

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

методические указания и контрольные задания к курсовой работе для студентов очной формы обучения по специальности Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий (УД Электротехника)

Примеры решения задач

Задача 1. В электрической цепи (рис. 1) определить напряжения на участках цепи, составить баланс мощности. Определить потенциалы обозначенных точек, построить потенциальную диаграмму, если известно:

$$E_1 = 15 \text{ В}, E_2 = 10 \text{ В}, R_1 = 24 \text{ Ом}, R_2 = 10 \text{ Ом}, R_3 = 14 \text{ Ом}, r_1 = 2 \text{ Ом}$$

Решение.

1. Ток в цепи определяется по закону Ома для цепи постоянного тока:

$$I = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + R_1 + R_2 + R_3} = \frac{15 - 10}{2 + 24 + 10 + 14} = 0,1 \text{ А}$$

Знак " - " перед E_2 свидетельствует о том, что этот источник ЭДС работает в режиме потребителя.

2. Определим напряжения на участках:

$$U_{12} = I \times R_1 = 0,1 \times 24 = 2,4 \text{ В}$$

$$U_{23} = I \times R_2 = 0,1 \times 10 = 1 \text{ В}$$

$$U_{34} = E_2 + I \times r_2 = 10 + 0,1 \times 0 = 10 \text{ В}$$

внутреннее сопротивление источника E_2 равно, по условию нулю:

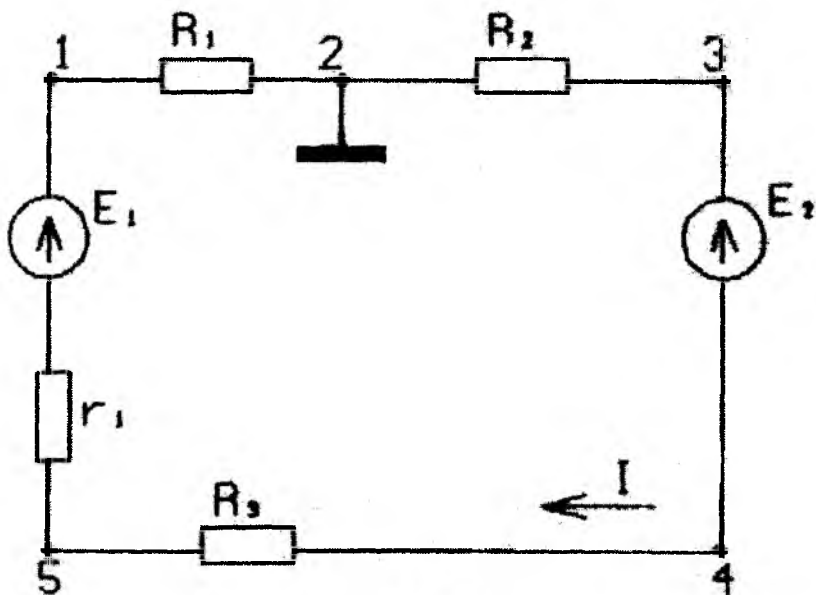


Рис. 1

$$U_{45} = I \times R_3 = 0,1 \times 14 = 1\text{В}$$

$$U_{51} = E_1 - I \times r_1 = 15 - 0,1 \times 2 = 14,8\text{В, режим генератора}$$

3. Определим мощность источника:

$$P_u = E_1 \times I = 15 \times 0,1 = 1,5\text{В}$$

и мощность потребителей:

$$P = I^2 \times r_1 + I^2 \times R_1 + I^2 \times R_2 + I^2 \times R_3 + E_2 \times I = \\ = 0,1^2 \times 2 + 0,1 \times 24 + 0,1^2 \times 10 + 0,1^2 \times 14 + 10 \times 0,1 = 1,5\text{В}$$

4. Определим потенциалы точек цепи. Потенциал точки 2 примем равным нулю.

$$V_2 = 0$$

На участках с пассивными элементами ток течет от большего потенциала к меньшему, следовательно:

$$V_2 - V_3 = I \times R_2, \text{ откуда}$$

$$V_3 = V_2 - I \times R_2 = 0 - 0,1 \times 10 = -1 \text{ В}$$

На участках с источниками ЭДС большим потенциалом обладает точка, примыкающая к "+" источника, следовательно:

$$V_3 - V_4 = E_2, \text{ откуда}$$

$$V_4 = V_3 - E_2 = -1 - 10 = -11 \text{ В}$$

$$V_4 - V_5 = I \times R_3, \text{ откуда}$$

$$V_5 = V_4 - I \times R_3 = -11 - 0,1 \times 14 = -12,4 \text{ В}$$

$$V_1 - V_5 = E_1 - I \times r_1, \text{ откуда}$$

$$V_1 = E_1 - I \times r_1 + V_5 = 15 - 0,1 \times 2 - 12,4 = 2,4 \text{ В}$$

Проверим правильность расчета потенциалов точек, вычислив потенциал точки 2, который принят равным нулю.

$$V_1 - V_2 = I \times R_1, \text{ откуда}$$

$$V_2 = V_1 - I \times R_1 = 2,4 - 0,1 \times 24 = 0$$

5. Построение потенциальной диаграммы

Потенциальная диаграмма представляет зависимость $V = f(R)$

Примем масштаб:

$$M_V = 2 \text{ В/см}$$

$$M_R = 5 \text{ Ом/см}$$

Характерная ошибка, которую делают студенты: сопротивление участков цепи откладывается каждый раз из начала координат. Следует откладывать сопротивление из конца отрезка, соответствующего сопротивлению предыдущего участка цепи.

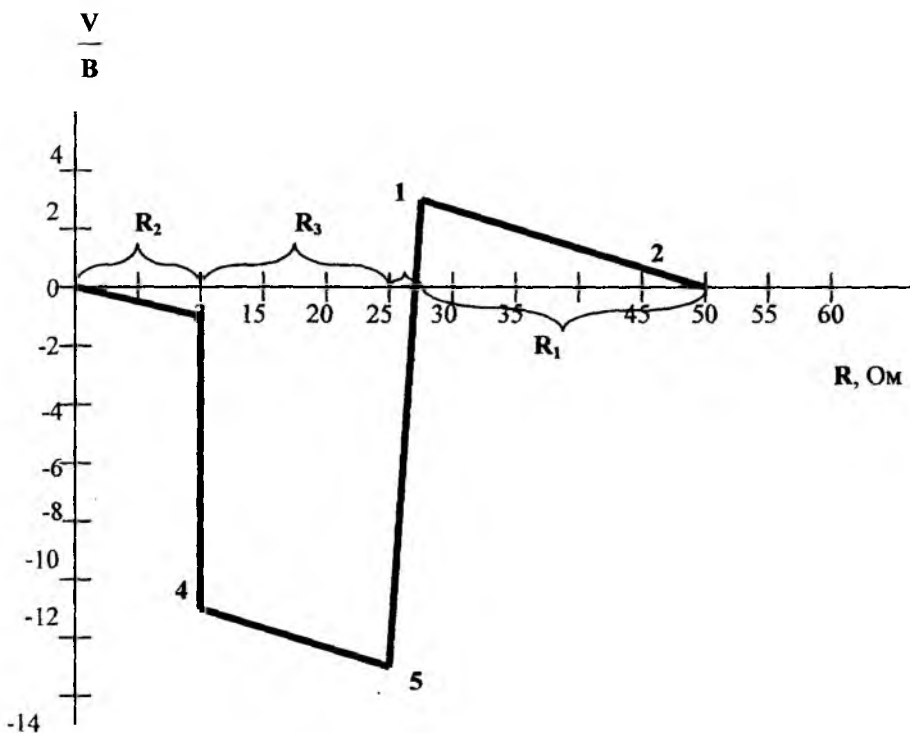


Рис. 1 (а)

Задача 2. Рассчитать электрическую цепь (рис. 2) методом преобразования схемы, если известно: $U = 100 \text{ В}$, $R_1 = 4 \text{ Ом}$

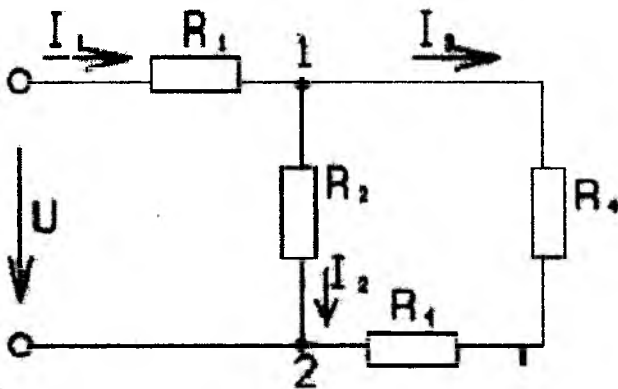


Рис. 2

Решение.

Выберем положительное направление токов

Определим эквивалентное сопротивление цепи

Резисторы R_3 и R_4 соединены последовательно, поэтому

$$R_{34} = R_3 + R_4 = 6 + 9 = 15 \text{ Ом}$$

Резисторы R_2 и R_{34} соединены параллельно, поэтому

$$R_{2-4} = \frac{R_2 \times R_{34}}{R_2 + R_{34}} = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = 6 \text{ Ом}$$

После эквивалентной замены резисторов в параллельных ветвях целесообразно начертить промежуточную схему (рис. 3). Необходимость промежуточных схем при определении эквивалентного сопротивления не очевидна, однако при определении токов в ветви они весьма полезны.

При эквивалентной замене резисторов токи, потенциалы точек в неизменной части цепи остаются неизменными, поэтому на промежуточной схеме укажем все токи и точки, обозначенные на исходной схеме.

Эквивалентное сопротивление цепи:

$$R = R_1 + R_{2-4} = 4 + 6 = 10 \text{ Ом}$$

3. Определим токи в ветвях. Ток на входе цепи

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А}$$

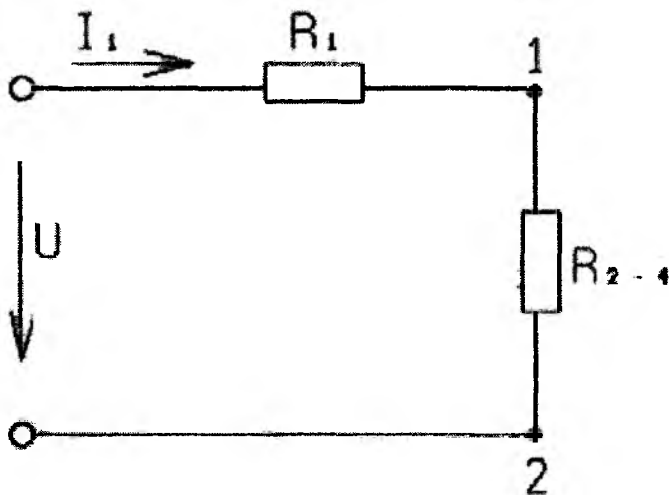


Рис. 3

Для определения токов в параллельных ветвях определим напряжение между точками 1 и 2. По схеме (рис. 3) очевидно:

$$U_{12} = I_1 \times R_{2-4} = 10 \times 6 = 60 \text{ В}$$

Ток I_2 определим по закону Ома для участка цепи

$$I_2 = \frac{U_{12}}{R_2} = \frac{60}{10} = 6 \text{ A}$$

Ток I_3 можно определить либо по закону Ома, либо по первому закону Кирхгофа для узла 1.

$$I_3 = \frac{U_{12}}{R_3 + R_4} = \frac{60}{6 + 9} = 4 \text{ A или } I_3 = I_1 - I_2 = 10 - 6 = 4 \text{ A}$$

4. Определим напряжения на элементах

$$U_1 = I_1 \times R_1 = 10 \times 4 = 40 \text{ B}$$

$$U_2 = U_{12} = 60 \text{ B}$$

$$U_3 = I_3 \times R_3 = 4 \times 6 = 24 \text{ B}$$

$$U_4 = I_3 \times R_4 = 4 \times 9 = 36 \text{ B}$$

5. Проверим решение балансом мощности

$$P_{\text{ист.}} = U \times I_1 = 100 \times 10 = 1000 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{потр}} = I_1^2 \times R_1 + I_2^2 \times R_2 + I_3^2 \times R_3 + I_3^2 \times R_4 = \\ = 10^2 \times 4 + 6^2 \times 10 + 4^2 \times 6 + 4^2 \times 9 = 1000 \text{ Вт}$$

Задача 3. В схеме (рис. 4) определить токи в ветвях, пользуясь методом узлового напряжения, если известно:

$$E_1 = 25 \text{ В}; E_2 = 10 \text{ В}; r_1 = 1 \text{ Ом}; r_2 = 2 \text{ Ом}; R_1 = 2,5 \text{ Ом}; R_2 = 10 \text{ Ом}$$

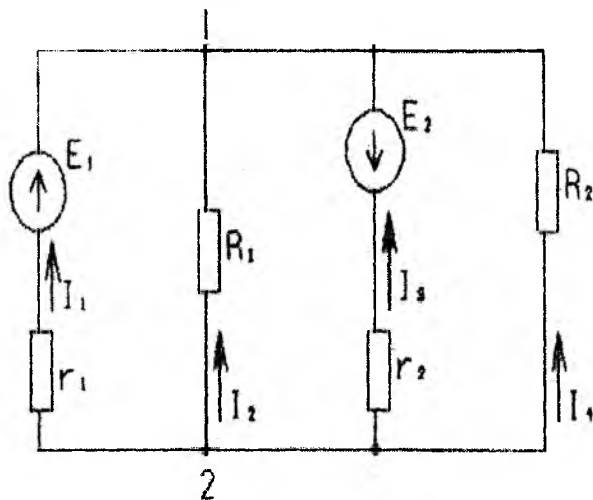


Рис. 4

Решение.

1. Выберем положительное направление токов в направлении узла 1.
2. Определим напряжение между узлами

$$U_{12} = \frac{E_1 \frac{1}{r_1} - E_2 \frac{1}{r_2}}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{R_2}} = \frac{24 \times 1 - 10 \frac{1}{2}}{1 + \frac{1}{2,5} + \frac{1}{2} + \frac{1}{10}} = 10 \text{ В}$$

Знак " - " перед E_2 , т.к. направления I_3 и E_2 противоположны.

3. Определим токи в ветвях

$$I_1 = (E_1 - U_{12}) \frac{1}{r_1} = (24 - 10) \frac{1}{1} = 15 \text{ A}$$

$$I_2 = -U_{12} \frac{1}{R_1} = -10 \frac{1}{2,5} = -4 \text{ A}$$

$$I_3 = (-E_2 - U_{12}) \frac{1}{r_2} = (-10 - 10) \frac{1}{2} = -10 \text{ A}$$

$$I_4 = -U_{12} \frac{1}{R_2} = -10 \frac{1}{10} = -1 \text{ A}$$

Знак " - " говорит о том, что действительное направление токов противоположно выбранному.

4. Проверим расчет уравнением по первому закону Кирхгофа

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

$$15 - 4 - 10 - 1 = 0$$

Задача 4. В схеме (рис. 5) определить, пользуясь методом узловых и контурных уравнений, токи в ветвях, если известно:

$$E_1 = 25 \text{ В}, E_2 = 10 \text{ В}, r_1 = r_2 = 2 \text{ Ом}, R_1 = 8 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом}, R_3 = 18 \text{ Ом}$$

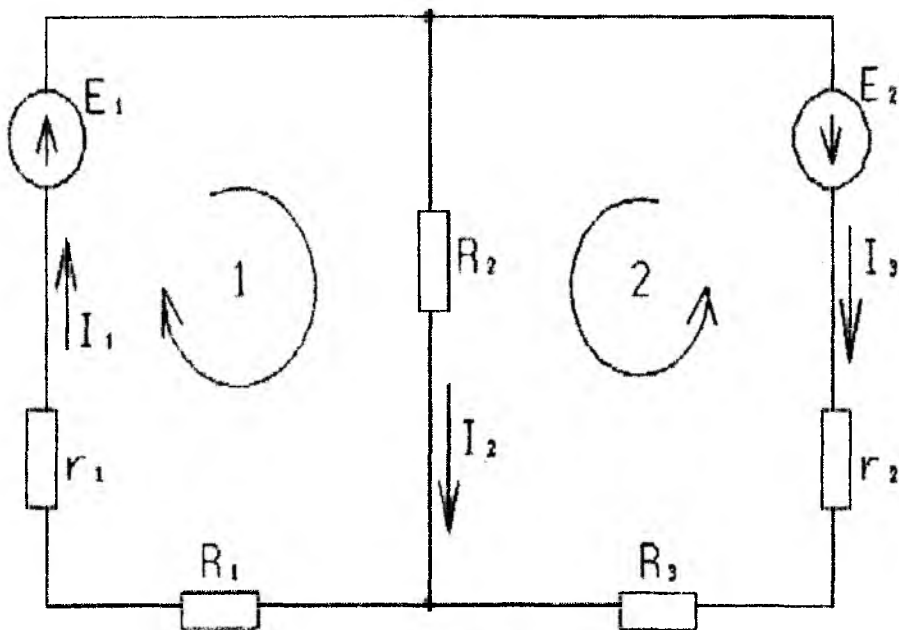


Рис. 5

Решение.

1. Выберем положительное направление токов в ветвях, направление обхода контуров покажем стрелкой.

2. Составим уравнения по первому закону Кирхгофа. Число уравнений равно $n - 1$. Число узлов n равно 2, поэтому число независимых уравнений одно.

$$I_1 = I_2 + I_3$$

3. Число ветвей в цепи, а, следовательно, неизвестных токов равно трем, поэтому два недостающих уравнения составим по второму закону Кирхгофа.

Для 1-го контура:

$$\begin{aligned} E_1 &= I_1 \times (r_1 + R_1) + I_2 \times R_2 \\ -E_2 &= I_2 \times R_2 - I_3 \times (r_2 + R_3) \end{aligned}$$

4. Подставим в уравнения числовые значения и решим систему относительно токов I_1, I_2, I_3

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I_2 + I_3 & (1) \\ 25 &= I_1(2 + 8) + I_2 \times 20 & (2) \\ -10 &= I_3 \times 20 - I_3(2 + 28) & (3) \end{aligned} \right\}$$

Из второго уравнения выразим I_1 , из третьего I_3 и подставим в первое уравнение

$$I_1 = \frac{25 - I_2 \times 20}{10} = 2,5 - (I_2 \times 2) \quad (4)$$

$$I_3 = \frac{10 + I_2 \times 20}{20} = 0,5 + I_2 \quad (5)$$

$$2,5 - I_2 \times 2 = I_2 + 0,5 + I_2$$

$$2 = I_2 \times 4$$

$$I_2 = 0,5 \text{ A}$$

Подставим значение тока I_2 в выражения (4) и (5)

$$I_1 = 2,5 - 0,5 \times 2 = 1,5 \text{ A}$$

$$I_3 = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ A}$$

Задача 5. В схеме (рис. 6) определить токи в ветвях, пользуясь методом контурных токов, если известно:

$E_1 = 253 \text{ В}$, $E_2 = 225 \text{ В}$, $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 1 \text{ Ом}$, $R_3 = 1 \text{ Ом}$, $R_4 = 40 \text{ Ом}$,
 $R_5 = 20 \text{ Ом}$, $R_6 = 40 \text{ Ом}$

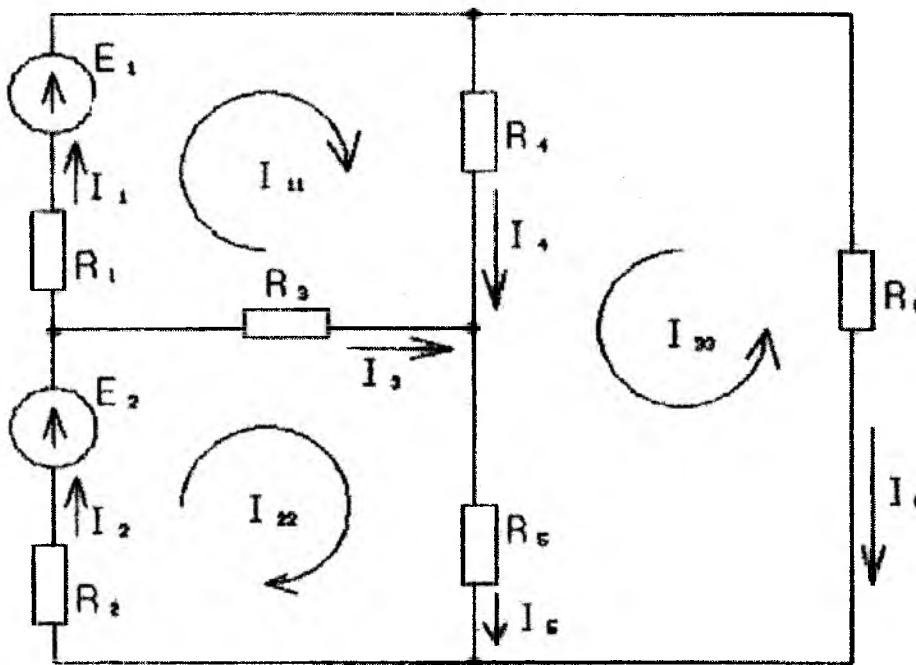


Рис. 6

Решение.

1. Выберем положительное направление токов в ветвях и контурных токов.
2. Составим уравнения по второму закону Кирхгофа для контурных токов I_{11} , I_{22} , I_{33}

$$E_1 = I_{11} \times (R_1 + R_3 + R_4) - I_{22} \times R_3 + I_{33} \times R_4$$

$$E_2 = I_{22} \times (R_2 + R_3 + R_5) - I_{11} \times R_3 + I_{33} \times R_5$$

$$0 = I_{33} \times (R_4 + R_5 + R_6) + I_{11} \times R_4 + I_{22} \times R_5$$

Подставим в уравнения числовые значения

$$\left. \begin{aligned} 253 &= I_{11} \times 42 - I_{22} + I_{33} \times 40 & (1) \\ 225 &= -I_{11} + I_{22} \times 22 + I_{33} \times 20 & (2) \\ 0 &= I_{11} \times I_{22} \times 20 + I_{33} \times 100 & (3) \end{aligned} \right\}$$

Выразим из уравнения (3) контурный ток I_{33}

$$I_{33} = -I_{11} \times 0,4 - I_{22} \times 0,2 \quad (4)$$

Подставим в уравнения (1) и (2)

$$\left. \begin{aligned} 253 &= I_{11} \times 42 - I_{22} - (I_{11} \times 0,4 + I_{22} \times 0,2) \times 40 & (5) \\ 225 &= -I_{11} + I_{22} \times 22 - (I_{11} \times 0,4 + I_{22} \times 0,2) \times 20 & (6) \end{aligned} \right\}$$
$$\left. \begin{aligned} 253 &= I_{11} \times 26 - I_{22} \times 9 \\ 225 &= -I_{11} \times 9 + I_{22} \times 18 \end{aligned} \right\}$$

Умножим на 2 уравнение (5) и сложим почленно с (6)

$$\begin{aligned} 731 &= I_{11} \times 43 \\ I_{11} &= 17 \text{ A} \end{aligned}$$

Подставим значение контурного тока I_{11} в уравнения (6) и (4)

$$\begin{aligned} 225 &= -17 \times 9 + I_{22} \times 18 \\ I_{22} &= 21 \text{ A} \\ I_{33} &= -17 \times 0,4 - 21 \times 0,2 \\ I_{33} &= -11 \text{ A} \end{aligned}$$

3. Пользуясь понятием контурных токов, составим уравнения для определения реальных токов в ветвях $I_1 = I_{11} = 17$ А, других контурных токов по ветви с R_1 не протекает

$$I_2 = I_{22} = 21 \text{ А}$$

$$I_3 = -I_{11} + I_{22} = -17 + 21 = 4 \text{ А,}$$

контурный ток I_{11} направлен навстречу реальному току, поэтому берем со знаком "-"

$$I_4 = I_{11} + I_{33} = 17 - 11 = 6 \text{ А}$$

$$I_5 = I_{12} + I_{33} = 21 - 11 = 10 \text{ А,}$$

$$I_6 = -I_{33} = 11 \text{ А}$$

Задача 6. Задачу 5 рассчитать, пользуясь методом наложения токов (рис. 7).

Решение.

1. Выберем положительное направление действительных токов на исходной схеме.

2. Составим 1 частную схему, закоротив источник ЭДС E_2 и укажем положительное направление частичных токов.

3. Рассчитаем 1 частную схему методом преобразования схемы. Поскольку сопротивления R_4 , R_5 , R_6 соединены треугольником, заменим их эквивалентной звездой сопротивлений.

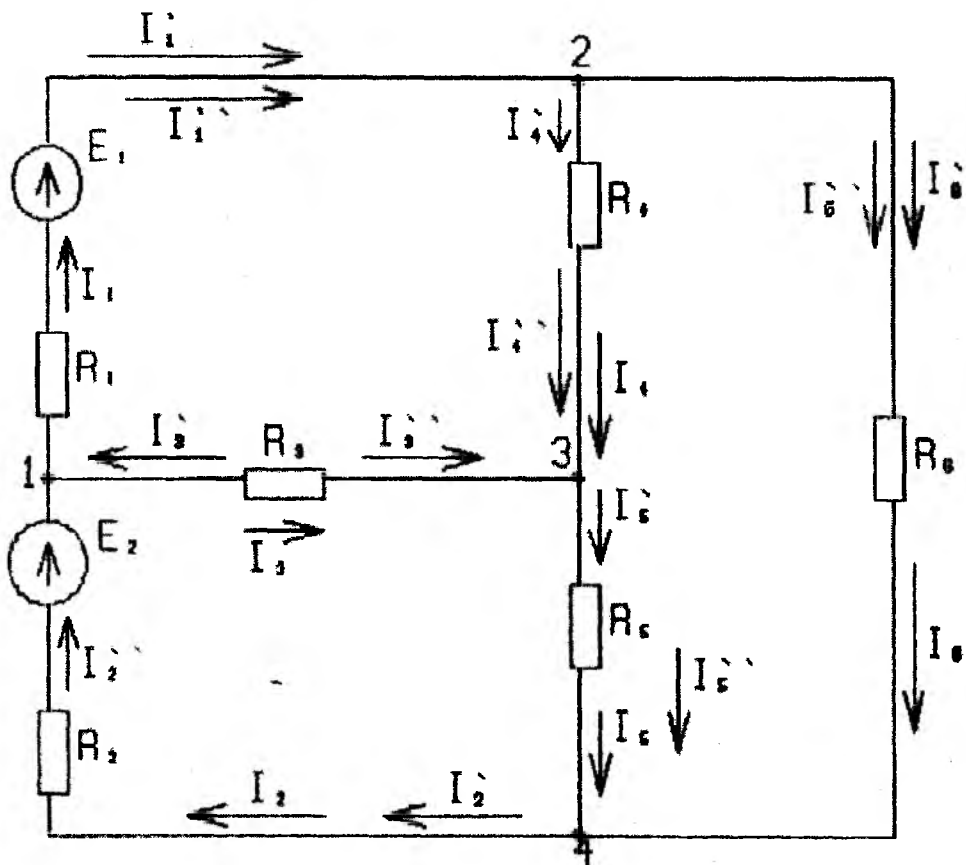


Рис. 7

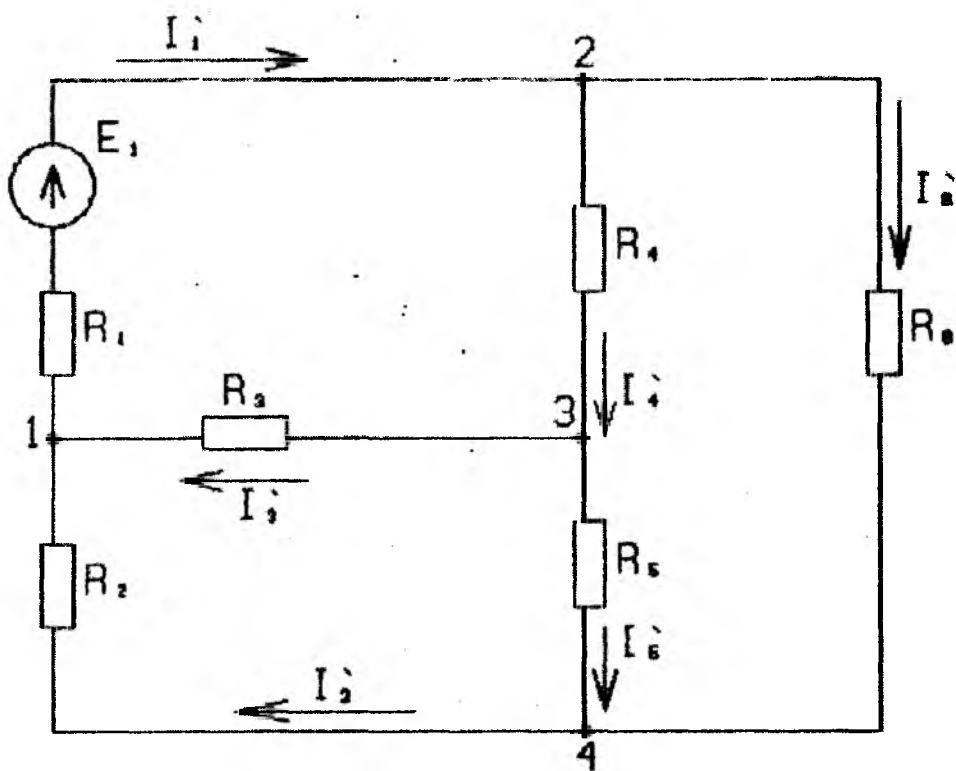


Рис. 8

$$R_{45} = \frac{R_4 \times R_5}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{40 \times 20}{40 + 20 + 40} = 8 \text{ Ом}$$

$$R_{56} = \frac{R_5 \times R_6}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{20 \times 40}{40 + 20 + 40} = 8 \text{ Ом}$$

$$R_{64} = \frac{R_6 \times R_4}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{40 \times 40}{40 + 20 + 40} = 16 \text{ Ом}$$

Схема примет вид:

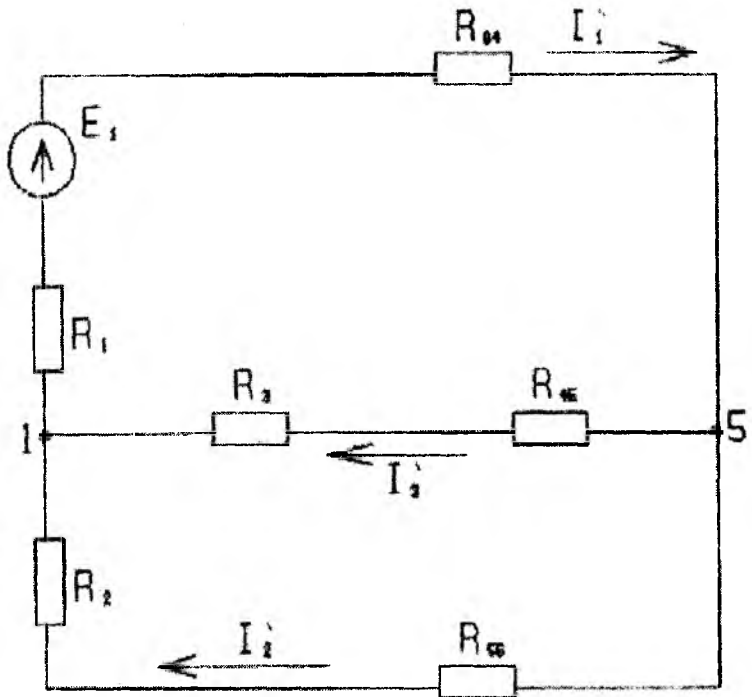


Рис. 9

Заменим сопротивления параллельных ветвей эквивалентным

$$R_{26} = \frac{(R_3 + R_{45})(R_2 + R_{56})}{R_3 + R_{45} + R_2 + R_{56}} = \frac{(1+8)(1+8)}{1+8+1+8} = 4,5 \text{ Ом}$$

Определим эквивалентное сопротивление цепи

$$R = R_1 + R_{64} + R_{26} = 1 + 16 + 4,5 = 21,5 \text{ Ом}$$

Частичный ток в неразветвленной части цепи

$$I_1' = \frac{E_1}{R} = \frac{253}{21,5} = 11,767 \text{ А}$$

Так как сопротивления параллельных ветвей одинаковы, следовательно, ток I_2' разделится по параллельным ветвям пополам.

$$I_2' = I_3' = \frac{I_1'}{2} = \frac{1,767}{2} = 5,884 \text{ А}$$

Для определения тока I_5' составим уравнение по II закону Кирхгофа для контура 1-3-4-1, рис. 8.

$$I_2' \times R_2 - I_5' \times R_5 = 0, \text{ откуда}$$
$$I_5' = \frac{I_3' \times R_3 - I_2' \times R_2}{R_5} = \frac{5,884 \times 1 - 5,884 \times 1}{20} = 0$$

Токи I_4' , I_6' определим по I закону Кирхгофа

$$I_4' = I_3' + I_5' = 5,884 + 0 = 5,884 \text{ A}$$

$$I_6' = I_2' + I_5' = 5,884 + 0 = 5,884 \text{ A}$$

Перенесем направления токов I частной схемы на исходную, рис. 7.

4. Рассчитаем 2 частную схему, закоротив источник ЭДС E_1 .

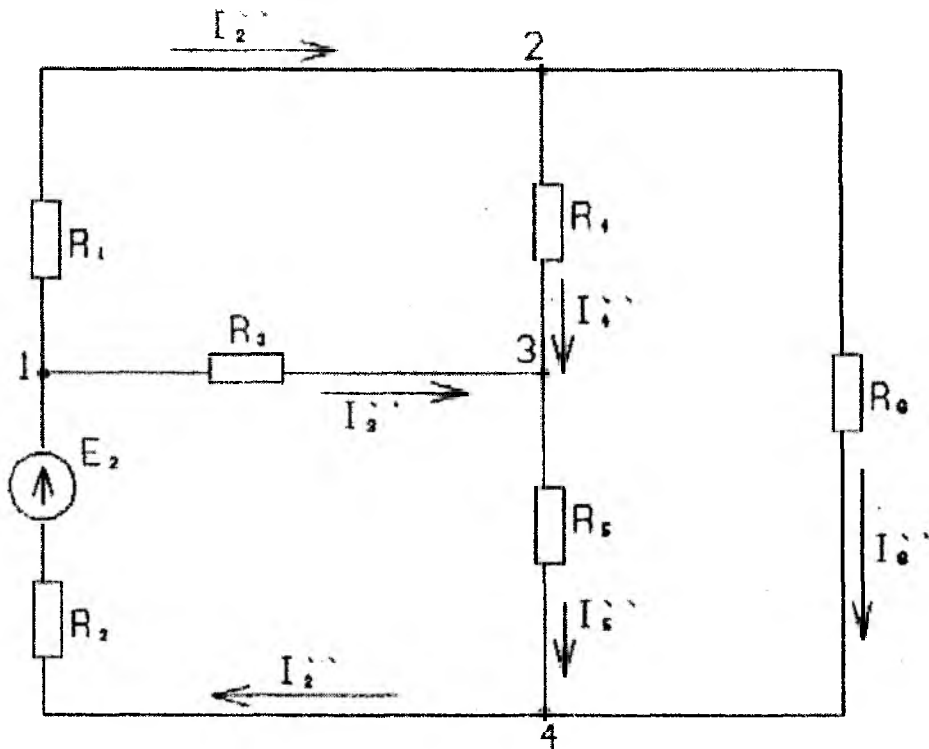


Рис. 10

После замены треугольника сопротивлений R_4, R_5, R_6 на эквивалентную звезду сопротивлений, получим схему, рис. 11.

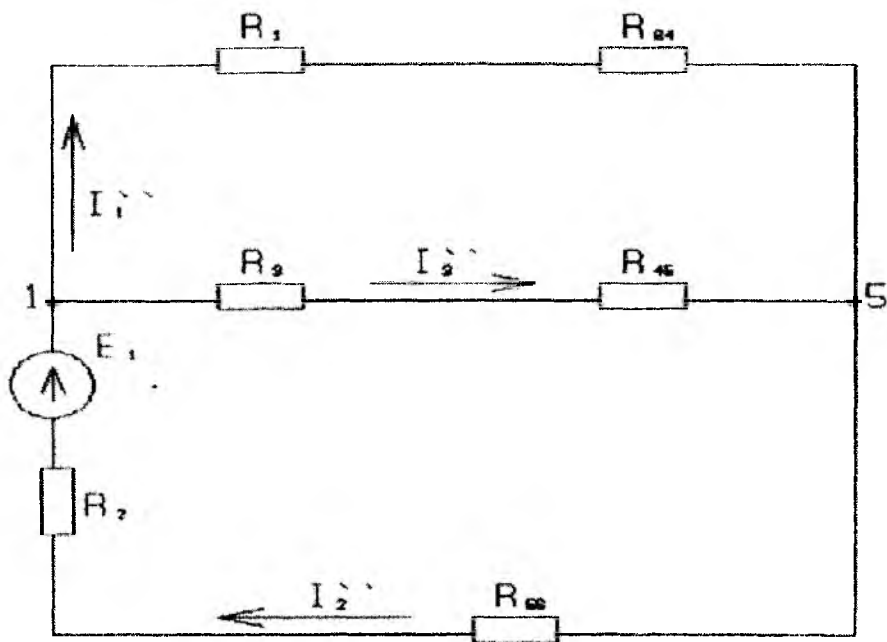


Рис. 11

Определим сопротивление параллельных ветвей:

$$R_{16} = \frac{(R_1 + R_{64})(R_3 + R_{45})}{R_1 + R_{64} + R_3 + R_{45}} = \frac{(1+16)(1+8)}{1+16+1+8} = 5,5884 \text{ Ом}$$

Определим эквивалентное сопротивление цепи

$$R = R_2 + R_{56} + R_{16} = 1 + 8 + 5,885 = 14,885 \text{ Ом}$$

Частичный ток в неразветвленной части цепи

$$I_2'' = \frac{E_2}{R} = \frac{223}{14,885} = 15,116 \text{ A}$$

Напряжение между узлами 5 и 1

$$U_{51} = I_2 \times R_{16} = 15,116 \times 5,885 = 88,958 \text{ B}$$

Токи в параллельных ветвях

$$I_1'' = \frac{U_{51}}{R_1 + R_{45}} = \frac{88,958}{1+16} = 5,233 \text{ A}$$

$$I_3'' = \frac{U_{51}}{R_3 + R_{45}} = \frac{88,958}{1+8} = 9,884 \text{ A}$$

Для определения тока I_4'' составим уравнение по 2 закону Кирхгофа для контура 1 - 2 - 3 - 1, рис. 10

$$I_1'' \times R_1 + I_4'' \times R_4 - I_3'' \times R_3 = 0, \text{ откуда}$$
$$I_4'' = \frac{I_3'' \times R_3 - I_1'' \times R_1}{R_4} = \frac{9,884 \times 1 - 5,233 \times 1}{40} = 0,116 \text{ A}$$

Токи I_5' и I_6' определим по I закону Кирхгофа

$$I_5' = I_3'' + I_4'' = 9,884 + 0,116 = 10 \text{ A}$$

$$I_6' = I_2'' - I_5' = 15,116 - 10 = 5,116 \text{ A}$$

Перенесем положительное направление токов 2 частной схемы на исходную схему (рис. 7).

5. Определим действительные токи как алгебраическую сумму частичных токов

$$I_1 = I_1' + I_1'' = 11,7767 + 5,233 = 17 \text{ A}$$

$$I_2 = I_2' + I_2'' = 884 + 15116 \text{ A}$$

$$I_3 = -I_3' + I_3'' = -5,884 + 9,884 = 4 \text{ A}$$

$$I_4 = I_4' + I_4'' = 5,884 + 0,116 = 6 \text{ A}$$

$$I_5 = I_5' + I_5'' = +10 = 10 \text{ A}$$

$$I_6 = I_6' + I_6'' = 5,884 + 5,116 = 11 \text{ A}$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ И МАГНИТНОЕ ПОЛЯ

Примеры решения задач

Задача 1. К электростатической цепи (рис. 14) приложено постоянное напряжение, $U=2000 \text{ В}$. Определить эквивалентную емкость цепи, а также заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи, если известно:

$$C_1 = 4 \text{ мкФ}, C_2 = 20 \text{ мкФ}, C_3 = 6 \text{ мкФ}, C_4 = 40 \text{ мкФ}, C_5 = 60 \text{ мкФ}.$$

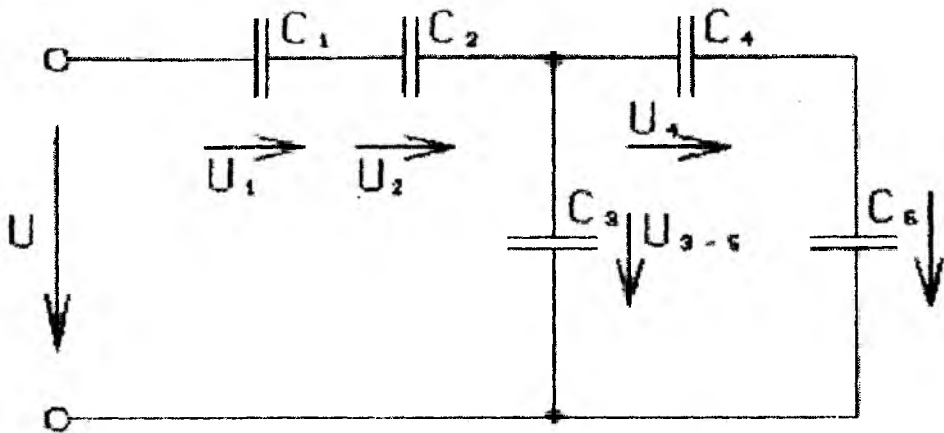


Рис. 14

Решение.

1. Определим эквивалентную емкость цепи методом свертывания схемы

$$C_{45} = \frac{C_4 C_5}{C_4 + C_5} = \frac{40 \times 60}{40 + 60} = 24 \text{ мкФ}$$

Конденсаторы C_3 C_{45} соединены параллельно, поэтому

$$C_{3-5} = C_3 + C_{45} = 6 + 24 = 30 \text{ мкФ}$$

Конденсаторы C_1 , C_2 и C_{3-5} соединены последовательно, поэтому

$$\frac{1}{C_{\text{экв}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{35}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{1}{3}$$

$$C_{\text{экв}} = 3 \text{ мкФ}$$

2. Определим заряд цепи

$$Q = C_{rd} \times U = 3 \times 10^{-6} \times 2000 = 6 \times 10^{-3} \text{ Кл}$$

В соответствии со свойствами последовательного соединения конденсаторов:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_{3-5} = 6 \times 10^{-3} \text{ Кл}$$

3. Определим напряжения на конденсаторах C_1, C_2, C_{35}

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{6 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-6}} = 1500 \text{ В}$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{6 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = 300 \text{ В}$$

$$U_{3-5} = U - U_2 = 2000 - 1500 - 300 = 200 \text{ В}$$

4. Определим заряды и напряжения в параллельных ветвях

$$Q_3 = C_3 \times U_{3-5} = 6 \times 10^{-6} \times 200 = 1,2 \times 10^{-3} \text{ Кл}$$

По свойству параллельного соединения

$$Q_{4-5} = Q_4 = Q_5 = Q - Q_3 = 6 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-3} = 4,8 \times 10^{-3} \text{ Кл}$$

$$U_4 = \frac{Q_4}{C_4} = \frac{4,8 \times 10^{-3}}{40 \times 10^{-6}} = 120 \text{ В}$$

$$U_5 = \frac{Q_5}{C_5} = \frac{4,8 \times 10^{-3}}{60 \times 10^{-6}} = 80 \text{ В}$$

5. Определим энергию электрического поля всей цепи и на каждом конденсаторе

$$W = \frac{QU}{2} = \frac{6 \times 10^{-3} \times 2000}{2} = 6 \text{ Дж}$$

$$W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2} = \frac{4 \times 10^{-6} \times 1500^2}{2} = 4,5 \text{ Дж}$$

$$W_2 = \frac{C_2 U_2^2}{2} = \frac{20 \times 10^{-6} \times 300^2}{2} = 0,9 \text{ Дж}$$

$$W_3 = \frac{C_2 U_3^2}{2} = \frac{6 \times 10^{-6} \times 200^2}{2} = 0,12 \text{ Дж}$$

$$W_4 = \frac{C_4 U_4^2}{2} = \frac{40 \times 10^{-6} \times 120^2}{2} = 0,288 \text{ Дж}$$

$$W_5 = \frac{C_5 U_5^2}{2} = \frac{60 \times 10^{-6} \times 80^2}{2} = 0,192 \text{ Дж}$$

6. Сумма энергий электрического поля в каждом конденсаторе равна энергии всей цепи

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 4,5 + 0,9 + 0,12 + 0,288 + 0,192 = 6 \text{ Дж}$$

Задача 2. Три параллельных провода (рис. 15) расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 20$ см. Определить величину и направление силы, действующей на опоры, поддерживающие провода, если расстояние между опорами, $l = 100$ м, $I_1 = I_2 = I_3 = 200$ А.

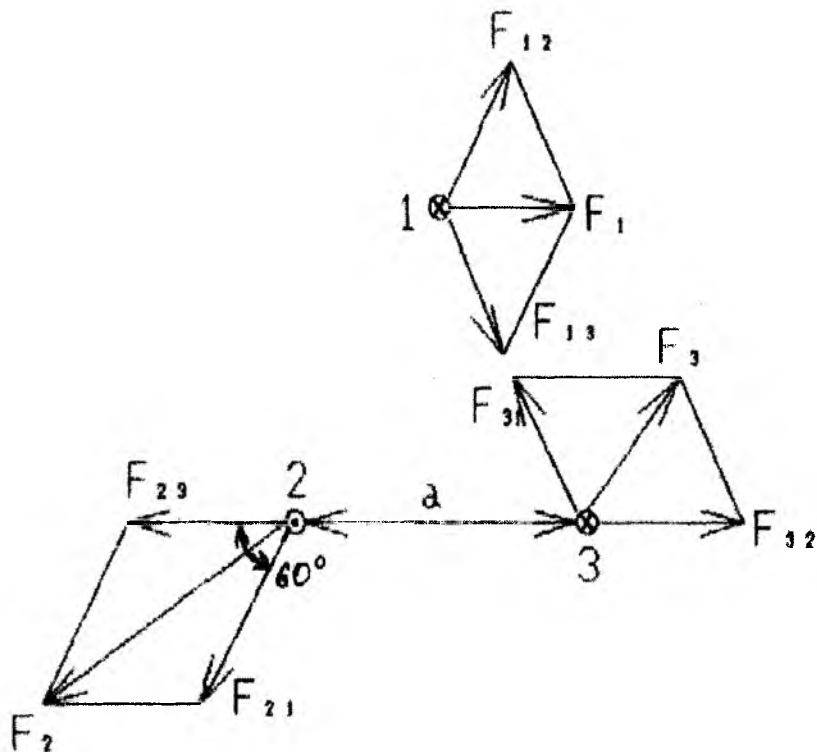


Рис. 15

Решение.

1. Укажем на чертеже направления сил, действующих на каждый провод со стороны других. При этом учтем, что провода, по которым протекает ток одного направления, притягиваются, а противоположного - отталкиваются.

2. Построим результирующие силы F_1, F_2, F_3 .

3. Определим силы $F_{12} = F_{21} = F_{23} = F_{32} = F_{31} = F_{13}$

$$F_{12} = \frac{\mu_a I_1 I_2 l}{2 \pi a} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 200 \times 200 \times 100}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}} = 4 \text{ Н}$$

Для воздуха $\mu_a \approx \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$

4. Из чертежа, очевидно, что силы $F_1 = F_3 = F_{12}$ численно равны, т.е.

$$F_1 = F_3 = 4 \text{ Н}$$

5. Определим силу F_2 по теореме косинусов

$$F_2 = \sqrt{F_{21}^2 + F_{23}^2 + 2F_{21}F_{23}\cos 60^\circ} = \sqrt{4^2 + 4^2 + 2 \times 4 \times 4 \times 0,5} = 6,92 \text{ Н}$$

Задача 3. На стержень П-образного магнитопровода надета обмотка с числом витков, $N=1500$, которая создает в нем магнитный поток, $\Phi = 20 \times 10^{-4}$ Вб. Длина воздушного зазора, $l_0 = 0,5$ мм. Размеры магнитопровода приведены на рис. 16 в мм. Материал сердечника - литая сталь. Определить ток в обмотке и тяговое усилие электромагнита. Магнитным потоком рассеяния и объемом изоляции в сердечнике пренебречь.

Решение.

Магнитная цепь неразветвленная, поэтому магнитный поток на всех участках один и тот же. По условию, задача является прямой.

1. Определим геометрические параметры однородных участков магнитной цепи:

— ферромагнитный участок

$$l_1 = (160 - 40) \times 2 + (200 - 40) \times 2 = 560 \text{ мм} = 0,56 \text{ м}$$

$$S_1 = 40 \times 40 = 1600 \text{ мм}^2 = 16 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

— воздушный зазор

$$I_0 = 05 \text{ мм} = 5 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$S_0 = S_1 = 16 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

2. Определим магнитную индукцию на участках

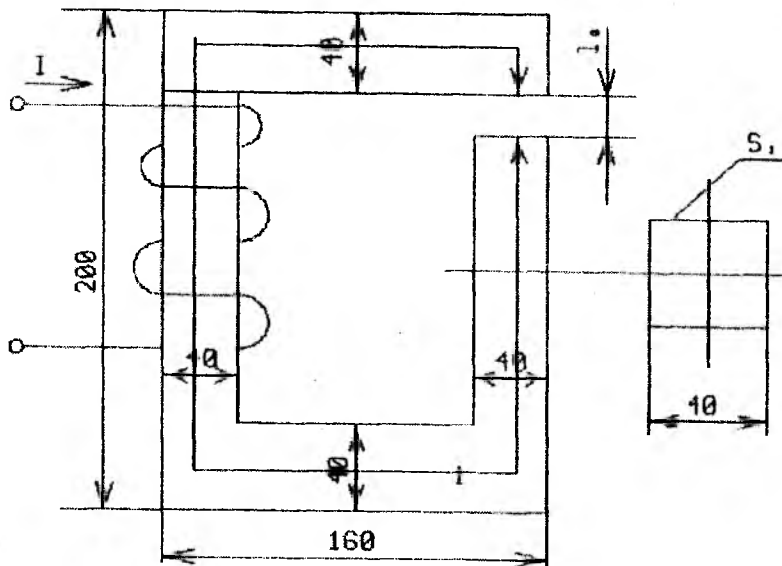


Рис. 16

$$B_1 = B_0 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{20 \times 10}{16 \times 10^{-4}} = 1,25 \text{ Тл}$$

3. Определим напряженности магнитного поля на участках: на ферромагнитном участке по кривой намагничивания (таблица намагничивания сталей), в воздушном зазоре аналитически

$$H_1 = f(B_1) = 1430 \text{ А/м}$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1,25}{4\pi \times 10^{-7}} = 10^6 \text{ Ам}$$

4. Составим уравнение по закону полного тока

$$IN = H_1 l_1 + H_0 l_0$$

определим из него ток в обмотке

$$I = \frac{H_1 l_1}{N} = \frac{1430 \times 0,56 + 10^6 \times 5 \times 10^{-4}}{1500} = 0,87 \text{ А}$$

5. Определим тяговое усилие электромагнита

$$F_m = \frac{B^2 S_0}{2\mu_0} = \frac{1,25^2 \times 16 \times 10^{-4}}{2 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 100 \text{ Н}$$

Таблица намагничивания сталей

В, Тл	Марка стали				В, Тл	Марка стали			
	1211, 1212, 1311	1511, 1512	ли- тая	пермен- дюр		1211, 1212, 1311	1511, 1512	ли- тая	пермен- дюр
	Н, А/м					Н, А/м			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,10	-	40	80	57	1,00	502	300	920	97
0,20	-	50	160	70	1,05	570	340	1004	100
0,30	-	60	240	73	1,10	647	395	1090	105
0,40	140	70	320	76	1,15	739	460	1187	110
0,45	152	75	360	79	1,20	840	540	1290	115
0,50	171	85	400	82	1,25	976	640	1430	120
0,55	191	94	443	-	1,30	1140	770	1590	125

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,60	211	110.	448	85	1,35	1340	970	1810	132
0,65	236	127	535	-	1,40	1580	1300	2090	140
0,70	261	145	584	88	1,45	1950	1830	2440	150
0,75	287	165	632	-	1,50	2500	2750	2890	162
0,80	318	185	682	91	1,55	3280	3850	3430	180
0,85	352	210	745	-	1,60	4370	5150	4100	200
0,90	397	235	798	94	1,65	5880	6950	4870	225
0,95	447	270	850	-	1,70	7780	8900	5750	260

Задача 4. Изменение магнитного потока, $\Phi(t)$ задано графиком рис. 17). Скорость изменения магнитного потока, сцепленного с катушкой, $d\Phi / dt = 2$ Вб/с. Число витков катушки $N = 50$. Определить величину ЭДС и ее изменение, соответствующее изменению магнитного потока. Построить график зависимости ЭДС от времени, $e = f(t)$.

Решение

1. Проанализируем график изменения магнитного потока. Изменение магнитного потока происходит только в те промежутки времени, которые характеризуются наклонной прямой. Следовательно, только в эти промежутки времени ЭДС будет иметь значение отличное от нуля.

2. Определим величину ЭДС для положительного пика изменения магнитного потока:

$$e_1 = \frac{Nd\phi}{dt} = -50 \times 0,2 = -10 \text{ В}$$

3. Определим величину ЭДС для отрицательного пика изменения магнитного потока:

$$e_2 = -\frac{Nd\phi}{dt} = -50 \times (-0,2) = 10 \text{ В}$$

4. Построим график зависимости $e = f(t)$ (рис. 17)

Φ
 $B \cdot 10^{-4}$

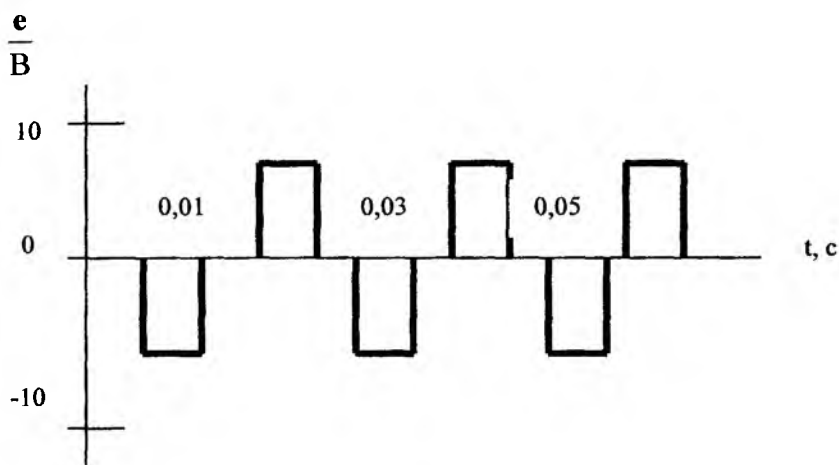
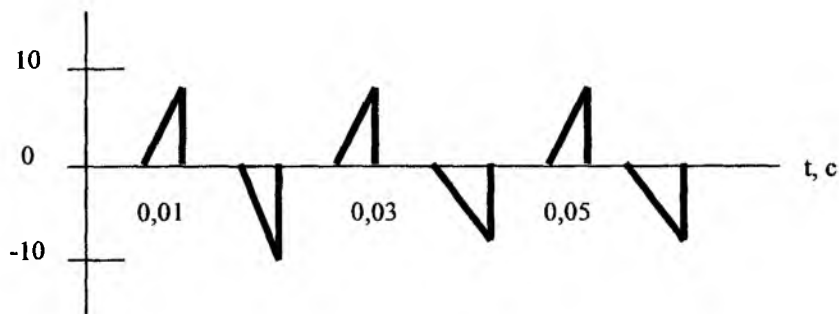


Рис. 17

Примеры решения задач

Задача 1. Определить суммарную ЭДС с помощью векторной и волновой диаграммы, а также аналитически, если $e_1 = 30\sin(314t - 30^\circ)$ В, $e_2 = 40\sin(314t + 45^\circ)$ В. Для суммарной ЭДС определить действующую величину, мгновенную величину и фазу для момента времени, $t_1 = \frac{T}{3}$ С. Указать на волновой диаграмме для суммарной ЭДС угол начальной фазы, мгновенную величину и фазу для момента времени t_1 .

Решение.

1. Примем масштаб, $M_e = 10$ В/см, $M_{\omega t} = 60^\circ/\text{см}$

Для векторной и волновой диаграммы совместим направление оси абсцисс (рис. 19). Для построения синусоиды e_1 определим координаты первых трех точек:

- задаемся значением $e_1 = 0$ и определяем из уравнения $\omega t = 30^\circ$;
- задаемся значением $\omega t = 30^\circ + 30^\circ$ и определяем $e_1 = 15$ В;
- задаемся значением $\omega t = 30^\circ + 90^\circ$ и определим $e_1 = 30$ В.

Наносим координаты найденных точек на чертеж. Пользуясь свойством периодичности синусоидальной функции, наносим остальные точки в пределах периода. Аналогично строим синусоиду e_2 . Суммарную кривую е строим складывая алгебраически мгновенные значения e_1 и e_2 . Точку перехода суммарной ЭДС через нуль (т.е. угол начальной фазы ψ_e) целесообразно оценить по векторной диаграмме.

Измерим длину отрезка амплитуды E_m на векторной и волновой диаграмме и умножим на масштаб ЭДС.

$$E_m = E_m \times M_e = 5,6 \times 10 = 56 \text{ В}$$

Угол начальной фазы измерим транспортиром на векторной диаграмме и определим через масштаб $M \omega t$ по волновой диаграмме:

$$\Psi_e = \overline{\Psi_e} \times M \omega \cdot t = 0,25 \times 60^\circ = 15^\circ$$

3. Определим амплитуду и угол начальной фазы аналитически:

$$E_m = \sqrt{E_1^2 m + E_2^2 m + 2E_1 m E_2 m \cos \varphi}$$

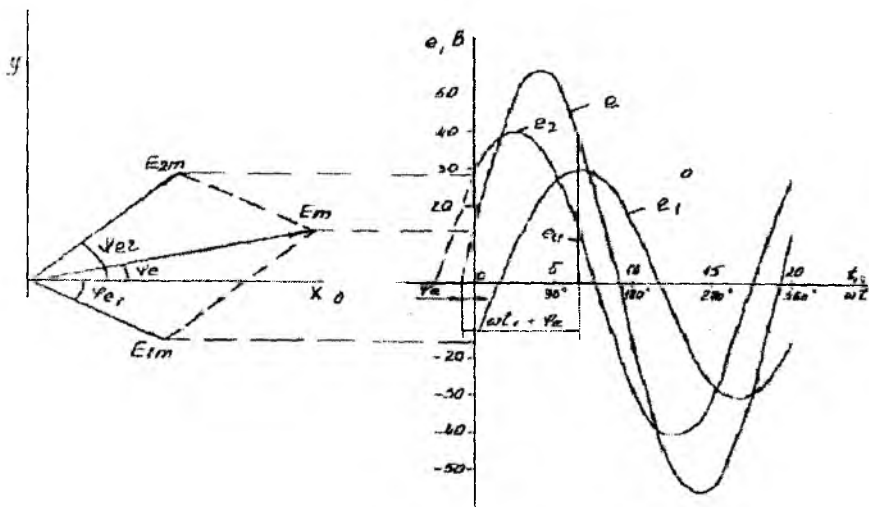


Рис. 19

где

$$\varphi - \text{угол между векторами } E_1 m \text{ и } E_2 m, \varphi = |\varphi_{e1}| + |\varphi_{e2}| = 30^\circ + 45^\circ = 75^\circ$$

$$E_m = \sqrt{30^2 + 40^2 + 2 \times 30 \times 40 \times \cos 75^\circ} = 55,9 \text{ В}$$

$$\psi_e = \arctg \frac{E_1 m \times \sin \psi_1 + E_2 m \times \sin \psi_2}{E_1 m \times \cos \psi_1 + E_2 m \times \cos \psi_2} = \arctg \frac{30 \sin(-30^\circ) + 40 \sin 45^\circ}{30 \cos(-30^\circ) + 40 \cos 45^\circ} = 14^\circ$$

Результаты аналитического расчета не противоречат результатам графического расчета.

Уравнение суммарной ЭДС:

$$e = 55,9 \sin(314t + 14^\circ) \text{ В}$$

Действующая величина суммарной ЭДС:

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{55,9}{\sqrt{2}} = 39,5 \text{ В}$$

Определим мгновенную величину и фазу суммарной ЭДС для момента времени $t_1 = T/3$

$$t = \frac{T}{3} = \frac{2\pi}{3\omega} = \frac{2 \times 3,14}{3 \times 314} = 0,00667 \text{ с} = 6,67 \text{ мс}$$

Фаза

$$\omega t_1 + \psi_e = \frac{314 \times 0,00667 \times 180^\circ}{3,14} + 14^\circ = 134^\circ$$

Мгновенное значение

$$e_{t1} = 55,9 \sin 134^\circ = 48,4 \text{ В}$$

Задача 2. Определить токи в ветвях и мощность в цепи переменного тока (рис. 20) методом проводимости, составить уравнение тока на входе цепи, построить векторную диаграмму, если известно: $R_1 = 8 \text{ Ом}$, $X_{L1} = 9 \text{ Ом}$, $X_{C1} = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $X_{C2} = 10 \text{ Ом}$, $X_{L3} = 15 \text{ Ом}$, $X_{L2} = 2 \text{ Ом}$, $X_{C3} = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 9 \text{ Ом}$

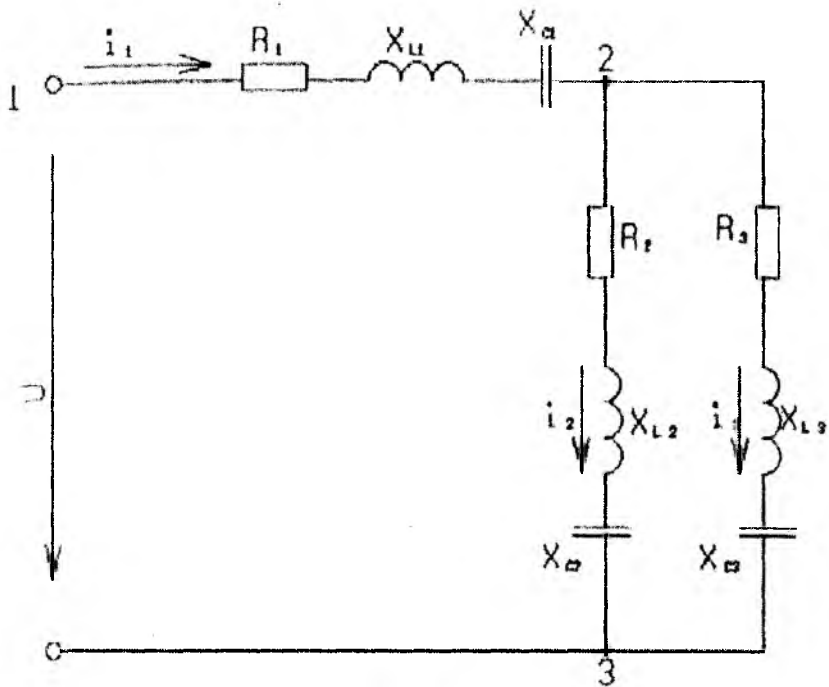


Рис. 20

Решение.

1. Определение эквивалентного сопротивления цепи.

При выполнении этого пункта используют свойства цепей, при последовательном и параллельном соединении.

При параллельном соединении складываются проводимости, при последовательном соединении складываются сопротивления.

Для определения эквивалентного сопротивления параллельных ветвей необходимо сопротивления этих ветвей заменить эквивалентными проводимостями.

Сопротивление первой параллельной ветви

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (X_{L2} - X_{C2})^2} = \sqrt{6^2 + (2-10)^2} = 10 \text{ Ом}$$

Проводимость первой параллельной ветви:

активная проводимость

$$G_2 = \frac{R_2}{Z_2^2} = \frac{6}{10^2} = 0,06 \text{ См}$$

реактивная проводимость

$$B_2 = \frac{X_2}{Z_2^2} = \frac{-8}{10^2} = 0,08 \text{ См},$$

где

$X_2 = X_{L2} - X_{C2} = 2 - 10 = -8 \text{ Ом}$ - реактивное сопротивление первой ветви.

Знак минус (" - ") характеризует емкостный характер сопротивления первой ветви:

полная проводимость

$$Y_2 = \sqrt{G_2^2 + B_2^2} = \sqrt{0,006^2 + 0,008^2} = 0,1 \text{ См}$$

Сопротивление второй параллельной ветви.

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2 + (X_{L3} - X_{C3})^2} = \sqrt{9^2 + (15-3)^2} = 15 \text{ Ом},$$

где

$X_3 = X_{L3} - X_{C3} = 15 - 3 = 12 \text{ Ом}$ - реактивное сопротивление второй параллельной ветви.

Проводимость второй параллельной ветви:
активная проводимость,

$$G_3 = \frac{R_3}{Z_3^2} = \frac{9}{15^2} = 0,04 \text{ Ом}$$

реактивная проводимость,

$$B_3 = \frac{X_3}{Z_3^2} = \frac{12}{15^2} = 0,053 \text{ Ом}$$

полная проводимость

$$Y_3 = \sqrt{G_3^2 + B_3^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,053^2} = 0,067 \text{ См}$$

Проводимость параллельных ветвей

$$G_{23} = G_2 + G_3 = 0,06 + 0,04 = 0,1 \text{ См}$$

$$B_{23} = B_2 + B_3 = -0,8 + 0,053 = -0,027 \text{ См}$$

Суммарная реактивная проводимость двух параллельных ветвей получилась со знаком минус “-”, следовательно, имеет емкостный характер.

$$Y_{23} = \sqrt{G_{23}^2 + B_{23}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,027^2} = 0,104 \text{ См}$$

Сопротивление параллельных ветвей.

$$R_{23} = \frac{G_{23}}{Y_{23}^2} = \frac{0,1}{0,104^2} = 9,321 \text{ Ом}$$

$$X_{23} = \frac{B_{23}}{Y_{23}^2} = \frac{-0,027}{0,104^2} = -2,517 \text{ Ом}$$

$$Z_{23} = \sqrt{R_{23}^2 + X_{23}^2} = \sqrt{9,321^2 + 2,517^2} = 9,655 \text{ Ом}$$

Сопrotивление неразветвленной части нагрузки:
реактивное сопротивление,

$$X_1 = X_{L1} - X_{C1} = 9 - 3 = 6 \text{ Ом}$$

полное сопротивление,

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом}$$

Эквивалентное сопротивление цепи:
активное сопротивление,

$$R_{\text{эkv.}} = R_1 + R_{23} = 8 + 9,321 = 17,321 \text{ Ом}$$

реактивное сопротивление,

$$X_{\text{эkv.}} = X_1 + X_{23} = 6 - 2,517 = 3,483 \text{ Ом}$$

знак плюс "+" характеризует в целом индуктивный характер в цепи.
полное сопротивление.

$$Z_{\text{эkv.}} = \sqrt{R_{\text{эkv.}}^2 + X_{\text{эkv.}}^2} = \sqrt{17,321^2 + 3,484^2} = 17,668 \text{ Ом}$$

2. Определение токов.

Определение токов в каждом конкретном случае производится в зависимости от известных величин. В рассматриваемом примере известно напряжение на параллельных ветвях, следовательно, по закону Ома для цепи переменного тока можно определить токи в параллельных ветвях.

$$I_2 = \frac{U_{23}}{Z_2} = \frac{50}{10} = 5 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{Z_3} = \frac{50}{15} = 3,333 \text{ A}$$

Токи в параллельных ветвях в сумме образуют, ток в неразветвленной части цепи, однако, они отличаются по фазе, поэтому складываются отдельно их активные и реактивные составляющие.

Активная и реактивная составляющие тока в первой параллельной ветви.

$$I_{2a} = I_2 \cos \varphi_2,$$

где

φ_2 - угол сдвига фаз между током и напряжением в первой параллельной ветви.

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{6}{10} = 0,6$$

$$\varphi_2 = \arccos 0,6 = -53,1^\circ$$

угол сдвига фаз отрицательный при емкостной нагрузке.

$$I_{2a} = I_2 \cos \varphi_2 = 5 \times 0,6 = 3 \text{ A}$$

$$I_{2p} = I_2 \sin \varphi_2 = 5 \times (-0,8) = -4 \text{ A} - \text{ток емкостный}$$

Активная и реактивная составляющая тока во второй параллельной ветви.

$$\cos \varphi_3 = \frac{R_3}{Z_3} = \frac{9}{15} = 0,6$$

$\varphi_3 = \arccos 0,6 = 53,1^\circ$ - угол сдвига фаз положительный при индуктивной нагрузке.

$$I_{3a} = I_3 \cos \varphi_3 = 3,33 \times 0,6 = 1,998 \text{ A}$$

$$I_{3p} = I_3 \sin \varphi_3 = 3,33 \times 0,8 = 2,664 \text{ A} - \text{ток индуктивный.}$$

Ток в неразветвленной части цепи:
активная составляющая тока,

$$I_{1a} = I_{2a} + I_{3a} = 3 + 1,998 = 4,998 \text{ A}$$

реактивная составляющая тока,

$$I_{1p} = -I_{2p} + I_{3p} = -4 + 2,664 = -1,336 \text{ A}$$

Характер тока по отношению к напряжению U_{23} - емкостный.

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2} = \sqrt{4,998^2 + 1,336^2} = 5,173 \text{ A}$$

3. Коэффициент мощности цепи

$$\cos\varphi = \frac{R_{\text{экв.}}}{Z_{\text{экв.}}} = \frac{17,321}{17,668} = 0,98$$

$$\varphi = \arccos 0,98 = 11,4^\circ$$

Характер нагрузки цепи в целом индуктивный, т. к. $X_{\text{экв.}} > 0$

4. Уравнение тока.

Для составления уравнения тока необходимо задаться углом начальной фазы приложенного напряжения: $\psi_u = 0$, тогда углом начальной фазы тока

$$\psi_i = \psi_u - \varphi = 0 - 11,4 = -11,4^\circ$$

Амплитуда тока

$$I_{1m} = \sqrt{2}I_1 = \sqrt{2} \times 5,173 = 7,316 \text{ A}$$

Тогда уравнение примет вид

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t \pm \psi_i) = 7,316 \sin(314t - 11,4^\circ) \text{ A}$$

5. Напряжение на входе цепи

$$U = I_1 Z_{\text{экв}} = 5,173 \times 17,668 = 91,397 \text{ В}$$

6. Определение мощности:

активная мощность

$$P = UI_1 \cos \varphi = 91,397 \times 5,173 \times 0,98 = 463,3 \text{ Вт}$$

реактивная мощность

$$Q = UI_1 \sin \varphi = 91,397 \times 5,173 \times 0,199 = 94,1 \text{ вар}$$

полная мощность

$$S = UI_1 = 91,397 \times 5,173 = 472,6 \text{ В} \times \text{А}$$

7. Векторная диаграмма.

Для построения векторной диаграммы цепи со смешанным соединением элементов целесообразно выбрать направление вектора синусоидальной величины, максимально связанной с другими синусоидальными величинами.

В данном примере это напряжение U_{23} , связанное с токами I_2 и I_3 в параллельных ветвях. Для построения векторной диаграммы необходимо задаться масштабами напряжения и тока.

$$M_u = 10 \text{ В/см}$$

$$M_i = 1 \text{ А/см}$$

U

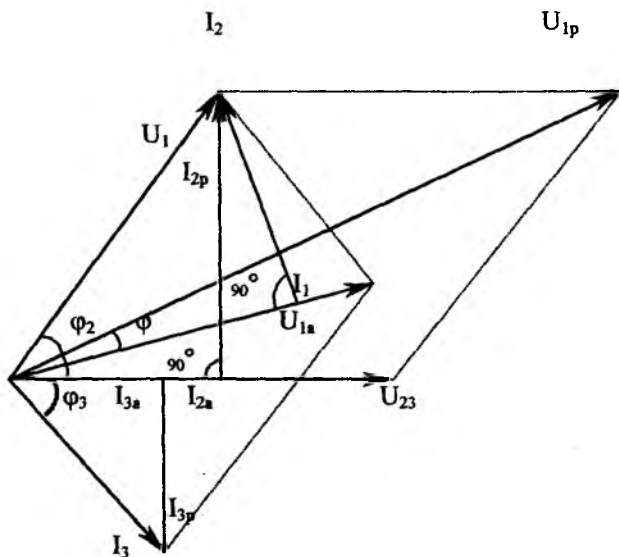


Рис. 21

Откладываем в произвольном направлении вектор напряжения U_{23}

$$\overline{U_{23}} = \frac{U_{23}}{M_u} = \frac{50}{10} = 5 \text{ см}$$

Откладываем вектор активного тока в первой параллельной ветви. Направление активного тока совпадает с вектором напряжения.

$$\overline{I_{2a}} = \frac{I_{2a}}{M_i} = \frac{3}{1} = 3 \text{ см}$$

Откладываем в масштабе реактивный ток первой параллельной ветви. Поскольку он емкостной, то опережает напряжение на 90° .

Складываем графически активный и реактивный токи и получаем вектор тока I_2 первой параллельной ветви.

Аналогично строим вектор тока I_3 , причем учитываем его индуктивный характер.

Графически складываем токи I_2 и I_3 и получаем вектор тока I_1 в неразветвленной части цепи.

Для построения напряжения на входе цепи определяем падение напряжения на сопротивлении Z_1 . Обозначим U_1 .

Активная составляющая

$$U_{1a} = I_1 R_1 = 5,173 \times 8 = 41,384 \text{ В}$$

Реактивная составляющая

$$U_{1p} = I_1 X_1 = 5,173 \times 6 = 31,038 \text{ В},$$

где

$X_1 = X_{L1} - X_{C1} = 9 - 3 = 6 \text{ Ом}$ - реактивное сопротивление неразветвленной части цепи.

Напряжение U_1 .

$$U_1 = \sqrt{U_{1a}^2 + U_{1p}^2} = \sqrt{41,384^2 + 31,038^2} = 51,73 \text{ В}$$

Откладываем в масштабе активную составляющую напряжения U_{1a} в направлении вектора тока I_1 . Откладываем в масштабе реактивную составляющую напряжения U_{1p} . Так как X_1 индуктивного характера, то U_{1p} опережает ток I_1 на 90° .

Складываем графически активную и реактивную составляющие напряжения U_1 .

Складываем графически напряжение U_1 и U_{23} и получаем вектор напряжения на входе.

Задача 3. По условию задачи 2 рассчитать цепь (рис. 20) символическим методом.

Решение.

Для решения применим метод преобразования схемы:

1. Определение эквивалентного сопротивления цепи.

Запишем комплексы сопротивлений ветвей

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = 8 + j(9 - 3) = 8 + j6 = 10e^{j36,9^\circ} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j(X_{L2} - X_{C2}) = 6 + j(2 - 10) = 6 - j8 = 10e^{j53,1^\circ} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j(X_{L3} - X_{C3}) = 9 + j(15 - 3) = 9 + j12 = 15e^{j53,1^\circ} \text{ Ом}$$

Определим комплекс сопротивления параллельных ветвей

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{10e^{-j53,1^\circ}}{6 - j8 + 9 + j12} = 9,655e^{j15,1^\circ} = (9,321 - j2,517) \text{ Ом}$$

Эквивалентное сопротивление цепи

$$\underline{Z}_{\text{эки}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = 8 + j6 + 9,321 - j2,517 = 17,321 + j3,483 = 17,668e^{j11,4^\circ} \text{ Ом}$$

2. Определение комплексов токов в ветвях

Примем угол начальной фазы заданного напряжения равным нулю, тогда

$$\dot{U}_{23} = U_{23}e^{j0} = 50 \text{ В}$$

Определим токи в параллельных ветвях

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{23}}{\underline{Z}_2} = \frac{50}{10e^{-j53,1^\circ}} = 5e^{j53,1^\circ} = (33 + j4) \text{ А}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{23}}{\underline{Z}_3} = \frac{50}{15e^{-j53,1^\circ}} = 3,333e^{-j53,1^\circ} = (1,998 - j2,664) \text{ А}$$

Определим комплекс тока на входе цепи

$$\dot{I} = \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 3 + j4 + 1,998 - j2,664 = 4,664 + j1,336 = 5,173e^{j15^\circ} \text{ А}$$

3. Определение комплекса напряжения на входе цепи

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \underline{Z}_1 = 5,17e^{j15^\circ} \times 10e^{j36,9^\circ} = 51,73e^{j51,9^\circ} = (32,486 + j40,706)V$$

$$\dot{U} = \dot{U}_{23} = 32,486 + j40,706 + 50 = 82,486 + j40,706 = 91,883e^{j25,25^\circ} V$$

4. Определение комплексной мощности

$$\underline{S} = \dot{U} \dot{I}^* = 91,883e^{j26,25^\circ} \times 5,173e^{-j15^\circ} = 475e^{j11,25^\circ} = (465 + j92)B \times A,$$

где

$$S = 475 \text{ В} \times \text{А}, \quad P = 465 \text{ В} \cdot \text{А}, \quad Q = 92 \text{ вар}$$

Результаты расчета обоими методами практически совпадают.

Задача 4. В трехфазную цепь включен трехфазный электродвигатель. Составить схему замещения двигателя. Определить линейные напряжения и ток, фазное напряжение, активное, индуктивное и полное сопротивление фазы двигателя, полную и реактивную мощность двигателя, если известно: фазный ток, $I_\phi = 5,5 \text{ А}$, активная мощность, $P = 3 \text{ кВт}$, коэффициент мощности, $\cos\varphi = 0,82$

Построить топографическую диаграмму.

Решение.

1. Начертим схему включения двигателя в трехфазную цепь, принимая во внимание, что сопротивление обмотки имеет активную и реактивную составляющие (рис. 22).

2. В схеме соединения нагрузки звездой фазный и линейный токи одинаковы, а $U_{\text{Л}} = \sqrt{3}U_\Phi$

3. Определим фазное напряжение из формулы активной мощности

$$U_\Phi = \frac{P}{3I_\phi \cos\varphi} = \frac{3000}{3 \times 5,5 \times 0,82} = 220 \text{ В}$$

$$U = 220\sqrt{3} = 380 \text{ В}$$

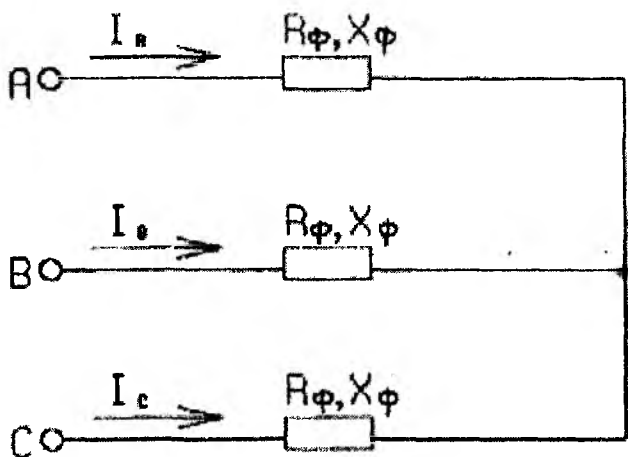


Рис. 22

4. Определим сопротивления

$$Z_\phi = \frac{U_\phi}{I_\phi} = \frac{220}{5,5} = 40 \text{ Ом}$$

$$R_\phi = Z_\phi \times \cos\varphi = 40 \times 0,82 = 32,8 \text{ Ом}$$

$$X_\phi = \sqrt{Z_\phi^2 - R_\phi^2} = \sqrt{40^2 - 32,8^2} = 22,9 \text{ Ом}$$

5. Определение мощности

$$S = 3U_{\phi} \times I_{\phi} = 3 \times 220 \times 5,5 = 3630 \text{ В} \times \text{А} = 3,63 \text{ кВ} \times \text{А}$$

$$Q = 3U_{\phi} \times I_{\phi} \times \sin\varphi = 3 \times 220 \times 5,5 \times 0,561 = 2030 \text{ вар} = 2,03 \text{ квар}$$

6. Построение топографической диаграммы

Примем масштаб напряжения $M_u = 55 \text{ В/см}$ Угол сдвига фаз между током и напряжением $\varphi = 34,1^\circ$

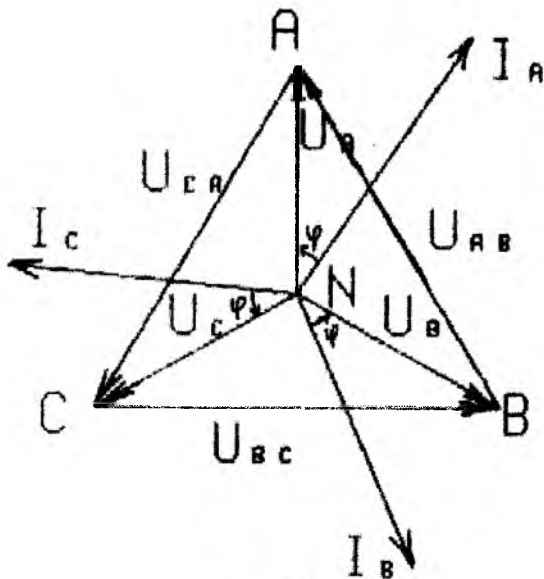


Рис. 23

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

Вариант задания студент выбирает по последней цифре, присвоенного ему шифра.

При выполнении контрольной работы следует соблюдать следующие требования:

1. Четко и правильно переписать задание контрольной работы по своему варианту (допускается ксерокопирование варианта задания). Работы, выполненные по другому варианту, возвращаются без проверки.

2. Ответы на вопросы должны быть четкими, полными и аргументированными.

3. При решении задач необходимо привести формулы, затем подставлять в них числовые значения. Решение сопровождать пояснениями, указывать размерность величин.

4. Работу выполнять чернилами (пастой) четко и разборчиво; рисунки, графики, схемы – с соблюдением действующих ГОСТов (в отдельных случаях допускается эскизное исполнение).

5. В тетради необходимо оставлять поля и место в конце работы для замечаний и заключения рецензента, страницы пронумеровать.

6. В конце работы привести перечень использованной литературы, проставить дату выполнения и подпись.

Задание 1

Задача 1. В электрической цепи (рис. 24) определить ток и напряжение на участках, а также мощности источников. Составить баланс мощности. Данные по вариантам приведены таблице 1.

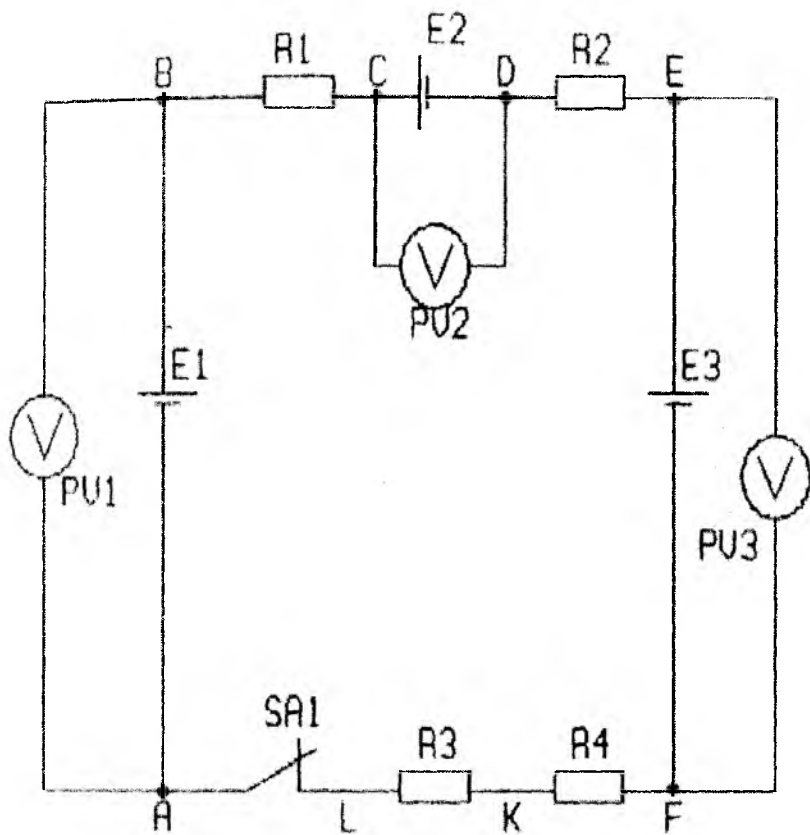


Рис. 24

Таблица 1

Вариант	E1	Кв.1	E2	Кв.2	E3	Кв.3	R1	R2	R3	R4	Точка заземления
	В	Ом	В	Ом	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	
1	38	0,2	16	0,3	12	0,5	3	8	6	2	A
2	10	0,4	8	0,6	12	0	4	1	3	1	B
3	24	0,3	14	0,4	20	0,3	5	4	7	3	C
4	30	0,7	8	0	2	0,3	2	3	0	4	D
5	28	0,1	12	0,2	6	0,7	1	5	3	0	E
6	12	0	4	0,8	18	0,2	6	3	2	8	F
7	16	0,5	6	0,2	20	0,3	0	4	1	4	K
8	26	0,5	2	0	4	0,5	9	2	5	3	L
9	24	0,2	8	0,4	6	0,4	7	0	8	4	D
10	22	0,9	14	0,1	18	0	2	5	2	0	E

Задача 2. Для электрической цепи (рис. 24), используя данные задачи 1, вычислить потенциалы всех обозначенных точек, построить потенциальную диаграмму. Точку с потенциалом равным нулю принять согласно таблице 1. Как изменятся показания вольтметров (увеличатся или уменьшатся) при размыкании выключателя SA1.

Примечание. Rв.1, Rв.2, Rв.3 - внутренние сопротивления источников.

Задача 3. Для электрической цепи со смешанным соединением резисторов определить эквивалентное сопротивление, токи в ветвях, напряжения на резисторах. Составить баланс мощности. Данные по вариантам приведены в таблице 2.

Таблица 2

Вариант	U	R1	R2	R3	R4	R5	Номер рисунка
	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	
1	100	4	10	3	20	30	25.1
2	150	3	24	40	25	35	25.2
3	100	20	5	7	10	40	25.3
4	40	40	10	2	10	15	25.4
5	100	2	10	28	30	20	25.5
6	100	4	15	5	20	6	25.6
7	80	24	30	16	5	20	25.7
8	60	10	24	60	40	16	25.8
9	150	3	30	12	12	24	25.9
10	100	4	8	15	60	25	25.10

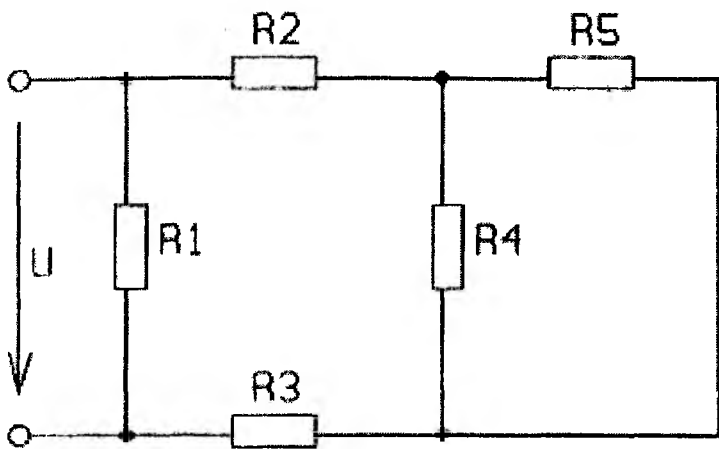


Рис. 25.1

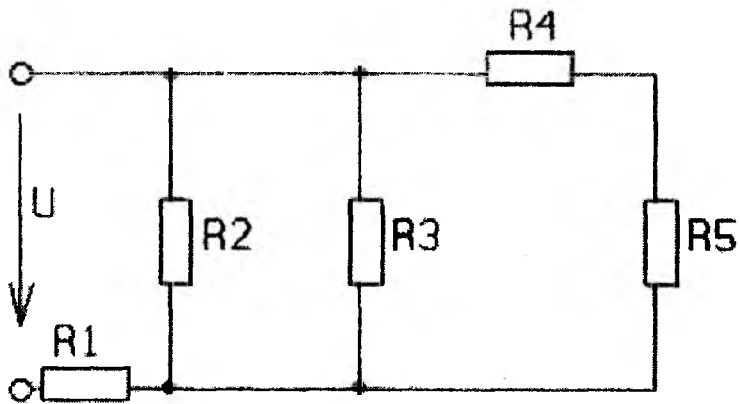


Рис. 25.2

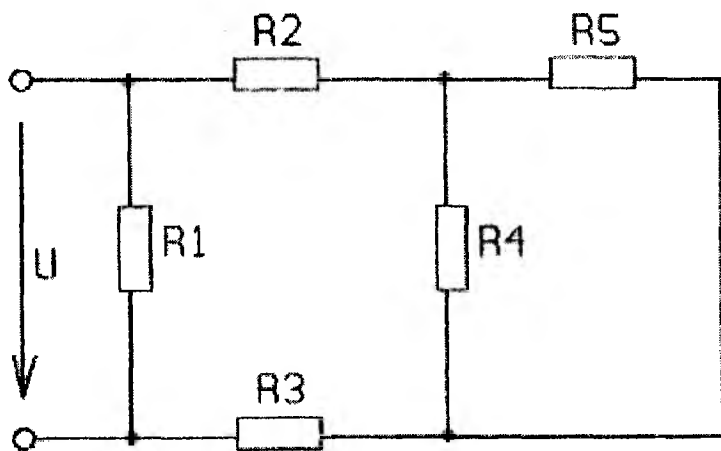


Рис. 25.3

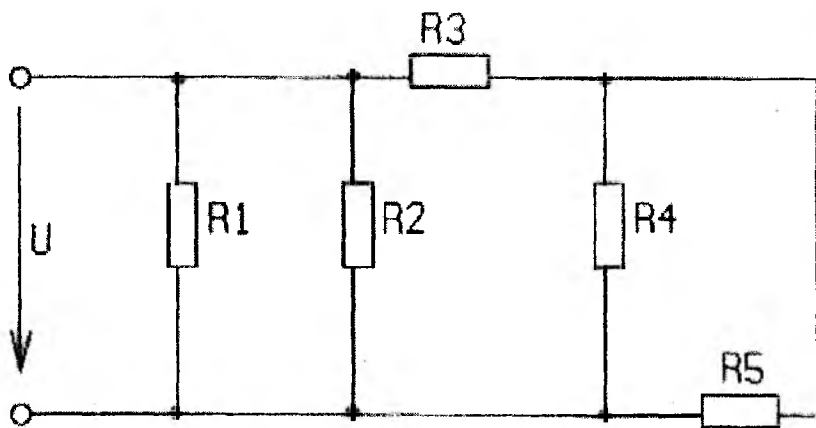


Рис. 25.4

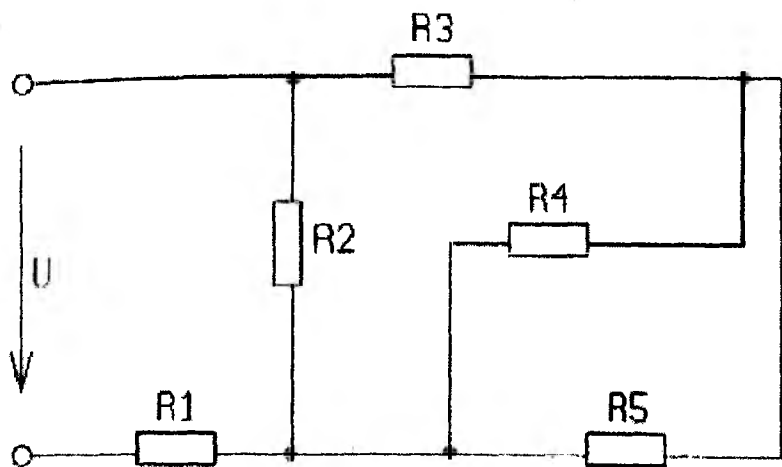


Рис. 25.5

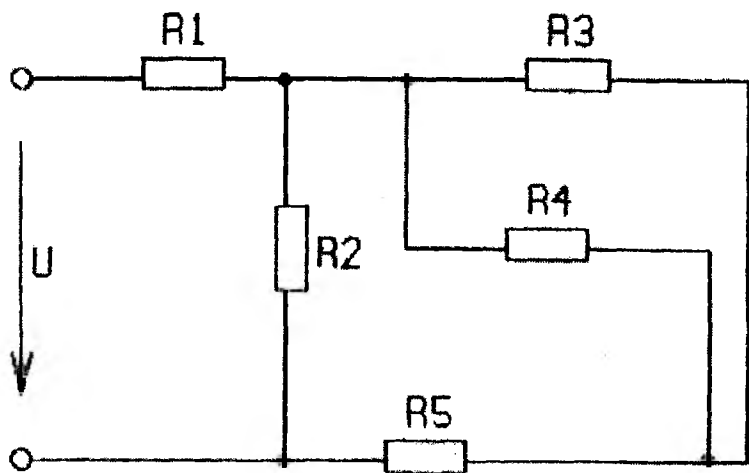


Рис. 25.6

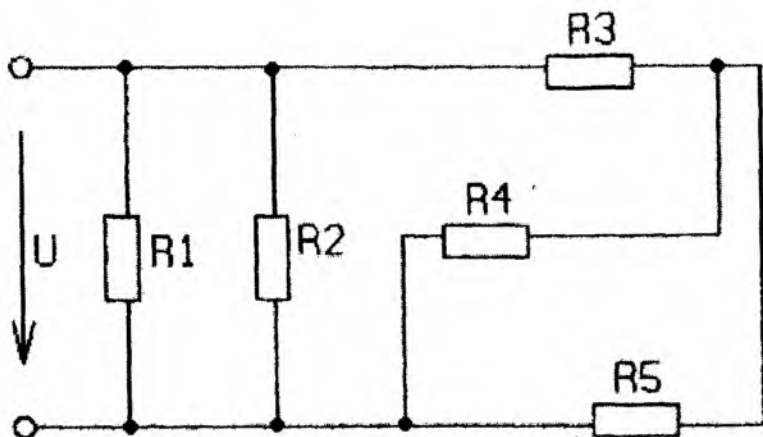


Рис. 25.7

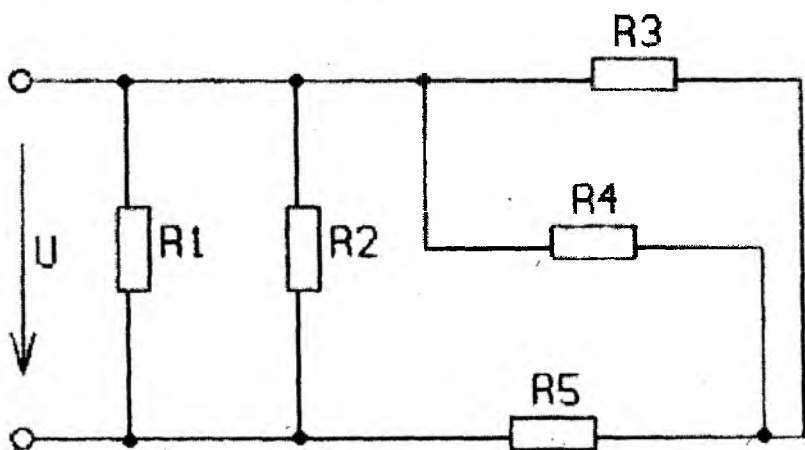


Рис. 25.8

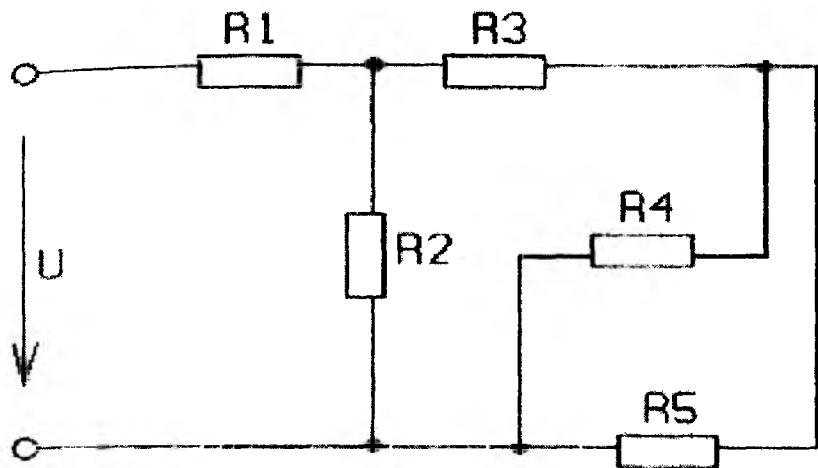


Рис. 25.9

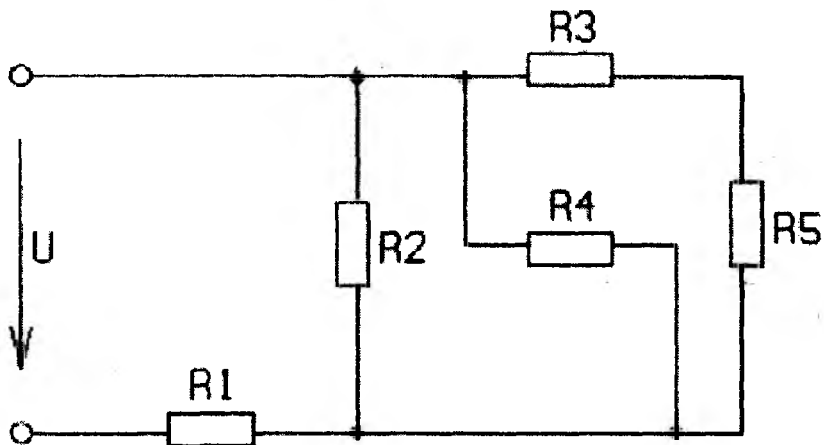


Рис. 25.10

Задача 4. Определить токи в ветвях сложной электрической цепи (рис. 26). Индексы элементов в таблице 3 соответствуют номерам ветвей схемы, в которые они должны быть включены. Направление ЭДС принимать произвольно. Расчет цепи проверочным методом производится в полном объеме, как и расчет цепи, основным методом.

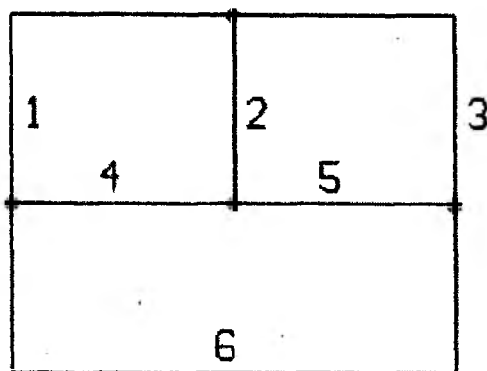


Рис. 26

Примечание: 1. При применении метода наложения, метода узлового напряжения, метода узловых и контурных уравнений следует предварительно заменить треугольник сопротивлений в эквивалентную звезду сопротивлений. При этом требование задания об определении токов всех ветвей остается.

2. Коды методов расчета цепей. Метод узлового напряжения. Метод узловых и контурных уравнений. Метод контурных токов. Метод наложения токов.

Таблица 3

Вариант	E1	E2	E3	E4	E5	E6	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Код метода решения	Код метода проверки
	В	В	В	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	18	14	-	-	-	-	3	6	9	8	4	8	1	2
2	-	20	15	-	-	-	12	8	10	8	8	4	2	1
3	16	-	18	-	-	-	4	6	8	5	10	10	3	4
4	20	-	-	16	-	-	6	10	5	7	10	8	4	1
5	-	-	-	20	-	18	9	4	8	8	8	7	1	3
6	14	-	-	-	-	20	4	10	10	6	5	8	2	4
7	-	-	14	-	18	-	10	5	3	10	6	4	3	2
8	-	-	16	-	-	14	8	8	2	4	5	6	4	3
9	-	-	-	-	15	20	10	10	6	5	7	8	1	4
10	-	-	-	18	-	16	6	8	4	5	8	3	2	3

Задание 2

Задача 1. Четыре параллельных провода расположены в вершинах квадрата со стороной a (рис. 27). Токи, протекающие по проводам, соответственно равны I_1, I_2, I_3, I_4 , их направления указаны на рис. 27.

Определить величину и направление силы F , действующей на опоры, поддерживающие провода, если расстояние между соседними опорами равно $l = 100$ м. В таблице 4 указаны значения a и токов в проводах в зависимости от варианта.

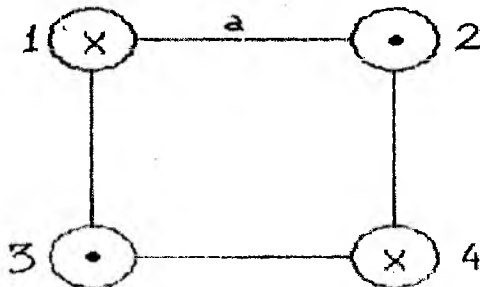


Рис. 27

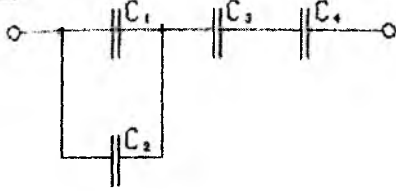
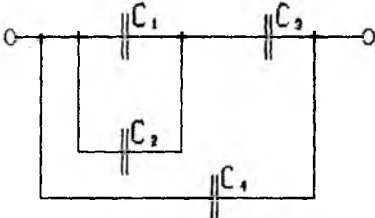
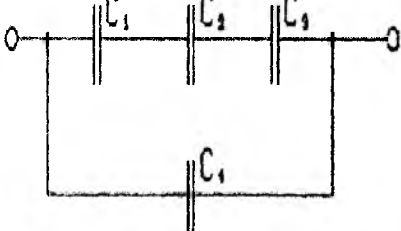
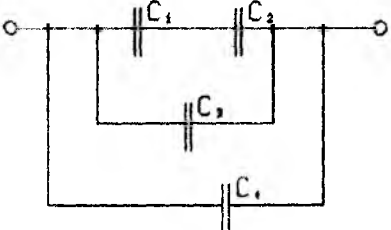
Таблица 4

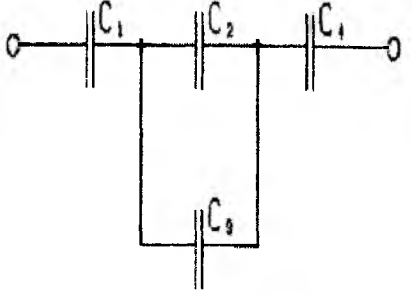
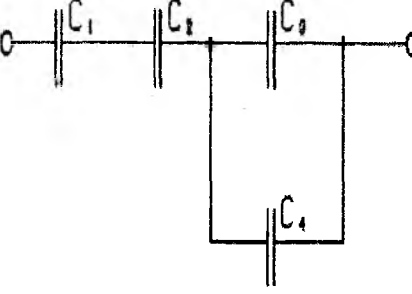
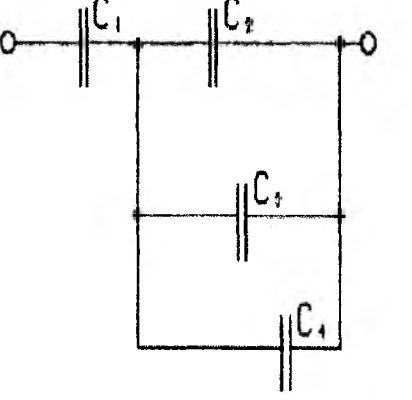
Номер варианта	a, см	I_1, A	I_2, A	I_3, A	I_4, A	Определить силу F , действующую на опоры со стороны
1	10	100	100	200	100	провода 1
2	15	100	100	100	200	провода 2
3	20	200	100	100	100	провода 3
4	25	100	200	100	100	провода 4
5	30	200	200	0	200	провода 1
6	35	200	200	200	0	провода 2
7	40	0	200	200	200	провода 3
8	45	200	0	200	200	провода 4
9	20	100	100	0	100	провода 2
10	25	0	100	100	100	провода 1

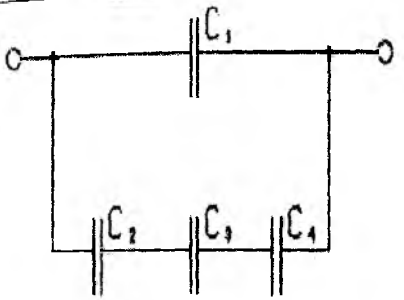
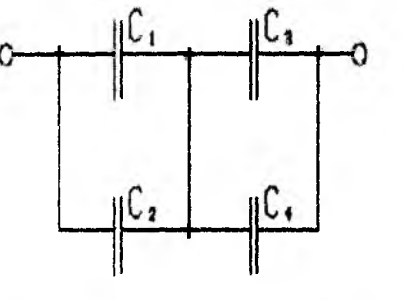
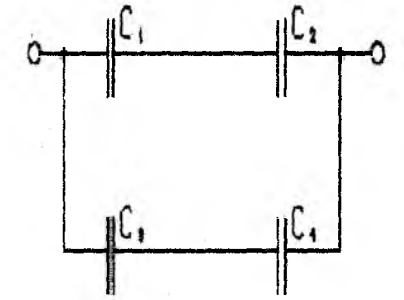
Задача 2. В цепи с C_1, C_2, C_3, C_4 приложено напряжение U .

Определить эквивалентную емкость цепи, а также заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора и всей цепи. Данные по вариантам указаны в таблице 5.

Таблица 5

Вариант		U В	C ₁ мкф	C ₂ мкф	C ₃ мкф	C ₄ мкф
1		36	8	4	6	4
2		100	1	3	4	5
3		100	80	80	40	30
4		100	0,10	0,15	0,30	0,20

5		30	30	15	5	60
6		20	10	20	4	6
7		20	3	1	2	3

8		100	15	40	20	40
9		60	1	2	2	2
10		100	2	6	3	6

Задача 3. На стержень П - образного магнитопровода надета обмотка с числом витков N , которая создает в нем магнитный поток Φ . В воздушном зазоре создается напряженность магнитного поля $H = 10^6$ А/м. Длина воздушного зазора $l_0 = 0,2$ мм. Размеры магнитопровода приведены на рис. 28.

в миллиметрах. Материал сердечника, число витков обмотки, толщина сердечника, мм, указаны в таблице 6. Характеристика намагничивания сталей приведена в [1], приложение 5, [2], приложение 4.

Определить ток в обмотке и тяговое усилие электромагнита.

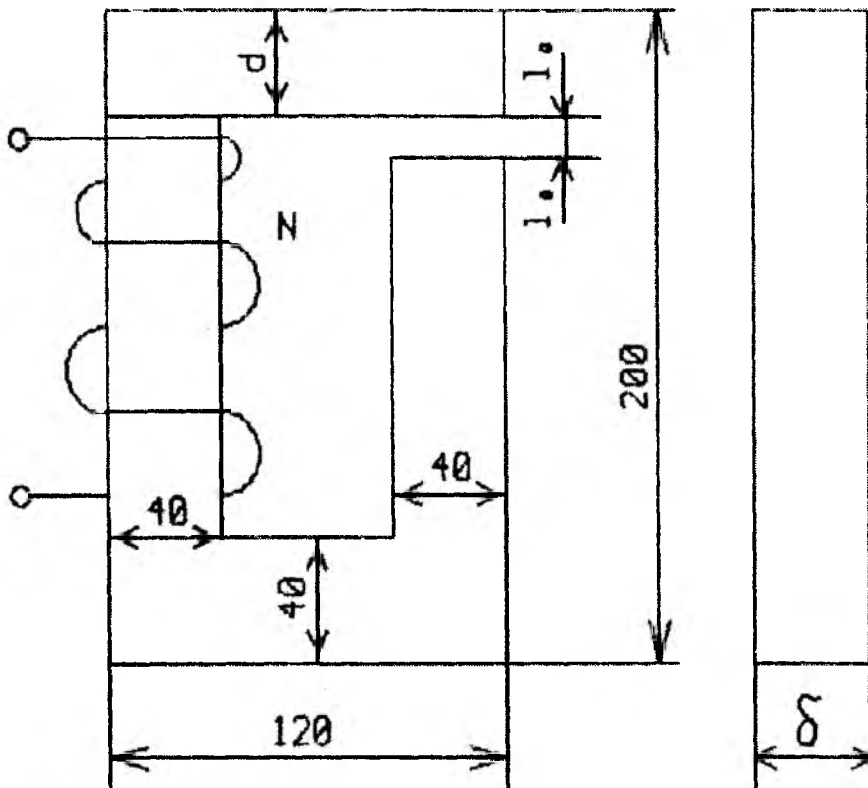


Рис. 28

Таблица 6

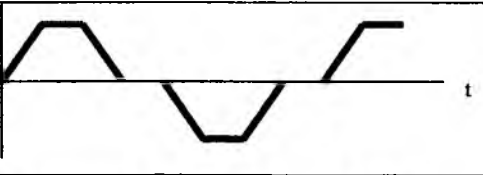
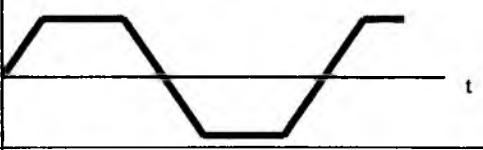
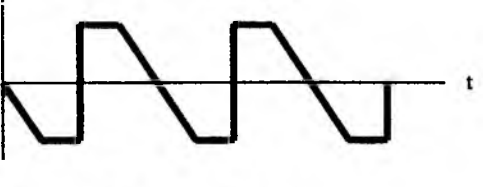
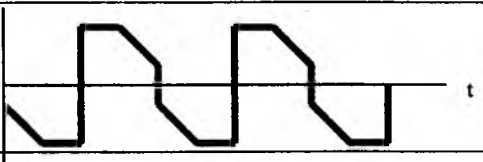
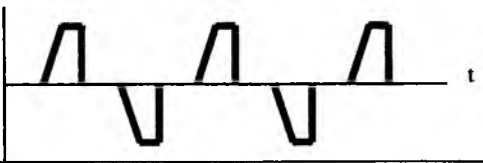
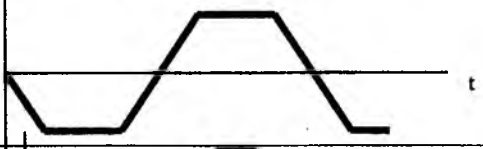
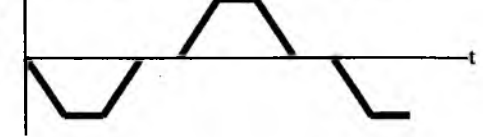
Номер варианта	d, мм	δ , мм	N	Материал
1	30	30	600	Сталь 1211
2	36	40	500	Сталь 1511
3	46	50	400	Литая сталь
4	32	30	500	Сталь 1212
5	38	40	400	Литая сталь
6	44	50	600	Сталь 1512
7	48	50	400	Литая сталь
8	34	30	600	Сталь 1511
9	40	40	400	Сталь 1211
10	42	40	400	Литая сталь

Задача 4. По заданному графику изменения магнитного потока, $\Phi = f(t)$, сцепленного с катушкой, определить величину ЭДС и построить график изменения ЭДС $e = F(t)$. Скорость изменения магнитного потока $d\Phi/dt$ и число витков N катушки указаны в таблице 7.

Таблица 7

Вариант	$\Phi = f(t)$	$d\Phi/dt$, Вб/с	N
1		20	10
2		10	10
3		40	10

Продолжение табл. 7

4	Φ		20	5
5	Φ		20	20
6	Φ		20	15
7	Φ		10	20
8	Φ		40	5
9	Φ		20	25
10	Φ		20	30

Задание 3

Задача 1. По двум заданным уравнениям ЭДС определить суммарную ЭДС. Уравнение суммарной ЭДС составить по результатам аналитического расчета, а также графического решения с помощью векторной диаграммы и синусоидального графика мгновенных величин ЭДС. Для суммарной ЭДС определить по графику угол начальной фазы, мгновенную величину и фазу для момента времени $t = T/2$. Данные по вариантам приведены в таблице 8.

Таблица 8

Вариант	$e_1 = E_1 m \sin(\omega t + \psi_{1e}), \text{ В}$	$e_2 = E_2 m \sin(\omega t + \psi_{2e}), \text{ В}$
1	$e_1 = 40 \sin 314t$	$e_2 = 30 \sin(314t + 30^\circ)$
2	$e_1 = 50 \sin 314t$	$e_2 = 75 \sin(314t + 45^\circ)$
3	$e_1 = 60 \sin 314t$	$e_2 = 40 \sin(314t + 60^\circ)$
4	$e_1 = 75 \sin 314t$	$e_2 = 50 \sin(314t + 75^\circ)$
5	$e_1 = 80 \sin 314t$	$e_2 = 60 \sin(314t + 90^\circ)$
6	$e_1 = 100 \sin 314t$	$e_2 = 75 \sin(314t + 120^\circ)$
7	$e_1 = 30 \sin 314t$	$e_2 = 40 \sin(314t + 150^\circ)$
8	$e_1 = 25 \sin 314t$	$e_2 = 20 \sin(314t - 30^\circ)$
9	$e_1 = 20 \sin 314t$	$e_2 = 30 \sin(314t - 45^\circ)$
10	$e_1 = 10 \sin 314t$	$e_2 = 14 \sin(314t - 60^\circ)$

Задача 2. В цепи переменного тока (рис. 29) по известным параметрам методом проводимостей определить неизвестные параметры, построить векторную диаграмму, составить уравнения тока на входе цепи. Известные и неизвестные параметры по вариантам приведены в таблице 9.

Таблица 9

Вариант	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
1	100	0	0	5	8	4	10
2	-	6	0	8	6	1	9
3	-	7	0	0	16	3	15
4	-	8	9	3	0	12	6

Продолжение табл. 9

	U	R_1	X_{L1}	X_{C1}	R_2	X_{L2}	X_{C2}
1	2	3	4	5	6	7	8
5	-	3	7	3	0	0	10
6	120	6	9	1	0	15	0
7	-	8	8	2	12	11	2
8	-	4	6	3	16	3	15
9	-	4	7	4	12	6	15
10	-	3	6	2	10	0	0

Продолжение таблицы 9

R_3	X_{L3}	X_{C3}	I_1	I_2	I_3	P	Q	S	$\cos \varphi$
Ом	Ом	Ом	А	А	А	Вт	Вар	ВА	
6	10	2	-	-	-	-	-	-	-
8	0	6	-	4	-	-	-	-	-
12	11	2	-	-	3	-	-	-	-
16	12	0	-	-	-	500	-	-	-
8	3	9	-	-	-	-	400	-	-
9	15	3	-	-	-	-	-	-	-
0	2	12	-	3	-	-	-	-	-
0	0	20	-	-	2	-	-	-	-
0	15	0	-	-	-	600	-	-	-
8	9	3	-	-	-	-	500	-	-

Задача 3. По условию задачи 2 рассчитать цепь, рис. 29, переменного тока символическим методом.

Задача 4. Трехфазный электродвигатель включен в трехфазную сеть с линейным напряжением $U_L = 380$ В. По известным данным составить электрическую схему, построить векторную диаграмму напряжений и токов. Известные и неизвестные параметры по вариантам приведены в таблице 10.

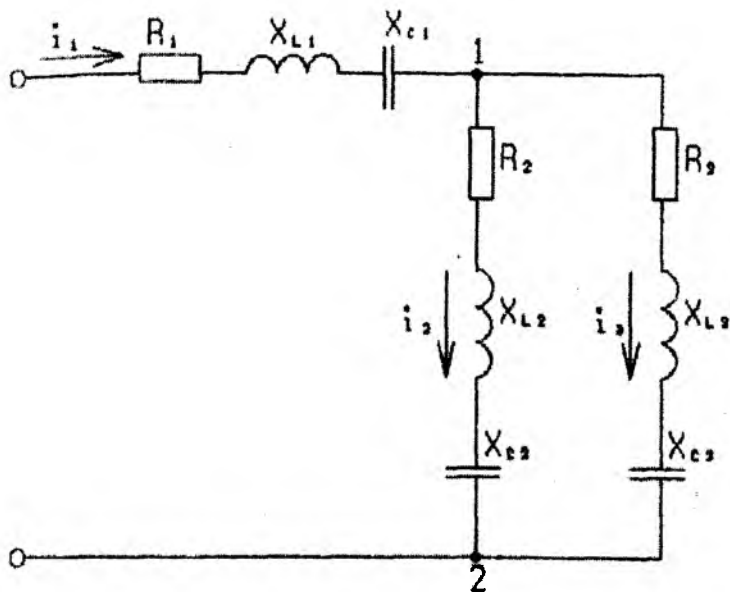








Рис. 29

Таблица 10

Вариант	Схе-ма	U_{ϕ}	I_L	I_{ϕ}	Z_{ϕ}	R_{ϕ}	X_{ϕ}	P	Q	S	$\cos \phi$
		В	А	А	Ом	Ом	Ом	Вт	вар	ВА	
1		-	-	-	-	8	6	-	-	-	-
2		-	-	-	-	-	-	800	-	-	0,8
3		-	-	-	-	-	-	-	600	-	0,8
4		-	-	-	-	8	-	-	-	1000	-

Продолжение табл. 10

5		-	-	-	-	-	6	-	-	1000	-
6		-	17,3	-	-	-	-	-	-	-	0,8
7		-	-	10	-	-	-	-	-	-	0,8
8		-	17,3	-	-	-	-	-	5000	-	-
9		-	-	10	-	-	-	5000	-	-	-
10		-	-	-	-	8	6	-	-	-	-