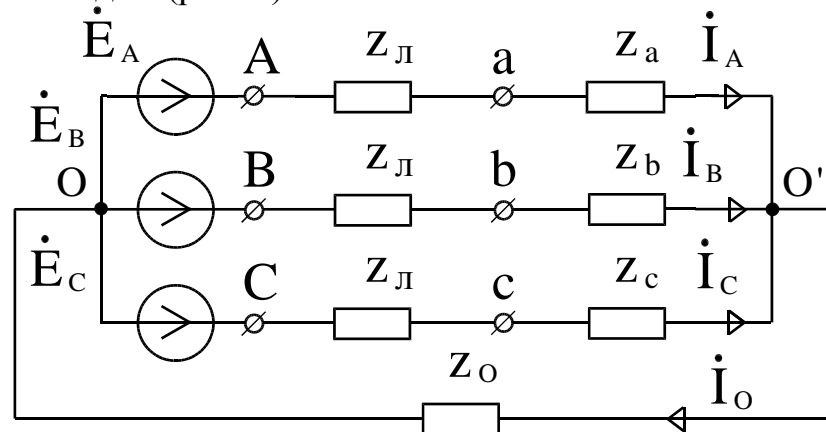


Рис. 3

Для такой цепи определяют напряжения смещения нейтрали

$$\dot{U}_{0'0} = \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_O},$$

где  $Y_A = \frac{1}{Z_{\text{Л}} + Z_a}, \quad Y_B = \frac{1}{Z_{\text{Л}} + Z_b}, \quad Y_C = \frac{1}{Z_{\text{Л}} + Z_c}, \quad Y_O = \frac{1}{Z_o}.$

Затем рассчитывают фазные (линейные) токи с помощью закона Ома для участка цепи с Э.Д.С.

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_{0'0}}{Z_{\text{Л}} + Z_a}, & \dot{I}_B &= \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_{0'0}}{Z_{\text{Л}} + Z_b}, \\ \dot{I}_C &= \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_{0'0}}{Z_{\text{Л}} + Z_c}, & \dot{I}_0 &= \frac{\dot{U}_{0'0}}{Z_o}. \end{aligned}$$

### Примеры расчета несимметричных трехфазных цепей

#### Пример №1

В схеме рис. 4 произошло короткое замыкание фазы нагрузки **ас**.

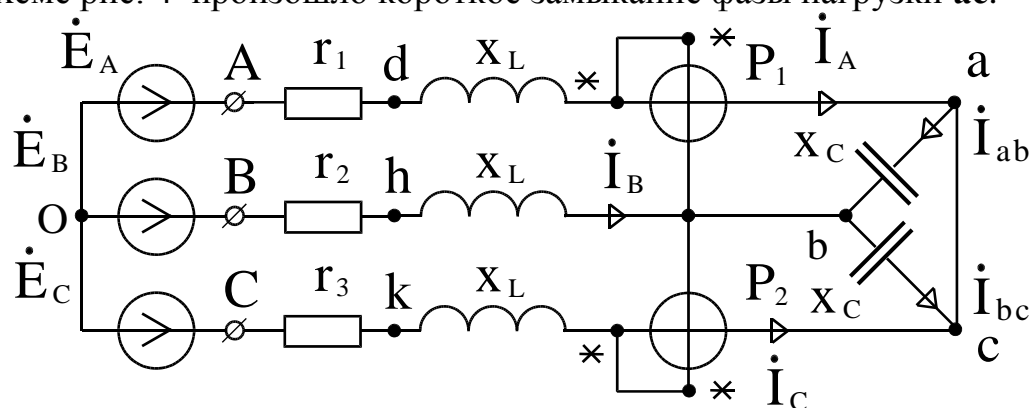


Рис. 4

#### Исходные данные

$$\dot{E}_A = 100e^{j20^\circ} \text{ В}; \quad \dot{E}_B = 100e^{-j100^\circ} \text{ В}; \quad \dot{E}_C = 100e^{j140^\circ} \text{ В};$$

$$r_1 = 10 \text{ Ом}; \quad r_2 = 15 \text{ Ом}; \quad r_3 = 20 \text{ Ом}; \quad X_L = 10 \text{ Ом}; \quad X_C = 30 \text{ Ом}.$$

Определить: линейные токи  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ ; фазные токи нагрузки  $\dot{I}_{ab}, \dot{I}_{bc}$  и показания ваттметров  $P_1, P_2$ . Составить баланс мощности, нарисовать векторную диаграмму.

Преобразуем треугольник сопротивлений в звезду (рис. 5).

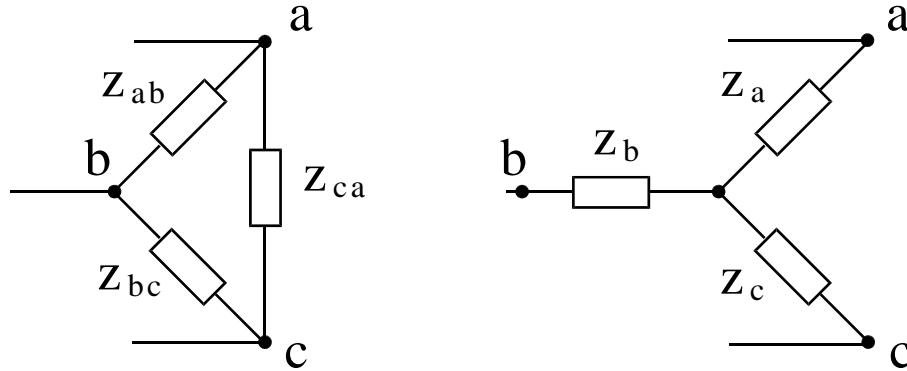


Рис. 5

Здесь  $Z_{ab} = Z_{bc} = -jX_C$ ;  $Z_{ac} = 0$ .

Тогда

$$Z_a = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} = 0,$$

$$Z_b = \frac{Z_{ab} \cdot Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} = \frac{(-jX_C) \cdot (-jX_C)}{-jX_C - jX_C} = -j0,5X_C,$$

$$Z_c = \frac{Z_{ca} \cdot Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} = 0.$$

В результате преобразования исходная схема (рис. 4) приобретает вид (рис. 6).

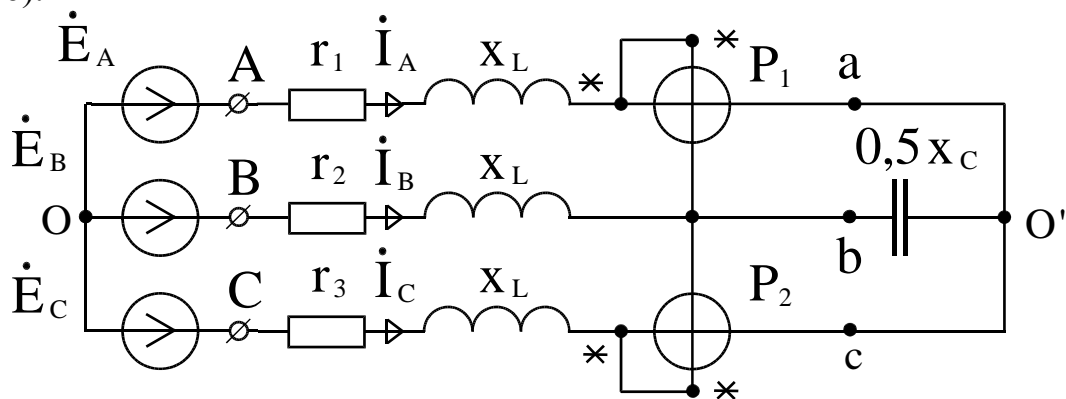


Рис. 6

Найдем комплексные проводимости отдельных участков (линии и приемника) трехфазной цепи.

$$Y_A = \frac{1}{r_1 + jX_L} = \frac{1}{10 + j10} = 7,07 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-j45^\circ} \text{ СМ},$$

$$Y_B = \frac{1}{r_2 + jX_L - j0,5 \cdot X_C} = \frac{1}{15 + j10 - j15} = 6,32 \cdot 10^{-2} \cdot e^{j18,43^\circ} \text{ СМ},$$

$$Y_C = \frac{1}{r_3 + jX_L} = \frac{1}{20 + j10} = 4,47 \cdot 10^{-2} \cdot e^{-j26,57^\circ} \text{ СМ}.$$

Напряжение смещения нейтрали

$$\begin{aligned} \dot{U}_{0'0} &= \frac{\dot{E}_A Y_A + \dot{E}_B Y_B + \dot{E}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} = \\ &= \frac{100e^{j20^\circ} \cdot 7,07 \cdot 10^{-2} e^{-j45^\circ} + 100e^{-j100^\circ} \cdot 6,32 \cdot 10^{-2} e^{j18,43^\circ} +}{10^{-2}(7,07e^{-j45^\circ} + 6,32e^{j18,43^\circ} + 4,47e^{-j26,57^\circ})} + \\ &+ \frac{100e^{j140^\circ} \cdot 4,47 \cdot 10^{-2} e^{-j26,57^\circ}}{10^{-2}(7,07e^{-j45^\circ} + 6,32e^{j18,43^\circ} + 4,47e^{-j26,57^\circ})}, \end{aligned}$$

$$\dot{U}_{0'0} = 47,87e^{-j24,33^\circ} \text{ В}.$$

Находим линейные токи

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_{0'0}}{r_1 + jX_L} = \frac{93,97 + j34,2 - 43,62 + j19,72}{10 + j10} = \frac{50,35 + j53,92}{10 + j10},$$

$$\dot{I}_A = 5,21 + j0,18 = 5,21e^{j1,97^\circ} \text{ А}.$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_{0'0}}{r_2 + jX_L - j0,5X_C} = \frac{-17,36 - j98,48 - 43,62 + j19,72}{15 + j10 - j15} = \frac{-60,98 - j78,76}{15 - j5},$$

$$\dot{I}_B = -2,084 - j5,945 = 6,3e^{-j109,32^\circ} \text{ А}.$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_{0'0}}{r_3 + jX_L} = \frac{-76,6 + j64,28 - 43,62 + j19,72}{20 + j10} = \frac{-120,22 + j84}{20 + j10},$$

$$I_C = -3,13 + j5,76 = 6,56e^{j118,49^\circ} \text{ A.}$$

Найдем фазные токи треугольника  $\dot{I}_{ab}$ ,  $\dot{I}_{bc}$  в исходной схеме (рис. 3). Для этого определим напряжение между точками “а” и “b” эквивалентной схемы (рис. 6)

$$\dot{U}_{ab} = (-\dot{I}_B) \cdot (-j0,5X_C) = 6,3e^{-j109,32^\circ} \cdot 15e^{j90^\circ} = 94,5e^{-j19,32^\circ} \text{ В.}$$

Тогда

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{-jX_C} = \frac{94,5e^{-j19,32^\circ}}{-j30} = 3,15e^{j70,68^\circ} \text{ A.}$$

Поскольку точки “а” и “с” короткозамкнуты, то

$$\dot{U}_{bc} = -\dot{U}_{ab},$$

$$\dot{U}_{bc} = 94,5e^{j160,68^\circ} \text{ В.}$$

Тогда

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{-jX_C} = 3,15e^{-j109,32^\circ} \text{ A.}$$

Составим баланс мощности для цепи рис. 6. Комплексная мощность источников

$$\tilde{S}_u = \dot{E}_A \cdot \dot{I}_A^* + \dot{E}_B \cdot \dot{I}_B^* + \dot{E}_C \cdot \dot{I}_C^* = P_u + jQ_u,$$

$$\tilde{S}_u = 100e^{j20^\circ} \cdot 5,21e^{-j1,97^\circ} + 100e^{-j100^\circ} \cdot 6,3e^{j109,32^\circ} + 100e^{j140^\circ} \cdot 6,56e^{-j118,49^\circ}.$$

$$\tilde{S}_u = 1728 + j504,133.$$

Отсюда активная мощность источников

$$P_u = 1728 \text{ Вт,}$$



реактивная мощность источников

$$Q_u = 504,133 \text{ ВАр.}$$

Активная мощность приемников

$$P_{\text{пр}} = I_A^2 \cdot r_1 + I_B^2 \cdot r_2 + I_C^2 \cdot r_3,$$

$$P_{\text{пр}} = 5,21^2 \cdot 10 + 6,3^2 \cdot 15 + 6,56^2 \cdot 20 = 1728,05 \text{ Вт.}$$

Относительная погрешность по активной мощности

$$\delta = \frac{P_u - P_{\text{пр}}}{P_u} \cdot 100\% = \frac{1728 - 1728,05}{1728} \cdot 100\% = 0,0028\%.$$

Реактивная мощность приемников

$$Q_{\text{пр}} = I_A^2 \cdot X_L + I_B^2 \cdot (X_L - 0,5X_C) + I_C^2 \cdot X_L,$$

$$Q_{\text{пр}} = 5,21^2 \cdot 10 + 6,3^2 \cdot (10 - 15) + 6,56^2 \cdot 10 = 503,64 \text{ ВАр.}$$

Относительная погрешность по реактивной мощности

$$\delta = \frac{Q_u - Q_{\text{пр}}}{Q_u} \cdot 100\% = \frac{504,133 - 503,64}{503,64} \cdot 100\% = 0,098\%.$$

Таким образом, баланс мощности сходится в пределах допустимой (3%) погрешности.

Определим показания ваттметров.

$$P_1 = \text{Re}[\dot{U}_{ab} \cdot I_A^*] = \text{Re}[94,5e^{-j19,32^\circ} \cdot 5,21e^{-j1,97^\circ}] = 484,124 \text{ Вт.}$$

$$P_2 = \text{Re}[\dot{U}_{cb} \cdot I_C^*] = \text{Re}[\dot{U}_{ab} \cdot I_C^*] = \text{Re}[94,5e^{-j19,32^\circ} \cdot 6,56e^{-j118,49^\circ}],$$

$$P_2 = -459,3 \text{ Вт.}$$

Векторная диаграмма приведена на рис.7.

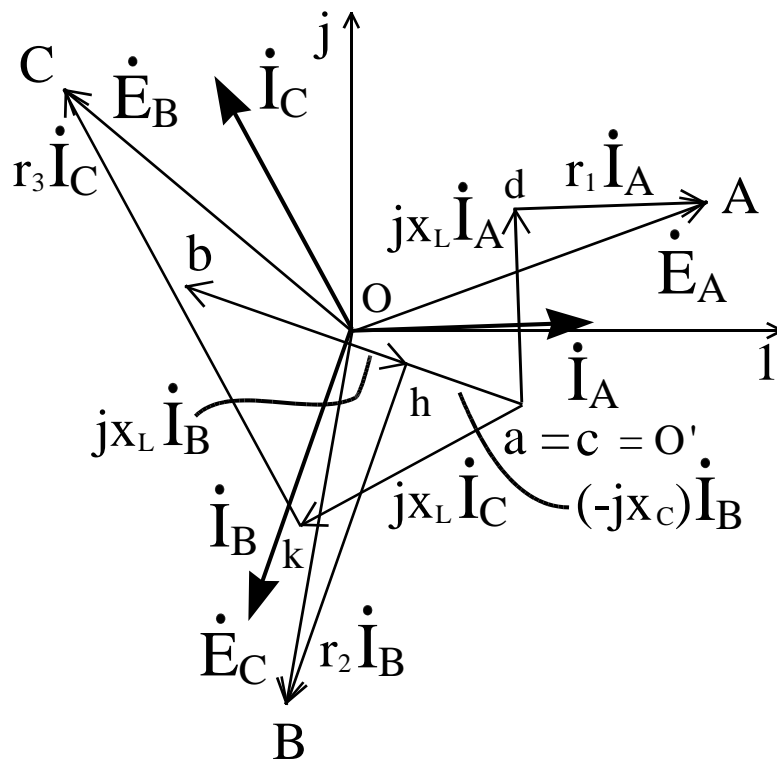


Рис. 7

Пример №2  
**ВАРИАНТ 8-18**

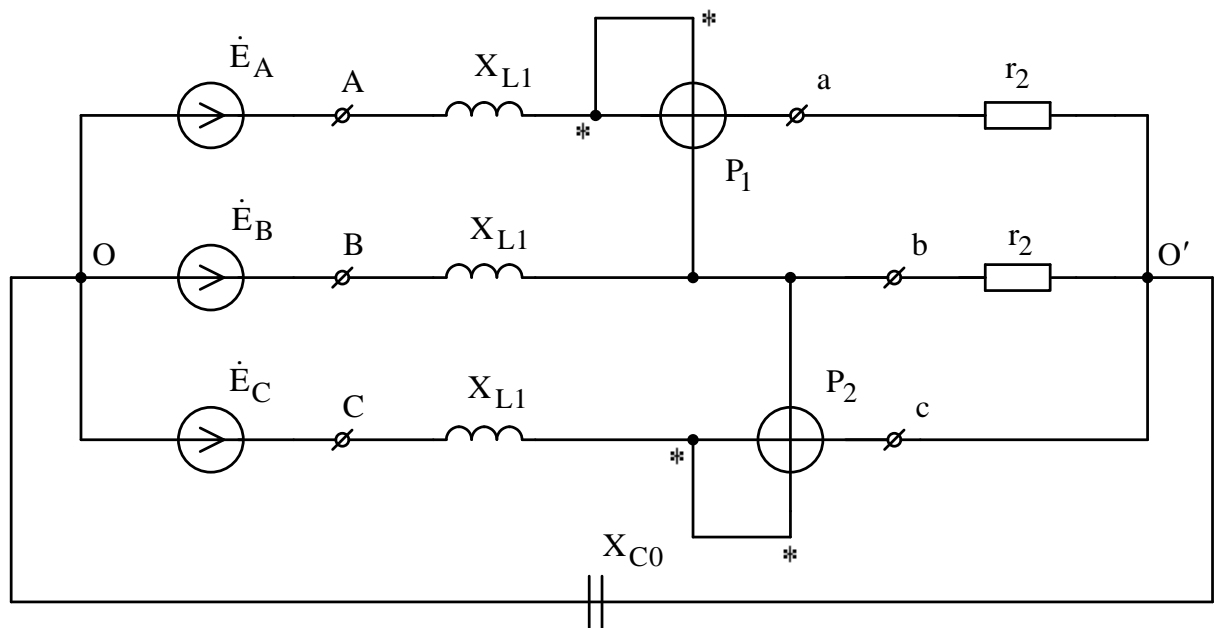


рис. 8.

**Исходные данные:**

$$E_A = 220 \text{ В};$$

$$x_{L_1} = 5 \text{ Ом};$$

$$r_2 = 10 \text{ Ом};$$

$$x_{C_0} = 5 \text{ Ом}.$$

**При решении задачи необходимо:**

1. Рассчитать токи во всех ветвях схемы;
2. Составить баланс мощности;
3. Определить показания ваттметров;
4. Построить векторную диаграмму.

**Решение:**

**1. Определяем комплексные сопротивления:**

$$Z_A = r_2 + jx_{L_1} = 10 + j5 = 11.18e^{j26.56^\circ} \text{ Ом};$$

$$Z_B = r_2 + jx_{L_1} = 10 + j5 = 11.18e^{j26.56^\circ} \text{ Ом};$$

$$Z_C = jx_{L_1} = j5 = 5e^{j90^\circ} \text{ Ом};$$

$$Z_O = -jx_{C_0} = -j5 = 5e^{-j90^\circ} \text{ Ом}.$$

**2. Определяем комплексные проводимости:**

$$Y_A = \frac{1}{Z_A} = \frac{1}{11.18e^{j26.56^\circ}} = 0.089e^{-j26.56^\circ} = 0.079 - j0.039 \text{ См};$$

$$Y_B = \frac{1}{Z_B} = \frac{1}{11.18e^{j26.56^\circ}} = 0.089e^{-j26.56^\circ} = 0.079 - j0.039 \text{ См};$$

$$Y_C = \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{5e^{j90^\circ}} = 0.2e^{-j90^\circ} = -j0.2 \text{ См};$$

$$Y_O = \frac{1}{Z_O} = \frac{1}{5e^{-j90^\circ}} = 0.2e^{j90^\circ} = j0.2 \text{ См}.$$

**3. Рассчитаем напряжение смещения нейтрали:**

$$\begin{aligned} \dot{U}_{O'O} &= \frac{\dot{E}_A \cdot Y_A + \dot{E}_B \cdot Y_B + \dot{E}_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_O} = \\ &= \frac{220 \cdot 0.089e^{-j26.56^\circ} + 220e^{-j120^\circ} \cdot 0.089e^{-j26.56^\circ} + 220e^{j120^\circ} \cdot 0.2e^{-j90^\circ}}{0.079 - j0.039 + 0.079 - j0.039 - j0.2 + j0.2} = \\ &= \frac{19.58e^{-j26.56^\circ} + 19.58e^{-j146.56^\circ} + 44e^{j30^\circ}}{0.176e^{-j26.27^\circ}} = \frac{39.35e^{j3.6^\circ}}{0.176e^{-j26.27^\circ}} = 223.5e^{j29.87^\circ} = 193.8 + j111.3 \text{ В}. \end{aligned}$$

**4. Определяем линейные токи и ток нейтрального провода:**

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= (\dot{E}_A - \dot{U}_{O'O}) \cdot Y_A = (220 - 193.8 - j111.3) \cdot 0.089e^{-j26.56^\circ} = (26.2 - j111.3) \cdot 0.089e^{-j26.56^\circ} = \\ &= 10.17e^{-j103.3^\circ} = -2.33 - j9.89 \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_B &= (\dot{E}_B - \dot{U}_{O'O}) \cdot Y_B = (-110 - j190.5 - 193.8 - j111.3) \cdot 0.089e^{-j26.56^\circ} = \\ &= (-303.8 - j301.8) \cdot 0.089e^{-j26.56^\circ} = 428.3e^{-j135.1^\circ} \cdot 0.089e^{-j26.56^\circ} = 38.11e^{-j161.7^\circ} = \\ &= -36.1 - j11.96 \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= (\dot{E}_C - \dot{U}_{O'O}) \cdot Y_C = (-110 + j190.5 - 193.8 - j111.3) \cdot 0.2e^{-j90^\circ} = \\ &= (-303.8 + j79.2) \cdot 0.2e^{-j90^\circ} = 314e^{j165.4^\circ} \cdot 0.2e^{-j90^\circ} = 62.8e^{j75.4^\circ} = 15.82 + j60.77 \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\dot{I}_O = \dot{U}_{O'O} \cdot Y_O = 223.5e^{j29.87^\circ} \cdot 0.2e^{j90^\circ} = 44.7e^{j119.87^\circ} = -22.26 + j38.76 \text{ А}.$$

**5. Составим баланс мощности:**

Комплексная мощность источников

$$\begin{aligned}\tilde{S}_u &= \dot{E}_A \cdot I_A^* + \dot{E}_B \cdot I_B^* + \dot{E}_C \cdot I_C^* = 220 \cdot 10.17 e^{j103.3^\circ} + 220 e^{-j120^\circ} \cdot 38.11 e^{j161.7^\circ} + \\ &220 e^{j120^\circ} \cdot 62.8 e^{-j75.4^\circ} = 2237.4 e^{j103.3^\circ} + 8384.2 e^{j41.7^\circ} + 13816 e^{j44.6^\circ} = -514.71 + j2177.3 + \\ &+ 6260 + j5578 + 9837.3 + j9700.1 = 15582.6 + j17455.3 \text{ ВА};\end{aligned}$$

$$\tilde{S}_u = 15582.6 + j17455.3 \text{ ВА};$$

Отсюда активная мощность источников:

$$P_u = 15582.6 \text{ Вт},$$

реактивная мощность источников:

$$Q_u = 17455.3 \text{ ВАр}.$$

Активная мощность приёмников:

$$P_{np} = I_A^2 \cdot r_2 + I_B^2 \cdot r_2 = 15558 \text{ Вт}.$$

Относительная погрешность по активной мощности:

$$\delta = \frac{P_u - P_{np}}{P_u} \cdot 100\% = \frac{15582 - 15558}{15582} \cdot 100\% = 0.15\%.$$

Реактивная мощность приёмников:

$$Q_{np} = I_A^2 \cdot x_{L_1} + I_B^2 \cdot x_{L_1} + I_C^2 \cdot x_{L_1} - I_O^2 \cdot x_C = 17507.7 \text{ ВАр}.$$

Относительная погрешность по реактивной мощности:

$$\delta = \frac{Q_u - Q_{np}}{Q_u} \cdot 100\% = \frac{17455 - 17507.7}{17455} \cdot 100\% = 0.3\%.$$

Таким образом, баланс мощности сходится в пределах допустимой (3%) погрешности.

## 6. Определим показания ваттметров:

$$P_1 = \operatorname{Re}[\dot{U}_{ab} \cdot I_A^*]; \quad \dot{I}_A \cdot r_2 - \dot{I}_B \cdot r_2 = \dot{U}_{ab};$$

$$\dot{U}_{ab} = (-2.33 - j9.89 + 36.1 + j11.96) \cdot 10 = (33.77 + j2.07) \cdot 10 = 338.33 e^{j3.5^\circ} \text{ В};$$

$$P_1 = \operatorname{Re}[338.33 e^{j3.5^\circ} \cdot 10.17 e^{j103.3^\circ}] = -994.5 \text{ Вт};$$

$$P_2 = \operatorname{Re}[\dot{U}_{cb} \cdot I_C^*]; \quad \dot{I}_B \cdot r_2 + \dot{U}_{cb} = 0;$$

$$\dot{U}_{cb} = -\dot{I}_B \cdot r_2 = -38.11 e^{-j161.7^\circ} \cdot 10 = 381.1 e^{j(-161.7^\circ + 180^\circ)} = 381.1 e^{j18.3^\circ} \text{ В};$$

$$P_2 = \operatorname{Re}[381.1 e^{j18.3^\circ} \cdot 62.8 e^{-j75.4^\circ}] = 12999.8 \text{ Вт}.$$

## 7. Построим векторную диаграмму:

$$\text{Масштаб напряжения: } m_U = 20 \frac{\text{В}}{\text{см}};$$

$$\text{Масштаб тока: } m_I = 10 \frac{\text{А}}{\text{см}}.$$

Порядок построения диаграммы:

- 1) В масштабе откладываем векторы токов  $\dot{I}_A$ ,  $\dot{I}_B$ ,  $\dot{I}_C$  и  $\dot{I}_O$ ;
- 2) В масштабе строим вектор напряжения смещения нейтрали  $\dot{U}_{O'O}$ ;
- 3) Вычисляем  $\dot{I}_A \cdot r_2 = 10.17 e^{-j103.3^\circ} \cdot 10 = 101.7 e^{-j103.3^\circ} \text{ В};$

из точки  $O'$  откладываем  $\dot{I}_A \cdot r_2 \parallel \dot{I}_A$ ;

$$\dot{I}_A \cdot jx_{L_1} = 10.17 e^{-j103.3^\circ} \cdot 5 e^{j90^\circ} = 50.85 e^{-j13.3^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{I}_A \cdot jx_{L_1} \perp \dot{I}_A.$$

Геометрическая сумма векторов  $(\dot{U}_{O'O}, \dot{I}_A \cdot r_2, \dot{I}_A \cdot jx_{L_1})$  даёт вектор  $\dot{E}_A$ .

4) Аналогично,

$$\dot{I}_B \cdot r_2 = 38.11e^{-j161.7^\circ} \cdot 10 = 381.1e^{-j161.7^\circ} \text{ B};$$

$$\dot{I}_B \cdot r_2 \parallel \dot{I}_B;$$

$$\dot{I}_B \cdot jx_{L_1} = 38.11e^{-j161.7^\circ} \cdot 5e^{j90^\circ} = 190.55e^{-j71.7^\circ} \text{ B};$$

$$\dot{I}_B \cdot jx_{L_1} \perp \dot{I}_B;$$

Геометрическая сумма векторов  $(\dot{U}_{O'O}, \dot{I}_B \cdot r_2, \dot{I}_B \cdot jx_{L_1})$  даёт вектор  $\dot{E}_B$ .

$$5) \dot{I}_C \cdot jx_{L_1} = 62.8e^{j75.4^\circ} \cdot 5e^{j90^\circ} = 314e^{j165.4^\circ} \text{ B};$$

$$\dot{I}_C \cdot jx_{L_1} \perp \dot{I}_C;$$

Геометрическая сумма векторов  $(\dot{U}_{O'O}, \dot{I}_C \cdot jx_{L_1})$  даёт вектор  $\dot{E}_C$ .

6) В результате получили трёхфазную симметричную систему э. д. с.  $\dot{E}_A = 220 \text{ B}$ ,  $\dot{E}_B = 220e^{-j120^\circ} \text{ B}$ ,  $\dot{E}_C = 220e^{j120^\circ} \text{ B}$ .

**Расчёты выполнены правильно!**

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= 10,17e^{-j103,3^\circ} [1 \text{ см}, -103,3^\circ] \\ \dot{I}_B &= 38,11e^{-j161,7^\circ} [3,8 \text{ см}, -161,7^\circ] \\ \dot{I}_C &= 62,8e^{j75,4^\circ} [6,3 \text{ см}, 75,4^\circ] \\ \dot{I}_O &= 44,7e^{j119,87^\circ} [4,5 \text{ см}, 119,87^\circ] \\ \dot{E}_A &= 220 [11 \text{ см}, 0^\circ] \\ \dot{E}_B &= 220e^{-j120^\circ} [11 \text{ см}, -120^\circ] \\ \dot{E}_C &= 220e^{j120^\circ} [11 \text{ см}, 120^\circ] \\ \dot{I}_A \cdot r_2 &= 101,7e^{-j103,3^\circ} [5,1 \text{ см}, -103,3^\circ] \\ \dot{I}_A \cdot jX_{L_1} &= 50,85e^{-j13,3^\circ} [2,5 \text{ см}, -13,3^\circ] \\ \dot{I}_B \cdot r_2 &= 381,1e^{-j161,7^\circ} [19 \text{ см}, -161,7^\circ] \\ \dot{I}_B \cdot jX_{L_1} &= 190,55e^{-j71,7^\circ} [9,5 \text{ см}, -71,7^\circ] \\ \dot{I}_C \cdot jX_{L_1} &= 314e^{j165,4^\circ} [15,7 \text{ см}, -165,4^\circ]\end{aligned}$$

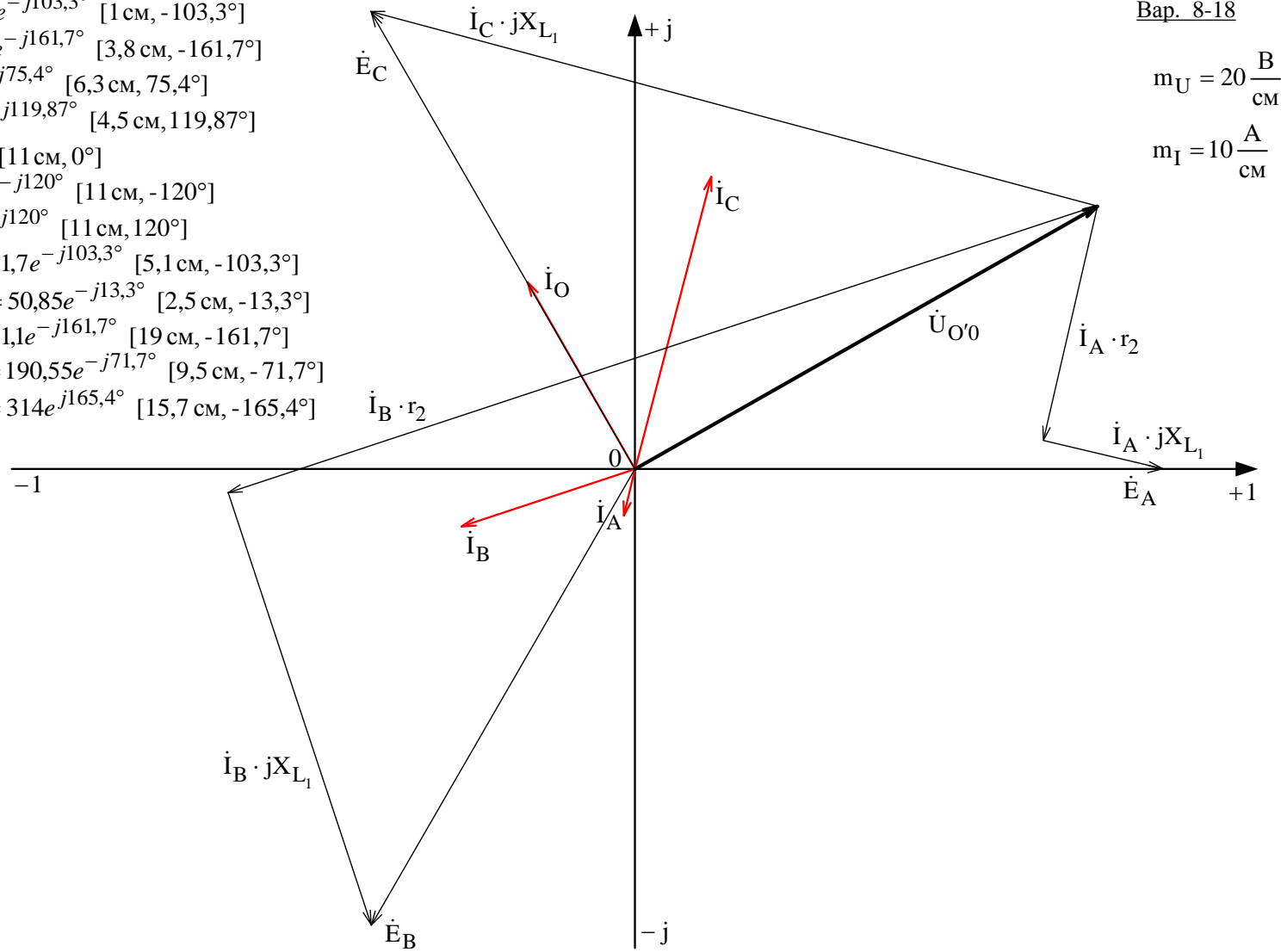


рис. 9

Пример №3  
**ВАРИАНТ 3-17**

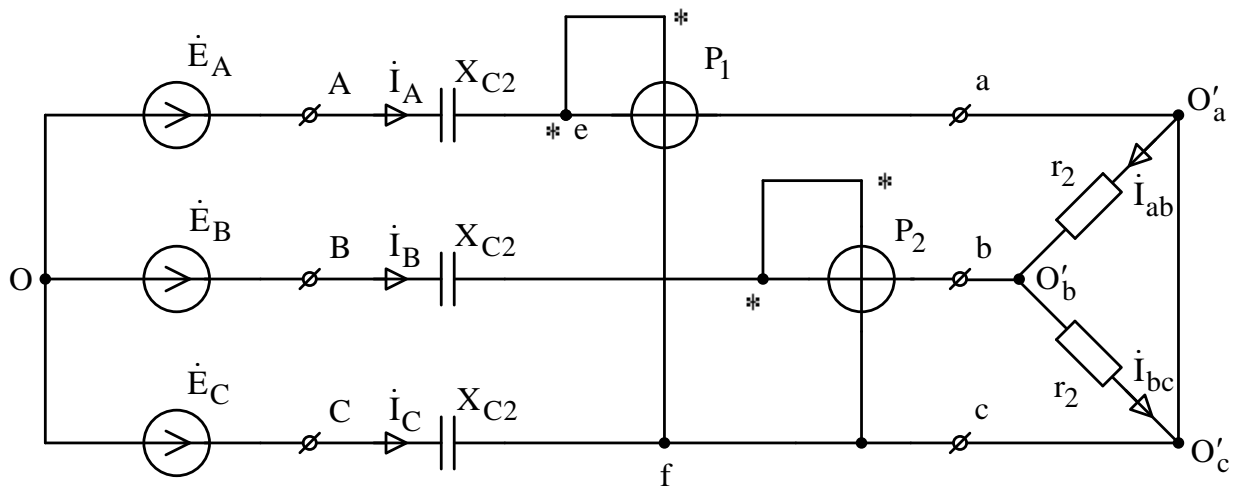


рис. 10.

**Исходные данные:**

$$E_A = 380 \text{ В};$$

$$r_2 = 6 \text{ Ом};$$

$$x_{C_2} = 5 \text{ Ом}.$$

**При решении задачи необходимо:**

1. Рассчитать токи во всех ветвях схемы;
2. Составить баланс мощности;
3. Определить показания ваттметров;
4. Построить векторную диаграмму.

**Решение:**

**1. Определяем комплексные сопротивления:**

$$Z_A = -jx_{C_2} = -j5 = 5e^{-j90^\circ} \text{ Ом};$$

Сопротивления  $Z_{ab}$  и  $Z_{bc}$  включены между собой параллельно (рис. 10)

$$r_3 = \frac{r_2 \cdot r_2}{2r_2} = 0.5r_2 = 3 \text{ Ом};$$

$$Z_B = -jx_{C_2} + r_3 = -j5 + 3 = 3 - j5 = 5.83e^{-j59^\circ} \text{ Ом};$$

$$Z_C = -jx_{C_2} = -j5 = 5e^{-j90^\circ} \text{ Ом}.$$

**2. Определяем комплексные проводимости:**

$$Y_A = \frac{1}{Z_A} = \frac{1}{5e^{-j90^\circ}} = 0.2e^{j90^\circ} = j0.2 \text{ См};$$

$$Y_B = \frac{1}{Z_B} = \frac{1}{5.83e^{-j59^\circ}} = 0.171e^{j59^\circ} = 0.088 + j0.146 \text{ См};$$

$$Y_C = \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{5e^{-j90^\circ}} = 0.2e^{j90^\circ} = j0.2 \text{ См}.$$

**3. Определяем напряжение смещения нейтрали:**

$$\begin{aligned}
 \dot{U}_{o'o} &= \frac{\dot{E}_A \cdot Y_A + \dot{E}_B \cdot Y_B + \dot{E}_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} = \\
 &= \frac{380 \cdot 0.2e^{j90^\circ} + 380e^{-j120^\circ} \cdot 0.171e^{j59^\circ} + 380e^{j120^\circ} \cdot 0.2e^{j90^\circ}}{j0.2 + 0.088 + j0.146 + j0.2} = \\
 &= \frac{76e^{j90^\circ} + 65e^{-j61^\circ} + 76e^{j210^\circ}}{0.088 + j0.546} = \frac{j76 + 31.51 - j56.85 - 65.8 - j38}{0.553e^{j80.8^\circ}} = \frac{-34.3 - j18.85}{0.553e^{j80.8^\circ}} = \\
 &= \frac{39.13e^{-j151.2^\circ}}{0.553e^{j80.8^\circ}} = 70.76e^{-j232^\circ} = -43.56 + j55.75 \text{ В.}
 \end{aligned}$$

#### 4. Определяем линейные токи:

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_A &= (\dot{E}_A - \dot{U}_{o'o}) \cdot Y_A = (380 + 43.56 - j55.75) \cdot 0.2e^{j90^\circ} = (423.56 - j55.75) \cdot 0.2e^{j90^\circ} = \\
 &= 427.2e^{-j7.5^\circ} \cdot 0.2e^{j90^\circ} = 85.44e^{j82.5^\circ} = 11.15 + j84.7 \text{ А};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_B &= (\dot{E}_B - \dot{U}_{o'o}) \cdot Y_B = (-190 - j329 + 43.56 - j55.75) \cdot 0.171e^{j59^\circ} = \\
 &= (-146.5 - j384.75) \cdot 0.171e^{j59^\circ} = 411.7e^{-j110.84^\circ} \cdot 0.171e^{j59^\circ} = 70.4e^{-j51.84^\circ} = 43.49 - j55.35 \text{ А};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_C &= (\dot{E}_C - \dot{U}_{o'o}) \cdot Y_C = (-190 + j329 + 43.56 - j55.75) \cdot 0.2e^{j90^\circ} = \\
 &= (-146.44 + j273.25) \cdot 0.2e^{j90^\circ} = 310e^{j118.2^\circ} \cdot 0.2e^{j90^\circ} = 62e^{j208.2^\circ} = -54.64 - j29.3 \text{ А};
 \end{aligned}$$

Проверяем правильность расчёта по первому закону Кирхгофа:

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

$$11.15 + j84.7 + 43.49 - j55.35 - 54.64 - j29.3 = 0;$$

$$0 + j0.05 \approx 0.$$

Определяем фазные токи треугольника  $\dot{I}_{ab}$ ,  $\dot{I}_{bc}$  в исходной схеме (рис. 10).

Для этого определим напряжение между точками  $a$  и  $b$  эквивалентной схемы (рис. 11)

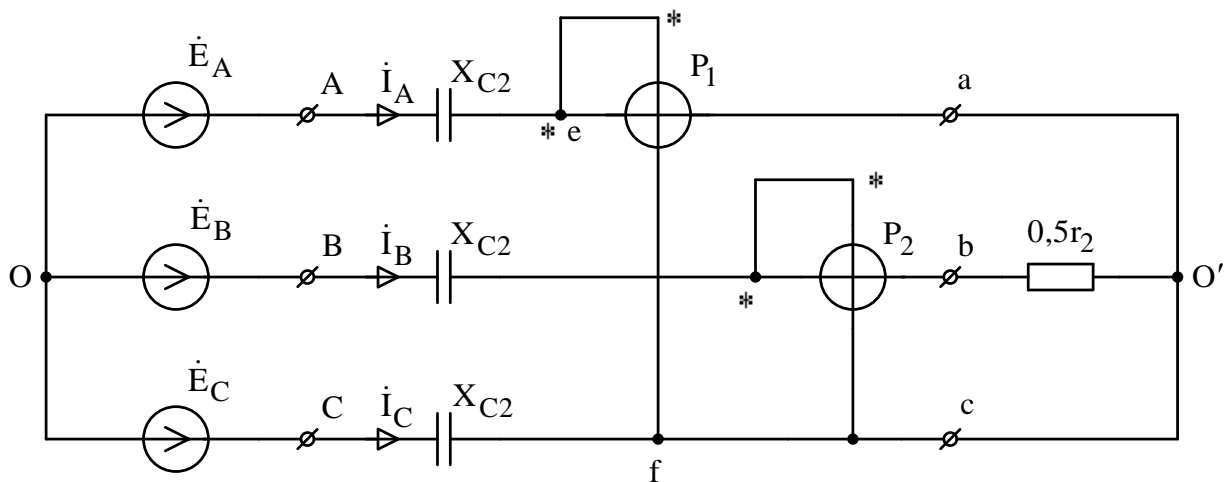


рис. 11.

$$\dot{U}_{ab} = (-\dot{I}_B) \cdot 0.5r_2 = -70.4e^{-j51.84^\circ} \cdot 3 = 211.2e^{j128.2^\circ} \text{ В.}$$

Тогда

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{r_2} = \frac{211.2e^{j128.2^\circ}}{6} = 35.2e^{j128.2^\circ} \text{ А.}$$



Поскольку точки  $a$  и  $c$  короткозамкнуты, то

$$\dot{U}_{bc} = -\dot{U}_{ab}.$$

$$\dot{U}_{bc} = 211.2e^{j(128.2^\circ + 180^\circ)} = 211.2e^{j308.2^\circ} \text{ В}.$$

Тогда

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{r_2} = \frac{211.2e^{-j51.8^\circ}}{6} = 35.2e^{-j51.8^\circ} \text{ А}.$$

## 5. Составим баланс мощности для схемы (рис. 2):

Комплексная мощность источников

$$\begin{aligned} \tilde{S}_u &= \dot{E}_A \cdot \dot{I}_A^* + \dot{E}_B \cdot \dot{I}_B^* + \dot{E}_C \cdot \dot{I}_C^* = 380 \cdot 85.44e^{-j82.5^\circ} + 380e^{-j120^\circ} \cdot 70.4e^{j51.84^\circ} + \\ &380e^{j120^\circ} \cdot 62e^{-j208.2^\circ} = 32467.2e^{-j82.5^\circ} + 26752e^{-j68.16^\circ} + 23560e^{-j88.2^\circ} = 4237.8 - j32189.4 + \\ &+ 9952 - j24831.9 + 740 - j23548 = 14929 - j80569.3 \text{ ВА}; \\ \tilde{S}_u &= 14929 - j80569.3 \text{ ВА}; \end{aligned}$$

Отсюда активная мощность источников:

$$P_u = 14929 \text{ Вт},$$

реактивная мощность источников:

$$Q_u = -80569.3 \text{ ВАр}.$$

Активная мощность приёмников:

$$P_{np} = I_B^2 \cdot 0.5r_2 = 14868.5 \text{ Вт}.$$

Относительная погрешность по активной мощности:

$$\delta = \frac{P_u - P_{np}}{P_u} \cdot 100\% = \frac{14929 - 14868.5}{14929} \cdot 100\% = 0.405\%.$$

Реактивная мощность приёмников:

$$Q_{np} = I_A^2 \cdot (-x_{C_2}) + I_B^2 \cdot (-x_{C_2}) + I_C^2 \cdot (-x_{C_2}) = -80500.8 \text{ ВАр}.$$

Относительная погрешность по реактивной мощности:

$$\delta = \frac{Q_u - Q_{np}}{Q_u} \cdot 100\% = \frac{80569.3 - 80500.8}{80569.3} \cdot 100\% = 0.085\%.$$

Таким образом, баланс мощности сходится в пределах допустимой (3%) погрешности.

## 6. Определим показания ваттметров:

$$P_1 = \text{Re}[\dot{U}_{ef} \cdot \dot{I}_A^*];$$

$$\dot{U}_{ef} = 0; \quad P_1 = 0 \text{ Вт}.$$

$$P_2 = \text{Re}[\dot{U}_{bc} \cdot \dot{I}_B^*];$$

$$P_2 = \text{Re}[211.2e^{-j51.8^\circ} \cdot 70.4e^{j51.8^\circ}] = 14910.7 \text{ Вт}.$$

## 7. Построим векторную диаграмму:

$$\text{Масштаб напряжения: } m_U = 40 \frac{\text{В}}{\text{см}};$$

$$\text{Масштаб тока: } m_I = 10 \frac{\text{А}}{\text{см}}.$$

Порядок построения диаграммы:

1) В масштабе строим векторы токов  $\dot{I}_A$ ,  $\dot{I}_B$ ,  $\dot{I}_C$ ;

2) В масштабе откладываем вектор напряжения смещения нейтрали  $\dot{U}_{o'o}$ ;

3) Вычисляем  $\dot{I}_A \cdot (-jx_{C_2}) = 85.44e^{j82.5^\circ} \cdot 5e^{-j90^\circ} = 427.2e^{-j7.5^\circ} \text{ В}$ ;

$$\dot{I}_A \cdot (-jx_{C_2}) \perp \dot{I}_A.$$

Геометрическая сумма векторов  $\dot{U}_{o'o}$  и  $\dot{I}_A \cdot (-jx_{C_2})$  даёт вектор  $\dot{E}_A$ .

4) Аналогично производим построения для фазы  $B$  и фазы  $C$ .

5) В результате получили трёхфазную симметричную систему э. д. с.  $\dot{E}_A = 380$

$$\text{В}, \dot{E}_B = 380e^{-j120^\circ} \text{ В}, \dot{E}_C = 380e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

**Расчёты выполнены правильно!**

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= 85,44e^{j82,5^\circ} [8,5 \text{ см}, 82,5^\circ] \\ \dot{I}_B &= 70,4e^{-j51,84^\circ} [7 \text{ см}, -51,84^\circ] \\ \dot{I}_C &= 62e^{j208,2^\circ} [6,2 \text{ см}, 208,2^\circ] \\ \dot{E}_A &= 380 [9,5 \text{ см}, 0^\circ] \\ \dot{E}_B &= 380e^{-j120^\circ} [9,5 \text{ см}, -120^\circ] \\ \dot{E}_C &= 380e^{j120^\circ} [9,5 \text{ см}, 120^\circ]\end{aligned}$$

$$m_U = 40 \frac{\text{В}}{\text{см}}$$

$$m_I = 10 \frac{\text{В}}{\text{см}}$$

$$\begin{aligned}\dot{I}_A \cdot (-jX_{C_2}) &= 427,2e^{-j7,5^\circ} [10,7 \text{ см}, -7,5^\circ] \\ \dot{I}_B \cdot 0,5r_2 &= 211,2e^{-j51,84^\circ} [5,3 \text{ см}, -51,84^\circ] \\ \dot{I}_B \cdot (-jX_{C_2}) &= 352e^{-j114,84^\circ} [8,8 \text{ см}, -141,84^\circ]\end{aligned}$$

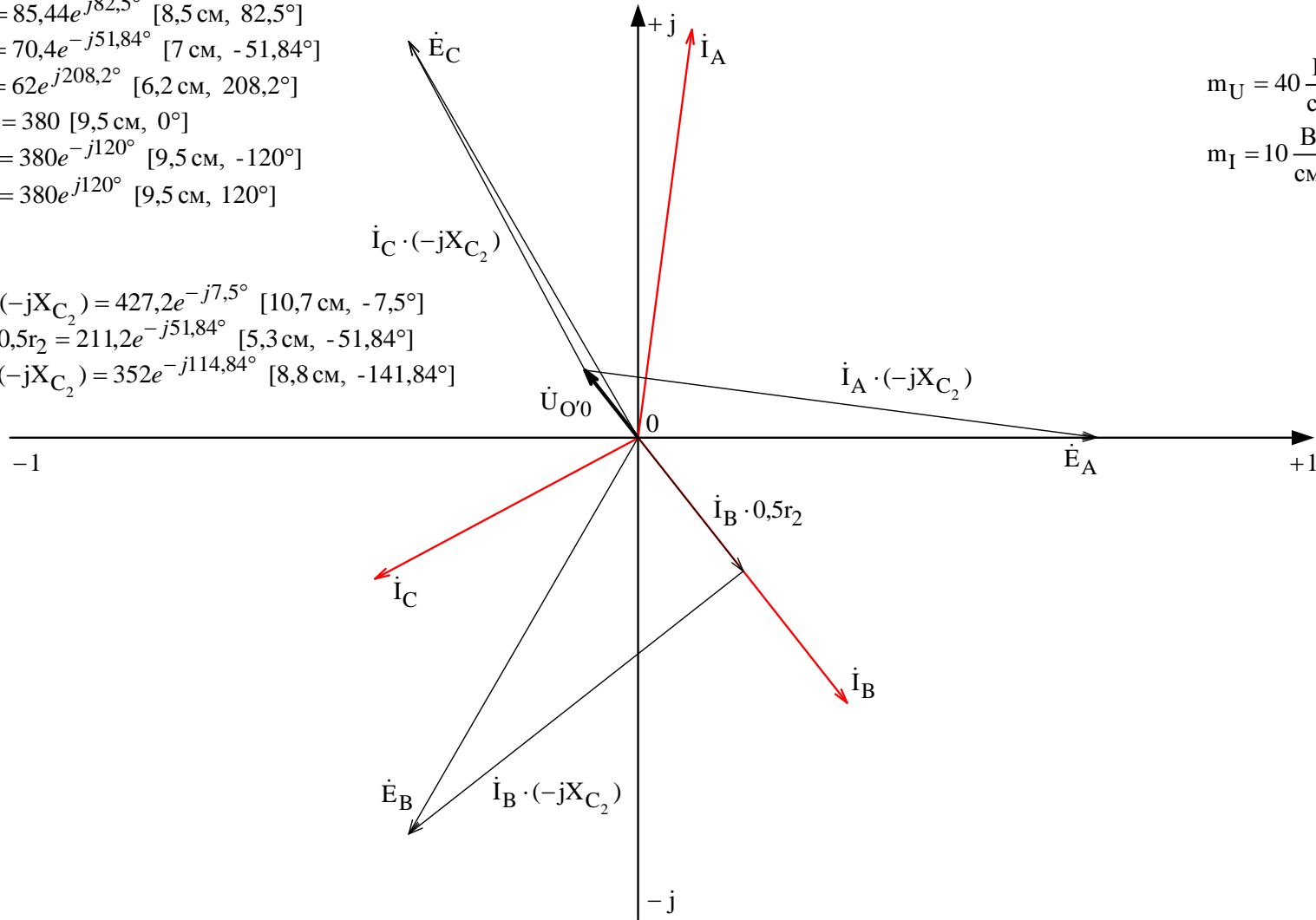


рис. 12

#### Пример №4

#### Расчет трехфазной цепи звезда - треугольник

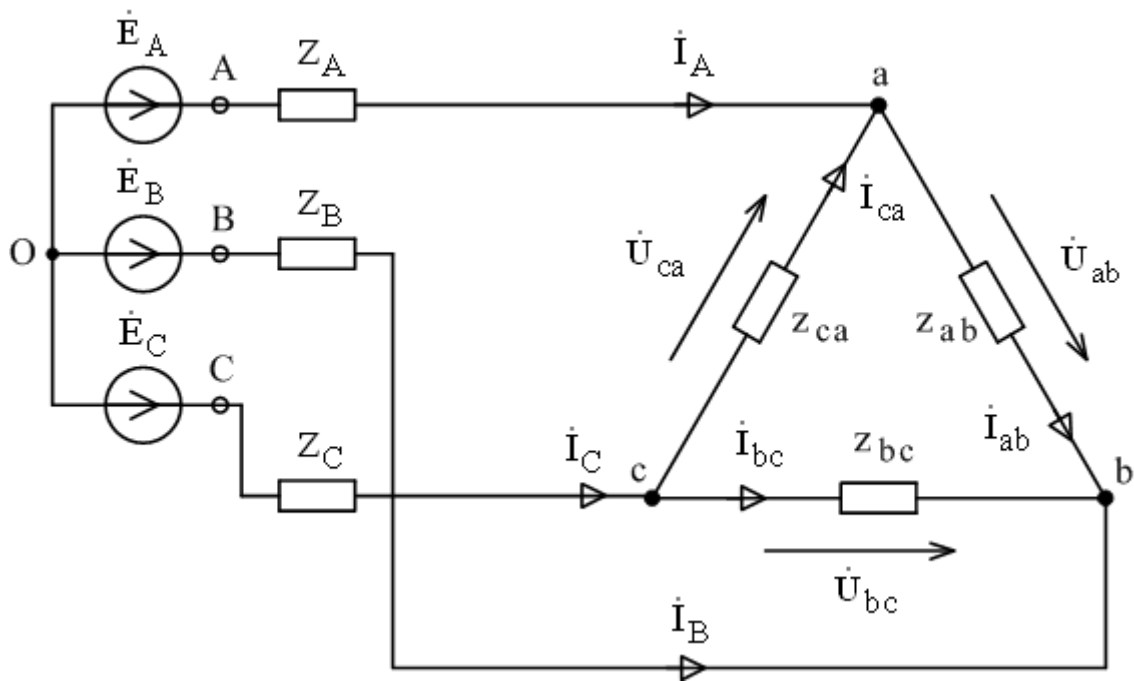


рис.13

Преобразуем треугольник сопротивлений в звезду, тогда схема принимает вид

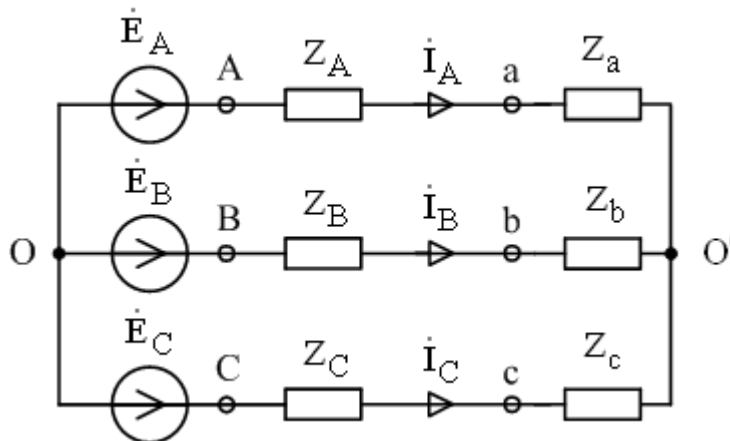


рис. 14

$$i := 0 + j$$

Действующее значение ЭДС фазы А - **ввод исходных данных из таблицы 1**

$$E := 380$$

Начальная фаза ЭДС фазы А, град - ***ввод исходных данных из таблицы 1***

$$\beta := 0$$

Начальная фаза ЭДС фазы А, рад

$$\beta_a := \beta \cdot \frac{\pi}{180} \quad \beta_a = 0$$

Действительная часть ЭДС фазы А

$$E_{Aa} := E \cdot \cos(\beta_a) \quad E_{Aa} = 380$$

Мнимая часть ЭДС фазы А

$$E_{Ap} := E \cdot \sin(\beta_a) \quad E_{Ap} = 0$$

Комплексное действующее значение ЭДС фазы А

$$E_A := E_{Aa} + i \cdot E_{Ap} \quad E_A = 380$$

$$|E_A| = 380 \quad \arg(E_A) = 0 \cdot \text{deg}$$

Начальная фаза ЭДС фазы В, рад

$$\beta_b := (\beta - 120) \cdot \frac{\pi}{180} \quad \beta_b = -2.094$$

Действительная часть ЭДС фазы В

$$E_{Ba} := E \cdot \cos(\beta_b) \quad E_{Ba} = -190$$

Мнимая часть ЭДС фазы В

$$E_{Br} := E \sin(\beta_b) \quad E_{Br} = -329.09$$

Комплексное действующее значение ЭДС фазы В

$$E_B := E_{Ba} + i \cdot E_{Br} \quad E_B = -190 - 329.09i \quad |E_B| = 380$$

$$\arg(E_B) = -120 \text{ deg}$$

Начальная фаза ЭДС фазы С, рад

$$\beta_c := (\beta + 120) \cdot \frac{\pi}{180} \quad \beta_c = 2.094$$

Действительная часть ЭДС фазы С

$$E_{Ca} := E \cos(\beta_c) \quad E_{Ca} = -190$$

Мнимая часть ЭДС фазы С

$$E_{Cr} := E \sin(\beta_c) \quad E_{Cr} = 329.09$$

Комплексное действующее значение ЭДС фазы С

$$E_C := E_{Ca} + i \cdot E_{Cr} \quad E_C = -190 + 329.09i \quad |E_C| = 380$$

$$\arg(E_C) = 120 \text{ deg}$$

Частота переменного тока, Гц

$$f := 50$$

Угловая частота, рад\с

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f$$

Параметры пассивных элементов цепи - **ввод исходных данных из таблицы 1**

$$R_1 := 5 \quad R_2 := 6 \quad R_0 := 1$$

$$x_{L1} := 5 \quad x_{L2} := 6 \quad x_{L0} := 2$$

$$x_{C1} := 4 \quad x_{C2} := 5 \quad x_{C0} := 3$$

Комплексные сопротивления отдельных участков трехфазной цепи - **ввод исходных данных в соответствии со схемой трехфазной цепи**

$$Z_A := -i \cdot x_{C2} \quad Z_A = -5i \quad |Z_A| = 5 \quad \arg(Z_A) = -90 \text{ deg}$$

$$Z_B := -i \cdot x_{C2} \quad Z_B = -5i \quad |Z_B| = 5 \quad \arg(Z_B) = -90 \text{ deg}$$

$$Z_C := -i \cdot x_{C2} \quad Z_C = -5i \quad |Z_C| = 5 \quad \arg(Z_C) = -90 \text{ deg}$$

$$Z_{ab} := R_2 \quad Z_{ab} = 6 \quad |Z_{ab}| = 6 \quad \arg(Z_{ab}) = 0 \text{ deg}$$

$$Z_{bc} := R_2 \quad Z_{bc} = 6 \quad |Z_{bc}| = 6 \quad \arg(Z_{bc}) = 0 \text{ deg}$$

$$Z_{ca} := 0 \quad Z_{ca} = 0 \quad |Z_{ca}| = 0 \quad \arg(Z_{ca}) = \bullet$$

Преобразуем треугольник сопротивлений в эквивалентную звезду.  
Дальнейший расчет будем проводить для цепи звезда - звезда.

$$Z_a := \frac{Z_{ab} \cdot Z_{ca}}{Z_{ab} + Z_{ca} + Z_{bc}} \quad Z_a = 0 \quad |Z_a| = 0 \quad \arg(Z_a) = \bullet \text{ deg}$$

$$Z_b := \frac{Z_{ab} \cdot Z_{bc}}{Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}} \quad Z_b = 3 \quad |Z_b| = 3 \quad \arg(Z_b) = 0 \text{ deg}$$

$$Z_c := \frac{Z_{ca} \cdot Z_{bc}}{Z_{ca} + Z_{bc} + Z_{ab}} \quad Z_c = 0 \quad |Z_c| = 0 \quad \arg(Z_c) = \bullet \cdot \text{deg}$$

Комплексные проводимости отдельных участков трехфазной цепи

$$Y_A := \frac{1}{Z_A + Z_a} \quad Y_A = 0.2i$$

$$Y_B := \frac{1}{Z_B + Z_b} \quad Y_B = 0.088 + 0.147i$$

$$Y_C := \frac{1}{Z_C + Z_c} \quad Y_C = 0.2i$$

Напряжение смещения нейтрали

$$U_{00} := \frac{(E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C)}{Y_A + Y_B + Y_C} = -43.636 + 55.454i$$

$$|U_{00}| = 70.564 \quad \arg(U_{00}) = 128.199 \text{deg}$$

Находим линейные токи

$$I_A := \frac{E_A - U_{00}}{Z_A + Z_a} \quad I_A = 11.091 + 84.727i$$

$$|I_A| = 85.45 \quad \arg(I_A) = 82.542 \text{deg}$$

$$I_B := \frac{E_B - U_{00}}{Z_B + Z_b} \quad I_B = 43.636 - 55.454i$$

$$|I_B| = 70.564 \quad \arg(I_B) = -51.801 \text{deg}$$



$$I_C := \frac{E_C - U_{00}}{Z_C + Z_c} \quad I_C = -54.727 - 29.273i$$

$$|I_C| = 62.064 \quad \arg(I_C) = -151.858 \text{deg}$$

### Комплексная мощность источников

$$S := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S = 1.494 \times 10^4 - 8.066i \times 10^4$$

### Активная мощность источников

$$P_{\text{ist}} := \text{Re}(S) \quad P_{\text{ist}} = 1.494 \times 10^4$$

### Реактивная мощность источников

$$Q_{\text{ist}} := \text{Im}(S) \quad Q_{\text{ist}} = -8.066 \times 10^4$$

### Активная мощность приемников, Вт

$$P_{\text{pr}} := (|I_A|)^2 \cdot \text{Re}(Z_A + Z_a) + (|I_B|)^2 \cdot \text{Re}(Z_B + Z_b) + (|I_C|)^2 \cdot \text{Re}(Z_C + Z_c)$$

$$P_{\text{pr}} = 1.494 \times 10^4$$

### Реактивная мощность приемников, ВАр

$$Q_{\text{pr}} := (|I_A|)^2 \cdot \text{Im}(Z_A + Z_a) + (|I_B|)^2 \cdot \text{Im}(Z_B + Z_b) + (|I_C|)^2 \cdot \text{Im}(Z_C + Z_c)$$

$$Q_{\text{pr}} = -8.066 \times 10^4$$

Комплексные действующие значения напряжений  
на отдельных пассивных элементах цепи

Напряжения на элементах в линейном проводе А  
и в фазе нагрузки а

$$U_A := I_A \cdot Z_A \quad U_A = 423.636 - 55.454i$$

$$|U_A| = 427.25 \quad \arg(U_A) = -7.458 \text{deg}$$

$$U_a := I_A \cdot Z_a \quad U_a = 0$$

$$|U_a| = 0 \quad \arg(\mathbf{U_a}) = \bullet \cdot \text{deg}$$

Напряжения на элементах в линейном проводе В  
и в фазе нагрузки в

$$U_B := I_B \cdot Z_B \quad U_B = -277.272 - 218.181i$$

$$|U_B| = 352.821 \quad \arg(U_B) = -141.801 \text{deg}$$

$$U_b := I_B \cdot Z_b \quad U_b = 130.908 - 166.363i$$

$$|U_b| = 211.693 \quad \arg(U_b) = -51.801 \text{deg}$$

Напряжения на элементах в линейном проводе С  
и в фазе нагрузки с

$$U_C := I_C \cdot Z_C \quad U_C = -146.364 + 273.635i$$

$$|U_C| = 310.32 \quad \arg(U_C) = 118.142 \text{deg}$$

$$U_c := I_C \cdot Z_c \quad U_c = 0$$

$$|U_c| = 0 \quad \arg(\mathbf{U_c}) = \bullet \cdot \text{deg}$$

## Определение фазных напряжений исходного треугольника нагрузки

$$U_{ab} := U_a - U_b$$

$$U_{ab} = -130.908 + 166.363i$$

$$|U_{ab}| = 211.693$$

$$\arg(U_{ab}) = 128.199\text{deg}$$

$$U_{bc} := U_b - U_c$$

$$U_{bc} = 130.908 - 166.363i$$

$$|U_{bc}| = 211.693$$

$$\arg(U_{bc}) = -51.801\text{deg}$$

$$U_{ca} := U_c - U_a$$

$$U_{ca} = 0$$

$$|U_{ca}| = 0$$

$$\arg(\textcolor{red}{U}_{ca}) = \blacksquare \cdot \text{deg}$$

## Определение фазных токов исходного треугольника нагрузки

$$I_{ab} := \frac{U_{ab}}{Z_{ab}}$$

$$I_{ab} = -21.818 + 27.727i$$

$$|I_{ab}| = 35.282$$

$$\arg(I_{ab}) = 128.199\text{deg}$$

$$I_{bc} := \frac{U_{bc}}{Z_{bc}}$$

$$I_{bc} = 21.818 - 27.727i$$

$$|I_{bc}| = 35.282$$

$$\arg(I_{bc}) = -51.801\text{deg}$$

$$I_{ca} := \frac{U_{ca}}{Z_{ca}}$$

$$I_{ca} = 0$$

$$|I_{ca}| = 0$$

$$\arg(\textcolor{red}{I}_{ca}) = \blacksquare \cdot \text{deg}$$

## Определение показаний ваттметра P1

**Вариант 1** - обмотка напряжения ваттметра подключена к зажимам ab, а обмотка тока включена в рассечку линейного провода A.

Показание ваттметра P1, Вт

$$P_1 := \operatorname{Re}(U_{ab} \cdot \overline{I_A}) \quad P_1 = 1.264 \times 10^4$$

**Вариант 2**- обмотка напряжения ваттметра подключена к зажимам ac, а обмотка тока включена в рассечку линейного провода A. Находим напряжение на участке ac.

$$\begin{aligned} U_{ac} &:= U_a - U_c & U_{ac} &= 0 \\ |U_{ac}| &= 0 & \arg(U_{ac}) &= \bullet \cdot \deg \end{aligned}$$

Показание ваттметра P1, Вт

$$P_1 := \operatorname{Re}(U_{ac} \cdot \overline{I_A}) \quad P_1 = 0$$

## Определение показаний ваттметра P2

**Вариант 1** - обмотка напряжения ваттметра подключена к зажимам bc, а обмотка тока включена в рассечку линейного провода B.

Показание ваттметра P2, Вт

$$P_2 := \operatorname{Re}(U_{bc} \cdot \overline{I_B}) \quad P_2 = 1.494 \times 10^4$$

**Вариант 2**- обмотка напряжения ваттметра подключена к зажимам cb, а обмотка тока включена в рассечку линейного провода C. Находим напряжение на участке cb

$$U_{cb} := U_c - U_b \quad U_{cb} = -130.908 + 166.363i$$

$$|U_{cb}| = 211.693 \quad \arg(U_{cb}) = 128.199 \text{deg}$$

Показание ваттметра P2, Вт

$$P_2 := \operatorname{Re}(U_{cb} \cdot \overline{I_C}) \quad P_2 = 2.294 \times 10^3$$

### **Варианты задания**

**Задача 1.** Расчет несимметричной трехфазной цепи.

Шифр задания состоит из двух чисел : номера строки из таблицы 1 и номера схемы. При решении задачи необходимо:

1. рассчитать токи во всех ветвях схемы;
2. составить баланс мощности;
3. определить показания ваттметра;
4. построить векторную диаграмму.

Таблица 1

№ п\п	$E_A,$ В	$r_1,$ Ом	$x_{L1},$ Ом	$x_{C1},$ Ом	$r_2,$ Ом	$x_{L2},$ Ом	$x_{C2},$ Ом	$r_0$ Ом	$x_{L0},$ Ом	$x_{C0},$ Ом
1	127	5	5	4	7	6	7	1	2	3
2	220	2	2	4	4	5	4	2	3	4
3	380	1	1	4	6	6	5	3	4	5
4	127	3	3	5	8	8	6	4	5	1
5	220	4	4	6	5	5	8	5	1	2
6	380	6	5	6	10	10	12	1	2	3
7	127	1	1	3	7	8	7	2	3	4
8	220	5	5	8	10	12	10	3	4	5
9	380	2	2	1	6	4	6	4	5	1
10	127	4	4	2	8	6	8	5	1	2
11	220	3	5	3	4	8	4	1	2	3
12	380	6	6	7	5	7	5	2	3	4
13	127	1	2	1	10	12	10	3	4	5
14	220	4	5	4	8	8	5	4	5	1
15	380	3	3	5	9	7	9	5	1	2
16	127	5	4	5	7	5	7	1	2	3
17	220	2	4	2	4	5	4	2	3	4
18	380	6	5	6	15	10	15	3	4	5
19	127	1	1	1	8	8	8	4	5	1
20	220	5	5	8	12	10	12	5	1	2

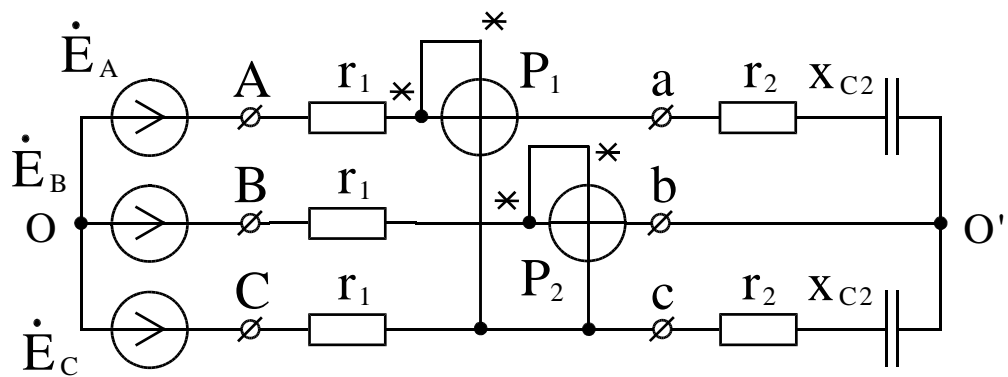


Рис. 15

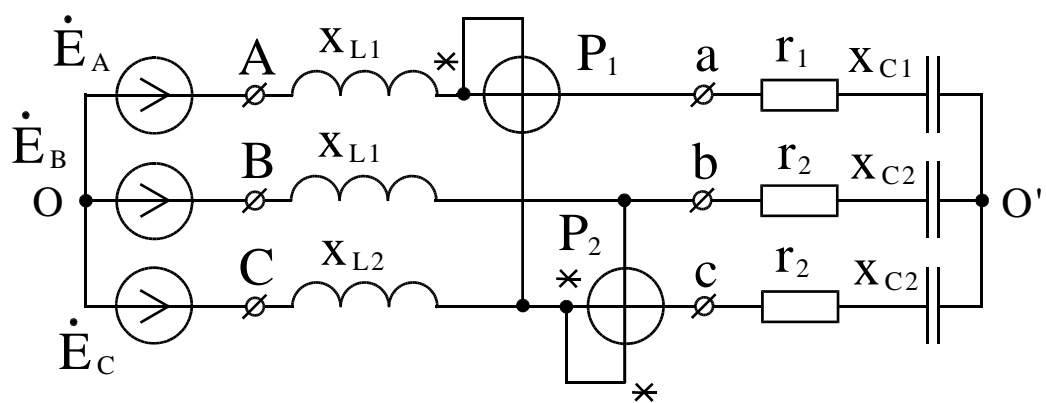


Рис. 16

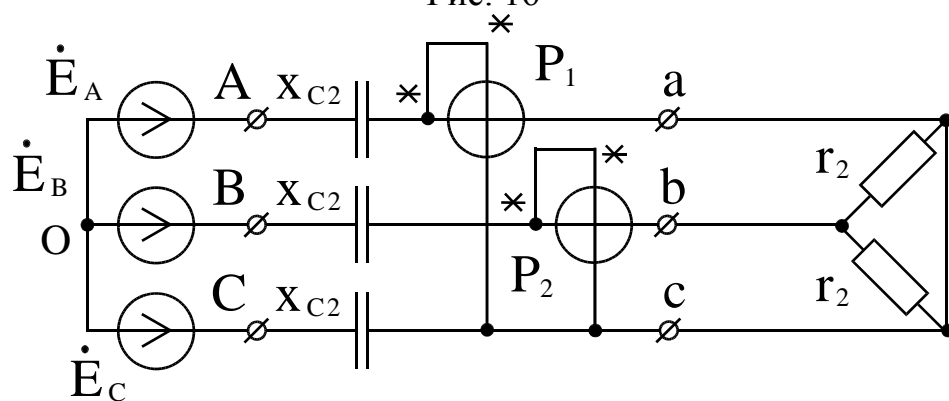


Рис. 17

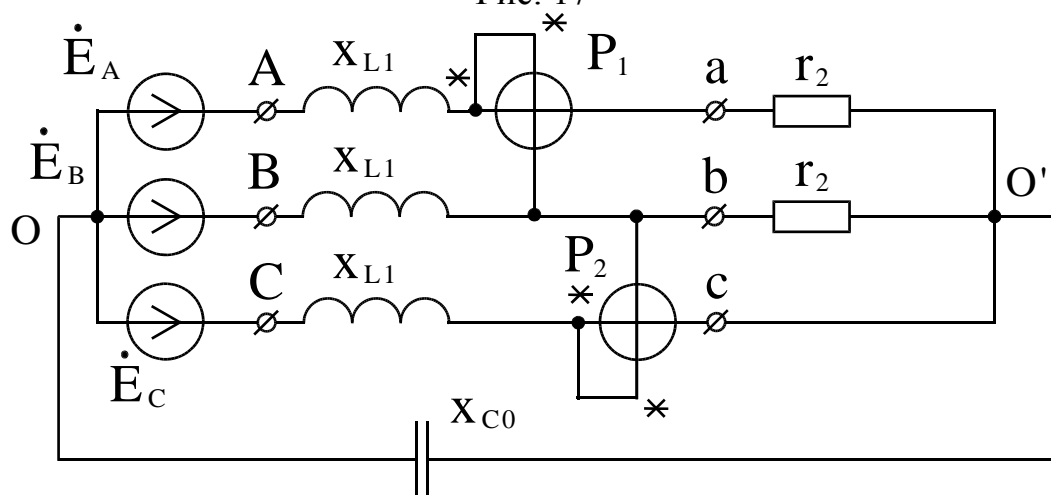


Рис. 18

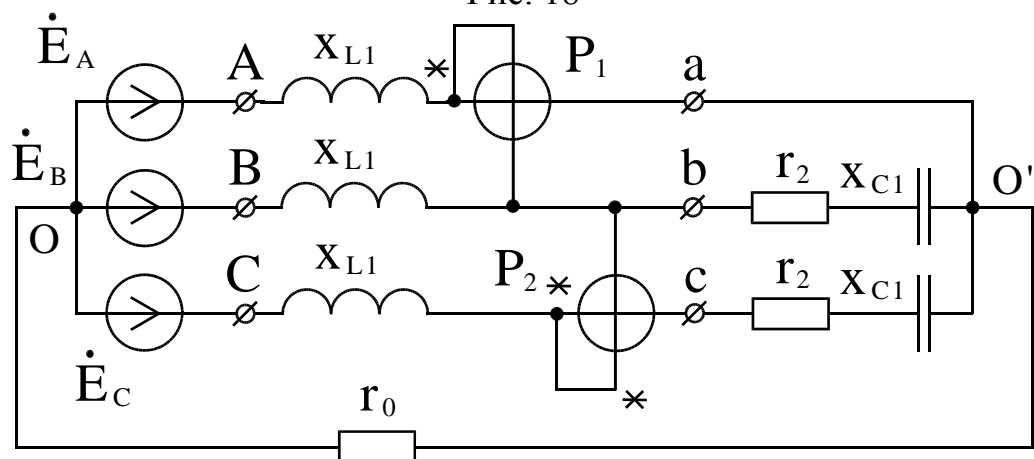


Рис. 19

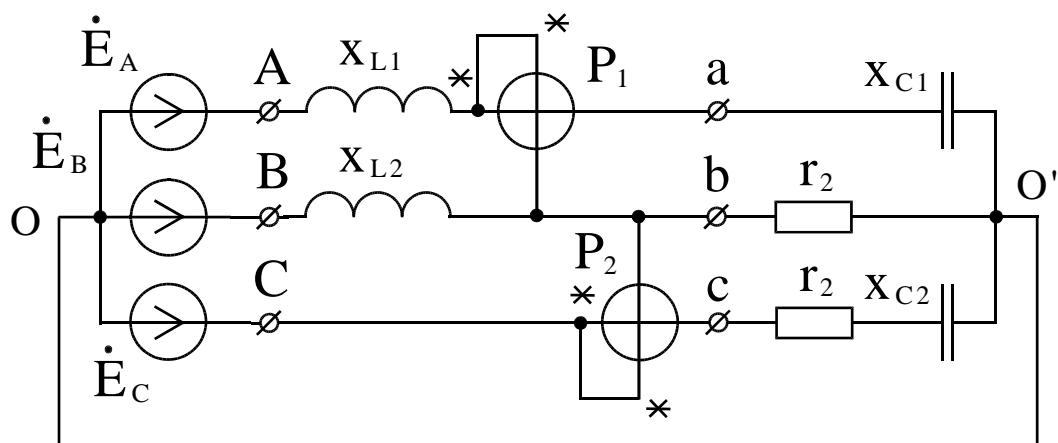


Рис. 20

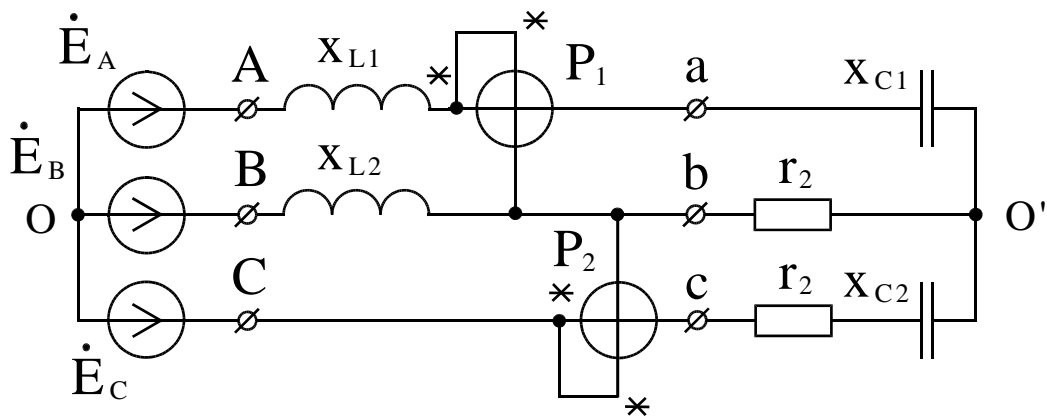


Рис. 21

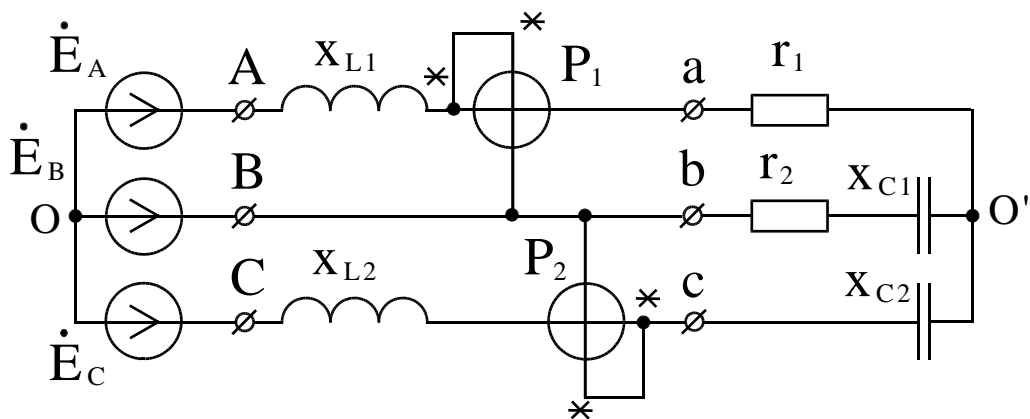


Рис. 22



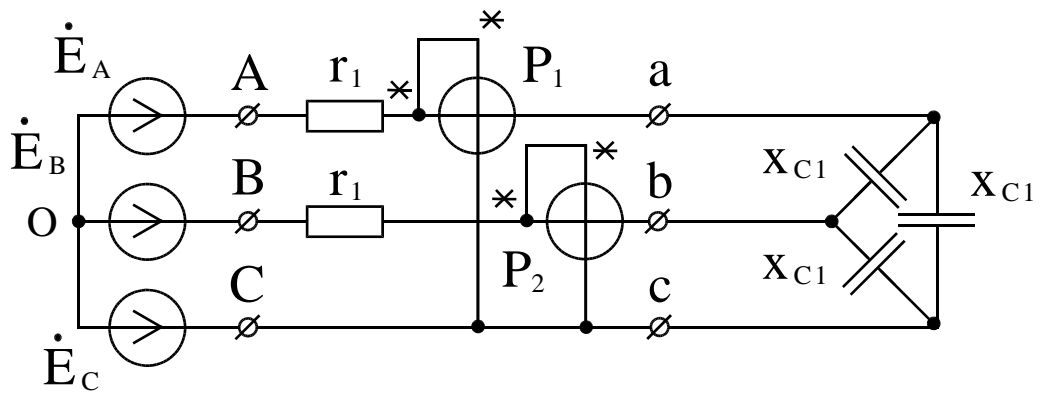


Рис. 23

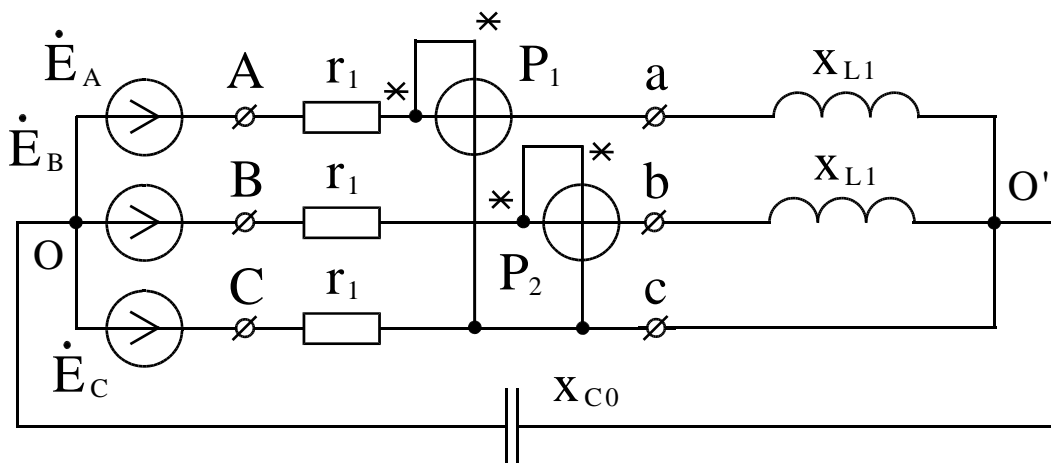


Рис. 24

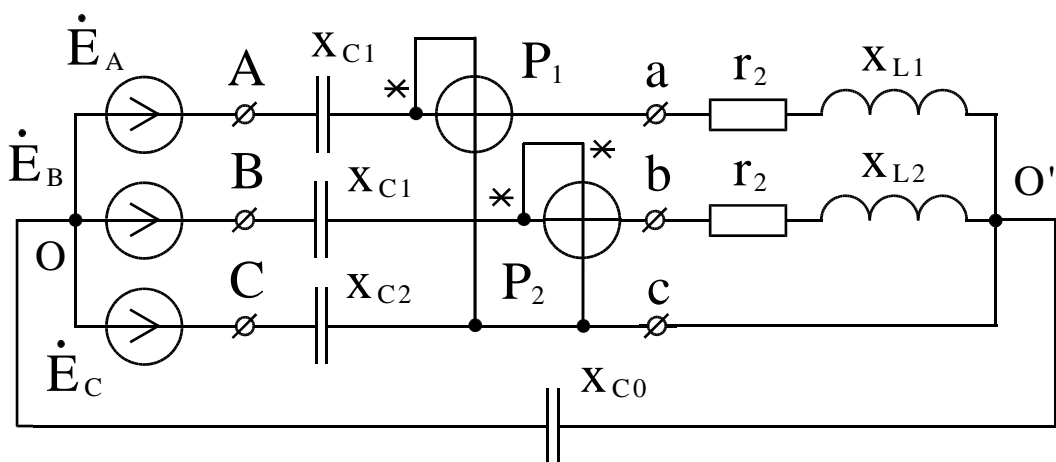


Рис. 25

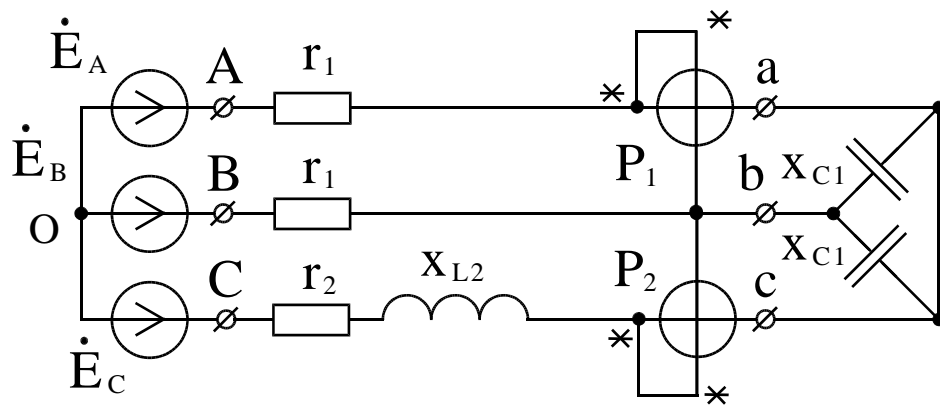


Рис. 26

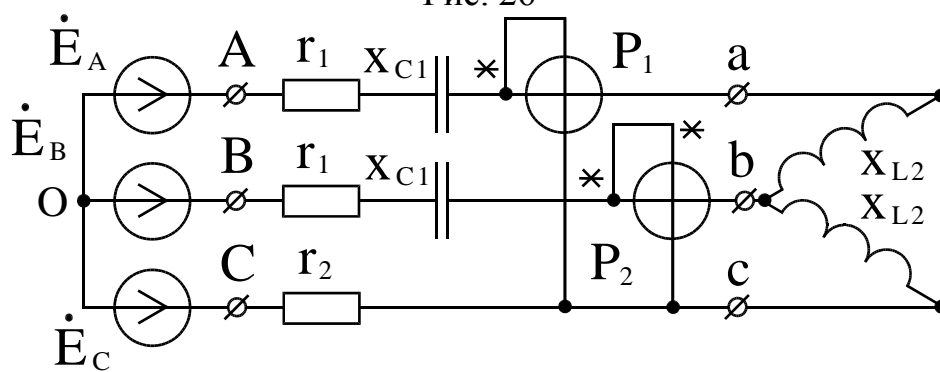


Рис. 27

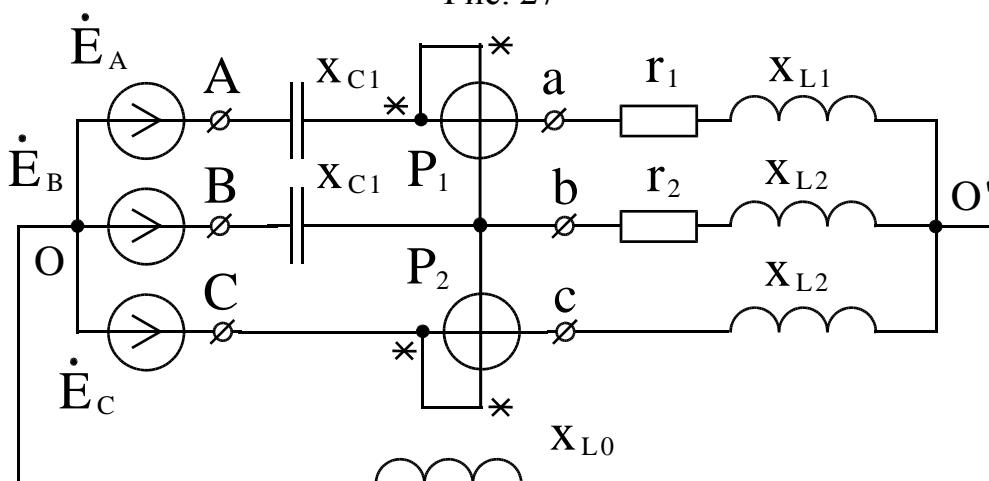


Рис. 28

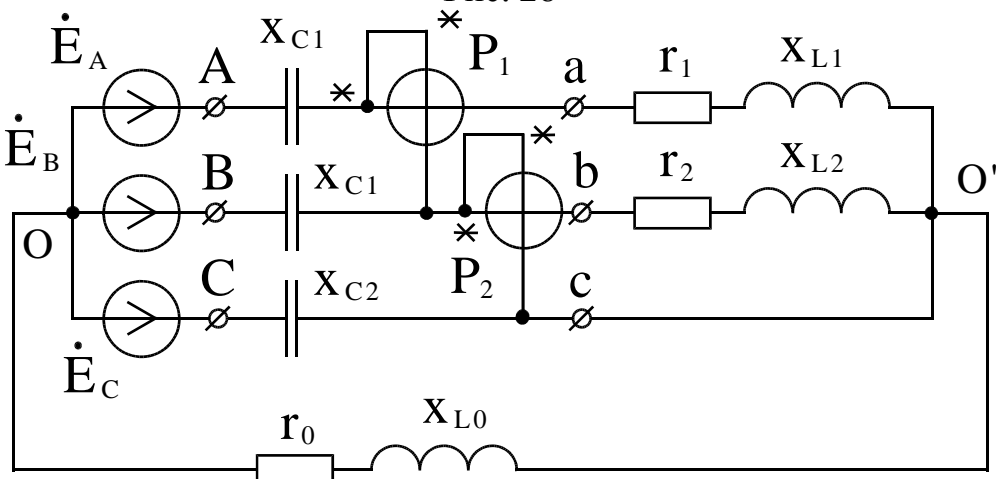


Рис. 29

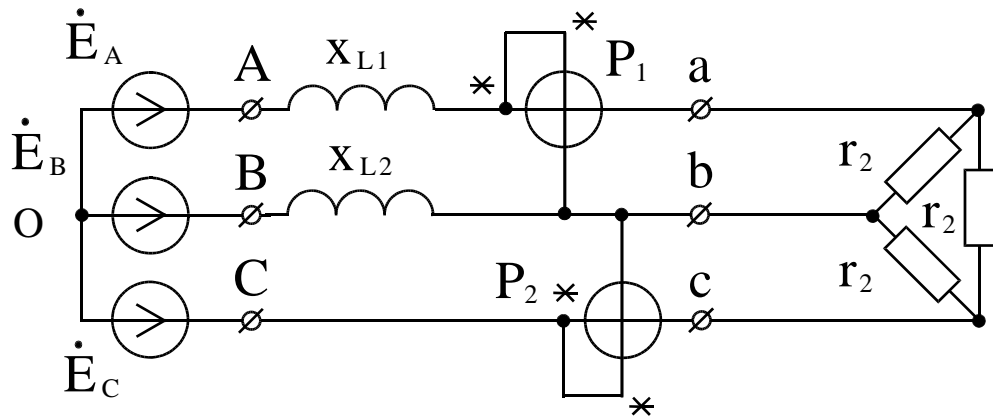


Рис. 30

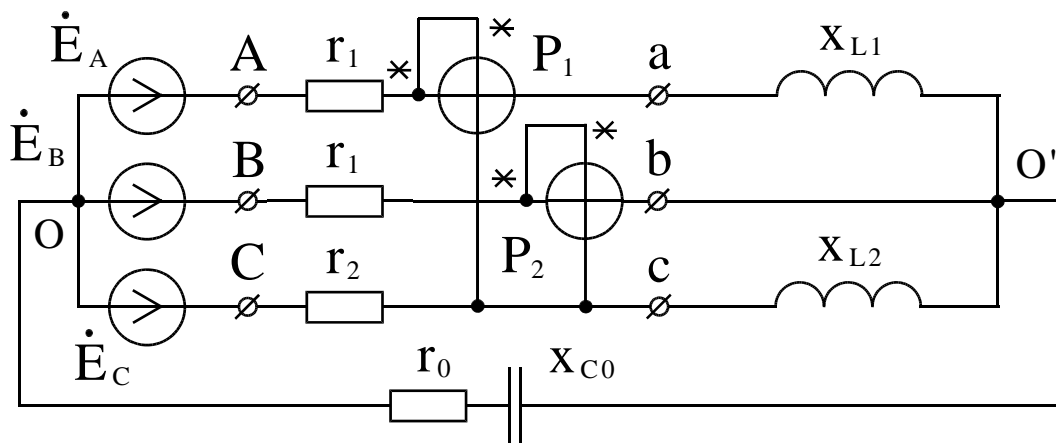


Рис. 31

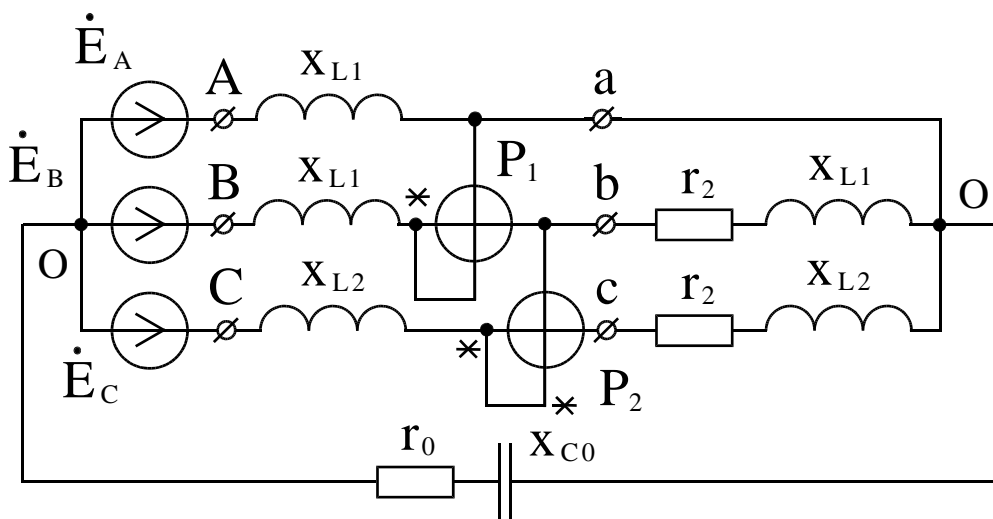


Рис. 32

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Л.: Энергоиздат, 1981. Т. 1, 533 с.
2. Основы теории цепей / Г.В.Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
3. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники / П.А.Ионкин. М.: Энергоатомиздат, 1982. 768 с.
4. Сборник задач по теоретическим основам электротехники / Л.А. Бессонов, И.Г. Демидова, М.Е. Заруди и др. М.: Высш. шк., 1980. 472 с.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1. Задание на расчетно-графическую работу . . . . .	3
2. Теоретические сведения по расчету несимметричной трехфазной цепи . . . . .	3
3. Пример расчета трехфазной несимметричной цепи . . . . .	5
4. Варианты задания . . . . .	29
5. Список литературы . . . . .	36
6. Содержание . . . . .	36