Учреждение образования «Марьиногорский государственный ордена «Знак Почета» аграрно-технический колледж имени В.Е. Лобанка»

РАССМОТРЕНО
Протокол заседания
цикловой комиссии
преподавателей
электротехнических
дисциплин
«____»_____201 г. №

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по
учебной работе УО
МГАТК
_____ А.А.Смоляк
(подпись)
«____»_____201 г.

УЧЕБНАЯ ДИСЦИПЛИНА: «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Методические рекомендации по выполнению контрольных заданий для учащихся заочной формы получения образования по специальности 2-74 06 31 «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства (по направлениям)»

Разработчик Абакунчик З.А.

п. Марьино

Автор: З.А. Абакунчик преподаватель высшей категории Учреждения образования «Марьиногорский государственный ордена «Знак Почета» аграрно-технический колледж имени В.Е. Лобанка»

Методические рекомендации к выполнению контрольной работы № 1

Задача 1.

Перед решением задачи 1 ознакомьтесь с методическими указаниями к теме 1, 2. Решение задач этого типа требует знания закона Ома для всей цепи и ее участка, первого и второго законов Кирхгофа, методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов, а также умения вычислять мощность и энергию электрического тока.

Прежде всего необходимо изобразить схему для своего варианта в удобном для расчета виде. Рассмотрим последовательность преобразования схемы относительно точек b – c, к которым приложено напряжение U.

Для схемы, приведенной на рис. 1.2, определите: токи во всех участках смешанной цепи; падения напряжения на каждом сопротивлении; мощность всей цепи; энергию, потребляемую за 10 часов работы.

Напряжение, приложенное к цепи U = 30 В, сопротивления r_2 =1 Ом, r_3 =5 Ом, r_4 = 6 Ом, r_5 =3 Ом, r_6 =10 Ом, r_8 =1Ом.

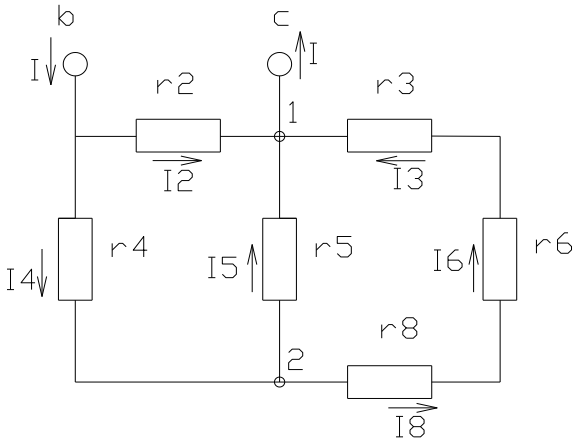

Рисунок 1

Решение.

Прежде всего на схеме обозначим стрелкой ток в каждом резисторе, индекс тока должен соответствовать номеру резистора, по которому он проходит.

Из схемы рис. 1 видно, что r_3, r_6 и r_8 соединены последовательно, поэтому сопротивление

$$r_{368} = r_3 + r_6 + r_8 = 5 + 10 + 1 = 16 \text{ Ом}.$$

Сопротивление r_{368} с сопротивление r_5 соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление

$$r_{5368} = \frac{r_5 \cdot r_{368}}{r_5 + r_{368}} = \frac{3 \cdot 16}{3+16} = \frac{48}{19} = 2{,}53 \text{ Ом}.$$

Дальше по аналогии с предыдущим выполнением:

$$r_{45368} = r_4 + r_{5368} = 6 + 2{,}53 = 8{,}53 \text{ Ом}.$$

Сопротивление всей цепи

$$r = \frac{r_2 \cdot r_{45368}}{r_2 + r_{45368}} = \frac{1 \cdot 8{,}53}{1 + 8{,}53} = \frac{8{,}53}{9{,}53} = 0{,}895 \text{ Ом}.$$

Определяется ток в неразветвленной части цепи

$$I = \frac{U}{r} = \frac{30}{0{,}895} = 33{,}52 \text{ А}.$$

Определяется ток в сопротивлении r_2: $U = U_2$,

$$I_2 = \frac{U_2}{r_2} = \frac{30}{1} = 30 \text{ А}.$$

Используя первый закон Кирхгофа, определяем ток I_4

$$I_4 = I - I_2 = 3{,}52 \text{ А}.$$

Падение напряжения на сопротивлении r_4

$$U_4 = I_4 \cdot r_4 = 3{,}52 \cdot 6 = 21{,}12 \text{ В}.$$

Падение напряжения на сопротивлении r_5

$$U_{3\ldots8} = U_5 = U - U_4 = 30 - 21{,}12 = 8{,}88 \text{ В}.$$

Ток в сопротивлении r_5

$$I_5 = \frac{U_5}{r_5} = \frac{8{,}88}{3} = 2{,}96 \text{ А}.$$

Токи в сопротивлениях r_3, r_6 и r_8

$$I_3 = I_6 = I_8 = \frac{U_{368}}{r_{368}} = \frac{8{,}88}{16} = 0{,}555 \text{ А}.$$

Падения напряжений на сопротивлениях r_3, r_6 и r_8:

$$U_3 = I_3 \cdot r_3 = 0{,}555 \cdot 5 = 2{,}775 \text{ В}.$$

$$U_6 = I_6 \cdot r_6 = 0{,}555 \cdot 10 = 5{,}55 \text{ В}.$$

$$U_8 = I_8 \cdot r_8 = 0{,}555 \cdot 1 = 0{,}555 \text{ В}.$$

Проверим решение задачи, используя первый закон Кирхгофа для точки 1:

$$I = I_2 + I_5 + I_3; \quad 33{,}5 = 30 + 2{,}96 + 0{,}555 = 33{,}5,\ 33{,}5\text{А} = 33{,}5\ \text{А}.$$

Токи определены правильно.
Определяется мощность всей цепи

$$P = U \cdot I = 30 \cdot 33{,}5 = 1005\ \text{Вт}.$$

Энергия, потребляемая цепью за 10 часов:

$$W = P \cdot t = 1005 \cdot 10 = 10050\ \text{Вт} = 10{,}05\ \text{кВт}.$$

Для схемы (рис. 1) в общем виде в логической последовательности покажите, как изменится электрический ток цепи при увеличении $r_3\uparrow$.Сопротивления r_3, r_6, r_8 соединены последовательно, поэтому $\uparrow r_{368} = \uparrow r_3 + r_6 + r_8$.

Так как r_3 увеличивается, то увеличивается и r_{368}.

Сопротивление r_5 и r_{368} соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление определяется

$$\uparrow r_{5\,368} = \frac{r_5 \cdot r_{368}\uparrow}{r_5 + r_{368}\uparrow}.$$

Из данного выражения видно, что сопротивление $r_{5\,368}$ увеличивается.

Дальше по аналогии:

$$\uparrow r_{4\,5368} = r_4 + r_{5368}\uparrow;$$

$$\uparrow r = \frac{r_2 \cdot r_{45368}}{r_2 + r_{45368}\uparrow}.$$

Из формулы закона Ома видно, что величина тока в электрической цепи при этом уменьшается.

$$I = \frac{U}{r\uparrow}.$$

Энергия, потребляемая цепью за 10 часов

$$W = P \cdot t = 180 \cdot 10 = 1800\ \text{Вт} \cdot \text{ч} = 1{,}8\text{кВт} \cdot \text{ч}.$$

Задача 2.

Определите электрический заряд, напряжение и энергию каждого конденсатора и всей цепи в схеме (рис. 2), если напряжение U = 3 кВ, емкость C_1 = 90 мкФ, C_3 = 10 мкФ, C_4 = 20 мкФ, C_5 = 50 мкФ, C_6 = 30 мкФ.

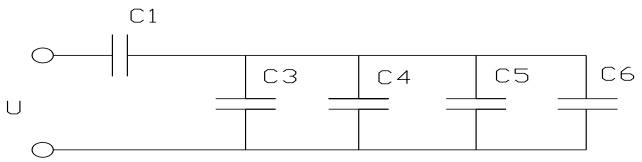

Рисунок 2

Решение.

Конденсатора C_2 в ветви нет, в этом месте цепь замкнута какоротко.

Определяют:

1. Емкость параллельно соединенных конденсаторов. При параллельном соединении общая емкость равна сумме емкостей конденсаторов:

$$C_{3-6} = C_3 + C_4 + C_5 + C_6 = 10 + 20 + 30 + 30 = 90 \text{ мкФ}.$$

2. Эквивалентная емкость всей цепи. При последовательном соединении величина обратная общей емкости равна сумме обратных величин емкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{экв} = \frac{C_1 \cdot C_{3-6}}{C_1 + C_{3-6}} = \frac{90 \cdot 90}{90 + 90} = 45 \text{ мкФ}.$$

3. Электриченский заряд всей цепи. При последовательном соединении все конденсаторы получают один заряд, который равен общему заряду цепи:

$$Q = Q_1 = Q_{3-6} = U \cdot C_{экв} = 3 \cdot 10^3 \cdot 45 \cdot 10^{-6} = 135 \cdot 10^{-3} \text{Кл}.$$

4. Напряжение на конденсаторах

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{135 \cdot 10^{-3}}{90 \cdot 10^{-6}} = 1500\ B;$$

$$U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = \frac{U_{3-6}}{C_{3-6}} = \frac{135 \cdot 10^{-3}}{90 \cdot 10^{-6}} = 1500\ B.$$

Проверка: $U_1 + U_3 = U$; $\quad 1{,}5 \cdot 10^3 + 1{,}5 \cdot 10^3 = 3 \cdot 10^3$.

5. Электрические заряды на параллельно соединенных конденсаторах:

$$Q_3 = C_3 \cdot U_3 = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 = 1{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл};$$

$$Q_4 = C_4 \cdot U_4 = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 = 30 \cdot 10^{-3} \text{ Кл};$$

$$Q_5 = C_5 \cdot U_5 = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 = 45 \cdot 10^{-3} \text{ Кл};$$

$$Q_6 = C_6 \cdot U_6 = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3 = 45 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

6. Энергия электрического поля каждого конденсатора и энергии, потребляемая цепью:

$$W_1 = \frac{Q_1 \cdot U_1}{2} = \frac{135 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3}{2} = 101{,}25 \text{ Дж;}$$

$$W_3 = \frac{Q_3 \cdot U_3}{2} = \frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3}{2} = 11{,}25 \text{ Дж;}$$

$$W_4 = \frac{Q_4 \cdot U_4}{2} = \frac{30 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3}{2} = 22{,}5 \text{ Дж;}$$

$$W_5 = \frac{Q_5 \cdot U_5}{2} = \frac{45 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3}{2} = 33{,}75 \text{ Дж;}$$

$$W_6 = \frac{Q_6 \cdot U_6}{2} = \frac{45 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5 \cdot 10^3}{2} = 33{,}75 \text{ Дж;}$$

$$W_{\text{ц}} = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{45 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3}{2} = 202{,}5 \text{ Дж.}$$

Согласно закону сохранения энергии

$$W_{\text{ц}} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6;$$

$$202{,}5 = 101{,}25 + 11{,}25 + 22{,}5 + 33{,}75 + 33{,}75.$$

Задача 3.

Для электрической цепи, изображенной на рис. 3 по известным величинам (E_1 = 24 В, E_2 = 18 В, r_{01} = 0,1 Ом, r_{02} = 0,2 Ом, r_1 = 1,9 Ом, r_2 = 1,8 Ом, r_3 = 2 Ом) выполнить следующее:

1. Составить на основании законов Кирхгофа систему необходимых уравнений для расчета токов во всех ветвях системы;
2. Определить токи в ветвях, пользуясь любым методом расчета;
3. Построить потенциальную диаграмму для любого контура;
4. Определить мощности источников и приемников электрической энергии и мощность потерь внутри источников;
5. Составить баланс мощностей.

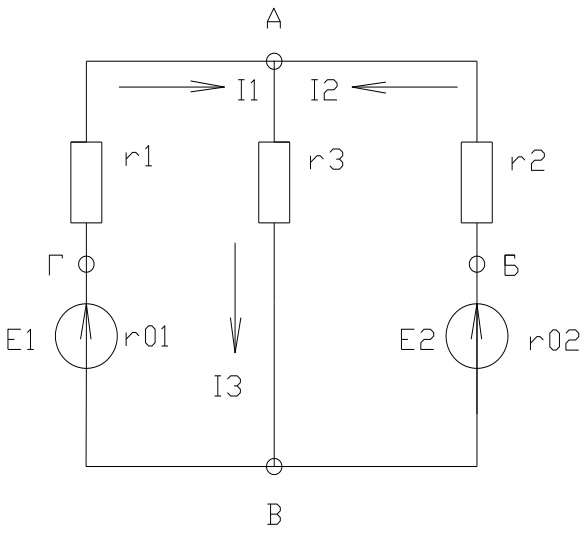

Рисунок 3

Решение.

1. Решение задачи методом узловых и контурных уравнений.

В ряде случаев при расчете токов в разветвленной цепи не представляется возможным предугадать, какое направление будет иметь тот или иной ток. Поэтому задаемся (произвольно) направлениями токов I_1, I_2, I_3 во всех участках цепи и обозначаем эти направления стрелками. Если направление токов выбрано правильно, то в результате вычисления величина тока будет положительной. Если же при расчете ток получился отрицательным, то действительное направление тока противоположно произвольно выбранному.

Так как в данной цепи имеются три неизвестные величины – токи I_1, I_2, I_3, то необходимо составить систему уравнений, связывающих эти величины. Данная цепь имеет две узловые точки *A* и *B*. Поэтому по первому закону Кирхгофа необходимо составить одно уравнение (на единицу меньше числа узлов), а два других уравнения составляются по второму закону Кирхгофа.

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо задаться направлением обхода контура. Если направление тока и направление действия электродвижущей силы *совпадает* с направлением обхода контура, то падения напряжений *и* берутся со знаком «+», падение напряжений и электродвижущие силы противоположного направления – со знаком «-».

На основании первого закона Кирхгофа для узла *A*

$$I_3 = I_1 + I_2. \tag{1}$$

Составляем уравнение по второму закону Кирхгофа: для контура ГАВГ

$$E_1 = I_1(r_1 + r_{01}) + I_3 r_3. \tag{2}$$

Для контура ГАБВГ

$$E_1 - E_2 = I_1(r_1 + r_{01}) - I_2(r_2 + r_{02}). \tag{3}$$

После подставки известных величин в уравнении (2) и (3) получим:

$$24 = 2I_1 + 2I_3; \quad (2)$$

$$6 = 2I_1 - 2I_2. \quad (3)$$

Заменяя в уравнении (2) значения I_3 через $(I_1 + I_{3)}$ из уравнения (1), получим:

$$24 = 4I_1 + 2I_2;$$

$$6 = 2I_1 - 2I_2.$$

Складываем полученные два уравнения:

$$\frac{+\begin{matrix}24=4I_1+2I_2\\ 6=2I_1-2I_2\end{matrix}}{30 = 6I_1}$$

$$I_1 = \frac{30}{6} = 5 \text{ А}.$$

Подставляя найденное значение тока I_1 в уравнении (2). Получаем:

$$24 = 4 \cdot 5 + 2I_2 = 20 + 2I_2,$$

$$I_2 = \frac{24 - 20}{2} = 2\ A,$$
$$I_3 = I_1 + I_2 = 5 + 2 = 7\ A.$$

Знак «+» у токов I_1, I_2, I_3 показывает, что направление токов выбрано нами правильно. Оба источника вырабатывают энергию, то есть работают в режиме генераторов.

Для проверки правильности решения составляем уравнение по второму закону Кирхгофа для контура АВБА:

$$E_2 = I_2(r_2 + r_{02}) + I_3 r_3;$$

$$18 = 2 \cdot 2 + 7 \cdot 2; \quad 18 = 18.$$

Токи определены правильно.

2. *Решение задачи методом узлового напряжения*.

Обратите внимание на этот метод, так как он используется при расчете трехфазных электрических цепей, соединенных звездой.

2.1 Определяются проводимости ветвей:

$$g_1 = \frac{1}{r_1 + r_{01}} = \frac{1}{1{,}9 + 0{,}1} = \frac{1}{2} = 0{,}5 \text{ См};$$

$$g_2 = \frac{1}{r_2 + r_{02}} = \frac{1}{1{,}8 + 0{,}2} = \frac{1}{2} = 0{,}5 \text{ См};$$

$$g_3 = \frac{1}{r_3} = \frac{1}{2} = 0{,}5 \text{ См}.$$

2.2 Определяется узловое напряжение

$$U = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{24 \cdot 0{,}5 + 18 \cdot 0{,}5}{0{,}5 + 0{,}5 + 0{,}5} = \frac{21}{1{,}5} = 14 \text{ В}.$$

2.3 Направим токи во всех ветвях схемы от узла В к узлу А. По закону Ома токи в ветвях определяются следующим образом:

$$I_1 = \frac{E_1 - U}{r_1 + r_{01}} = (E_1 - U) \cdot g_1 = (24 - 14) \cdot 0{,}5 = 5\ A;$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U}{r_2 + r_{02}} = (E_2 - U) \cdot g_2 = (18 - 14) \cdot 0{,}5 = 2\ A;$$

$$I_3 = (E_3 - U) \cdot g_3 = E_3 - U = (0 - 14) \cdot 0{,}5 = -U g_3 = -7\ A.$$

Знак «-» у тока I_3 показывает, что направление тока не соответствует правильно выбранному. Проверяем решение задачи по первому закону Кирхгофа:

$$I_1 + I_2 = I_3; \quad I_1 + I_2 = (5 + 2) = 7\ A; \quad I_3 = 7\ A.$$

Токи определены правильно.

2.4 Определяются мощности источников энергии:

$$P_{и1} = E_1 I_1 = 24 \cdot 5 = 120 \text{ Вт};$$

$$P_{и2} = E_2 I_2 = 18 \cdot 2 = 36 \text{ Вт}.$$

Мощности приемников электрической энергии:

$$P_1 = (I_1)^2 r_1 = 5^2 \cdot 1{,}9 = 47{,}5 \text{ Вт};$$

$$P_2 = (I_2)^2 r_2 = 2^2 \cdot 1{,}8 = 7{,}2 \text{ Вт};$$

$$P_3 = (I_3)^2 r_3 = 7^2 \cdot 2 = 98 \text{ Вт}.$$

Мощности потерь внутри источников:

$$P_{01} = (I_1)^2 r_{01} = 5^2 \cdot 0{,}1 = 2{,}5 \text{ Вт};$$

$$P_{02} = (I_2)^2 r_{02} = 2^2 \cdot 0{,}2 = 0{,}8 \text{ Вт}.$$

Составляем баланс мощностей:

$$P_{и1} + P_{и2} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{01} + P_{02};$$

$$120 + 36 = 47{,}5 + 7{,}2 + 98 + 2{,}5 + 0{,}8;$$

$$156 = 156.$$

Согласно закону сохранения энергии сумма мощностей источников равна сумме мощностей приемников электрической энергии плюс потери мощности внутри источников.

2.5 Строится потенциальная диаграмма. При построении потенциальной диаграммы для контура ВБАВ в схеме (рис. 3) заземлим точку В. Необходимо помнить, что потенциал заземленной точки равен нулю и что ток всегда течет от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом:

$$\varphi_B = 0; \quad \varphi_Б = \varphi_B + E_2 - I_2 r_{02} = 0 + 18 - 2 \cdot 0{,}2 = 17{,}6\ B;$$
$$\varphi_A = \varphi_Б - I_2 r_{02} = 17{,}6 - 2 \cdot 1{,}8 = 14\ B;$$

$$\varphi_B = \varphi_A - I_3 r_3 = -14 - 7 \cdot 2 = 0.$$

Потенциал φ_B равен нулю, следовательно, потенциалы определены правильно. Потенциальная диаграмма строится в прямоугольной системе координат. По горизонтальной оси откладываются в определенном масштабе сопротивления, а по вертикальной – потенциалы. Изменение потенциалов показано наклонными прямыми линиями (рис. 4).

Масштаб потенциалов $m_\psi = 4$ В/см; $m_r = 4$ Ом/см.

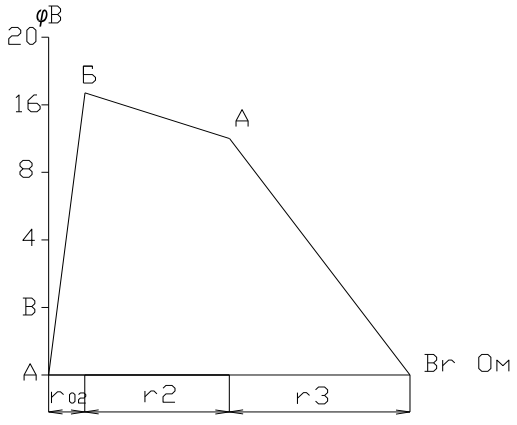

Рисунок 4

Задача 4.

К генератору переменного тока с напряжением $U = 535{,}8\,sin(314t + 27^0 12')$ и частотой 50 Гц подключены последовательно катушка с активным сопротивлением *r = 32* Ом и индуктивностью *L = 76,44·10*$^{-3}$ Г и конденсатор емкостью *C = 424·10*$^{-6}$ Ф.

Определить:

1. Действующее значение приложенного напряжения;
2. Ток в электрической цепи;
3. Активную, реактивную и полную мощности катушки, конденсатора и всей цепи;
4. Активную, реактивную составляющие напряжений.

Построить векторную диаграмму.

Решение.

1. Из формулы напряжения

$$U_m = 535{,}8\ B; \quad \omega = 314\ \frac{1}{c}; \ \varphi = 27^0 12'.$$

2. Действующее значение напряжения

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{535{,}8}{1{,}41} = 380\ B.$$

3. Реактивное индуктивное сопротивление

$$X_L = \omega L = 314 \cdot 76{,}44 \cdot 10^{-3} = 24\ \text{Ом}.$$

4. Реактивное емкостное сопротивление

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \cdot 424 \cdot 10^{-6}} = 7{,}5\ \text{Ом}.$$

5. Полное сопротивление катушки

$$Z_K = \sqrt{r^2 + X_L^2} = \sqrt{32^2 + 24^2} = \sqrt{1600} = 40\ \text{Ом}.$$

6. Полное сопротивление всей цепи

$$Z = \sqrt{r^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{32^2 + (24 - 7{,}5)^2} = 36\ \text{Ом}.$$

7. Коэффициенты мощности катушки и всей цепи

$$\cos\varphi_к = \frac{r_к}{Z_к} = \frac{32}{40} = 0{,}8;$$

$$\cos\varphi = \frac{r}{Z} = \frac{32}{36} = 0{,}89.$$

8. Ток в электрической цепи

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{380}{36} = 10{,}55\ A.$$

9. Активная, реактивная и полная мощности катушки

$$P_{\text{к}} = I^2 r = 10{,}55^2 \cdot 32 = 111{,}3 \cdot 32 = 3561{,}7 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{к}} = I^2 X_L = 10{,}55^2 \cdot 24 = 111{,}3 \cdot 24 = 2671 \text{ вар};$$

$$S_{\text{к}} = I^2 Z_{\text{к}} = 10{,}55^2 \cdot 40 = 4452 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

10. Активная, реактивная и полная мощности конденсатора: $P_{\text{с}} = 0$.

В конденсаторе активная мощность равна нулю, тогда реактивная мощность равна полной мощности и определяется:

$$Q_C = S_C = I^2 X_c = 10{,}55^2 \cdot 7{,}5 = 834{,}77 \text{ вар}.$$

11. Активная, реактивная и полная мощности всей цепи:

$$P = I^2 r = 10{,}55^2 \cdot 32 = 3561{,}7 \text{ Вт};$$

$$Q = I^2 (X_L - X_C) = 10{,}55^2 \cdot (24 - 7{,}5) = 1836{,}45 \text{ вар};$$

$$S = I^2 Z = 10{,}55^2 \cdot 36 = 4006{,}8 \text{ В} \cdot A$$

12. Активная, реактивная составляющие напряжений:

$$U_a = I \cdot r = 10{,}55 \cdot 32 = 337{,}6\ B;$$

$$U_L = I \cdot X_L = 10{,}55 \cdot 24 = 253{,}2\ B;$$

$$U_C = I \cdot X_C = 10{,}55 \cdot 7{,}5 = 79{,}125\ B.$$

Для построения векторной диаграммы напряжений выбираются масштабы тока и напряжений.

Масштаб тока m_i = *5* А/см, масштаб напряжений m_U = *50* В/см. Определяются величины векторов напряжений и токов:

$$\bar{U}_a = \frac{|U_a|}{m_U} = \frac{337{,}6}{50} = 6{,}75 \text{ см};$$

$$\bar{U}_L = \frac{|U_L|}{m_U} = \frac{253{,}2}{50} = 5{,}06 \text{ см};$$

$$\bar{U}_C = \frac{|U_C|}{m_U} = \frac{79{,}125}{50} = 1{,}58 \text{ см};$$

$$\bar{U} = \frac{|U|}{m_U} = \frac{380}{50} = 7{,}6 \text{ см};$$

$$\bar{I} = \frac{I}{m_1} = \frac{10{,}55}{5} = 2{,}11 \text{ см}.$$

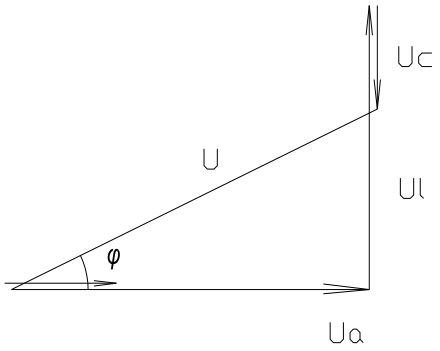

Рисунок 5

Построение векторной диаграммы начинаем с вектора тока $\bar{I}$, который располагаем по горизонтали оси. Так как активная составляющая вектора напряжения $\bar{U}_a$ совпадает с вектором тока $\bar{I}$, то вектор $\bar{U}_a$ также располагаем по горизонтальной оси.

Из конца вектора активной составляющей напряжения $\bar{U}_a$ в сторону опережения на 90^0. Располагаем вектор индуктивной составляющей напряжения $\bar{U}_L$, а из его конца в сторону отставания на 90^0 от вектора тока $\bar{I}$ откладываем вектор емкостной составляющей напряжения $\bar{U}_\text{c}$. Соединяя конец вектора емкостной составляющей напряжения $\bar{U}_\text{c}$ с началом вектора активной составляющей напряжения $\bar{U}_a$, получим вектор приложенного к цепи напряжения $\bar{U}$.

Векторная диаграмма показана на рис. 5. Угол φ между вектором тока $\bar{I}$ и вектором напряжения $\bar{U}$ равен $27^0 12'$.

Задача 5.

Цепь, состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых r_1 = 16 Ом, X_{L1} = 12 Ом, r_2 = 30 Ом, X_{C2} = 40 Ом присоединена к сети с напряжением $U=179\sin 628t$.

Определить:

1. Частоту электрической сети.
2. Действующее значение напряжения сети.
3. Токи в параллельных ветвях и ток в неразветвленной части цепи.
4. Коэффициент мощности каждой ветви и всей цепи.
5. Углы сдвига фаз токов относительно напряжения сети.
6. Активную, реактивную и полную мощности цепи.

Построить векторную диаграмму напряжения и токов.

Решение.

1. Частота электрической цепи определяется из формулы угловой частоты $\omega = 2\pi f$:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{2 \cdot 3{,}14} = 100 \text{ Гц.}$$

2. Действующее значение напряжения определяется по известному амплитудному значению напряжения (U_m):

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{179}{1{,}41} = 127 \text{ В.}$$

3. Для определения токов необходимо найти проводимость ветвей и всей цепи:
   1) активная, реактивная и полная проводимость первой ветви:

$$g_1 = \frac{r_1}{Z_1^2} = \frac{16}{16^2 + 12^2} = \frac{16}{400} = 0,04 \text{ См;}$$

$$b_1 = \frac{X_{L1}}{Z_1^2} = \frac{12}{16^2 + 12^2} = \frac{12}{400} = 0,03 \text{ См;}$$

$$y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_1^2} = \sqrt{0{,}04^2 + 0{,}03^2} = \sqrt{0{,}0025} = 0{,}05 \text{ См.}$$

   2) Активная, реактивная и полная проводимости второй ветви

$$g_2 = \frac{r_2}{Z_2^2} = \frac{30}{30^2 + 40^2} = \frac{30}{2500} = 0{,}012 \text{ См;}$$

$$b_2 = \frac{-X_{c2}}{Z_2^2} = -\frac{40}{30^2 + 40^2} = -\frac{40}{2500} = -0{,}016 \text{ См;}$$

$$y_2 = \sqrt{g_2^2 + b_2^2} = \sqrt{0{,}012^2 + (-0{,}016)^2} = \sqrt{0{,}0004} = 0{,}02 \text{ См.}$$

   3) Активная, реактивная и полная проводимости всей цепи

$$g = g_1 + g_2 = 0{,}04 + 0{,}012 = 0{,}052 \text{ См};$$

$$b = b_1 + b_2 = 0{,}03 + (-0{,}016) = 0{,}014 \text{ См};$$

$$y = \sqrt{g^2 + b^2} = \sqrt{0{,}052^2 + 0{,}014^2} = \sqrt{0{,}0029} = 0{,}054 \text{ См}.$$

4) Токи в ветвях и ток в неразветвленной части цепи:

$$I_1 = U \cdot y_1 = 127 \cdot 0{,}05 = 6{,}35 \ A;$$

$$I_2 = U \cdot y_2 = 127 \cdot 0{,}02 = 2{,}54 \ A;$$

$$I = U \cdot y = 127 \cdot 0{,}054 = 6{,}86 \ A.$$

5) Коэффициент мощности и углы сдвига фаз относительно напряжения каждой ветви и всей цепи:

$$\cos\varphi_1 = \frac{g_1}{y_1} = \frac{0{,}04}{0{,}05} = 0{,}08; \quad \varphi_1 = 37^0;$$

$$\cos\varphi_2 = \frac{g_2}{y_2} = \frac{0{,}012}{0{,}02} = 0{,}6; \quad \varphi_1 = -53^0;$$

$$\cos\varphi = \frac{g}{y} = \frac{0{,}052}{0{,}054} = 0{,}963; \quad \varphi_1 = 12^0.$$

По коэффициентам мощности $\cos\varphi$ с помощью таблиц Брадиса или калькулятора определяются углы сдвига фаз между токами и напряжениями.

6) Активная, реактивная и полная мощности цепи:

$$P = U^2 \cdot g = 127^2 \cdot 0{,}052 = 838{,}7 \text{ Вт};$$

$$Q = U^2 \cdot g = 127^2 \cdot 0{,}014 = 225{,}8 \text{ вар};$$

$$S = U^2 \cdot g = 127^2 \cdot 0{,}054 = 871 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Для построения векторной диаграммы токов и напряжения определяются активные и реактивные составляющие токов ветвей и всей цепи:

$$I_{a1} = I_1 \cos\varphi_1 = 6{,}35 \cdot 0{,}8 = 5{,}08 \ A;$$

$$I_{a2} = I_2 \cos\varphi_2 = 2{,}54 \cdot 0{,}6 = 1{,}524 \ A;$$

$$I_a = I \cdot \cos\varphi = 6{,}86 \cdot 0{,}963 = 6{,}604 \ A;$$

$$I_{p1} = I_1 \sin\varphi_1 = 6{,}35 \cdot 0{,}6 = 3{,}81\ A;$$

$$I_{p2} = I_2 \sin\varphi_2 = 2{,}54 \cdot 0{,}8 = 2{,}032\ A;$$

$$I_p = I \sin\varphi = 6{,}86 \cdot 0{,}259 = 1{,}78\ A.$$

Выбираются масштабы напряжения и токов:

$$m_U = 25\ \text{В/см}; \quad m_I = 1\ \text{А/см}.$$

Определяются длины векторов напряжения и токов:

$$\bar{U} = \frac{|U|}{m_U} = \frac{127}{25} = 5{,}08\ \text{см}; \qquad \bar{I}_a = \frac{|I_a|}{m_I} = \frac{6{,}604}{1} = 6{,}604\ \text{см};$$

$$\bar{I}_{a1} = \frac{|I_{a1}|}{m_I} = \frac{5{,}08}{1} = 5{,}08\ \text{см}; \qquad \bar{I}_p = \frac{|I_p|}{m_I} = \frac{1{,}78}{1} = 1{,}78\ \text{см};$$

$$\bar{I}_{p1} = \frac{|I_{p1}|}{m_I} = \frac{3{,}81}{1} = 3{,}81\ \text{см}; \qquad \bar{I}_1 = \frac{|I_1|}{m_I} = \frac{6{,}35}{1} = 6{,}35\ \text{см};$$

$$\bar{I}_{a2} = \frac{|I_{a2}|}{m_I} = \frac{1{,}524}{1} = 1{,}524\ \text{см}; \qquad \bar{I}_2 = \frac{|I_2|}{m_I} = \frac{2{,}54}{1} = 2{,}54\ \text{см};$$

$$\bar{I}_{p2} = \frac{|I_{p2}|}{m_I} = \frac{2{,}032}{1} = 2{,}032\ \text{см}; \qquad \bar{I} = \frac{|I|}{m_I} = \frac{6{,}86}{1} = 6{,}86\ \text{см}.$$

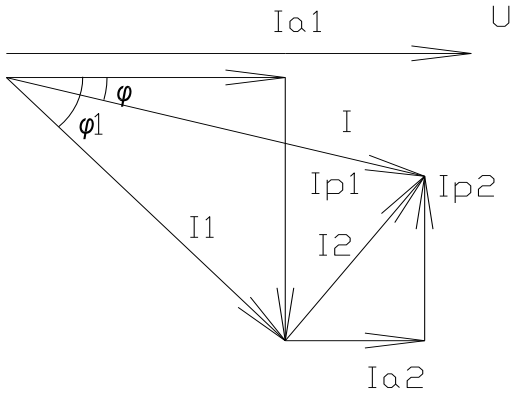

Рисунок 6

Построение векторной диаграммы для разветвленных электрических цепей начинают с вектора напряжения $\bar{U}$, который располагают по горизонтальной оси. Вектор активной составляющей тока первой ветви $\bar{I}_{a1}$ совпадает с вектором напряжения, поэтому он откладывается также по горизонтальной оси. Из конца вектора активной составляющей тока первой ветви $\bar{I}_{a1}$, в сторону отставания на 90^0

от вектора напряжения $\bar{U}$ (для цепи с реактивно-индуктивным сопротивлением) откладывается вектор реактивной составляющей тока первой ветви $\bar{I}_{p1}$. Соединяя конец вектора реактивной составляющей тока первой ветви $\bar{I}_{p1}$ с началом вектора активной составляющей тока первой ветви $\bar{I}_{a1}$, получаем вектор тока первой ветви $\bar{I}_1$. Из конца вектора реактивной составляющей тока первой ветви $\bar{I}_{p1}$ откладывается вектор активной составляющей тока второй ветви $\bar{I}_{a2}$, совпадающий с вектором напряжения $\bar{U}$, а из его конца в сторону опережения вектора напряжения $\bar{U}$ на 90^0 (для цепи с реактивно-емкостным сопротивлением) откладывается вектор реактивной составляющей тока второй ветви $\bar{I}_{p2}$. Соединяя конец вектора реактивной составляющей тока второй ветви $\bar{I}_{p2}$ с началом вектора активной составляющей тока второй ветви $\bar{I}_{a2}$, получаем вектор тока второй ветви $\bar{I}_2$. Соединяя конец вектора тока второй ветви $\bar{I}_2$. Соединяя конец вектора тока второй ветви $\bar{I}_2$ с началом вектора тока первой ветви $\bar{I}_1$, получаем вектор тока в неразветвленной части цепи $\bar{I}$. Векторная диаграмма построена на рис. 6.

Задача 6.

Вычислить эквивалентное сопротивление параллельных ветвей (Z_{23}), общее сопротивление всей цепи (Z), токи во всех участках цепи (рис. 7), активную, реактивную и полную мощности каждой ветви и всей цепи.

Построить векторную диаграмму (токов, напряжений) цепи, если напряжение U_{23} = 80 В и сопротивления r_1 = 4 Ом; r_2 = 6 Ом; r_3 = 16 Ом; X_{C1} = 3 Ом; X_{L3} = 12 Ом.

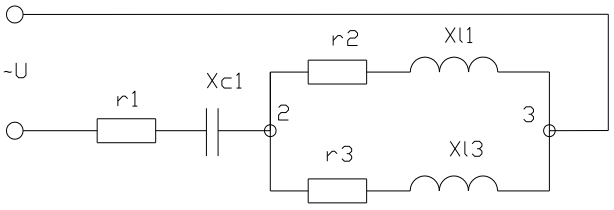

Рисунок 7

Решение.

Задачу решаем символическим методом. Поэтому ее решение такое же, как при постоянном токе. Для решения необходимо представить сопротивления ветвей схемы в алгебраической и показательной формах записи комплексного числа:

$$\underline{Z_1} = r_1 - jX_{C1} = 4 - j3 = 5e^{-j37^0};$$

$$\underline{Z_2} = r_2 + jX_{L2} = 6 + j8 = 10e^{j53^0};$$

$$\underline{Z_3} = r_3 + jX = 16 + j12 = 20e^{j37^0}.$$

Вторая и третья ветви соединены между собой параллельно, поэтому их эквивалентное сопротивление определяется по формуле:

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}.$$

Необходимо помнить, что сложение и вычитание комплексных чисел производится в алгебраической форме записи комплекса, а умножение и деление удобнее производить в показательной форме:

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{10e^{j53^0} \cdot 20e^{j37^0}}{6 + j8 + 16 + j12} = \frac{200e^{j90^0}}{22 + j20} = \frac{200e^{j90^0}}{29{,}8e^{j42^0 20'}} = 6{,}71e^{j47^0 40'} =$$
$$= 6{,}71e^{j47^0 40'} = (4{,}51 + j4{,}96)\text{Ом}.$$

где $r_{23} = 4{,}51$ Ом, $X_{23} = 4{,}96$ Ом.

После определения эквивалентного сопротивления схема приобретает вид (рис. 8).

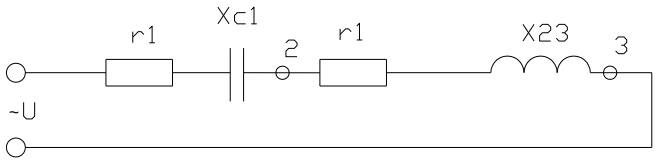

Рис. 8

Из схемы, видно, что сопротивления Z_1 и Z_{23} соединены последовательно, поэтому общее сопротивление цепи

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = 4 - j3 + 4{,}51 + j4{,}96 = 8{,}51 + j1{,}96 = 8{,}73e^{j13^0}\text{Ом}.$$

Ток второй ветви

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{\underline{Z}_2} = \frac{80e^{j0^0}}{10e^{j53^0}} = 8e^{-j53} = (4{,}82 - j6{,}4)\ A.$$

Вектор напряжения U_{23} направляем по действительной оси, поэтому $\dot{U}_{23} = 80e^{j0^0}$.

При параллельном соединении

$$U_{23} = U_2 = U_3.$$

Ток третьей ветви

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_3}{\underline{Z}_3} = \frac{80e^{j0^0}}{10e^{j37^0}} = 4e^{-j37} = (3{,}2 - j2{,}41)\ A.$$

По первому закону Кирхгофа для точки 2 определяется ток первой ветви, он же равен току в неразветвленной части цепи:

$$\dot{I}_1 = \dot{I} = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 4{,}82 - j6{,}4 + 3{,}2 - j2{,}41 = 8{,}02 - j8{,}81 = 11{,}87e^{-j47^0 35'}.$$

Напряжение первой ветви

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \dot{Z}_1 = 11{,}87e^{-j47^0 35'} \cdot 5e^{-j37^0} = 59{,}35e^{-j84^0 35'} = (5{,}68 - j59)\ \text{В}.$$

Напряжение, приложенное к цепи:

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_{23} = 5{,}68 - j59 + 80 = 85{,}68 - j59 = 104{,}85e^{-j35^0 15'}.$$

Мощности ветвей и мощности всей цепи:

$$\tilde{S}_1 = \dot{U}_1 \dot{I}_1^* = 59{,}35e^{-j84^0 35'} \cdot 11{,}87e^{j47^0 35'} = 704e^{-j36^0} = (567 - j414)\ \text{В} \cdot A;$$

$$P_1 = 567\ \text{Вт}; \quad Q_1 = -414\ \text{вар};$$

$$\tilde{S}_2 = \dot{U}_2 \dot{I}_2^* = 80e^{j0^0} \cdot 8e^{j53^0} = 640ej^{53^0} = (385 + j511)\ \text{В} \cdot A;$$

$$P_2 = 385\ \text{Вт}; \quad Q_2 = 511\ \text{вар};$$

$$\tilde{S}_3 = \dot{U}_3 \dot{I}_3^* = 80e^{j0^0} \cdot 4e^{j37^0} = 320e^{j37^0} = (255 + j192{,}5)\ A;$$

$$P_3 = 255\ \text{Вт}; \quad Q_3 = 192{,}5\ \text{вар};$$

$$\tilde{S} = \dot{U}\dot{I}^* = 104{,}85e^{-j35^0 15'} \cdot 11{,}87e^{j47^0 35'} = 1243e^{j13^0 20'} = (1210 + j287)\ \text{В} \cdot \text{А};$$

$$P = 1210\ \text{Вт}; \quad Q = 287\ \text{вар}.$$

Для проверки правильности определения мощностей составляется баланс мощностей:

$$\tilde{S} = \tilde{S}_1 + \tilde{S}_2 + \tilde{S}_3;$$

$$P + jQ = P_1 - jQ_1 + P_2 + jQ_2 + P_3 + jQ_3;$$

$$1210 + j287 \backsimeq 1207 + j289$$

При сравнении мощностей видно, что разница активных и реактивных мощностей незначительна, поэтому можно сделать вывод, что задача решена правильно.

Построение векторной диаграммы выполняется на комплексной плоскости. Выбирается масштаб напряжений и токов:

$$m_U = 25 \text{ В/см}; \qquad m_I = 2 \text{ А/см}.$$

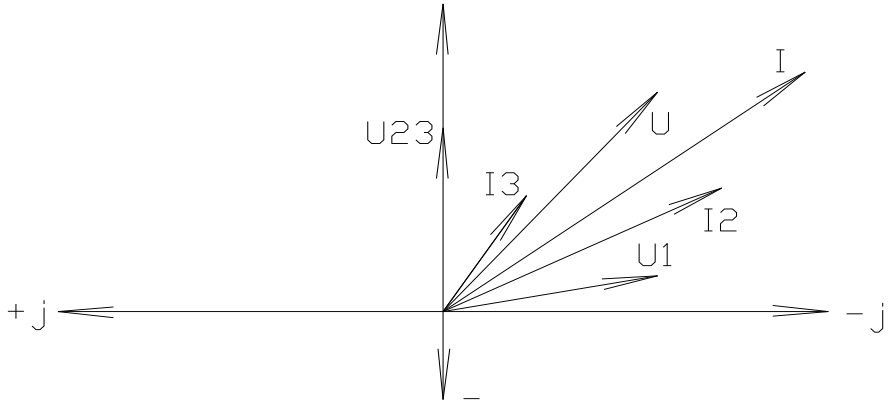

Рисунок 9

Длины векторов напряжений:

$$\overline{U}_{23} = \frac{|U_{23}|}{m_U} = \frac{80}{25} = 3{,}2 \text{ см};$$

$$\overline{U}_1 = \frac{|U_1|}{m_U} = \frac{59{,}35}{25} = 2{,}37 \text{ см};$$

$$\overline{U} = \frac{|U|}{m_U} = \frac{104{,}85}{25} = 4{,}2 \text{ см},$$

где $|U_{23}|$; $|U_1|$; $|U_2|$ – модули напряжений.

Длины векторов токов

$$\bar{I}_1 = \bar{I} = \frac{|I_1|}{m_I} = \frac{11{,}9}{2} = 5{,}95 \text{ см};$$

$$\bar{I}_2 = \frac{|I_2|}{m_I} = \frac{8}{2} = 4 \text{ см};$$

$$\bar{I}_1 = \frac{|I_3|}{m_I} = \frac{4}{2} = 2 \text{ см};$$

где $|I_1|$; $|I_2|$; $|I_3|$ – модули токов.

Вектор напряжения $|U_{23}|$ направляется по вещественной положительной оси, так как начальная фаза этого вектора равна нулю. Остальные векторы напряжений и

токов откладываются на комплексной плоскости с учетом их углов сдвига фаз. Векторная диаграмма показана на рис. 9.

Методические рекомендации к выполнению контрольной работы № 2

Задача 1.

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений $\underline{Z}_A = (8 + j6)$ Ом, $\underline{Z}_\text{В} = (6 - j8)$ Ом, $\underline{Z}_\text{С} = (23 + j15{,}3)$ Ом соединены звездой и включены в четырехпроводную цепь трехфазного тока с литейным напряжением $U_Л$ = 660 В. Сопротивление нулевого провода $\underline{Z}_0 = 1$ Ом.

Определить:

1. Напряжение на каждой фазе приемника при наличии нулевого провода и при его обрыве;
2. Для случая с нулевым проводом:
   а) фазные, линейные токи и ток в нулевом проводе;
   б) активную, реактивную и полную мощность каждой фазы и всей цепи.

Построить топографическую диаграмму напряжений при обрыве нулевого провода.

Решение.

Задачу необходимо решать символическим методом.

1. При соединении обмоток звездой фазное напряжение

$$U_\text{Ф} = \frac{U_\text{Л}}{\sqrt{3}} = \frac{660}{1{,}73} = 380 \text{ В}.$$

2. Представим напряжение и сопротивление в комплексном виде в алгебраической и показательной формах записи:

$$\dot{U}_A = 380e^{j0^0} = (380 + j0)\ B;$$

$$\dot{U}_B = 380e^{-j120^0} = (-190 - j328)\ B;$$

$$\dot{U}_C = 380e^{j120^0} = (-190 + j328)\ B;$$

$$\underline{Z}_A = 8 + j6 = 10e^{+j37^0} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_\text{В} = 6 - j8 = 10e^{-j53^0} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_\text{С} = 23 + j15{,}3 = 27{,}6e^{j33^0 40'} \text{ Ом}.$$

3. Проводимости фаз и нулевого провода:

$$\underline{\text{У}}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{10e^{j37^0}} = 0{,}1e^{-j37^0} = (0{,}08 - j0{,}06) \text{ См};$$

$$\underline{У}_{\text{B}} = \frac{1}{\underline{Z}_{\text{B}}} = \frac{1}{10e^{-j53^0}} = 0{,}1e^{j53^0} = (0{,}06 + j0{,}08)\ \text{См};$$

$$\underline{У}_{\text{C}} = \frac{1}{\underline{Z}_{\text{C}}} = \frac{1}{27{,}6e^{j33^0 40'}} = 0{,}0362e^{-j33^0 40'} = (0{,}03 - j0{,}02)\ \text{См};$$

$$\underline{У}_0 = \frac{1}{\underline{Z}_0} = \frac{1}{1} = 1\ \text{См}.$$

4. Напряжение смещения нейтрали при наличии нулевого провода:

$$\dot{U}_{\text{O}} = \frac{\underline{U}_A \cdot \underline{У}_A + U_B \cdot \underline{У}_B + U_C \cdot \underline{У}_C}{\underline{У}_A + \underline{У}_B + \underline{У}_C + \underline{У}_O};$$

$$\dot{U}_{\text{O}} = \frac{380e^{j0^0} \cdot 0{,}1e^{-j37^0} + 380e^{-j120^0} \cdot 0{,}1e^{j53^0} + 380e^{+j120^0} \cdot 0{,}362e^{-j33^0 40'}}{0{,}08 - j0{,}06 + 0{,}06 + j0{,}08 + 0{,}03 - j0{,}02 + 1} =$$

$$= \frac{38e^{-j37^0} + 38e^{-j67^0} + 13{,}7e^{j86^0 20'}}{1{,}17} = 38{,}48e^{-j37^0} + 32{,}48e^{-j67^0} + 11{,}75e^{j86^0 20'} =$$

$$= 26 - j19{,}5 + 12{,}7 - j30 + 0{,}752 + j11{,}75 = 39{,}45 - j37{,}75 = 54e^{-j43^0 40'}.$$

5. Напряжение смещения нейтрали при обрыве нулевого провода:

$$\dot{U}'_O = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{У}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{У}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{У}_C}{\underline{У}_A + \underline{У}_B + \underline{У}_C};$$

$$\dot{U}'_O = \frac{38e^{-j37^0} + 38e^{-j67^0} + 13{,}75e^{j86^0 20'}}{0{,}17} =$$

$$= 223{,}5e^{-j37^0} + 223{,}5e^{-j67^0} + 80{,}9e^{j86^0 20'} =$$

$$= 178 - j134 + 87 - j205 + 5{,}17 + j80{,}74 = 270 - j258 = 372e^{-j43^0 40'}.$$

6. Напряжение на фазах потребителя без нулевого провода:

$$\dot{U}'_O = \dot{U}_A - \dot{U}_{\text{O}} = 380 - 270 + j258 = 110 + j258 = 280e^{j66^0 50'}\ \text{В};$$

$$\dot{U}'_{\text{B}} = \dot{U}_B - \dot{U}_{\text{O}} = -190 - j328 - 270 + j258 = -460 - j70 = 464e^{-j171^0}\ \text{В};$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{\text{O}} = -190 + j328 - 270 + j258 = -460 + j586 = 745e^{j128^0 10'}\ \text{В}.$$

7. Напряжение на фазах потребителя при наличии нулевого провода:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_0 = 380 - 39{,}45 + j37{,}75 = 340{,}5 + j37{,}45 = 348e^{j6^0 10'}\ \text{В};$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 39{,}45 + j37{,}75 = -229 - j290 = 370e^{-j128^0 10'}\ \text{В};$$

$$\dot{U}' = \dot{U} - \dot{U}_0 = -190 + j328 - 39{,}45 + j37{,}75 = 229{,}45 + j365{,}75 = 433e^{-j122^0}\ \text{В}.$$

8. Токи фазные (равны линейным токам при соединении потребителей звездой):

$$\dot{I}_A = \dot{U}'_A \cdot \underline{\text{У}}_A = 348e^{j6^0 10'} \cdot 0{,}1e^{-j37^0} = 34{,}8e^{-j30^0 50'} = (30 - j17{,}8)\ A;$$

$$\dot{I}_B = \dot{U}'_B \cdot \underline{\text{У}}_B = 370e^{-j128^0 20'} \cdot 0{,}1e^{j53^0} = 37e^{-j75^0 20'} = (9{,}35 - j35{,}7)\ A;$$

$$\dot{I}_C = \dot{U}'_C \cdot \underline{\text{У}}_C = 433e^{j122^0} \cdot 0{,}0362e^{-j33^0 40'} = 15{,}67e^{j88^0 20'} = (0{,}45 + j15{,}6)\ A.$$

9. Ток в нулевом проводе по первому закону Кирхгофа для нейтральной точки:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C;$$

$$\dot{I}_0 = 30 - j17{,}8 + 9{,}35 - j35{,}7 + 0{,}45 + j15{,}6 = 39{,}8 = j37{,}9 = 54e^{-j43^0 40'}\ A.$$

По другой формуле ток в нулевом проводе:

$$\dot{I}_0 = \dot{U}'_0 \cdot \underline{\text{У}}_0 = 54e^{-j43^0 40'} \cdot 1 = 54e^{-j43^0 40'}\ A.$$

Из вычислений видно, что ток в нулевом проводе определен правильно.

10. Мощности фаз:

$$\tilde{S}_A = \dot{U}'_A \cdot \dot{I}_A = 348e^{j6^0 10'} \cdot 34{,}8e^{-j30^0 50'} = 1169e^{j37^0} = (9357 + j7017)\ B \cdot A;$$

$$S_A = 11696\ B \cdot A; \qquad P_A = 9357\ B\text{т}; \qquad Q_A = 7017\ \text{вар};$$

$$\tilde{S}_B = \dot{U}'_B \cdot \dot{I}_B = 370e^{-j128^0 10'} \cdot 37e^{j75^0 20'} = 13690e^{-j53^0} = (8214 - j10952)\ B \cdot A;$$

$$S_B = 13690\ B \cdot A; \qquad P_B = 8214\ B\text{т}; \qquad Q_B = -10952\ \text{вар};$$

$$\tilde{S}_C = \dot{U}'_C \cdot \dot{I}_C = 433e^{j122^0} \cdot 15{,}67e^{-j88^0 20'} = 6785e^{j33^0 40'} = (5647 + j3757)\ B \cdot A;$$

$$S_C = 6785\ B \cdot A; \qquad P_C = 5647\ B\text{т}; \qquad Q_C = 3757\ \text{вар}.$$

11. Мощности всей цепи:

$$\tilde{S} = \tilde{S}_A + \tilde{S}_B + \tilde{S}_C\,;$$

$$\tilde{S} = 9357 + j7017 + 8214 - j10952 + 5647 + j3757 = 23218 - j178\ \ B \cdot A;$$

$$P = 23218\ B\text{т}; \qquad Q = -178\ \text{вар}.$$

Эти же мощности определить по другим формулам:

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A^2 \cdot r_A + I_B^2 \cdot r_B + I_C^2 \cdot r_C;$$

$$P = 34{,}8^2 \cdot 8 + 37^2 \cdot 6 + 15{,}67^2 \cdot 23 = 23218\ \text{Вт};$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = I_A^2 \cdot X_A + I_B^2 \cdot X_B + I_C^2 \cdot X_C;$$

$$Q = 34{,}8^2 \cdot 6 - 37^2 \cdot 8 + 15{,}67^2 \cdot 15{,}3 = -178\ \text{вар}.$$

12. Топографическая диаграмма строится на комплексной плоскости в масштабе $m_U = 100$ В/см.

$$\overline{U'}_A = \frac{|U'_A|}{m_U} = \frac{280}{100} = 2{,}8\ \text{см};$$

$$\overline{U}_B = \frac{|U'_B|}{m_U} = \frac{464}{100} = 4{,}64\ \text{см};$$

$$\overline{U}_C = \frac{|U'_C|}{m_U} = \frac{754}{100} = 7{,}54\ \text{см};$$

$$\overline{U}_C = \frac{|U_0|}{m_U} = \frac{372}{100} = 3{,}72\ \text{см};$$

$$U_A = U_B = U_C = \frac{|U_A|}{m_U} = \frac{380}{100} = 3{,}8\ \text{см}.$$

Порядок построения топографической диаграммы.

Совмещаем вектор напряжения фазы *A* источника с положительной вещественной осью, так как его угол сдвига фаз равен нулю.

$$\dot{U}_A = 380e^{j0}.$$

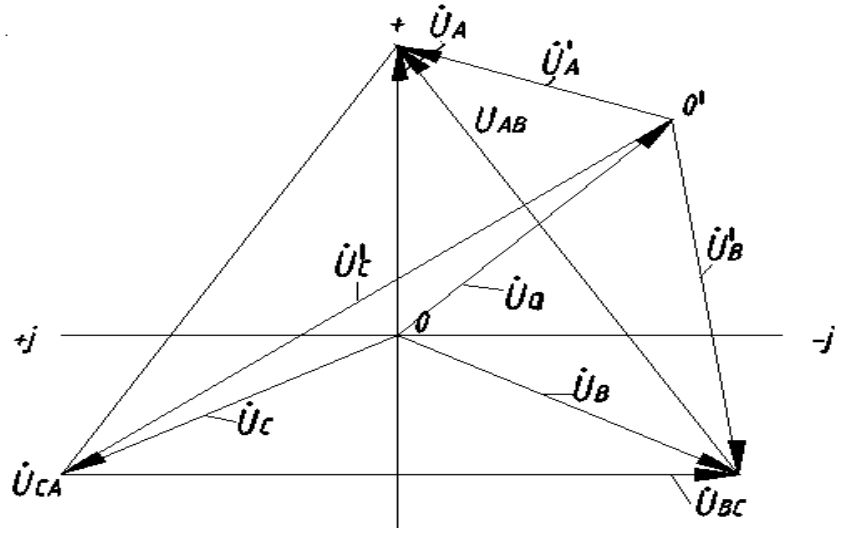

Рисунок 10

Откладываем вектор напряжения фазы *B* источника в сторону отставания от вектора напряжения фазы *A* на 120^0, а вектор направления фазы С – в сторону опережения на угол 120^0.

$$\dot{U}_B = 380e^{-j120}; \qquad \dot{U}_C = 380e^{j120}.$$

Соединяя концы вектора фазных напряжений источников, получим векторы линейных напряжений источников.

Длины векторов линейных напряжений определяются:

$$\overline{U}_{AB} = \overline{U}_{BC} = \overline{U}_{CA} = \frac{U_Л}{m_U} = \frac{660}{100} = 6{,}6 \text{ см}.$$

Векторы напряжений одинаковы, так как генераторы индуктируют симметричные ЭДС, следовательно, и напряжения симметричны. Из начала координат под углом $43^040'$ в сторону отставания от вещественной положительной оси откладывается напряжение смещения нейтрали $U_0 = 372e^{-j43^040'}\ B$. Длина этого вектора в масштабе 3,72 см.

Соединяя конец вектора напряжения смещения нейтрали с началами векторов фазных напряжений источников, получаем векторы фазных напряжений приемников электрической энергии $\dot{U}'_A$; $\dot{U}'_B$; $\dot{U}'_C$. Точка 0', в которой сходятся начала векторов фазных напряжений источников, есть нейтральная точка источников электрической энергии. Топографическая диаграмма показана на рис. 10.

Задача 2.

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений:

$$\underline{Z}_{AB} = (8 - j6)\ \text{Ом}; \qquad \underline{Z}_{BC} = (12 + j16)\ \text{Ом}; \qquad \underline{Z}_{CA} = (3 + j4)\ \text{Ом},$$

соединены треугольником и включены в трехпроводную цепь трехфазного тока с линейным напряжением $U_Л = 220$ В.

Начертите схему цепи и определите:

1) фазные и линейные токи;
2) активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи;
3) фазные напряжения, фазные и линейные токи при обрыве фазы ВС.

Построить векторную диаграмму фазных и линейных токов и напряжений при наличии трех фаз.

Решение.

Задача решается символическим методом.

1. Сопротивления и напряжения фаз приемника в алгебраической и показательной формах записи комплексов:

$$\underline{Z}_{AB} = 8 - j6 = 10e^{-j37^0}\text{Ом}; \qquad \underline{Z}_{BC} = 12 + j16 = 20e^{j53^0}\text{Ом};$$

$$\underline{Z}_{CA} = 3 + j4 = 5e^{j53^0}\text{Ом}.$$

При соединении фаз треугольником:

$$\dot{U}_{AB} = 220e^{j0} = (220 + j0)\text{ В};$$

$$\dot{U}_{BC} = 220e^{-j120^0} = (-110 - j190)\text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = 220e^{j120^0} = (-110 + j190)\text{ В}.$$

2. Фазные токи:

$$\dot{U}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = 22e^{j37^0} = (17{,}5 + j13{,}2)\ A;$$

$$\dot{U}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = 11e^{-j37^0} = (-10{,}9 - j1{,}34)\ A;$$

$$\dot{U}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}} = 44e^{j67^0} = (17{,}2 + j40{,}5)\ A.$$

3. Линейные токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17{,}5 + j13{,}2 - 17{,}2 - j40{,}5 = 0{,}3 - j27{,}3 = 27{,}3e^{-j90^0}\ A;$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} = -\dot{I}_{AB} = -10{,}9 - j1{,}34 - 17{,}5 - j13{,}2 = -28{,}4 - j14{,}54 = 32e^{-j153^0}\ A;$$

$$\dot{I}_C - \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 17{,}2 + j40{,}5 + 10{,}9 + j1{,}34 = 28{,}1 + j41{,}84 = 50{,}5e^{j56^0 10'}\ A.$$

4. Активная, реактивная и полная мощности фазы АВ:

$$\tilde{S}_{AB} = \dot{U}_{AB} \cdot \dot{I}_{AB} = 220e^{j^0} \cdot 22e^{-j37^0} = (3871 - j2904)\ B \cdot A.$$

$$S_{AB} = 4840\ B \cdot A; \quad P_{AB} = 3872 \text{ Вт}; \quad Q_{AB} = -2904 \text{ вар}.$$

5. Активная, реактивная и полная мощность фазы ВС:

$$\tilde{S}_{BC} = \dot{U}_{BC} \cdot \dot{I}_{BC} = 220e^{-j120^0} \cdot 11e^{j173^0} = 2420\ e^{j53^0} = (1452 + j1936)\ B \cdot A;$$

$$S_{BC} = 2420\ B \cdot A; \quad P_{BC} = 1452 \text{ Вт}; \quad Q_{CB} = 1936 \text{ вар}.$$

6. Активная, реактивная и полная мощность фазы СА:

$$\tilde{S}_{CA} = \dot{U}_{CA} \cdot \dot{I}_{CA} = 220e^{j120^0} \cdot 44e^{-j67^0} = 9680\ e^{j53^0} = (5808 + j7744)\ B \cdot A;$$

$$S_{CA} = 9680\ B \cdot A; \quad P_{CA} = 5808 \text{ Вт}; \quad Q_{CA} = 7744 \text{ вар}.$$

7. Активная мощность всей цепи:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Вт}.$$

Активная мощность всей цепи по другой формуле:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA};$$

$$P = 22^2 \cdot 8 + 11^2 \cdot 12 + 44^2 \cdot 3 = 3872 + 1452 + 5808 = 11132 \text{ Вт}.$$

8. Реактивная мощность всей цепи:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ вар}.$$

Реактивная мощность всей цепи по другой формуле:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = I_{AB}^2 \cdot r_{AB} + I_{BC}^2 \cdot r_{BC} + I_{CA}^2 \cdot r_{CA};$$

$$Q = 22^2 \cdot (-6) + 11^2 \cdot 16 + 44^2 \cdot 4 = -2904 + 1936 + 7744 = 6776 \text{ вар}.$$

Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что задача решена правильно. Полная мощность всей цепи:

$$\tilde{S} = P = jQ = 11132 + j6776 = 13000\ e^{j31^0 20'} = 13000\ B \cdot A.$$

9. При обрыве фазы BC сопротивление ее равно бесконечности, следовательно, ток в ней равен нулю ($I_{BC} = 0$). Токи в фазах *AB* и *CA* останутся такими же, как до обрыва фазы *BC*, вследствие того, что линейные, а, следовательно, и фазные напряжения не изменяются (рис. 11), то есть

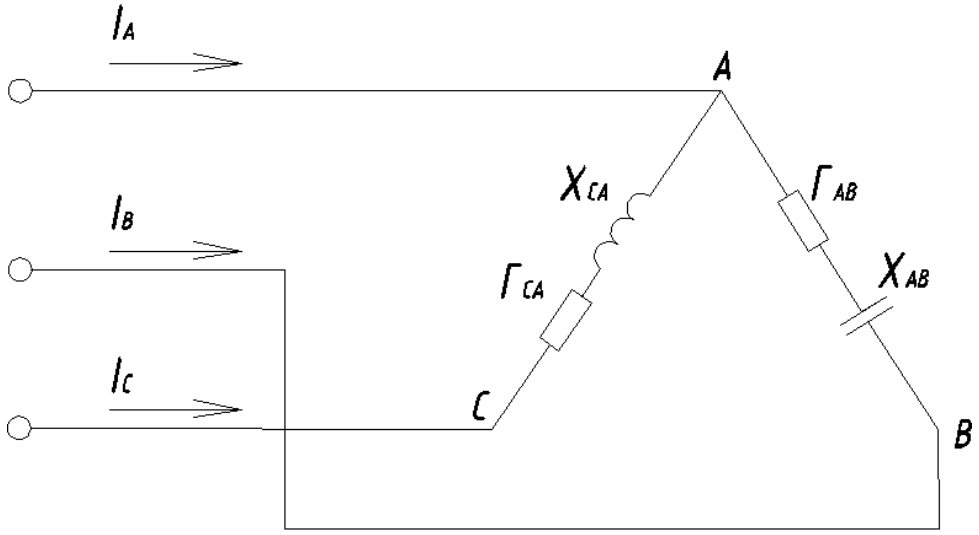

Рисунок 11

$$\dot{I}_{AB} = 17{,}5 + j13{,}2 = 22e^{j37^0}\ \text{А}; \qquad I_{AB} = 22\ \text{А};$$

$$\dot{I}_{CA} = 17{,}2 + j40{,}5 = 44e^{j67^0}\ \text{А}; \qquad I_{CA} = 44\ \text{А}.$$

Линейные токи при обрыве фазы BC равны:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 17{,}5 + j13{,}2 - 17{,}2 - j40{,}5 = 0{,}3 - j27{,}3 = 27{,}3e^{-j90^0}\ \text{А};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 0 - 17{,}5 - j13{,}2 = -17{,}5 - j13{,}2 = 22e^{-j43^0}\ \text{А};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 17{,}2 + j40{,}5 - 0 = 44e^{j67^0}\ \text{А}.$$

Векторная диаграмма

Для построения векторной диаграммы выбираются масштабы напряжения и тока:

$$m_U = 100\ \text{В/см}; \qquad m_I = 100\ A/\text{см}.$$

Длины векторов напряжений:

$$\overline{U}_{AB} = \overline{U}_{BC} = \overline{U}_{CA} = \frac{220}{100} = 2{,}2\ \text{см}.$$

Длины векторов токов:

$$\overline{I}_{AB} = \frac{|I_{AB}|}{m_I} = -\frac{22}{10} = 2{,}2 \text{ см;} \qquad \overline{I}_{BC} = \frac{|I_{BC}|}{m_I} = \frac{11}{10} = 1{,}1 \text{ см;}$$

$$\overline{I}_{CA} = \frac{|I_{CA}|}{m_I} = \frac{44}{10} = 4{,}4 \text{ см;} \qquad \overline{I}_{A} = \frac{27{,}3}{10} = 2{,}73 \text{ см;}$$

$$\overline{I}_{B} = \frac{|I_{B}|}{m_I} = \frac{31{,}7}{16} = 3{,}17 \text{ см;} \qquad \overline{I}_{C} = \frac{|I_{C}|}{m_I} = \frac{50{,}7}{10} = 5{,}07 \text{ см.}$$

Вектор напряжения $\overline{U}_{AB} = 220e^{j0}$ совмещаем с вещественной положительной осью, вектор напряжения $\overline{U}_{BC} = 220e^{-j120^0}$ откладываем в сторону отставания на 120^0, а вектор напряжения $\overline{U}_{CA} = 220e^{+j120^0}$ в сторону опережения вектора напряжения $\overline{U}_{AB}$ на 120^0.

Векторы токов откладываются на комплексной плоскости с учетом их углов сдвига фаз. На рис. 12 показана векторная диаграмма.

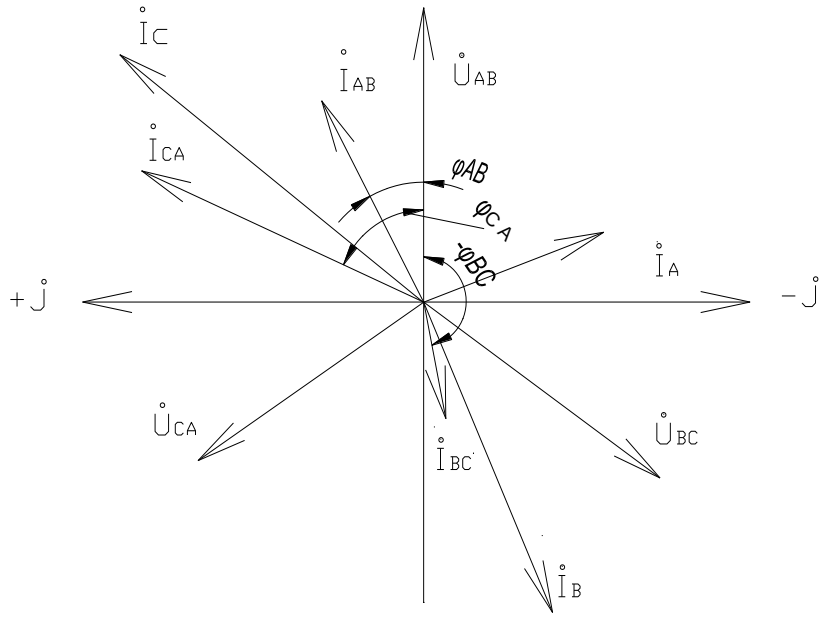

Рисунок 12

Контрольная работа № 1

Задача 1.

Для электрической цепи изображенной на рисунке 1, начертите схему в удобном для расчета виде.

1. Определите:
   а) эквивалентное сопротивление цепи;
   б) токи в каждом сопротивлении и всей цепи;
   в) падение напряжения на каждом сопротивлении;
   г) мощность всей цепи;
   д) энергию, потребляемую за 10 часов.
2. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится ток при изменении указанного в таблице сопротивления. Данные для решения задачи указаны в таблице 1.

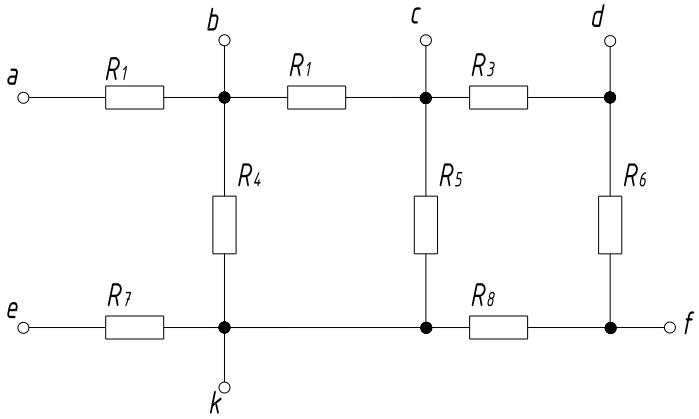

Рисунок 1

Данные задачи 1.

№ вари-анта	Токи при-ложенного напряжения	Задаваемые величины								
		U, В	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	R5, Ом	R6, Ом	R7, Ом	R8, Ом
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
00	b-k	72	-	62↓	64	66	68	70	-	72
01	c-k	48	-	22	24↓	26	28	30	-	32
02	a-k	96	34	36	38	40↓	42	44	-	46
03	e-b	108	-	50	52	54	56↓	58	48	60
04	f-d	120	-	64	66	68	70	72↓	-	74
05	a-c	12	4↓	3	2	6	6	2	5	2
06	b-c	10	-	2↓	3	6	4	6	-	5
07	d-f	36	-	4	3↓	2	5	4	-	2
08	c-d	150	-	2	3	4↓	5	6	-	8
09	k-f	48	-	3	4	5	6↓	7	-	1
10	b-k	120	-	4	5	6	7	8↓	-	2
11	c-k	15	-	5	6	7	8	1	-	3
12	a-k	24	5	6	7	8	1	2	-	4↓

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	e-d	110	-	7↑	8	1	2	3	4	5
14	f-d	200	-	8↓	1	2	3	4	-	6
15	b-c	12	-	10	4↑	4	12	4	-	4
16	d-f	10	-	4	4	10↑	4	12	-	4
17	c-d	36	-	12	4	4↓	10↑	4	-	4
18	k-f	150	-	4	4	12	4	10↑	-	6
19	b-k	48	-	10	2	6	2	5↓	-	3
20	c-k	120	-	15↑	7	4	8	2	-	4
21	a-k	15	4	2	10↑	4	3	1	-	1
22	e-b	24	-	2	5	5↑	4	2	6	2
23	e-d	110	-	12	6	6	3↑	4	5	3
24	a-e	200	6	15	7	7	6	8↑	4	1
25	b-c	36	-	12	12	12	24	36	-	12↓
26	d-f	18	-	6↓	61	6	12	18	-	6
27	c-d	60	-	3	3↓	3	6	8	-	4
28	k-f	90	-	24	24	24↓	48	72	-	8
29	b-k	120	-	12	18	9	24↓	36	-	6
30	c-k	150	-	16	16	16	32	32↓	-	18
31	a-k	180	6	20	20	20	40	40	-	9↓
32	e-b	210	-	25↑	25	25	50	50	30	10
33	f-d	240	-	30	30↑	30	60	60	-	20
34	b-c	24	-	10	10	10↑	6	6	-	4
35	d-f	12	-	36	150	36	72↑	100	-	14
36	c-d	24	-	72	300	72	144	200↑	-	28
37	k-f	36	-	18	75	18	72	100	-	14↑
38	b-k	48	-	12	12↑	12	24	24	-	12
39	c-k	60	-	6↓	6	12	12	6	-	6
40	a-k	72	4	12	12↓	6	6	12	-	12
41	e-b	84	-	24	24	12↓	12	24	6	24
42	f-d	96	-	12	24	36	18↓	12	-	18
43	a-e	108	12	24	36	12	6	2↓	6	12
44	b-c	120	-	36	24	12	6	36	-	24↓
45	a-e	48	8	6↑	12	6	12	30	4	48
46	b-c	60	-	8	14↑	8	14	40	-	50
47	d-f	72	-	10	16	10↑	16	40	-	50
48	c-d	84	-	12	16	12	16↑	50	-	40
49	k-f	96	-	16	12↑	16	12	60	-	60
50	b-k	108	-	20	24	20	16	50	-	50↓
51	c-k	120	-	25↑	24	25	24	25	-	25
52	a-k	136	2	4	6↑	4	6	4	-	6
53	e-b	124	-	6	4	6↑	4	6	4	4
54	f-d	12	-	2	4	2	4↑	2	-	4
55	a-k	12	4	4	2	4	2	4↑	-	2
56	e-b	24	-	6	8	6	8	6	4	8↑
57	f-d	36	-	8↓	6	8	6	8	-	6
58	a-e	48	4	10	8↓	10	8	10	6	8
59	b-c	60	-	15	10	15↓	10	15	-	10
60	d-f	72	-	20	15	20	15↓	20	-	15
61	c-d	84	-	15	20	15	20	15↓	-	20
62	k-f	96	-	25	20	25	20	25	-	20↓

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
63	b-k	108	-	20↑	25	15	25	20	-	25
64	c-k	120	-	30	25↑	30	25	30	-	25
65	a-k	15	20	75	10	75↑	30	10	-	10
66	e-b	24	-	10	7.5	10	75↑	10	15	7.5
67	f-d	36	-	15	10	15	10	15↑	-	10
68	a-e	48	10	10	15	10	15	10	15	15↑
69	b-c	60	-	15↓	20	15	20	15	-	20
70	d-f	72	-	20	25↓	20	25	20	-	25
71	c-d	84	-	25	30	25↓	30	25	-	30
72	k-f	96	-	30	35	30	35↓	30	-	35
73	b-k	108	-	40	45	40	45	40↓	-	45
74	c-k	120	-	45	50	45	50	45	-	50↓
75	a-k	120	30↑	30	10	60	60	20	-	30
76	e-b	36	-	3↑	3	4	3	4	3	4
77	f-d	48	-	6	4↑	6	4	6	-	4
78	a-e	60	6	8	10	6↑	8	10	4	6
79	b-c	60	-	8	10	6	8↑	10	-	6
80	d-f	72	-	6	6	10	10	8↑	-	10
81	c-d	84	-	8	8	12	16	10	-	16↑
82	k-f	96↓	-	16	16	24	32	20	-	10
83	b-k	108	-	18↑	18	16	24	32	-	24
84	c-k	120	-	36↓	18	32	48	64	-	32
85	a-k	12	2	4	6↓	8	10	12	-	14
86	e-d	24	-	6	8	10	12	14	4	16
87	f-d	36	-	8	10	12	14↑	16	-	18
88	a-e	48	8	10	12	14	10	10↓	-	30
89	b-c	60	-	12	14	16	18	20	-	22↓
90	d-f	72↑	-	24	26	28	30	32	-	34
91	c-d	84	-	26↓	28	30	32	34	-	36
92	k-f	96	-	28↑	30	32	34	36	-	38
93	b-k	108	-	42	44↑	46	48	50	-	52
94	c-k	120	-	56	58	60↑	62	64	-	66
95	a-e	12	2	4	8	6	8↑	6	4	4
96	b-c	24	-	60	8	10	12	14↑	-	16
97	d-f	36	-	20	22	24	26	28	-	30↑
98	c-d	48↓	-	34	36	38	40	42	-	44
99	k-f	60	-	48↑	50	52	54	56	-	58

Задача 2.

Определи те заряд, напряжение, энергию электрического поля каждого конденсатора, эквивалентную емкость и энергию потребляемую цепью.

Данные для решения задачи указаны в табл. 2.1. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится энергия электрического поля всей цепи при изменении емкости, указанной в табл. 2.1.

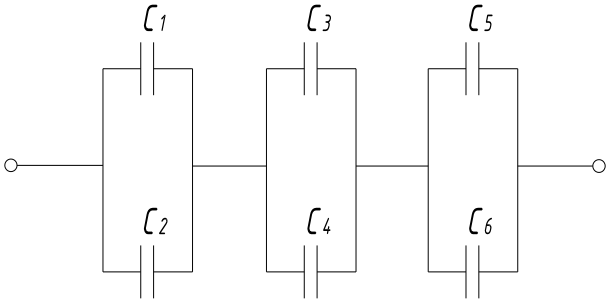

Рисунок 2.1

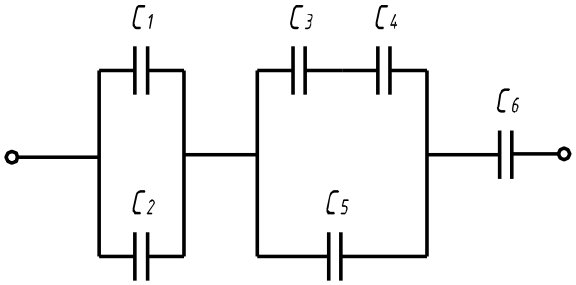

Рисунок 2.2

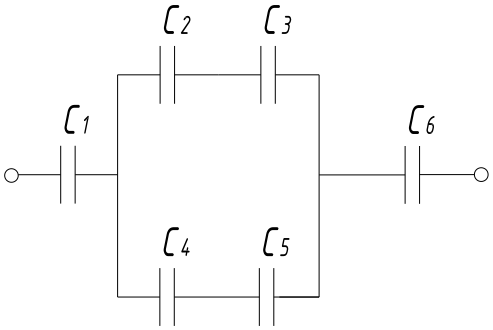

Рисунок 2.3

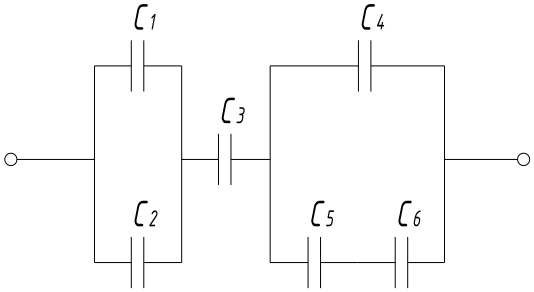

Рисунок 2.4

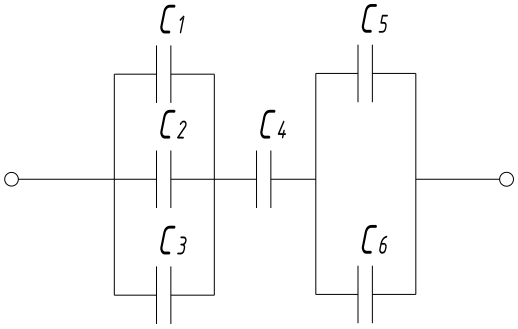

Рисунок 2.5

Данные задачи 2.

Номер варианта	**Номер рисунка схемы**	**Задаваемые величины**						
		U, кВ	**C_1 мкФ**	**C_2 мкФ**	**C_3 мкФ**	**C_4 мкФ**	**C_5 мкФ**	**C_6 мкФ**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
00	2,1	1	20	30↑	40	50	60	10
01	2,2	10	30	40	50↑	60	10	20
02	2,3	9	40	50	60	10↑	20	30
03	2,4	8	50	60	10	20	30↑	40
04	2,5	7	60	10	20	30	40	50↑
05	2,1	2	10↓	20	30	40	50	60
06	2,2	9	20	30↓	40	50	60	10
07	2,3	8	30	40	50↓	60	10	20
08	2,4	7	40	50	60	10↓	20	30
09	2,5	6	50	60	10	20	30↓	40
10	2,1	3	60	10	20	30	40	50↓
11	2,2	8	10↑	20	30	40	50	60

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	2,3	7	20	30↑	40	50	60	10
13	2,4	6	30	40	50↑	60	10	20
14	2,5	5	40	50	60	10↑	20	30
15	2,1	4	50	60	10	20	30↑	40
16	2,2	7	60	10	20	30	40	50↑
17	2,3	6	10↓	20	30	40	50	60
18	2,4	5	20	30↓	40	50	60	10
19	2,5	4	30	40	50↓	60	10	20
20	2,1	5	40	50	60	10↓	20	30
21	2,2	6	50	60	10	20	30↓	40
22	2,3	5	60	10	20	30	40	50↓
23	2,4	4	10↑	20	30	40	50	60
24	2,5	3	20	30↑	40	50	60	10
25	2,1	6	30	40	50↑	60	10	20
26	2,2	5	40	50	60	10↑	20	30
27	2,3	4	50	60	10	20	30↑	40
28	2,4	3	60	10	20	30	40	50↑
29	2,5	2	10↓	20	30	40	50	60
30	2,1	7	20	30↓	40	50	60	10
31	2,2	4	30	40	50↓	60	10	20
32	2,3	3	40	50	60	10↓	20	30
33	2,4	2	50	60	10	20	30↓	40
34	2,5	1	60	10	20	30	40	50↓
35	2,1	8	10↑	20	30	40	50	60
36	2,2	3	20	30↑	40	50	60	10
37	2,3	2	30	40	50↑	60	10	20
38	2,4	1	40	50	60	10↑	20	30
39	2,5	2	50	60	10	20	30↑	40
40	2,1	9	60	10	20	30	40	50↑
41	2,2	2	10↓	20	30	40	50	60
42	2,3	1	20	30↓	40	50	60	10
43	2,4	9	30	40	50↓	60	10	20
44	2,5	1	40	50	60	10↓	20	30
45	2,1	10	50	60	10	20	30↓	40
46	2,2	1	60	10	20	30	40	50↓
47	2,3	10	10↑	20	30	40	50	60
48	2,4	2	20	30↑	40	50	60	70
49	2,5	3	10↑	20	30	40	50	60

Примечание: В таблице к задаче 2 применяются условные обозначения: «↑» означает, что данная емкость увеличивается, «↓» означает, что данная емкость уменьшается.

Задача 3.

Для электрической схемы, изображенной на рис. 3.1, по указанным в таблице параметрам выполните следующее задание:

1. Изобразите схему для своего варианта в удобном для расчета виде.
2. Составьте на основании закона Кирхгофа систему необходимых уравнений для расчетов токов во всех ветвях схемы.
3. Определите токи в ветвях, пользуясь любым методом расчета.
4. Постройте потенциальную диаграмму для любого контура.
5. Определите мощности источников, приемников электрической энергии и мощности потерь внутри источников.
6. Составьте баланс мощностей.
7. В общем виде в логической последовательности покажите, как изменится потеря мощности внутри источника при изменении указанного сопротивления.

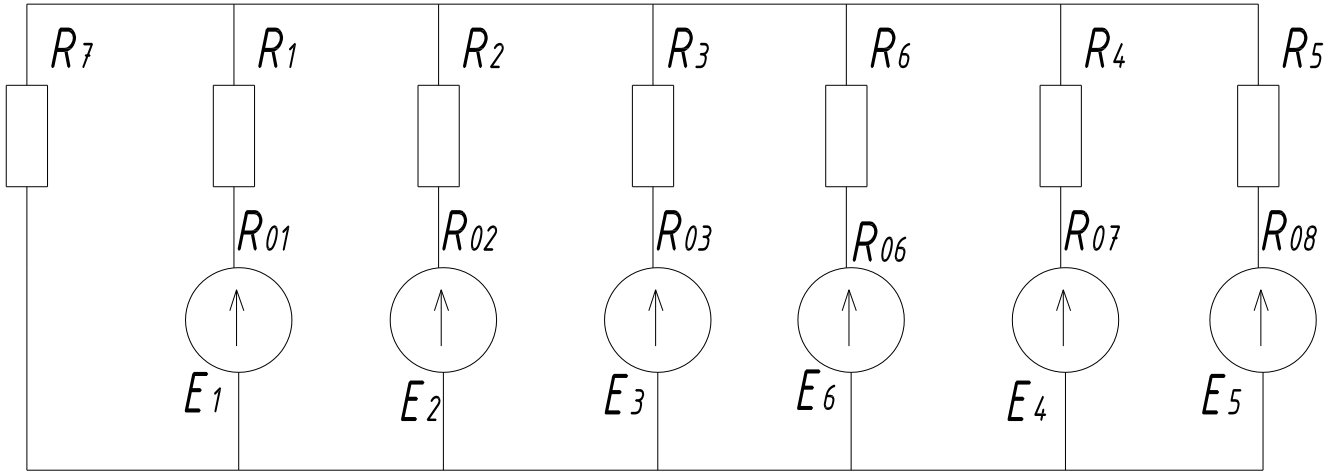

Рисунок 3.1

№ варианта	Заданные величины																		
	E_1 В	E_2 В	E_3 В	E_4 В	E_5 В	E_6 В	R_{01} Ом	R_{02} Ом	R_{03} Ом	R_{04} Ом	R_{05} Ом	R_{06} Ом	R_1 Ом	R_2 Ом	R_3 Ом	R_4 Ом	R_5 Ом	R_6 Ом	R_7 Ом
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
50	-	80	20	-	60	-	-	0,7	0,6	-	0,5	-	-	9,3↑	9,4	-	9,5	-	-
51	-	90	-	100	-	30	-	0,2	-	0,3	-	0,4	-	9,8	-	9,7↓	-	9,6	-
52	120	-	60	-	20	-	0,7	-	0,6	-	0,5	-	9,3	-	9,4	-	9,5↑	-	-
53	-	120	-	30	-	10	-	0,3	-	0,4	-	0,5	-	9,7	-	9,6	-	9,5↓	-
54	60	-	30	-	20	-	0,6	-	0,5	-	0,4	-	9,4↓	-	9,5	-	9,6	-	-
55	40	-	-	-	30	70	0,4	-	-	-	0,5	0,6	9,6	-	-	-	5↑	9,4	-
56	-	80	60	20	-	-	-	0,2	0,3	0,4	-	-	-	9,8↑	9,7	9,6	-	-	-
57	-	-	-	70	60	50	-	-	-	0,7	0,6	0,5	-	-	-	9,3	9,4	9,5↑	-
58	100	40	20	-	-	-	0,8	0,7	0,6	-	-	-	9,1	9,3↓	9,4	-	-	-	-
59	-	-	20	40	100	-	-	-	0,8	0,6	0,2	-	-	-	9,2	9	9,8	-	-
60	90	60	-	-	-	-	0,1	0,2	-	-	-	-	9,9↑	9,8	-	-	-	-	10
61	-	70	50	-	-	-	-	0,3	0,2	-	-	-	-	9,7↑	9,8	-	-	-	10
62	-	-	60	30	-	-	-	-	0,4	0,4	-	-	-	-	9,6↑	9,6	-	-	10
63	60	-	90	-	-	-	0,1	-	0,3	-	-	-	9,9	-	9,7↑	-	-	-	10
64	70	-	-	80	-	-	0,4	-	-	0,5	-	-	9,6	-	-	9,5↓	-	-	10
65	-	90	-	60	-	-	-	0,3	-	0,3	-	-	-	9,7↑	-	9,7	-	-	10
66	80	-	-	-	130	-	0,2	-	-	-	0,1	-	9,8	-	-	-	9,9	-	10
67	-	90	-	-	60	-	-	0,1	-	-	0,2	-	-	9,9↑	-	-	9,8	-	10
68	-	-	120	-	90	-	-	-	0,1	-	0,3	-	-	-	9,9↓	-	9,7	-	10
69	-	-	-	110	100	-	-	-	-	0,1	0,4	-	-	-	-	9,9↑	9,6	9,8↓	10
70	100	-	-	-	-	50	0,1	-	-	-	-	0,2	9,9↑	-	-	-	-	9,9↓	10
71	110	-	-	-	-	60	0,2	-	-	-	-	0,1	9,8	-	-	-	-	9,7	10
72	-	120	-	-	-	70	-	0,3	-	-	-	0,3	-	9,7↑	-	-	-	9,8↓	10
73	-	-	50	-	-	40	-	-	0,2	-	-	0,2	-	9,8	-	9,6↑	-	9,7	10
74	-	-	-	40	-	50	-	-	-	0,4	-	0,3	-	-	-	9,9	-	9,5	10
75	-	-	-	-	70	20	-	-	-	-	0,5	0,5	9,9↑	-	-	-	9,5↑	-	10
76	100	-	-	50	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	9,8	-	-	-	-	-	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
77	120	-	-	-	100	-	0,2	-	-	-	0,2	-	-	9,7	-	-	9,8↓	9,7↑	10
78	-	100	-	-	-	50	-	0,3	-	-	-	0,3	-	-	9,5	9,6↑	-	-	10
79	-	-	120	-	60	-	-	-	0,5-	-	0,4	-	9,7	-	-	-	9,6↓	-	10
80	20	-	-	120	-	-	0,3	-	-	0,4	-	-	-	9,8↓	-	-	-	-	10
81	-	40	-	-	100	-	-	0,2	-	-	0,2	-	-	-	9,9↑	9,7↓	9,8	9,9	10
82	-	-	70	-	-	90	-	-	0,1	-	-	0,1	9,5	-	-	-	-	-	10
83	80	-	-	50	-	-	0,5	-	-	0,3	-	-	-	9,7	-	-	-	-	10
84	-	70	-	-	40	-	-	0,3	-	-	0,1	-	-	-	9,8	9,6↑	9,9↑	9,6↓	10
85	-	-	60	-	-	30	-	-	0,2	-	-	0,4	-	-	-	-	-	9,8↓	10
86	-	-	-	50	-	20	-	-	-	0,4	-	0,2	-	9,8↑	9,7	9,9↓	-	-	10
87	-	100	50	-	-	-	-	0,2	0,3	-	-	-	-	9,5	-	-	-	-	10
88	-	120	-	50	-	-	-	0,5	-	0,1	-	-	-	-	9,8↑	-	-	-	10
89	-	-	80	-	20	-	-	-	0,2	-	0,2	-	9,9	9,7↓	9,8	9,8	9,8	-	10
90	120	20	50	-	-	-	0,1	0,3	0,2	-	-	-	-	9,9	9,8↓	9,7↑	-	-	-
91	-	110	30	40	-	-	-	0,1	0,2	0,2	-	-	-	-	9,8	9,9↓	-	-	-
92	-	-	100	50	70	-	-	-	0,2	0,3	0,4	-	-	-	-	-	9,6	9,7	-
93	-	-	-	100	30	80	-	-	-	0,1	0,2	0,3	9,8↑	-	9,7	9,6	9,8	0,5	-
94	110	-	30	-	-	50	0,2	-	0,3	-	-	0,5	-	9,8↓	-	-	-	0,7	-
95	-	100	-	40	-	60	-	0,2	-	0,4	-	0,3	9,9	-	9,8↑	9,6↓	-	-	-
96	90	-	20	-	80	-	0,1	-	0,2	-	0,3	-	-	9,7	-	9,8	9,7	9,5	-
97	-	60	-	50	-	100	-	0,3	-	0,4	-	0,5	-	-	9,7	9,7	-	-	-
98	-	-	60	20	40	-	-	-	0,3	0,2	0,1	-	9,6	-	-	-	9,9↑	9,8↓	-
99	100	-	-	30	-	80	0,4	-	-	0,3	-	0,2	-	9,3↑	9,4	9,7↓	-	-	-

Задача 4.

К генератору переменного тока с напряжением (U_m) и частотой f = 50 Гц подключены последовательно, как указано в схемах к задаче, активные сопротивления, индуктивности и емкости, значения которых приведены в таблице 4.

1. Определите:
   а) действующее значение приложенного напряжения;
   б) ток в электрической цепи;
   в) активную и реактивную мощности, приведенных в схеме сопротивлений;
   г) активную и реактивную и полную мощности всей цепи;
   д) активную, индуктивную и емкостную составляющие напряжения.
2. Постройте векторную диаграмму напряжений.

В общем виде в логической последовательности покажите, как повлияет изменение указанного в таблице параметра на величины: X_L, X_C, Z, I, P, Q, S, U_a, U_L, U_C при U=const.

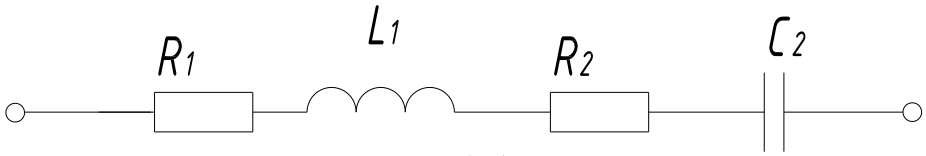

Рисунок 4.1

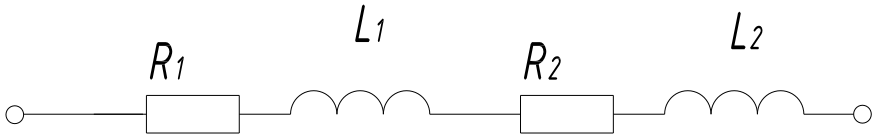

Рисунок 4.2

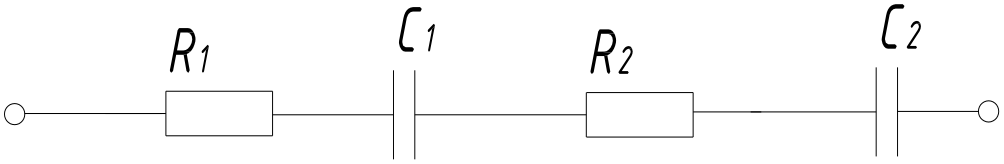

Рисунок 4.3

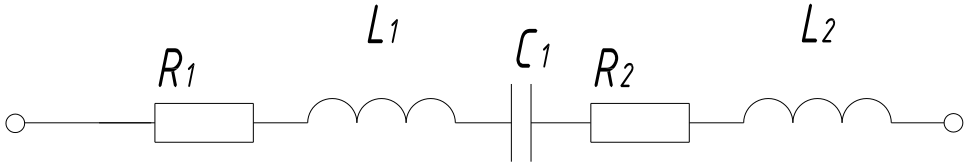

Рисунок 4.4

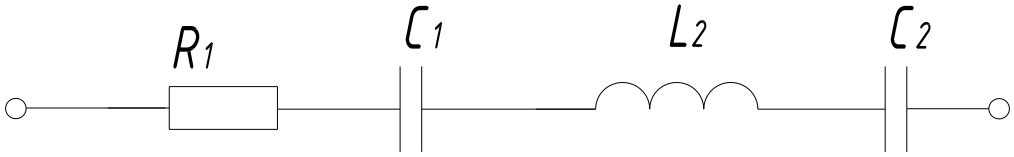

Рисунок 4.5

Данные задачи 4.

№ варианта	№ рисунка схемы	Задаваемые величины						
		U_m, В	R_1, Ом	L_1, мГ	C_1, мкФ	R_2, Ом	L_2, мГ	C_2, мкФ
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
00	4,1	220	6	10↑	-	40	-	25
01	4,2	380	8	15	-	38↓	40	-
02	4,3	660	10	-	75	36↑	-	-
03	4,4	127	12	25	100	34↑	40	-
04	4,5	220	14↓	-	125	-	50	30
05	4,1	380	16	35↑	-	30	-	150
06	4,2	660	18↓	40	-	28	40	-
07	4,3	127	20	-	200	26↓	-	45
08	4,4	380	22↑	50	225	24	60	-
09	4,5	380	24	-	250	-	30↑	50
10	4,1	660	26	60	-	20↓	-	100
11	4,2	127	28↑	65	-	18	20	-
12	4,3	220	30	-	150↓	16	-	30
13	4,4	220	32	75	100	14↑	40	-
14	4,5	660	34	-	150	-	50↓	20
15	4,1	127	36↑	85	-	10	-	60
16	4,2	220	38	90↓	-	8	70	-
17	4,3	380	6	-	95	6↑	-	80
18	4,4	660	8	100	200	42	90↓	-
19	4,5	220	10↓	-	100	-	100	20
20	4,1	380	12	15	-	42↓	-	20
21	4,2	660	14	50	-	40↑	40	-
22	4,3	127	16	-	575	38	-	60↓
23	4,4	380	18↑	60	600	36	80	-
24	4,5	660	20	-	625↓	-	34	100
25	4,1	127	22↑	70	-	32	-	120
26	4,2	220	24	80	-	30↓	100	-
27	4,3	380	26	-	700	28↑	-	160
28	4,4	660	28	100	725	26	20↓	-
29	4,5	127	30	-	750	-	30	200↑
30	4,1	220	32	15	-	2↓	-	50
31	4,2	380	34	20	-	4↑	12	-
32	4,3	660	36	-	825↑	6	-	100
33	4,4	127	38↑	30	850	8	16	-
34	4,5	220	40	-	875	-	18↓	150
35	4,1	380	6	40	-	12↑	-	200
36	4,2	660	8	45	-	14↓	22	-
37	4,3	127	10	-	950↑	16	-	120
38	4,4	220	12↓	55	975	18	26	-
39	4,5	380	14	-	1000	-	28↑	100
40	4,1	660	16	65↑	-	25	-	10
41	4,2	127	18	70↓	50	20	40	-
42	4,3	220	20↑	-	75	-	50	30
43	4,4	380	22	80	-	30↑	-	40
44	4,5	660	24	85	-	40	60↓	-
45	4,1	127	26↓	-	150	50	-	60

1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	4,2	220	28	95	175↑	60	90	-
47	4,3	380	30	-	200	-	100	80↓
48	4,1	660	32	105↑	-	70	-	90
49	4,3	127	36	110	-	80↓	120	-

Примечание: «↑» – величина увеличивается, «↓» означает, что данная уменьшается.

Задача 5

Цепь состоящая из двух параллельных ветвей, параметры которых r_1, X_{L1}, X_{c1}, R_2, X_{L2}, X_{c2} приведены в таблице 1.5, присоединена к сети с напряжением U и частотой f=50 Гц.

1. Начертите схему электрической цепи и определите:
   а) токи в параллельных ветвях и ток в неразветвленной части цепи;
   б) коэффициент мощности каждой ветви и всей цепи;
   в) углы сдвига фаз токов относительно напряжения сети;
   г) активную, реактивную и полную мощности цепи.
2. Постройте векторную диаграмму.
3. В общем виде в логической последовательности покажите, как влияет изменение указанной в таблице величины на параметры: g_1, b_1, y_1, g_2, b_2, y_2, I_1, I_2, I.

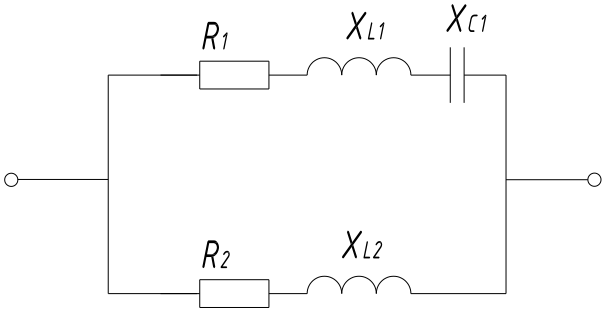

Рисунок 5.1

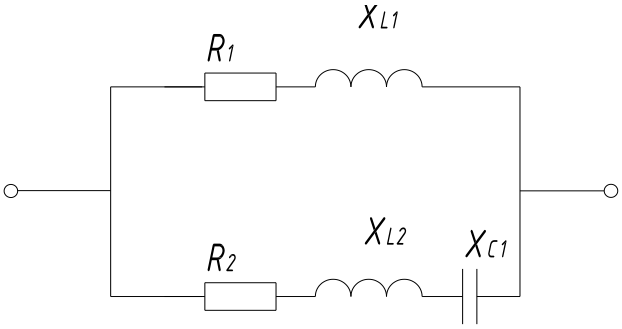

Рисунок 5.3

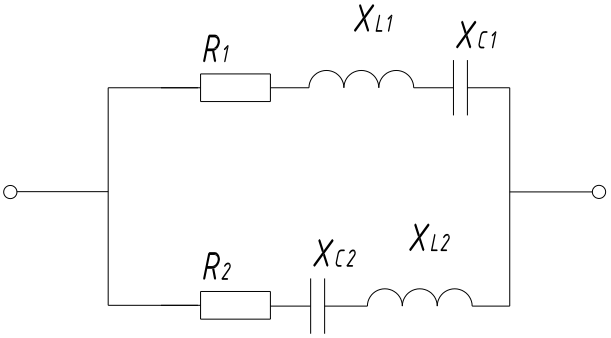

Рисунок 5.2

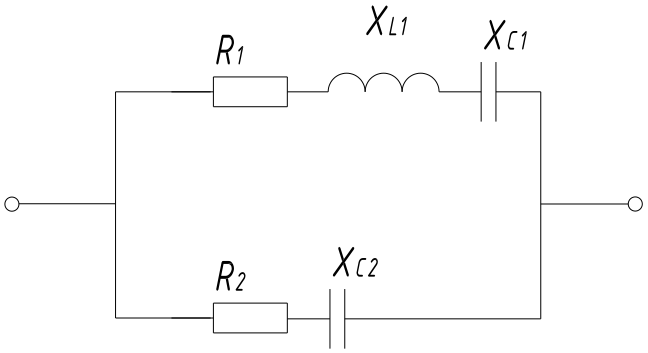

Рисунок 5.4

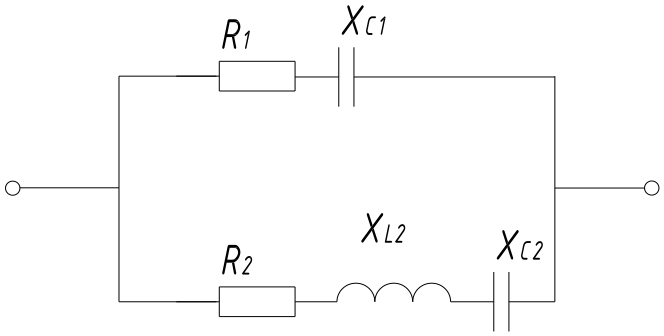

Рисунок 5.5

Данные задачи 5.

№ варианта	№ рисунка схемы	Задаваемые величины						
		U В	R_1 Ом	X_{L1} Ом	X_{c1} Ом	R_2 Ом	X_{L2} Ом	X_{c2} Ом
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
50	5.1	127	55	30	35↑	55	65	-
51	5.2	220	50↑	35	40	50	60	50
52	5.3	380	45	40↑	-	45	55	55
53	5.4	660	40	45	45	40↑	-	60
54	5.5	127	35	-	50	35	45↑	65
55	5.1	220	30	55	55↓	30	40	-
56	5.2	380	25	60↑	60	25	35	75
57	5.3	660	20	65	-	20↑	30	80
58	5.4	127	15	70	65	15	-	85↑
59	5.5	220	10	-	70	10	20↓	90
60	5.1	380	10↓	50	5	100	50	-
61	5.2	660	20	45↓	10	90	55	45
62	5.3	127	30	40	-	80	60↑	40
63	5.4	220	40	35	20	70↓	-	35
64	5.5	380	50	-	25	60	65	30↓
65	5.1	660	60↑	25	30	50	70	-
66	5.2	127	70	20↑	35	40	75	20
67	5.3	220	80	15	-	30	80↓	15
68	5.4	380	90	10	45	20↑	-	10
69	5.5	660	100	-	50	10	85	5↑
70	5.1	127	100↓	15	55	10	5	-
71	5.2	220	90	20	60↓	20	10	20
72	5.3	380	80	25	-	30↓	15	30
73	5.4	660	70	30	70↑	40	-	40
74	5.5	127	60	-	75	50	25	50↓
75	5.1	220	50↑	30	80	60	30	-
76	5.2	380	40	35	85↑	70	35	70
77	5.3	660	30	40	-	80↑	40	80
78	5.4	127	20	45↓	95	90	-	90
79	5.5	220	10	-	100	100	50	100↑
80	5.1	127	75↑	75	10	10	20	-
81	5.2	220	10	70↑	15	15	25	100
82	5.3	380	15↓	65	-	20	30	150

1	2	3	4	5	6	7	8	9
83	5.4	660	20	60	25	25↑	-	200
84	5.5	127	25	-	30	30	40↑	250
85	5.1	220	30↓	50	35	35	45	-
86	5.2	380	35	45↓	40	40	50	300
87	5.3	660	40	40	-	45↓	55	350
88	5.4	127	45	35	50↓	50	-	60
89	5.5	220	50	-	55	55↓	65	70
90	5.1	380	55↑	25	60	60	70	-
91	5.2	660	60	20↑	65	65	75	90
92	5.3	127	65↓	15	-	70	80	5
93	5.4	220	70	10	75	75↑	-	10
94	5.5	380	75	-	80	80	90↑	15
95	5.1	660	80↓	5	10	80	90	-
96	5.2	127	75	10↓	15	75	80	25
97	5.3	220	70	15	-	70↓	80	30
98	5.4	380	65	20	25	65↓	-	35
99	5.5	660	60	-	30	60	70↓	40

Примечание: В таблице применяются условные обозначения: ↑ означает, что данная емкость увеличивается, ↓ означает, что данная емкость уменьшается.

Задача 6

Вычислите токи во всех участках цепи, напряжение, приложенное к точкам 2-3 цепи, активную, реактивную и полную мощности каждой ветви и всей цепи. Постройте векторную диаграмму цепи. Задачу решите символическим методом.

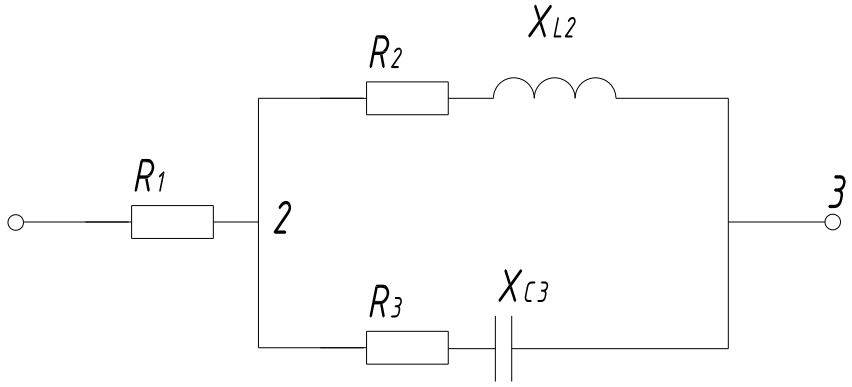

Рисунок 6.1

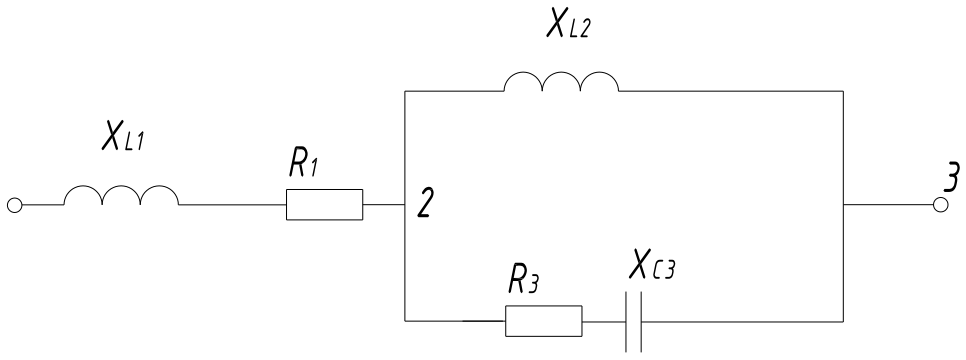

Рисунок 6.2

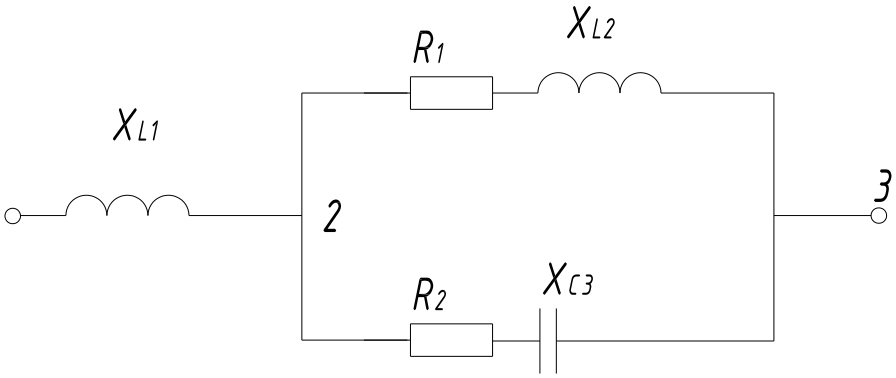

Рисунок 6.3

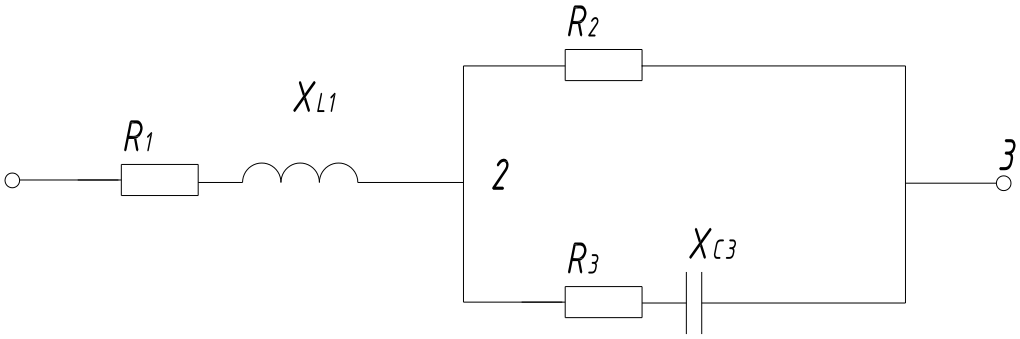

Рисунок 6.4

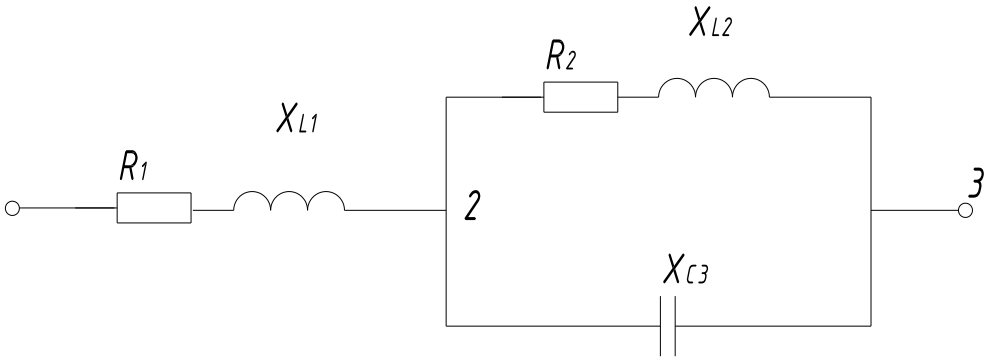

Рисунок 6.5

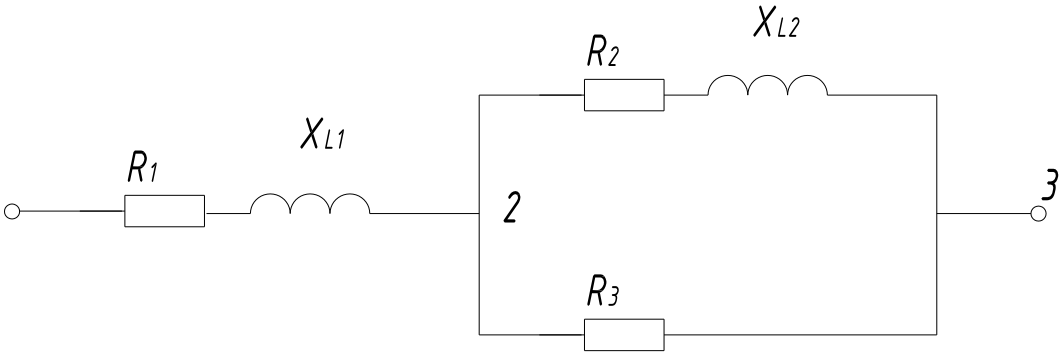

Рисунок 6.6

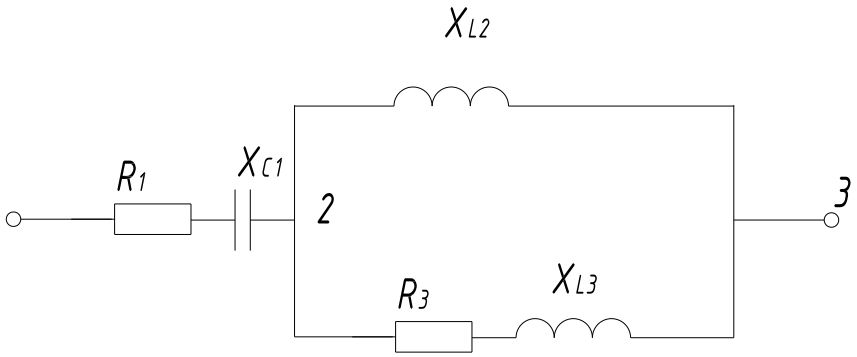

Рисунок 6.7

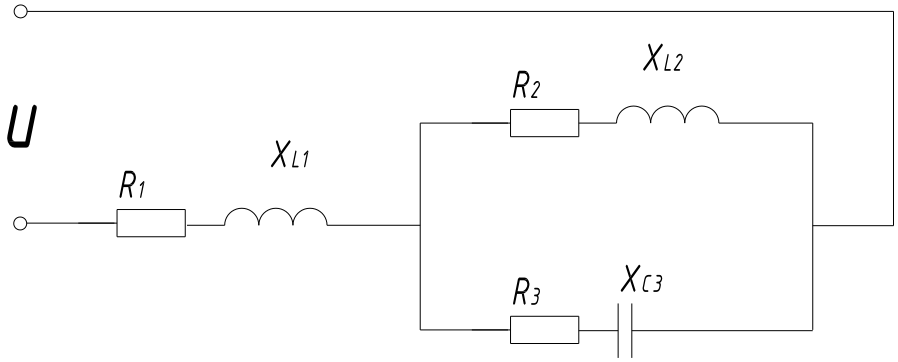

Рисунок 6.8

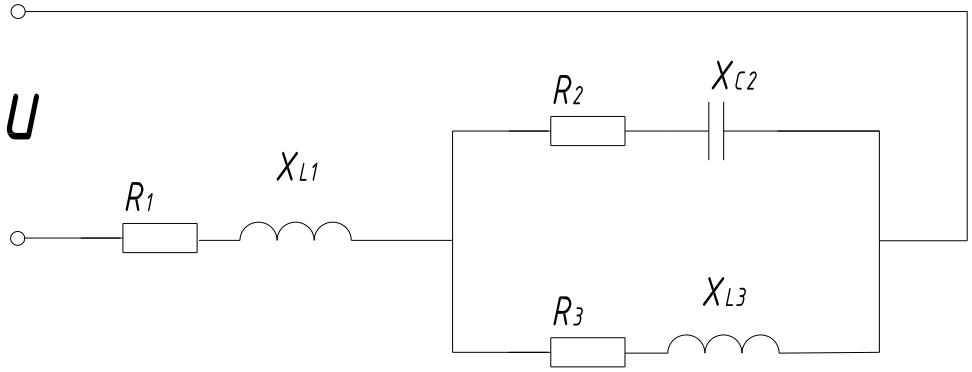

Рисунок 6.9

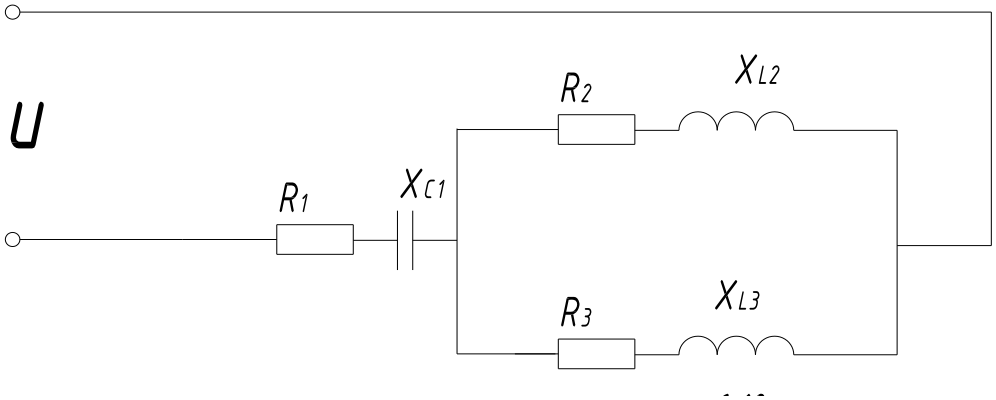

Рисунок 6.10

Данные задачи 6

№ варианта	№ рисунка схемы	Задаваемые величины									
		U В	R_1 Ом	X_{L1} Ом	X_{c1} Ом	R_2 Ом	X_{L2} Ом	X_{c2} Ом	R_3 Ом	X_{L3} Ом	X_{c3} Ом
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
00	6,1	127	4	-	-	3	4	-	6	-	3
01	6,2	220	6	8	-	-	3	-	5	-	4
02	6,3	380	-	8	-	6	8	-	4	-	8
03	6,4	660	10	6	-	8	-	-	5	-	6
04	6,5	127	12	16	-	9	12	-	-	-	7
05	6,6	220	14	12	-	12	9	-	7	-	-
06	6,7	380	16	-	12	-	16	-	12	9	-
07	6,8	660	18	16	-	12	16	-	14	-	16
08	6,9	127	20	18	-	16	-	12	10	12	-
09	6,10	220	22	-	11	9	4	-	6	3	-
10	6,1	380	4	-	-	16	12	-	12	-	3
11	6,2	660	6	4	-	-	16	-	15	-	4
12	6,3	127	-	6	-	16	18	-	14	-	6
13	6,4	220	10	8	-	20	-	-	18	-	9
14	6,5	380	12	9	-	18	22	-	-	-	10
15	6,6	660	14	12	-	6	8	-	8	-	-
16	6,7	127	16	-	12	-	6	-	5	24	-
17	6,8	220	18	16	-	3	4	-	6	-	32
18	6,9	380	20	3	-	4	-	3	12	32	-
19	6,10	660	22	-	4	16	12	-	12	24	-
20	6,1	127	3	-	-	9	4	-	8	-	4
21	6,2	220	3	4	-	-	3	-	4	-	6
22	6,3	380	-	6	-	16	9	-	7	-	9
23	6,4	660	6	8	-	24	-	-	10	-	12
24	6,5	127	8	9	-	32	16	-	-	-	12
25	6,6	220	16	12	-	3	24	-	20	-	-
26	6,7	380	12	-	16	-	32	-	6	32	-
27	6,8	660	36	24	-	6	9	-	8	-	12
28	6,9	127	4	3	-	9	-	12	7	16	-
29	6,10	220	3	-	4	12	16	-	14	32	-
30	6,1	380	32	-	-	3	4	-	7	-	3
31	6,2	660	24	32	-	-	6	-	5	-	9
32	6,3	127	-	9	-	9	12	-	4	-	12
33	6,4	220	16	12	-	12	-	-	12	-	14
34	6,5	380	8	9	-	16	12	-	-	-	10
35	6,6	660	4	3	-	18	16	-	10	-	-
36	6,7	127	3	-	4	-	24	-	11	20	-
37	6,8	220	3	4	-	36	24	-	13	-	22
38	6,9	380	4	3	-	3	-	4	16	24	-
39	6,10	660	9	-	16	4	3	-	20	26	-
40	6,1	127	2	-	-	6	9	-	5	-	12
41	6,2	220	4	5	-	-	12	-	8	-	16
42	6,3	380	-	7	-	10	16	-	10	-	18
43	6,4	660	8	9	-	12	-	-	14	-	20
44	6,5	127	10	11	-	14	32	-	-	-	16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
45	6,6	220	12	13	-	16	36	-	18	-	-
46	6,7	380	14	-	15	-	42	-	16	12	-
47	6,8	660	16	17	-	20	48	-	12	-	28
48	6,9	127	18	19	-	22	-	54	6	4	-
49	6,10	220	20	-	24	24	60	-	15	32	-
50	6,1	100	2	-	-	50	30	-	8	-	8
51	6,2	120	4	6	-	-	32	-	5	-	10
52	6,3	130	-	8	-	46	34	-	12	-	16
53	6,4	140	8	10	-	44	-	-	18	-	16
54	6,5	150	10	12	-	42	38	-	-	-	16
55	6,6	160	12	14	-	40	40	-	10	-	-
56	6,7	170	14	-	16	-	42	-	14	24	-
57	6,8	180	16	18	-	36	44	-	18	-	24
58	6,9	190	18	20	-	34	-	46	24	30	-
59	6,10	200	20	-	22	30	48	-	16	12	-
60	6,1	220	22	-	-	4	10	-	17	-	6
61	6,2	100	24	12	-	-	12	-	14	-	8
62	6,3	110	-	26	-	8	14	-	15	-	10
63	6,4	120	28	14	-	16	-	-	18	-	12
64	6,5	130	30	60	-	12	18	-	-	-	26
65	6,6	140	32	16	-	14	20	-	20	-	-
66	6,7	150	34	-	16	-	22	-	19	18	-
67	6,8	160	36	18	-	36	24	-	25	-	20
68	6,9	170	38	50	-	20	-	26	28	22	-
69	6,10	180	40	-	22	18	28	-	30	24	-
70	6,1	190	42	-	-	24	30	-	16	-	4
71	6,2	200	44	24	-	-	32	-	28	-	6
72	6,3	220	-	26	-	4	34	-	24	-	8
73	6,4	100	48	28	-	6	-	-	18	-	10
74	6,5	110	50	30	-	8	38	-	-	-	16
75	6,6	120	48	32	-	10	40	-	30	-	-
76	6,7	130	46	-	34	-	42	-	18	16	-
77	6,8	140	44	36	-	14	44	-	13	-	18
78	6,9	150	42	38	-	16	46	-	10	-	20
79	6,10	160	40	-	40	18	48	-	12	22	-
80	6,1	170	38	-	-	20	10	-	10	-	8
81	6,2	180	36	44	-	-	22	-	12	-	10
82	6,3	190	-	46	-	24	14	-	14	-	12
83	6,4	200	32	48	-	26	-	-	16	-	14
84	6,5	210	30	50	-	28	18	-	-	-	10
85	6,6	220	28	52	-	30	20	-	15	-	-
86	6,7	100	26	-	54	-	32	-	16	20	-
87	6,8	110	24	56	-	34	28	-	18	-	22
88	6,9	120	22	58	-	36	-	26	19	24	-
89	6,10	130	20	-	60	38	52	-	20	26	-
90	6,1	140	18	-	-	40	10	-	18	-	28
91	6,2	150	16	24	-	-	42	-	22	-	30
92	6,3	160	-	14	-	44	14	-	20	-	32
93	6,4	170	12	30	-	46	-	-	24	-	34
94	6,5	180	10	32	-	48	18	-	-	-	18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
95	6,6	190	8	6	-	50	20	-	22	-	-
96	6,7	200	6	-	36	-	22	-	24	40	42
97	6,8	210	4	6	-	54	24	-	16	-	-
98	6,9	220	2	4	-	56	-	26	18	44	-
99	6,10	80	48	-	42	58	28	-	26	46	-

Контрольная работа № 2

Задача 1.

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений Z_A, Z_B, Z_C соединены звездой в включены в четырехпроводную цепь трехфазного тока с линейным напряжением $U_Л$. Сопротивление нулевого провода Z_0.

Определить:

1. напряжение на каждой фазе приемника при наличии нулевого провода и при его обрыве;
2. для случая с нулевым проводом:
   а) фазные, линейные токи и ток в нулевом проводе;
   б) активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи.

Построить топографическую диаграмму напряжений при обрыве нулевого провода. Данные для решения задачи возьмите в табл. 2.1

Данные задачи 1.

№ варианта	Задаваемые величины				
	$U_Л$, В	Z_A, Ом	Z_B, Ом	Z_C, Ом	Z_0, Ом
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
00	380	4	-j3	4-j3	1
01	660	6	-j4	3-j4	1
02	220	8	-j5	6-j8	1
03	380	10	-j6	8-j6	1
04	660	12	-j7	12-j9	1
05	220	14	3+j4	9-j12	1
06	380	16	4+j3	16-j9	1
07	660	18	6+j8	12-j16	1
08	220	20	8+j6	16-j12	1
09	380	22	9+j12	32-j24	1
10	660	4+j3	9+j16	80+j60	09
11	220	6+j4	12+j16	40+j30	09
12	380	8+j6	16+j12	4+j3	09
13	660	10+j8	9+j9	8+j6	09
14	220	12+j9	-j8	12+j9	09
15	380	14+j12	-j9	16+j12	09
16	660	16+j12	-j10	20+j15	09
17	220	18+j16	-j11	10+j7,5	09
18	380	20+j3	-j12	24+j18	09
19	660	22+j4	3+j4	32+j24	09
20	220	+j3	6+j8	3-j4	08
21	380	+j4	8+j10	4-j3	08
22	660	+j6	10+j12	6-j8	08
23	220	j8	12+j14	9-j16	08
24	380	+j9	14+j16	12-j16	08
25	660	+j12	16+j18	18-j24	08
26	220	+j16	20+j22	24-j18	08
27	380	+j24	22+j24	20-j9	08

1	2	3	4	5	6
28	660	+j18	24+j26	9-j24	08
29	220	+j20	+j2	16-j24	08
30	380	24+j32	+j4	4-j3	07
31	660	32+j24	+j16	6-j9	07
32	220	24+j22	+j8	8-j12	07
33	380	16+j20	+j10	10-j14	07
34	660	8+j8	+j12	12-j16	07
35	220	12+j16	+j14	14-j18	07
36	380	8+j14	+j16	16-j20	07
37	660	6+j12	+j18	18-j22	07
38	220	2+j10	+j20	20-j24	07
39	380	6+j8	16-j22	22-j26	07
40	660	8+j6	6-j9	22	1
41	220	9+j18	8-j12	24	1
42	380	10+j16	10-j16	26	1
43	660	12+j16	12-j24	12	1
44	220	14+j8	14-j32	16	1
45	380	16+j12	16-j36	18	1
46	220	18+j36	18-j42	20	1
47	380	20+j10	20-j48	22	1
48	660	22+j9	22-j54	24	1
49	220	24+j12	50+j30	26	1
51	380	2+j4	48+32j	6	07
52	660	4+j6	46+j34	8	07
53	220	6+j8	44+j36	10	07
54	380	8+j10	42+j38	12	07
55	660	10+j12	40+j40	14	07
56	220	12+j14	38+j42	16	07
57	380	14+j16	36+j44	18	07
58	660	16+j18	34+j46	20	07
59	220	18+j20	30+j48	22	07
60	380	20+j22	j12	32+j24	07
61	660	24-j6	j14	28+j8	08
62	220	26-j8	j16	30+j10	08
63	380	28-j10	j18	32+j12	08
64	660	30-j12	j20	34+j14	08
65	220	32-j14	j22	36+j16	08
66	380	34-j16	j24	38+j18	08
67	660	36-j18	j26	40+j20	08
68	220	38-j20	j28	42+j22	08
69	380	40-j22	8+j32	44+j24	08
70	660	24+j30	4+j34	48-j6	09
71	220	46+j34	6+j36	50-j8	09
72	380	48+j28	8+j38	52-j10	09
73	660	50+j30	10+j40	54-j12	09
74	220	48+j32	12+j42	56-j14	09
75	380	46+j34	14+j44	58-j16	09
76	660	44+j36	16+j38	60-j18	09
77	220	42+j38	18+j48	16-j46	09
78	380	40+j40	20+j50	20-j22	09

1	2	3	4	5	6
79	660	38+j42	18+j48	22-j24	09
80	220	40+j40	22+j52	22-j8	1
81	380	36+j44	24+j54	24+j10	1
82	660	34+j46	26+j48	26+j12	1
83	220	32+j48	28+j58	26+j56	1
84	380	30+j50	30+j62	30+j16	1
85	660	28+j52	32+j62	32+j18	1
86	220	26+j54	34+j64	34+j20	1
87	380	24+j56	36+j30	36+j22	1
88	660	22+j58	38+j32	38+j24	1
89	220	20+j60	2+j4	40+j26	1
90	380	140-j18	4+j6	+j10	07
91	660	136-j20	3+j9	j15	07
92	220	134-j22	6+j12	j20	07
93	380	132-j24	8+j14	j25	07
94	660	120-j26	10+j16	j30	07
95	220	116-j30	12+j18	j35	07
96	220	112-j32	14+j20	j40	07
97	380	110-j36	16+j22	j45	07
98	660	100-j40	18+24j	j50	07
99	220	90-j42	12+j9	j60	07

Задача 2.

Три приемника электрической энергии с комплексами полных сопротивлений $\underline{Z}_{AB}$, $\underline{Z}_{BC}$, $\underline{Z}_{CA}$ соединены треугольником и включены в трехпроводную сеть трехфазного тока с линейным напряжением $U_Л$.

Начертите схему цепи и определите:

1. фазные и линейные токи;
2. активную, реактивную и полную мощности каждой фазы и всей цепи;
3. фазные напряжения, фазные и линейные токи при обрыве фазы АВ.
4. Постройте векторную диаграмму фазных и линейных токов и напряжений при наличии трех фаз.

Задачу решите символическим методом. Данные возьмите из табл. 2.2.

Данные задачи 2.

№ варианта	**Задаваемые величины**			
	$U_Л$, В	**$\underline{Z}_{AB}$, В**	**$\underline{Z}_{BC}$, Ом**	**$\underline{Z}_{CA}$, Ом**
1	**2**	**3**	**4**	**5**
00	220	4-j3	12	6+j8
01	380	8- j6	16	12+j16
02	660	16-j12	4+j3	32+j24
03	127	12-j9	15+j20	24+j18
04	220	4-j3	18+j24	8+j6
05	380	20-j15	21+j28	40+j30

1	2	3	4	5
06	660	24-j18	24+j32	48+j36
07	127	28-j21	1,5+j2	56+j42
08	220	32-j24	3-j4	64+j48
09	380	2-j1,5	4-j3	4+j3
10	660	4	6-j8	6+j9
11	127	6	8-j6	8+j6
12	220	8	9-j12	12+j8
13	380	10	12+j16	16+j16
14	660	12	9+j12	18+j12
15	127	14	16-j12	24+j36
16	220	16	9-j9	18+j24
17	380	18	32-j24	32+j18
18	660	20	j10	18+j18
19	127	22	j15	64+j48
20	220	3+j4	j20	3-j4
21	380	4+j3	j25	4-j3
22	660	6+j8	j30	6-j8
23	127	8+j6	j35	8-j6
24	220	9+j12	j40	9-j12
25	380	12+j9	j45	12-j9
26	660	12+j16	j50	12-j16
27	127	16+j12	j60	16-j12
28	220	18+j24	3+j4	18-j24
29	380	24+j18	4+j5	24-j18
30	660	4-j3	5+j6	-j4
31	127	5-j4	6+j7	-j6
32	220	6-j5	7+j8	-j8
33	380	7-j8	8+j9	-j10
34	660	8-j9	9+j10	-j12
35	127	9-j10	10+j11	-j14
36	220	10-j11	11+j12	-j16
37	380	11-j12	12+j14	-j18
38	660	12-j13	3+j4	-j20
39	127	13-j14	4+j6	-j22
40	220	-j4	6+j8	4+j3
41	380	-j6	8+j10	6+j4
42	660	-j8	10+j12	8+j6
43	127	-j10	12+j14	10+j8
44	220	-j12	14+j16	12+j10
45	380	-j14	16+j18	14+j12
46	660	-j16	18+j20	16+j14
47	127	-j18	20+j22	18+j16
48	220	-j20	6-j8	20+j18
49	380	-j22	8-j10	22+j20
50	660	6	10-j12	8+j6
51	127	10	12-j14	10+j8
52	220	14	14-j16	12+j10
53	380	18	16-j18	14+j12
54	660	22	18-j20	16+j14
55	127	28	20-j22	18-j16

1	2	3	4	5
56	220	32	22-j24	20+j18
57	380	36	24-j26	22+j20
58	660	40	-j4	24+j22
59	127	44	-j8	26+j24
60	220	10+j20	-j12	20-j10
61	380	5+j10	-j16	10-j5
62	660	15+j30	-j20	30-j15
63	127	30+j15	-j124	15-j30
64	220	10+j5	-j28	5-j10
65	380	20+j10	-j32	10-j20
66	660	30+j20	-j38	20-j30
67	127	20+j30	-j42	30-j20
68	220	40+j30	8+j6	30-j40
69	380	30+j20	6+j8	20-j30
70	660	6-j8	12+j16	j3
71	127	8-j6	16+j12	j6
72	220	12-j16	24+j32	j9
73	380	16-j12	32+j24	j12
74	660	24-j32	48+j64	j15
75	127	32-j24	64+j48	j18
76	220	48-j64	3+j4	j21
77	380	64-j40	4+j3	j24
78	660	3-j4	3-j4	j27
79	127	4-j3	4-j3	j30
80	220	2	6-j8	4+j3
81	380	4	8-j6	3+j4
82	660	6	12-j16	6+j8
83	127	8	16-j12	8+j6
84	220	10	24-j32	12+j16
85	380	12	32-j24	16+j12
86	660	14	18-j24	24+j32
87	127	16	24-j18	32+j24
88	220	18	3	24+j18
89	380	20	6	18+j24
90	660	6+j8	9	6-j8
91	127	12+j16	12	8-j6
92	220	8+j6	16	12-j16
93	380	16+j12	20	16-j12
94	660	18+j24	24	18-j24
95	127	24+j18	28	24-j18
96	220	30+j40	12-j9	30- j40
97	380	40+j30	9-j16	40-j30
98	660	36+j48	3+j4	36-j48
99	127	48+j36	6+j8	48-j36

Задача 3.

К последовательной цепи с активным и реактивным сопротивлением подведено несинусоидальное напряжение $U = U_{m_1} \sin wt + U_{m_3} \sin 3wt + U_{m_5} \sin 5wt$ частота одной гармоники f Герц.

Определите:

1. действующее значение напряжения источники;
2. действующее значение тока;
3. коэффициент цепи.

Написать уравнение мгновенного значения тока.

Данные задаче 3.

Номер варианта	U_{m_1}, **В**	U_{m_3}, **В**	U_{m_5}, **В**	**R, Ом**	**C, мкФ**	**L, мГ**	f, **Гц**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
01	200	80	24	50	-	30	140
02	150	100	40	60	40	-	120
03	130	60	15	40	80	60	100
04	180	90	30	50	-	50	150
05	250	100	80	20	100	60	180
06	100	60	20	40	50	30	50
07	150	90	30	35	70	60	150
08	240	120	100	60	120	90	130
09	150	100	60	70	90	35	150
10	200	110	80	30	-	70	100
11	250	160	95	40	60	-	120
12	180	130	70	60	30	60	100
13	200	100	35	35	40	31	140
14	140	80	44	55	-	80	150
15	130	70	35	40	45	90	50
16	150	90	25	25	50	-	140
17	120	60	10	30	20	35	130
18	220	170	40	40	20	40	150
19	300	190	60	70	50	-	140
20	160	140	45	50	100	60	120
21	140	80	35	45	-	40	130
22	130	70	30	20	60	70	150
23	180	105	20	60	70	45	80
24	190	90	26	35	100	40	120
25	200	75	38	70	70	-	100
26	210	60	45	80	60	80	140
27	250	160	15	50	40	60	110
28	160	120	34	60	-	50	150
29	130	100	26	40	50	30	100
30	150	80	18	45	100	90	90
31	140	75	20	50	70	-	110
32	200	130	40	35	-	120	150
33	180	140	35	55	30	30	130
34	250	150	46	65	-	60	110
35	220	100	28	30	80	55	120

1	2	3	4	5	6	7	8
36	130	95	34	70	60	40	130
37	240	140	60	80	40	85	110
38	300	170	75	70	50	30	150
39	160	110	44	35	-	90	150
40	120	70	30	25	90	40	120
41	250	150	65	30	100	60	150
42	130	90	25	15	110	-	110
43	100	60	24	20	120	50	130
44	260	130	100	55	130	65	120
45	150	75	30	25	140	45	60
46	240	150	45	60	120	30	80
47	180	100	60	50	-	35	110
48	200	120	45	60	40	45	120
49	130	95	24	40	80	70	140
50	140	80	30	50	-	90	100
51	160	65	44	20	140	120	150
52	220	120	35	40	120	30	120
53	150	110	28	35	110	60	140
54	130	90	35	60	100	40	110
55	140	75	45	70	90	80	120
56	200	95	50	30	-	90	150
57	150	105	60	40	40	70	110
58	130	110	70	60	100	60	120
59	250	140	35	35	60	65	100
60	180	90	20	55	50	45	100